

纳板河流域土地利用变化对土壤有机碳及微生物生物量碳和氮的影响^{*}

郭芳芳 李永梅 李朝丽^{**} 王自林

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要 与其他地区相比,热带森林的土地利用变化对碳循环的影响尤其显著。本文采用野外调查取样和室内分析相结合的方法,研究了纳板河流域自然林转变为旱地、水稻田、橡胶林、茶园后土壤有机碳(SOC)、土壤微生物生物量碳(SMBC)和微生物生物量氮(SMBN)的变化。结果表明:自然林转变为其他土地利用类型后,SOC、SMBC、SMBN均显著下降,水稻田的SOC和SMBC下降幅度最大。赤红壤的SOC和SMBC、SMBN均显著高于砖红壤。相关性分析表明:SOC与SMBC、SMBN、土壤含水量呈显著或极显著正相关,与土壤容重、pH呈极显著负相关;SMBN与SOC、SMBC呈极显著正相关,与土壤容重呈显著负相关;微生物商与pH呈极显著正相关。

关键词 土地利用类型;土壤有机碳;微生物生物量碳;微生物生物量氮

中图分类号 S154.3, S155.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)10-2473-06

Effects of land use change on soil organic carbon and microbial biomass carbon and nitrogen in Naban River watershed, Yunnan Province of Southwest China. GUO Fang-fang, LI Yong-mei, LI Zhao-li^{**}, WANG Zi-lin (College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(10): 2473–2478.

Abstract: The land use change in tropical forest area, as compared to that in other areas, is more vital to global carbon cycle. Taking the Naban River watershed in Xishuangbanna of Yunnan as study area, and by the methods of field survey and laboratory analysis, this paper studied the effects of the land use change from natural forest to dry farmland, paddy field, rubber plantation, or tea garden on the soil organic carbon (SOC) and soil microbial biomass carbon (SMNC) and nitrogen (SMBN). The results showed that after the natural forest changed into other land use types, the SOC, SMBC, and SMBN decreased significantly, with the greatest decrements of SOC and SMBC in paddy field. The SOC, SMBC, and SMBN were significantly higher in latosolic red soils than in latosols. The SOC was significantly positively correlated with SMBC, SMBN, and soil moisture, and significantly negatively correlated with soil bulk density and soil pH. The SMBN was significantly positively correlated with SOC and SMBC, and significantly negatively correlated with soil bulk density. The ratio of SMBC to SOC was significantly positively correlated with soil pH.

Key words: land use type; soil organic carbon; microbial biomass carbon; microbial biomass nitrogen.

在减少温室气体排放进入国际政策议程的背景下,土地利用变化对土壤碳库的影响引起广泛关注(Guo & Gifford, 2002; Lapola *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2011)。一项 meta 分析结果显示,土地利用变化对

土壤碳库的影响分别为:牧场转变为种植园减少10%,自然林转变为种植园减少13%,自然林转变为作物减少42%,牧场转变为作物减少59%;自然林转变为牧场增加8%,作物转变为牧场增加19%,作物转变为种植园增加18%,作物转变为次生林增加53%(Guo & Gifford, 2002)。大量研究表明,发生在热带森林的土地利用变化对碳循环的影响尤其显

^{*} 科技部国际合作项目(2007DFA91660)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: lizhaoli527@163.com

收稿日期: 2012-03-06 接受日期: 2012-05-17

著。Pan 等(2011)估计,1990—2007 年热带土地利用变化产生了 $1.3 \pm 0.7 \text{ Pg} \cdot \text{a}^{-1}$ 碳净释放,而同时期全球森林总的碳汇为 $2.4 \pm 0.4 \text{ Pg} \cdot \text{a}^{-1}$ 。巴西计划大规模发展生物燃料,这将直接和间接蚕食亚马逊森林,模拟结果显示,至 2020 年生物燃料作物扩张产生的碳债务通过生物燃料替代化石燃料的方法偿还还需要 250 a(Lapola *et al.*, 2010)。据 Houghton 等采用“簿记”模型(Bookkeeping Model)的估算,自 1850 年以来释放到大气中总碳量的 75% 是由森林转化为永久耕地产生的,且约 60% 来自热带(Houghton & Hackler, 1999; Houghton, 2003)。

位于我国西南的云南省西双版纳傣族自治州拥有我国最大面积的热带雨林。近半个世纪,西双版纳地区的土地利用类型发生了很大变化,热带雨林遭到严重破坏。研究显示,1976—2007 年西双版纳地区有林地面积不断减少,由 1976 年的 69.0% 下降到 2007 年的 43.6%;而橡胶园、灌木林面积不断扩大并聚集成片,其中橡胶园面积由 1976 年的 1.3% 增加到 2007 年的 11.8%,其面积扩张主要来源于对热带季节雨林的砍伐(李红梅等, 2007; 李增加等, 2008)。1976—1988 年轮歇地面积在所有地类中增长最快、最多,此后由于向橡胶园转变而逐渐减小。粗放式的刀耕火种和橡胶种植园的不断扩大是主导本区土地利用/土地覆被变化的主要因素(李红梅等, 2007)。如此规模的土地利用变化必然对当地土壤碳库产生深远影响。

杨景成等(2004)选取位于西双版纳关累的相邻的次生林、耕种 6 年的稻田和定植 3 年的橡胶园样地,对其 0~5 cm 和 5~20 cm 表层土壤有机质含量进行分析。结果表明,次生林转变为稻田之后, 0~5 cm 和 5~20 cm 表层土壤有机质含量分别降低 33.6% 和 23.7%;而次生林转变为橡胶园,分别降低 28.6% 和 27.6%。在华南热带季雨林遭到完全破坏后的光裸地上进行人工植被重建,几种 30 多年林龄的热带人工混交林土壤的有机碳积累($>16.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)比光裸地($2.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)有了大幅提高,但仍只有次生林($21.73 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)的 76%(顾伟等, 2007)。Cheng 等(2007)研究发现,海南发育于花岗岩的土壤种植橡胶 30 年后有机质下降了 48.2%(约从 2.78% 下降到 1.44%)。

然而,上述研究对象多偏重于人工林,所涉及的农业土壤其耕作年限和类型很有限,不能真实全面反映森林破坏后的利用状况及其土壤碳库的变化。

本文以西双版纳纳板河流域国家级自然保护区为对象,以自然林为对照,研究了橡胶林、茶园、水稻田、旱地 4 种典型的土地利用类型对土壤有机碳(SOC)及土壤微生物生物量的影响,以期为探明雨林转变为其他土地利用类型后土壤碳库的演变趋势及保护区土地利用决策的制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

纳板河流域国家级自然保护区($22^{\circ}04'N$ — $22^{\circ}17'N$, $100^{\circ}32'E$ — $100^{\circ}44'E$)位于西双版纳傣族自治州景洪市与勐海县接壤处,距景洪市 25 km,总面积 26.6 km^2 ,是我国第一个按小流域生物圈保护理念规划建设的多功能、综合型自然保护区,主要保护对象为以热带雨林为主体的森林生态系统及珍稀野生动植物。保护区地势呈西北高东南低,海拔 539~2304 m。地貌类型以中低山与河谷相间为主,沟谷深切,垂直高差较大。年降雨量为 1100~1600 mm,雨量充沛而集中,5—10 月为雨季,11 月—次年 4 月为干季,年平均气温 $18 \sim 22^{\circ}\text{C}$,总体气候类型属北热带南亚热带半湿润气候。整个保护区分为核心区(3.9 km^2)、缓冲区(5.8 km^2)和生产示范区(16.9 km^2),其中核心区为禁入区(纳版河流域国家级自然保护区管理局, 2009)。

1.2 样品采集

2010 年 11 月在纳板河流域国家自然保护区内采集了当地分布面积最大的 5 种土地利用类型(自然林、旱地、水稻田、橡胶林、茶园)的表层 0~20 cm 混合土壤样品共 24 个。采样点根据土壤类型和海拔的不同分为两个序列:序列一为海拔 650~1000 m 的砖红壤区,选择了位置相邻的自然林、橡胶林、水稻田和旱地 4 种土地利用类型。序列二为海拔 1700 m 左右的赤红壤区,选择了位置相邻的自然林、茶园、水稻田和旱地 4 种土地利用类型。同一序列每种土地利用类型均设置 3 个重复,即每种土地利用类型上采集 3 个混合土壤样品。所选橡胶林、水稻田、旱地、茶园均为在当地自然林上发展起来的,其中橡胶和茶树的林龄均为 30 年,水稻田利用年限约在 50 年以上,旱地利用年限约在 30 年以上。

每个样点采用 GPS 定位,样品采集按 S 形路线进行,一个混合样品由均匀一致的许多点组成。混合后用四分法去除多余的部分,保留 1 kg 左右,去除可见的未分解和半分解动、植物残体和较大的石

表 1 供试土壤基本理化性状
Table 1 Basic properties of soil sample

土壤类型	土地利用类型	含水量 (%)	土壤容重 (g·cm ³)	pH
砖红壤	自然林	26.34±1.45 ab	1.02±0.02 b	5.68±0.24 a
	旱地	29.14±2.30 a	0.98±0.12 b	5.35±0.03 b
	水稻田	23.90±1.82 b	1.27±0.19 a	5.25±0.08 b
	橡胶林	28.03±2.20 a	1.40±0.18 a	5.31±0.04 b
赤红壤	自然林	33.30±0.22 c	0.99±0.09 b	4.56±0.01 b
	旱地	44.55±1.22 a	0.91±0.10 b	4.58±0.10 b
	水稻田	36.84±1.59 b	1.19±0.06 a	5.19±0.08 a
	茶园	24.39±3.20 d	1.23±0.08 a	4.50±0.04 b

砾,然后用四分法分成两份,一份装在自封袋内,放入带有冰块的冷藏箱内,带回实验室放在 4℃冰箱内保存,以测定土壤微生物生物量碳(SMBC)、氮(SMBN);另一份拿回实验室风干,过 0.25 和 1 mm 筛,作土壤基本理化性质的测定(表 1)。

1.3 实验方法

土壤微生物生物量碳、氮的测定采用氯仿熏蒸-K₂SO₄ 提取法(李振高等,2008),采用容量法测定浸提液的微生物生物量碳,微生物生物量氮的测定采用凯氏定氮法。土壤容重采用环刀法;SOC 采用重铬酸钾-外加热法;pH 测定采用电位法,水土比为 2.5:1(鲍士旦,2000)。

1.4 数据处理

所有数据均采用 Excel 和 SPSS 17.0 软件进行分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较不同数据组间的差异,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 α=0.05。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型对土壤有机碳的影响

SOC 含量的大小主要取决于 SOC 的输入、输出

以及土壤的性质和变化(张于光等,2006)。在不同的土地利用类型下,由于地表的植被和土地所受的干扰程度不同,导致 SOC 的含量发生变化。如表 2 所示,在不同的土地利用类型下,SOC 含量差异显著。在砖红壤区 SOC 含量为自然林>旱地>橡胶林,水稻田和橡胶林之间没有显著性差异,其他各土地利用类型间都有显著性差异。与自然林相比,旱地、橡胶林、水稻田的 SOC 分别降低了 39.1%、52.5% 和 60.8%。赤红壤区 SOC 含量为自然林>旱地>茶园>水稻田,各土地利用类型 SOC 间均有显著差异。与自然林相比,旱地、茶园、水稻田的 SOC 分别降低了 8.2%、29.9% 和 39.0%。两种土壤比较,赤红壤区所有土地利用类型的 SOC 含量均显著高于砖红壤区,赤红壤区 SOC 平均是砖红壤区的 2.26 倍。赤红壤区自然林转变为旱地后 SOC 的变化不如砖红壤区剧烈。

2.2 土地利用类型对土壤微生物生物量碳的影响

表 2 显示,在不同土地利用类型下,SMBC 含量差异显著,砖红壤区总体表现为:自然林>橡胶林>旱地,各土地利用类型间均有显著差异。橡胶林、旱地和水稻田的 SMBC 分别比自然林降低了 42.0%、45.1% 和 88.4%。赤红壤区表现为:自然林>茶园>旱地>水稻田,旱地和水稻田间没有显著差异,其他二者间均有显著差异。茶园、旱地和水稻田的 SMBC 分别比自然林降低了 69.8%、73.4% 和 73.7%。这表明土地利用类型对土壤微生物生物量碳含量有显著的影响。

2.3 土地利用类型对土壤微生物生物量氮的影响

不同土地利用类型下 SMBN 含量不同(表 2),砖红壤区表现为自然林>旱地>橡胶林,水稻田和橡胶林之间没有显著性差异,其他各土地利用类型间都存在显著性差异。旱地、水稻田和橡胶林 SMBN

表 2 不同土地利用类型下土壤有机碳、微生物生物量碳、微生物生物量氮含量
Table 2 Contents of SOC, SMBC and SMBN on different land-use types

土壤类型	土地利用类型	SOC(g·kg ⁻¹)	SMBC(mg·kg ⁻¹)	SMBN(mg·kg ⁻¹)	微生物商(%)
砖红壤	自然林	32.12±0.92 a	824.8±6.96 a	41.63±0.45 a	2.57±0.06 ab
	旱地	19.57±2.34 b	452.9±6.94 c	17.36±2.52 b	2.34±0.26 b
	水稻田	12.59±0.84 c	95.56±9.12 d	9.75±0.29 c	0.76±0.03 c
	橡胶林	15.27±2.83 c	479.2±5.61 b	7.18±1.10 c	3.22±0.64 a
赤红壤	自然林	55.63±1.74 a	1054±76.02 a	84.28±1.39 a	1.90±0.20 a
	旱地	51.08±0.08 b	280.6±8.70 c	25.95±0.38 b	0.55±0.02 c
	水稻田	33.94±2.34 d	276.9±10.61 c	23.61±2.89 bc	0.82±0.04 b
	茶园	39.00±0.27 c	318.0±12.17 b	21.48±0.81 c	0.82±0.02 b

同列不同小写字母表示差异显著。

表 3 土壤微生物量碳、氮与土壤理化性质的相关性
Table 3 Pearson's correlations between SMBC, SMBN and soil properties

项目	SOC	SMBC	SMBN	微生物商	土壤容重	pH	含水量
SOC	1	0.449 *	0.741 **	-0.357	-0.568 **	-0.712 **	0.599 **
SMBC		1	0.845 **	0.568	-0.380	0.008	-0.019
SMBN			1	0.083	-0.487 *	-0.343	0.210
微生物商				1	0.115	0.536 **	-0.318

** 极显著相关($P<0.01$); * 显著相关($P<0.05$)。

分别比自然林降低了 58.3%、76.6% 和 82.7%。赤红壤区表现为:自然林>旱地>水稻田>茶园,自然林显著高于其他土地利用类型,旱地和茶园之间有显著性差异。旱地、水稻田和茶园 SMBN 分别比自然林降低了 69.2%、72.0%、74.5%。赤红壤 SMBN 平均含量是砖红壤的 2.05 倍。

2.4 土地利用类型对土壤微生物商的影响

土壤微生物商是 SMBC 与 SOC 的比值,其变化反映了土壤中输入的有机质向微生物量碳转化的效率、土壤碳损失以及土壤矿物对有机质的固定等(张金波和宋长春,2003)。土壤微生物商因土地利用类型的不同而不同。如表 2 所示,纳板河流域不同土地利用类型下土壤微生物商的分布范围在 0.55%~3.22%。在砖红壤区,微生物商在不同的土地利用类型上差异显著,表现为橡胶林>自然林>旱地>水稻田。在赤红壤区,旱地、水稻田和茶园土壤微生物商显著低于自然林,分别比自然林低 71.1%、57.0% 和 57.0%。

2.5 土壤有机碳、微生物量碳、微生物量氮与土壤理化性质之间的相关性

由表 3 可以看出,SOC 和 SMBC、SMBN、土壤含水量呈显著或极显著正相关,与土壤容重、pH 呈极显著负相关。SMBN 与 SOC、SMBC 呈极显著正相关,与土壤容重呈显著负相关。微生物商与 pH 呈极显著正相关;与含水量呈负相关,但没有达到显著水平。

3 讨 论

不同土地利用类型通过改变植被类型以及人为干扰程度的不同而影响土壤有机质的数量和质量以及微生物活动的环境因素,造成土壤有机质转化和土壤微生物活动的差异(赵先丽等,2010)。多数研究表明,在相似的环境或土壤条件下,土地利用方式的不同对土壤微生物生物量碳有相当大的影响(Kara & Bolat,2008;Patel *et al.*,2010)。本研究结果表明,自然林转变为其他土地利用类型后土壤有

机碳、土壤微生物生物量碳、氮都明显下降,不同土地利用类型间差异明显。

多数研究表明,土地利用方式的变化会导致土壤有机质发生变化(戴慧等,2007;袁海伟等,2007;宇万太等,2008)。本研究中,土壤有机碳在不同的土地利用类型下差异显著,自然林的土壤有机碳含量显著高于其他土地利用方式,这与姜勇等(2005)对辽河平原潮棕壤的研究结果一致,主要是因为自然林的生物多样性较高,植被的覆盖度好,每年有大量的枯枝落叶回归土壤且人为干扰程度较小,有利于土壤有机碳的形成。李新爱等(2006)对亚热带喀斯特地区的研究表明,土壤有机碳含量在稻田和林地中基本相同,而旱地显著低于稻田和林地。本研究显示,在两种土壤上水稻田土壤有机碳均低于旱地,这与邵继承等(2011)对我国 30 年来发表的相关论文进行的统计分析研究结果正好相反。这可能是因为本地区的旱地历史上均采用轮歇模式,只是在最近几十年由于人口急剧增多,其轮歇周期不断缩短,直至取消轮歇。轮歇模式导致每隔一定时间(轮歇周期)就有大量生物质碳进入土壤。而中国其他区域的旱地耕种时间长的可能已上千年。该研究用到的 1441 个样本中,来自西南的仅 97 个,而采用轮歇模式的旱地则更少。因此,本地区旱地土壤的有机质要比水稻田高很多。此外,当地的旱地大多数耕作年限较短,这也是导致其土壤有机碳含量较高的一个原因。橡胶林和茶园的土壤有机碳含量介于旱地和水稻田之间,这主要是因为橡胶林和茶园是多年生植物,每年有一定的新鲜有机质归还土壤,但是归还量远小于自然林,且其种植年限较长,人为的干扰导致有机质分解的加速,导致此结果。

土地利用变化在一定程度上也会引起土壤微生物生物量的波动(Bardgett *et al.*,1997;Degens *et al.*,2000;Islam & Weil,2000)。有研究表明,自然林转化为其他土地利用类型后,土壤微生物生物量碳、氮的含量显著下降(俞益武和徐秋芳,2003;

Sharma *et al.*, 2004)。本研究中,不同土地利用类型下土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮均表现为自然林显著高于其他土地利用类型。这一方面是因为自然林每年有大量的凋落物归还土壤,土壤有机质丰富,为微生物提供了丰富的碳源,同时也保持了表层土壤水分含量,更有利于土壤微生物的生长(王小利等,2006)。另一方面,自然林表层土受人为扰动的程度较小,土壤结构适宜,这为微生物的生长提供了很好的生长环境,良好的土壤结构显著提高了土壤微生物的活性,致使自然林具有较高的土壤微生物生物量含量。而旱地、水稻田、橡胶林和茶园经过不断翻耕、施肥等剧烈改变了土壤的理化性状,导致了土壤微生物区系的改变和微生物活性的下降,必然导致土壤微生物生物量降低(彭佩钦等,2006)。橡胶林和茶园的土壤微生物生物量碳含量低于自然林却高于旱地和水稻田可能是因为橡胶林和茶园都属于多年生植物,每年仍有一定量的掉落物归还土壤,但归还的量小于自然林,同时割胶、采茶等活动会对土壤造成了一定的干扰,所以橡胶林和茶园的土壤微生物生物量碳、氮的含量低于自然林。本研究表明,在砖红壤上旱地的土壤微生物生物量碳、氮显著高于水稻田,这与彭佩钦等(2006)对洞庭湖区的研究和王小利等(2006)对亚热带红壤低山区的研究结果相反,这主要是本研究区域旱地的土壤有机碳显著高于水稻田的原因。

土壤微生物商是土壤微生物生物量碳与土壤有机碳的比值,它能够准确地反映土壤有机碳的动态变化(周丽霞和丁明懋,2007)。如果土地被过度利用,土壤微生物碳库将会以较快的速率下降,最终造成土壤有机质含量和微生物商的下降(王晓龙等,2006)。本研究表明,赤红壤区自然林的土壤微生物商显著高于茶园、旱地和水稻田,与徐华勤等(2009)研究结果一致。这说明自然林具有较高的微生物生物量维持能力,可能是林地积累了土壤有机碳的同时更有利于微生物生物量的提高(Kong *et al.*, 2006)。砖红壤区橡胶林微生物商较高,这可能是由于割胶等人为活动导致橡胶林土壤容重增加,土壤板结,结构变差,土壤有机质贫乏,有机碳含量太低造成了微生物商较高。

相关性分析表明,土壤微生物量碳、氮与土壤有机碳呈显著正相关,与土壤容重显著负相关,说明土壤微生物生物量碳、氮可以作为评价土壤质量的指标之一。土壤水分是影响土壤微生物生存和活性的

主要因素之一,土壤微生物生物量会随着水分的干湿交替而改变。张洁等(2007)在坡耕地进行的相关研究指出,土壤水分含量对土壤微生物生物量氮影响较大。土壤水分含量与土壤微生物生物量密切相关,土壤微生物生物量在一定范围内会随着含水量的增加而增加,水分过高或过低都会影响微生物的活性,可见在土壤水分超过一定范围时才成为土壤微生物生物量的限制因子(高云超等,1994)。在本研究中,土壤微生物生物量碳、氮与含水量没有显著相关性,这主要是因为采样时土壤的水分含量处在适宜土壤微生物生存的范围之内,并没有成为土壤微生物的限制因子。土壤微生物生物量碳、氮与土壤pH值相关性不大,可能与土壤样品pH值多在4.51~5.68呈酸性有关,说明尽管土壤酸碱状况能够影响微生物适宜的生活环境,但在一定的酸性范围内,pH值并不一定是微生物活动的决定性因子,其他土壤生态指标可能成为土壤微生物生长的限制性因子(杨成德等,2007)。

致谢 纳版河流域国家级自然保护区管理局协助采样及提供数据,试验中吴秀坤、杨丽提供帮助,诚挚感谢!

参考文献

- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析(第3版). 北京:中国农业出版社.
- 戴慧,王希华,阎恩荣. 2007. 浙江天童土地利用方式对土壤有机碳矿化的影响. 生态学杂志, **26**(7): 1021-1026.
- 高云超,朱文珊,陈文新. 1994. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究. 中国农业科学, **27**(6): 41-49.
- 顾伟,李志安,邹碧,等. 2007. 华南热带人工林土壤有机碳含量及其稳定性特征. 热带亚热带植物学报, **15**(5): 369-376.
- 姜勇,张玉革,梁文举,等. 2005. 潮棕壤不同利用方式有机碳剖面分布及碳储量. 中国农业科学, **38**(3): 544-550.
- 李增加,马友鑫,李红梅,等. 2008. 西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系. 植物生态学报, **32**(5): 1091-1103.
- 李红梅,马友鑫,郭宗峰,等. 2007. 基于RS和GIS的西双版纳土地覆被动态变化. 山地学报, **25**(3): 280-289.
- 李振高,骆永明,腾应. 2008. 土壤与环境微生物研究法. 北京:科学出版社.
- 李新爱,肖和艾,吴金水,等. 2006. 喀斯特地区不同土地利用方式对土壤有机碳、全氮以及微生物生物量碳和氮的影响. 应用生态学报, **17**(10): 1827-1831.
- 纳版河流域国家级自然保护区管理局. 纳版河流域国家级自然保护区简介[EB/OL]. (2009-05-11)[2010-08-18]. <http://www.nbh.gov.cn/>.
- 彭佩钦,吴金水,黄道友,等. 2006. 洞庭湖区不同土地利

- 用方式对土壤微生物量碳氮磷的影响. 生态学报, **26**(7): 2261–2267.
- 邵继承, 闫明, 程琨, 等. 2011. 中国农田表土有机碳含量变化探讨——基于中文期刊网论文资料的统计分析. 农业环境科学学报, **30**(9): 1816–1821.
- 王小利, 苏以荣, 黄道友, 等. 2006. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响. 中国农业科学, **39**(4): 750–757.
- 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 等. 2006. 红壤小流域不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响. 农业环境科学学报, **25**(1): 143–147.
- 徐华勤, 章家恩, 冯丽芳, 等. 2009. 广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响. 生态学报, **29**(8): 4112–4118.
- 杨景成, 黄建辉, 潘庆民, 等. 2004. 西双版纳不同热带生态系统土壤有机质的光谱学特性. 植物生态学报, **24**(5): 623–629.
- 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 等. 2007. 东祁连山高寒草甸土壤微生物量及其与土壤物理因子相关性特征. 草业学报, **16**(4): 62–68.
- 俞益武, 徐秋芳. 2003. 天然林改为经济林后土壤微生物量的变化. 水土保持学报, (5): 103–105, 115.
- 宇万太, 姜子绍, 周桦, 等. 2008. 不同土地利用方式对潮棕壤微生物量碳及其周转率的影响. 生态学杂志, **27**(8): 1302–1306.
- 袁海伟, 苏以荣, 郑华, 等. 2007. 喀斯特峰丛洼地不同土地利用类型土壤有机碳和氮素分布特征. 生态学杂志, **26**(10): 1579–1584.
- 张于光, 张小全, 肖烨. 2006. 米亚罗林区土地利用变化对土壤有机碳和微生物量碳的影响. 应用生态学报, **17**(11): 2029–2033.
- 张金波, 宋长春. 2003. 土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标. 生态环境, **12**(4): 500–504.
- 张洁, 姚宇卿, 金轲, 等. 2007. 保护性耕作对坡耕地土壤微生物量碳、氮的影响. 水土保持学报, **21**(4): 126–129.
- 赵先丽, 吕国红, 于文颖, 等. 2010. 辽宁省不同土地利用对土壤微生物量碳氮的影响. 农业环境科学学报, **29**(10): 1966–1970.
- 周丽霞, 丁明懋. 2007. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用. 生物多样性, **15**(2): 162–171.
- Bardgett RD, Leemans DK, Cook R, *et al.* 1997. Seasonality of the soil biota of grazed and ungrazed hill grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, **29**: 1285–1294.
- Cheng CM, Wang RS, Jiang JS. 2007. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Hevea brasiliensis* in Hainan Island, China. *Journal of Environmental Sciences*, **19**: 348–352.
- Degens BP, Schipper LA, Spading GP, *et al.* 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**: 189–196.
- Guo LB, Gifford RM. 2002. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology*, **8**: 345–360.
- Houghton RA, Hackler JL. 1999. Emissions of carbon from forestry and land-use change in tropical Asia. *Global Change Biology*, **5**: 481–492.
- Houghton RA. 2003. USA Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus*, **55B**: 378–390.
- Islam KR, Weil RR. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **79**: 9–16.
- Kara O, Bolat I. 2008. The effect of different land uses on soil microbial biomass carbon and nitrogen in Bartın province. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **32**: 281–288.
- Kong XB, hang FR, Wei Q, *et al.* 2006. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. *Soil and Tillage Research*, **88**: 85–94.
- Lapola DM, Schaldach RA, Joseph B, *et al.* 2010. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **107**: 3388–3393.
- Pan YD, Birdsey RA, Fang JY, *et al.* 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, **333**: 988–993.
- Patel K, Nirmal KJ, Kumar NR, *et al.* 2010. Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest. *Applied Ecology and Environmental Research*, **8**: 377–390.
- Sharma P, Rai SC, Sharma R, *et al.* 2004. Effects of land-use change on soil microbial C, N and P in Himalayan watershed. *Pedobiologia*, **48**: 83–92.

作者简介 郭芳芳,女,1987年生,硕士。主要从事施肥与环境质量研究。E-mail: guoyongyang123@yahoo.com.cn
责任编辑 魏中青
