

广东省不同土地利用方式对土壤微生物量碳氮的影响

徐华勤^{1,2}, 章家恩^{1,*}, 冯丽芳¹, 全国明¹, 毛丹娟¹, 秦 钟¹

(1. 华南农业大学农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642; 2. 湖南农业大学农业生态研究所, 长沙 410128)

摘要:通过野外调查与室内分析,研究了广东省韶关红壤、广州赤红壤、雷州砖红壤 3 个地区 4 种不同土地利用方式(林地、果园、草地和农田)表层土壤(0~20cm)微生物量 C、N 特征。研究结果表明:不同土壤类型和不同土地利用方式对土壤微生物量 C、N 均有一定影响,其中土地利用方式影响更为明显。不同土地利用方式下土壤微生物量 C、N 差异显著,均表现为果园和林地高于农田和草地。土壤有机 C、全 N 同样以果园较高。而对微生物商分析结果表明,不同的土地利用方式对土壤有机 C 总量和微生物量 C 的影响程度并不一致。相关分析表明,土壤微生物量 C、N 与全 N、有机 C、速效 N 显著正相关;土壤微生物量 C、N 之间显著相关,证实土壤微生物量 C、N 是可以表征土壤肥力的敏感因子。

关键词:土壤微生物量碳;土壤微生物量碳氮;土壤类型;土地利用方式

文章编号:1000-0933(2009)08-4112-07 中图分类号:S606; S154.3 文献标识码:A

Effects of different land use patterns on microbial biomass carbon and nitrogen in Guangdong Province

XU Hua-Qin^{1,2}, ZHANG Jia-En^{1,*}, FENG Li-Fang¹, QUAN Guo-Ming¹, MAO Dan-Juan¹, QIN Zhong¹

1 Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture of China, Guangdong Guangzhou 510642, China

2 Institute of Agricultural Ecology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4112 ~ 4118.

Abstract: Soil microorganism plays an important role in material cycling and energy transformation in an ecosystem. Due to its sensitivity to environmental changes, soil microorganism is considered to be one of the key indicators to reflect the variation of soil quality. In this paper, field investigations and lab experiments were carried out to study characteristics of microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) in surface soil (0–20 cm). Three soil types (including latosolic red soil from Shaoguan, red soil from Guangzhou, and latosol from Leizhou) of Guangdong Province and four land use patterns (including grassland, forest, farmland and orchard) were included in this study. Results showed that there were significant differences between MBC and MBN both respond to different land use patterns and different soil types and such differences were more significant for land use patterns. The MBC and MBN were much higher in the forestland and orchard than those in the farmland and grassland. Results further revealed that total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) were also higher in the orchard than those in the other three land use pattern. However, compared to land use patterns, soil types had much less impacts on the MBC and MBN. Analysis of microbial quotient showed that land use patterns had different impacts on TOC and MBC. A correlation analysis showed that soil MBC, MBN, TN, TOC, and available N were all significant and positive correlated. The significantly and positively correlation between MBC and MBN suggested that The contents of MBC and MBN significantly correlated to those of SOC and TN, this suggested the contents of soil MBC and MBN were the sensitive indicators for characterizing of changes of soil fertility.

基金项目:国家重大基础研究发展计划(973 项目)资助项目(2006CB100206);国家自然科学基金资助项目(40871118);广东省科技计划资助项目(2006B20601004);广东省自然科学基金资助项目(8151064201000048);中国博士后科学基金资助项目(20080440761)

收稿日期:2009-04-01; 修订日期:2009-06-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jeanzh@scau.edu.cn

Key Words: Microbial biomass carbon; microbial biomass nitrogen; soil type; land use pattern

土地利用是人类干预土壤质量最重要、最直接的活动。它通过不同物质的时空配置和循环,干扰和调整土壤生物化学循环过程,改变原有土壤的营养循环强度、总量和路径以及土壤生物的代谢活动,从而使土壤供应作物的营养水平发生变化,并且导致土壤生物学质量的改变^[1]。不同利用方式对土壤生物学性状的影响也逐渐引起大家重视^[1,2]。其中土壤微生物量能反映参与调控土壤中能量和养分循环以及有机物质转化的对应微生物数量,被认为是土壤活性养分的储库,是植物生长可利用养分的重要来源,研究不同土地利用方式下土壤微生物特征的差异对于提高土壤肥力,合理和可持续地利用土壤资源具有重要意义^[5,6]。

广东省地处华南地区,是我国重要的农业生产基地,丰富的水热资源为农业生产提供了良好的自然条件,而不合理的农业利用方式导致的土壤质量退化,对该地区农业可持续发展产生了严重影响^[7,8]。华南地区红壤的退化及其持续利用研究已引起重视^[9,11],但目前关于该区不同土地利用方式对土壤微生物生物量碳、氮的变化研究还鲜见报道。因此,本研究选取广东省典型地带性土壤:砖红壤、赤红壤、红壤为代表,通过采样分析和野外调查,研究 3 种典型土壤类型在 4 种不同土地利用方式下土壤微生物生物量碳、氮的变化及其与土壤养分相互关系,以期正确评价广东省典型土壤类型中不同利用方式条件下土壤的肥力状况,进而为该地区农业土地合理利用提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

广东省地处北纬 20°13′~25°31′和东经 109°39′~117°19′之间,红壤、赤红壤、砖红壤为该区内主要地带性土壤。该区属南亚热带海洋性季风气候,具有高温多雨、干湿季节明显的气候特点,年平均气温 21~22℃,最冷月均温 13~14℃,最热月均温 28~29℃,≥10℃积温 6000~8000℃;年平均降雨量 1600~2000mm,4~9 月份是雨季,雨量占全年的 80%以上,10 月~翌年 3 月份是旱季。日照充足,各地平均每年都在 1800h 以上,年太阳辐射量为 4300~5500MJ/m²。

1.2 采样及测定方法

根据广东省土壤类型的空间分布特征,分别在粤北韶关地区、粤中广州地区、粤西雷州地区选定红壤、赤红壤、砖红壤区域,按照广东省的 4 种主要不同土地利用方式,即林地、农田、草地、果园取样。林地为当地自然林地,果园为连续种植 5a 以上当地有代表性的木质水果园(荔枝园),农田为水旱轮作时旱田,草地为撂荒多年的自然草地。取样时间为 2008 年 7 月,在每个采样区内设置 3 个重复样地,在每个样地分别采用 5 点法取 0~20cm 土样。混合均匀后,四分法取适量土样。现场调查每个土样点(地块)的基本情况,包括种植方式、耕作制度、灌溉情况、近 5a 来的投入产出水平以及施肥的具体情况。

土样采集后除去动植物残体和碎石,用聚乙烯封口袋密封并采用低温储运,运回实验室立即放入 4℃冰箱中保存。用于测定土壤微生物量 C、N、P 的样品,过孔径 2 mm 筛,混匀并保持至土壤含水量大约相当于 40% 的土壤饱和持水量。在 25℃、100% 空气湿度条件下预培养 10d。用于测定基本理化性质的样品在室温下风干,碾磨并过孔径 100 目筛。微生物量碳、氮测定采用氯仿熏蒸 0.5mol·L⁻¹K₂SO₄提取法,分别用重铬酸钾氧化法和开氏定氮法测定提取液中的碳、氮^[12]。土壤理化性质采用常规分析方法^[13]。

1.3 数据处理

数据经 Excel-2003 整理后,采用 SPSS13.0 (Statistical Product and Service Solutions, SPSS) 进行统计分析,处理间的差异显著性采用单因素方差分析 (ONE-WAY ANOVA) 检验,并用 Duncan 法进行两两之间的多重比较;变量间的相关关系采用 Pearson 相关统计方法进行分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物量碳

如图 1 所示,在不同土地利用方式下,土壤微生物量碳含量不同,四者差异显著($p < 0.05$)。广州赤红壤

地区,果园土壤微生物量碳最高,依次为:果园>林地>农田>草地,果园分别比林地、农田、草地增加了12.97%、77.67%、130.56%。韶关红壤地区以林地土壤微生物量碳含量最高,分别比果园、农田、草地高出10.22%、63.52%、70.79%。雷州砖红壤地区同样以林地土壤微生物量碳含量最高,比果园、农田、草地分别高出35.68%、68.55%、147.72%。

而不同土壤类型下土壤微生物量碳也不同,差异显著($p < 0.05$)。林地土壤微生物量碳在 $251.73 \sim 345.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,以赤红壤林地最低,红壤和砖红壤接近,二者分别比赤红壤林地高37.45%和30.27%。果园土壤微生物量碳在 $241.98 \sim 313.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,基本呈现红壤>赤红壤>砖红壤的趋势。农田土壤微生物量碳在 $159.79 \sim 211.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,以赤红壤农田为最低,红壤和砖红壤二者分别较之高约32.07%和28.47%。草地土壤微生物量碳在 $123.13 \sim 202.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,砖红壤与赤红壤接近,分别较红壤低53.03%和64.22%。总体上来看,土壤微生物量碳以广州地区赤红壤较低。

2.2 土壤微生物量氮

如图2所示,不同土地利用方式下,土壤微生物量氮含量差异显著($p < 0.05$)。广州赤红壤地区土壤微生物量氮主要分布在 $12.15 \sim 32.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,依次为果园>林地>农田>草地,果园分别比林地、农田、草地高14.46%、75.67%、168.59%。韶关红壤地区土壤微生物量氮主要分布在 $19.13 \sim 30.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,依次为林地>果园>农田>草地,林地分别比果园、农田、草地高约22.67%、32.89%、58.63%。雷州砖红壤地区土壤微生物量氮主要分布在 $20.39 \sim 36.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,依次为林地>果园>草地>农田,林地分别比果园、草地、农田高约24.27%、45.91%、78.32%。总的看来,4种利用方式下土壤微生物量氮与微生物量碳变化趋势类似。

不同土壤类型间土壤微生物量氮变化没有显著性差异($p > 0.05$)。果园土壤微生物量氮呈现赤红壤($32.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>砖红壤($29.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>红壤($24.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的趋势;林地依次为砖红壤($36.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>红壤($30.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>赤红壤($28.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的趋势;农田土壤微生物量氮含量3个地区比较接近(红壤 $22.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、砖红壤 $20.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、赤红壤 $18.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);草地土壤微生物量氮依次表现为砖红壤($24.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>红壤($19.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)>赤红壤($12.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的趋势。

2.3 土壤有机碳和全氮

如图3所示,总体来看,研究区土壤有机碳变幅在 $9.49 \sim 16.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,对照全国第二次土壤普查有机质分级标准^[15],本样区内有机碳含量仅为3~4级中或偏低水平,其中农田、果园和林地均为3级水平,草地为4级偏高水平。

不同土地利用方式下,对于土壤有机碳含量而言,赤红壤地区以果园最高,农田与林地接近,草地最低。果园分别较林地、农田、草地高17.72%、27.25%、62.38%。红壤地区四种利用方式下土壤有机碳比较接近,在 $12.89 \sim 14.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,土壤全N含量在 $1.07 \sim 1.67 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,果园略高于农田、林地、草地。而砖

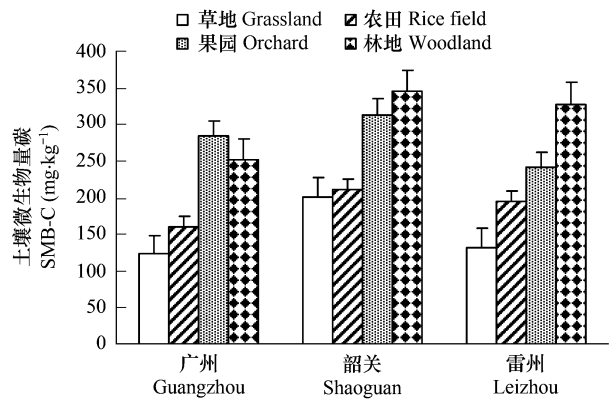


图1 不同土壤类型和土地利用方式对土壤微生物量碳的影响

Fig. 1 Effects of different soil types and land use patterns on content of SMB-C

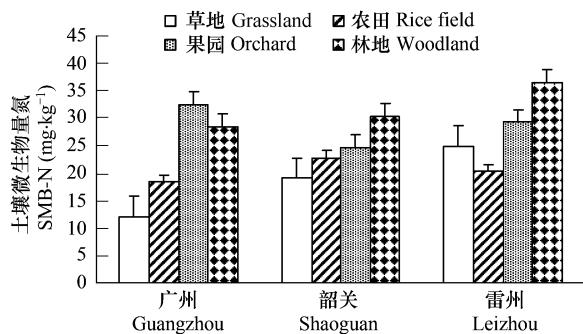


图2 不同土壤类型和土地利用方式对土壤微生物量氮的影响

Fig. 2 Effects of different soil types and land use patterns on content of SMB-N

红壤有机碳以果园土壤最高,分别较农田、林地、草地高出 17.18%、22.54%、56.34%。全 N 砖红壤地区果园最高,与农田接近,林地次之,三者全 N 含量远高于草地,且差异显著。总的看来四种利用方式下果园有机碳和全 N 含量均较高(图 3、图 4)。

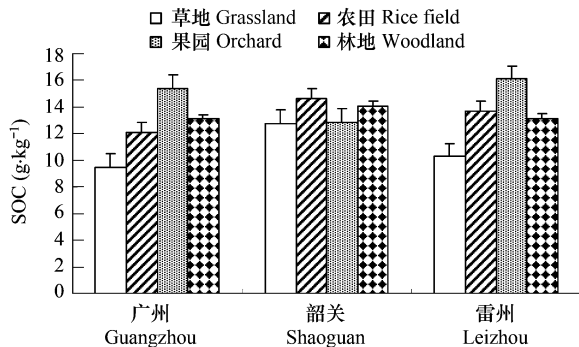


图 3 不同土壤类型和土地利用方式对土壤有机碳的影响

Fig.3 Effects of different soil types and land use patterns on content of SOC

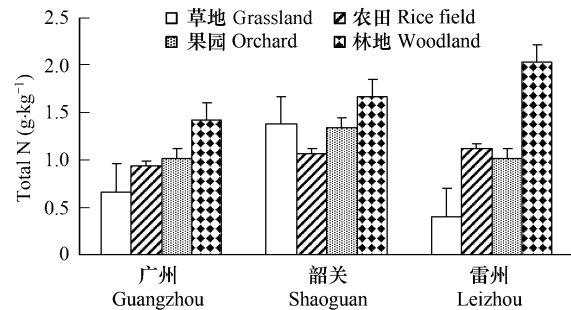


图 4 不同土壤类型和土地利用方式对土壤全氮的影响

Fig.4 Effects of different soil types and land use patterns on content of Total N

3 种土壤类型之间,农田土壤有机碳和全 N 含量都比较接近,有机碳范围为 $12.11 \sim 14.66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 N 范围为 $0.94 \sim 1.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,均未达到显著性差异。果园土壤赤红壤和砖红壤有机碳接近,较红壤果园高约 22.18%,全 N 含量亦为赤红壤和砖红壤接近,略低于红壤。草地 3 种土壤有机碳和全 N 含量趋势一致,均为赤红壤和砖红壤比较接近,低于红壤。林地同样为 3 种土壤有机碳比较接近,在 $13.09 \sim 14.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,土壤全 N 含量则呈现砖红壤 > 红壤 > 赤红壤的趋势。

2.4 微生物商

土壤微生物碳/土壤有机碳称为微生物商,有研究认为,它能够避免在使用绝对量或不同有机碳含量的土壤进行比较时出现的一些问题,对于土壤质量的变化具有重要的指示意义^[16]。本研究表明,林地土壤微生物商在 1.92% ~ 2.50% 之间,平均为 $(2.29 \pm 0.32) \%$;果园土壤微生物商在 1.50% ~ 2.43% 之间,平均为 $(1.92 \pm 0.47) \%$;农田土壤微生物商在 1.32% ~ 1.41% 之间,平均约为 $(1.39 \pm 0.16) \%$;草地土壤微生物商在 1.29% ~ 1.58% 之间,平均为 $(1.39 \pm 0.25) \%$ (图 5)。4 种利用方式下林地土壤微生物商最高,果园次之,农田与草地土壤微生物商接近,明显低于林地。

不同土地利用方式下,土壤微生物碳与有机碳均存在较好的相关性,而对微生物商分析结果表明,不同的土地利用方式对土壤有机碳总量和微生物生物量碳的影响程度并不一致。相比而言,林地土壤微生物商最高,说明林地具有较高的微生物生物量维持能力,这可能是林地在积累土壤有机碳的同时更有利于微生物生物量的提高。

2.5 土壤微生物量碳、氮与土壤养分相关性分析

土壤养分与微生物量碳、氮相关性分析结果表明(表 1),土壤微生物量碳与有机碳、全 N、速效 N 呈显著正相关($R=0.6017, 0.8187, 0.6760; p<0.05$);土壤微生物量氮也与有机碳、全 N、速效 N 呈显著正相关($R=0.5896, 0.5706, 0.5482; p<0.05$)。土壤微生物量碳、氮之间也显著相关($R=0.7920, p<0.05$)。可见,土壤微生物生物量碳、氮能够较好地反映不同土地利用方式下土壤碳、氮水平。本研究中土壤微生物量碳、氮与土

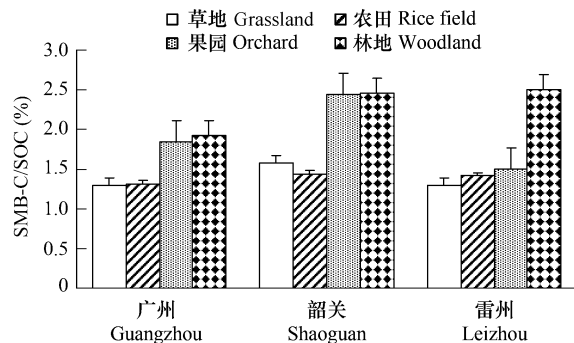


图 5 不同土壤类型和土地利用方式对微生物商的影响

Fig.5 Effects of different soil types and land use patterns on ratio of SMB-C/SOC

壤水分含量和 pH 值无显著相关($P > 0.05$)。

表 1 土壤微生物量碳、氮与土壤质量指标的相关系数

Table 1 Correlated coefficients between SMB-C, SMB-N and soil quality indices

项目 Items	水分 Moisture	pH	有机碳 SOC	全氮 Total N	速效氮 Available N	SMB-C
SMB-C	-0.1945	-0.34309	0.6017 *	0.8187 *	0.6760 *	1
SMB-N	-0.0722	-0.38203	0.5896 *	0.5706 *	0.5482 *	0.7920 *

3 讨论与结论

本研究结果表明,不同土壤类型和不同土地利用方式下对土壤微生物量碳、氮均有一定影响,土地利用方式对微生物量碳、氮的影响更为明显。结合实地调查可以发现,不同的土地利用方式通过改变植被类型、轮作制度以及人为活动强度而影响土壤有机物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显著差异,与前人研究结果具有一致性^[17~19]。

不同土地利用方式下土壤微生物量碳氮表现为果园、林地高于农田和草地,这一方面是由于林地和果园每年地表有大量的凋落物归还土壤,为微生物提供丰富的碳源,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^[20]。另一方面,林地和果园土壤微生物量高还与地表土层扰动少,土壤结构适宜,为土壤微生物提供了较好的生境有关,良好的土壤结构显著提高土壤微生物活性,而土壤翻耕等剧烈改变土壤理化状况的农作措施常常导致土壤微生物区系的改变和微生物量的下降^[21]。农田土壤微生物量偏低可能与轮作方式下频繁发生的土壤干湿交替难以维持较高的微生物生物量有关^[22]。而草地土壤微生物量碳氮均偏低可能是由于取样时期旺盛的草本植物生长与微生物竞争养分。植物在生长旺季,根系对土壤中碳、氮的吸收与微生物对碳、氮的需求是一种竞争的关系,植物对土壤中碳、氮的需求越大,土壤微生物量碳、氮的值就越小^[23]。

土壤类型也是影响土壤微生物群落结构的重要因素之一。据研究,微生物活性与土壤团聚体大小有关,土壤有机碳和微生物量碳在大团聚体($> 2\text{mm}$)中的含量相对都高于小团聚体^[24]。刘文娜等^[14]发现同一用地方式下,潮土、褐土和砂姜黑土的土壤微生物量碳含量存在差异,而本研究同样发现同一用地方式下不同土壤类型的土壤微生物量碳差异显著,这可能与赤红壤、红壤和砖红壤 3 种土壤的土壤质地结构不同有较大的关系。

在对不同有机质含量的土壤进行比较时,作为土壤微生物量碳与有机碳的比值,微生物商比有机碳或微生物量碳更具有优势^[16]。土壤微生物商能够较为准确地反映土地利用和管理措施对土壤的影响,如果土壤被过度利用,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降低^[25,26]。目前国内关于微生物生物量的研究中对微生物商的指示作用报道还不多。本研究中微生物商结果反映了不同土地利用方式对土壤有机碳总量和微生物生物量碳的影响程度并不一致,与刘守龙等^[20]研究微生物商对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应结论相似。因此,选用土壤微生物量碳作为土壤肥力评价的指标时最好将微生物商加以综合考虑。

相关分析表明,土壤微生物量碳与全 N、有机碳、速效 N 显著正相关;微生物量氮也与全 N、有机碳、速效 N 呈显著正相关关系,土壤微生物量碳、氮之间显著相关,与前人研究结论一致^[28,29],进一步证实土壤微生物量碳氮是可以作为表征土壤肥力的敏感因子。土壤微生物量库的微小变化都会影响到养分的循环和有效性,而结构良好、有机碳和水分含量较高的土壤,能为土壤微生物活动提供优良的生境,有利于土壤微生物的生长^[30]。本研究中土壤微生物量碳、氮与土壤水分相关性不大。张洁等^[31]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量氮影响较大。高云超等^[32]发现土壤水分与微生物生物量密切相关,且在一定范围内土壤微生物量随着含水量的增加而增加。但也有研究表明水分只有在严重干旱成为限制微生物活动的障碍因子时才能效果显著^[33]。土壤水分含量超过 10.87% 时水分影响的效果就不明显^[34]。可见在土壤水分低于一定范围内才成为土壤微生物量的限制因子。本研究中土壤微生物量碳、氮与土壤 pH 值相关性不大,与前人的研究结论一致^[34],可能与土壤样品 pH 值多在 4.46~5.49 之间呈酸性有关,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,其他的土壤生态指标可能成为土壤微生物生长的限制性因子。

广东省韶关红壤、广州赤红壤、雷州砖红壤 3 个地区 4 种不同土地利用方式(林地、果园、草地和农田)表层土壤(0~20cm)微生物量碳、氮特征差异显著,均表现为果园和林地高于农田和草地。土壤有机碳、全 N 以果园较高。对照全国第二次土壤普查有机质分级标准,本样区内有机碳含量仅为 3~4 级中或偏低水平,其中农田、果园和林地均为 3 级水平,草地为 4 级偏高水平。而对微生物商分析结果表明,不同的土地利用方式对土壤有机碳总量和微生物生物量碳的影响程度并不一致。相关分析表明,土壤微生物量碳氮与全 N、有机碳、速效 N 显著正相关;土壤微生物量碳、氮之间显著相关,可见土壤微生物量碳氮是可以表征土壤肥力的敏感因子。

References:

- [1] Kong X B, hang F R, Wei Q, *et al.* Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. *Soil and Tillage Research*, 2006, 88: 85—94.
- [2] Sall S N, Masse D, Ndour N Y B, Chotte J L. Does cropping modify the decomposition function and the diversity of the soil microbial community of tropical fallow soil? *Applied Soil Ecology*, 2006, 31: 211—219.
- [3] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderón F J, *et al.* Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology and Biochem*, 2002, 34: 1599—1611.
- [4] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 79: 9—16.
- [5] Powers J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern Costa Rica. *Ecosystems*, 2004, 7: 134—146.
- [6] Dinesh R, Chaudhuri S G, Ganeshamurthy A N, Dey C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. *Applied Soil Ecology*, 2003, 24: 17—26.
- [7] Xiao H L. Environmental features of hilly slope land of red soil in south China and the sustainable utilization. *Journal of Mountain Research*, 2002, 20(5): 594—599.
- [8] Wu Q, Wang S Z, Zhang J S, Li Q, Qiu R L. The effect of simulated acid rain on weathering process of lateritic red soil in heshan, Guangdong Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45(6): 113—117.
- [9] Zhang J E, Duan S S, Luo S M, Li H S. The preliminary study on the suitability and sustainable utilization of different pastures inter planted in the young orchard on the slope land of latored soils. *Grassland of China*, 2001, 23(2): 42—45.
- [10] Zhong J H, Tan J, Guo Q R, Luo B S, Zhou M N, Huang X L. Comparative study on structure characteristics of hilly latored soils under different vegetation in south subtropics. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4): 359—364.
- [11] Zhong J H, Guo Q R, Tan J. Studies on physical and chemical properties change (degradation) and its affected factors of latored soils in southern subtropical hills. *Geographical Research*, 2004, 23(3): 312—320.
- [12] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol Biochem*, 1987, 9(6): 703—707.
- [13] Bao S D. *Soil and agrochemistry analysis*. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [14] Liu W N, Wu W L, Wang X B, Wang M X, Mao W F. Effects of soil type and land use pattern on microbial biomass carbon. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(3): 406—411.
- [15] Wang X L, Su Y R, Huang D Y, Xiao H A, Wang L G, Wu J S. Effects of land use on soil organic C and microbial biomass C in hilly red soil region in subtropical china. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 750—757.
- [16] Ren T Z, Grego S. Soil bioindicators in sustainable agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33(1): 68—75.
- [17] Nsabimana D, Haynes R J, Wallis F M. Size, activity and catabolic diversity of the soil microbial biomass as affected by land use. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26: 81—92.
- [18] Galicia L, Garcya-Oliva F. The effects of C, N and P additions on soil microbial activity under two remnant tree species in a tropical seasonal pasture. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26: 31—39.
- [19] Larionova A A, Yermolayev A M, Blagodatsky S A, *et al.* Soils and climate change. Soil respiration and carbon balance of gray forest soils as affected by land use. *Biol. Fert. Soils*, 1998, 27(3): 251—257.
- [20] Wang X L, Hu F, Li H X, Qin J T, Zhang B. Effects of different land used patterns on soil microbial biomass carbon and nitrogen in small red soil watershed. *Journal of Agro-environment Science*, 2006, 25(1): 143—147.
- [21] Zhang C E, Liang Y L, He X B. Effects of plastic cover cultivation on soil microbial biomass. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 508—512.
- [22] Wu J S. Soil organic matter and turnover dynamics. He Dianyuan ed. *Soil fertility and fertilizing of the cultivating crops in southern China*. Beijing:

Science Press, 1994: 37—46.

- [23] Huang J Y, Song C C, Song Y Y, Liu D Y, Wan Z M, Liao Y J. Influence of freshwater marsh tillage on microbial biomass and dissolved organic carbon and nitrogen. *Environmental Science*, 2008, 29(5): 1380—1387.
- [24] Wen Q, Zhao X R, Chen H W, *et al.* Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregations in semi-arid area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(10): 1504—1509.
- [25] Franchini J C, Crispino C C, Souza R A, Torres E, Hungria M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 2006. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>.
- [26] Marinari S, Mancinelli R, Campiglia E, Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, 2005. <http://www.elsevier.com/locate/ecolind>.
- [27] Liu S L, Su Y R, Huang D Y, Xiao H A, Wu J S. Response of Cmic-to-Corg to land use and fertilization in subtropical region of china. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7): 1411—1418.
- [28] Van Bruggen A H C, Semenov A M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. *Applied Soil Ecology*, 2000, 5: 13—24.
- [29] Yu S, He Z L, Zhang R G, Chen G C, Huang C Y, Zhu B L. Soil basal respiration and enzyme activities in the root-layer soil of tea bushes in a red soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 179—183.
- [30] Zeller V, Bardgett R D, Appeniner 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. *Soil Biol Biochem*, 2001, 33: 639—649.
- [31] Zhang J, Yao Y Q, Jin K, Lü J J, Wang C H, Wang Y H, Li J H, Ding Z Q. Change of SMBC and SMBN under conservation tillage on sloping dryland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(4): 126—129.
- [32] Gao Y C, Zhu W S, Chen W X. The Relationship between soil microbial biomass and the transformation of plant nutrients in straw mulched no-tillage soils. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(6): 41—49.
- [33] Bottner P. Response of microbial biomass to alternate moist and dry conditions in a soil incubated with ¹⁴C and ¹⁵N-Labelled plant material. *Soil Biol Biochem*, 1985, 17: 329—337.
- [34] Srivastava S C. Microbial C, N and P in dry tropical soils: seasonal changes and influence of soil moisture. *Soil Biol Biochem*, 1992, 24: 111—114.
- [35] Yang C D, Long R J, Chen X R, Man Y R, Xu C L, Hui J J. Study on microbial biomass and its correlation with the soil physical properties under the alpine grassland of the east of Qilian mountains. *Acta Prataculturae Sinica*, 2007, 16(4): 62—68.

参考文献:

- [7] 肖辉林. 华南红壤丘陵坡地的环境特征与可持续利用问题. *山地学报*, 2002, 20(5): 594—599.
- [8] 吴箐, 王诗忠, 张景书, 等. 模拟酸雨对鹤山赤红壤风化过程的影响. *中山大学学报(自然科学版)*, 2006, 45(6): 113—117.
- [9] 章家恩, 段舜山, 骆世明, 等. 赤红壤坡地果园间种不同牧草的适应性及其持续利用研究. *中国草地*, 2001, 23(2): 42—45.
- [10] 钟继洪, 谭军, 郭庆荣, 等. 南亚热带不同植被下丘陵赤红壤结构特征比较研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4): 359—364.
- [11] 钟继洪, 郭庆荣, 谭军. 南亚热带丘陵赤红壤理化性质变化及其原因. *地理研究*, 2004, 23(3): 312—320.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 刘文娜, 吴文良, 王秀斌, 等. 不同土壤类型和土地利用方式对土壤微生物量碳的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(3): 406—411.
- [15] 王小利, 苏以荣, 黄道友, 等. 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*, 2006, 39(4): 750—757.
- [16] 任天志, Stefano Grego. 持续农业中的土壤生物指标研究. *中国农业科学*, 2000, 33(1): 68—75.
- [20] 王晓龙, 胡锋, 李辉信, 秦江涛, 张斌. 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*, 2006, 25(1): 143—147.
- [21] 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. *生态学报*, 2002, 22(4): 508—512.
- [23] 黄靖宇, 宋长春, 宋艳宇, 等. 湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响. *环境科学*, 2008, 29(5): 1380—1387.
- [24] 文倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 等. 半干旱地区不同土壤团聚体中微生物量碳的分布特征. *中国农业科学*, 2004, 37(10): 1504—1509.
- [27] 刘守龙, 苏以荣, 黄道友, 等. 微生物商对亚热带地区土地利用及施肥制度的响应. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1411—1418.
- [29] 俞慎, 何振立, 张荣光, 等. 红壤茶树根层土壤基础呼吸作用和酶活性. *应用生态学报*, 2003, 14(2): 179—183.
- [31] 张洁, 姚宇卿, 金珂, 等. 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*, 2007, 21(4): 126—129.
- [32] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物量与养分转化的研究. *中国农业科学*, 1994, 27(6): 41—49.
- [35] 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 等. 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*, 2007, 16(4): 62—68.