

# 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

王小利<sup>1,2</sup>, 苏以荣<sup>2</sup>, 黄道友<sup>2</sup>, 肖和艾<sup>2</sup>, 汪立刚<sup>2</sup>, 吴金水<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学资源与环境学院, 杨凌 712100; <sup>2</sup>中国科学院亚热带农业生态研究所环江喀斯特农业生态试验站, 环江 547100)

**摘要:**【目的】研究土地利用变化对土壤有机碳(SOC)和微生物量碳(SMBC)含量的影响。【方法】采用典型样区密集取样(水田和旱地3~4个样/ha、果园2~3个样/ha、林地0.2~0.5个样/ha)和野外调查,对亚热带红壤低山肯福样区的水田、旱地、果园和林地表层(0~20 cm)SOC和SMBC含量及其变化进行了研究。【结果】本区SOC、SMBC含量和微生物碳与有机碳比率(SMBC/SOC)分别为 $(17.53 \pm 5.02) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(278 \pm 174) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(1.56 \pm 0.84)\%$ 。其中林地SOC、SMBC含量和SMBC/SOC分别为 $(18.20 \pm 4.53) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $(293 \pm 111) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $(1.58 \pm 0.39)\%$ 。水田SOC、SMBC含量和SMBC/SOC较林地依次提高了15.5%、84.0%和73.9% ( $P < 0.01$ );与林地相比,旱地SOC含量 $(17.50 \pm 4.89) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 略有降低 ( $P > 0.05$ ),SMBC含量和SMBC/SOC分别减少29.1%和24.2% ( $P < 0.01$ );果园SOC、SMBC含量和SMBC/SOC比林地分别降低了26.8%、46.1%和26.1% ( $P < 0.01$ )。除水田外,其余土地利用方式的SOC与SMBC含量之间均存在极显著的相关关系。【结论】亚热带红壤低山生态景观单元内林地开垦为水田增加了SOC的积累和土壤微生物活性,林地开垦为旱地和果园不同程度地降低了SOC的积累和微生物活性。

关键词:土地利用;亚热带;红壤低山区;土壤有机碳;土壤微生物碳

## Effects of Land Use on Soil Organic C and Microbial Biomass C in Hilly Red Soil Region in Subtropical China

WANG Xiao-li<sup>1,2</sup>, SU Yi-rong<sup>2</sup>, HUANG Dao-you<sup>2</sup>, XIAO He-ai<sup>2</sup>, WANG Li-gang<sup>2</sup>, WU Jin-shui<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100; <sup>2</sup>Huanjiang Experimental Station of Karst Ecosystem, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100)

**Abstract:** 【Objective】In order to assess the impacts of land use change on soil organic carbon (SOC) and soil microbial biomass carbon (SMBC), the contents of SOC and SMBC of surface soil samples (0-20 cm) were investigated. 【Method】The dense sampling (the density of sampling for paddy and dry land is 3-4 per ha, for orchard is 2-3 per ha and for woodland is 0.2-0.5 per ha) and the field surveys in Kenfu demonstration area of environmental immigrants of the northwest of Guangxi, a hilly landscape of red soil area of subtropical China were carried out. 【Result】The average contents of SOC, SMBC and the ratio of SMBC and SOC were respectively  $(17.53 \pm 5.02) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(278 \pm 174) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $(1.56 \pm 0.84)\%$  in the area, respectively. The average contents of SOC, SMBC and the ratio of SMBC and SOC of the woodland were  $(18.20 \pm 4.53) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $(293 \pm 111) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $(1.58 \pm 0.39)\%$ , respectively. Compared with the woodland, the contents of SOC and SMBC and the ratio of SMBC and SOC of the paddy field increased by 15.5%, 84.0% and 73.9% ( $P < 0.01$ ); The content of SOC of the dry land  $(17.50 \pm 4.89) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  decreased slightly ( $P > 0.05$ ) compared with the woodland, that of SMBC and SMBC/SOC decreased by 29.1% and 24.2% ( $P < 0.01$ ); The content of SOC, SMBC and SMBC/SOC of the orchard decreased by 26.8%, 46.1% and 26.1% compared with the woodland ( $P < 0.01$ ). In addition, there were significant correlations between SOC and SMBC in different land use except the paddy field. 【Conclusion】This study indicated that the conversion of woodland into paddy field increased the accumulation of SOC and the microbial activity evidently in the hilly landscape of red soil area of subtropical China. However, the conversion of woodland into dry land or orchard reduced the content of SOC and the microbial activity to different degrees.

收稿日期:2005-09-29;接受日期:2006-01-20

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-426),国家自然科学基金重点项目(40235057)和国家科技攻关项目(2004BA606A-08)资助

作者简介:王小利(1979-),女,山西柳林人,博士研究生,主要从事区域土壤养分循环与优化管理。Tel:135724100701;E-mail:djwxl@yahoo.com.cn。  
通讯作者苏以荣(1962-),男,湖北松滋人,研究员,博士,博士生导师,研究方向为土壤与环境。Tel:0731-4615222;E-mail:yrsu@isa.ac.cn

Key words: Land use; Subtropics; Hilly red soil region; Soil organic carbon; Soil microbial biomass carbon

## 0 引言

【本研究的重要意义】土壤有机碳(SOC)是土壤肥力的物质基础,又是全球碳循环和气候变化研究的核心内容。土壤微生物不仅推动土壤中C、N、P、S等养分循环和转化,而且也是这些养分元素最重要的“库”和“源”<sup>[1,2]</sup>。土地利用变化是影响陆地生态系统碳循环的最大因素之一,也是仅次于化石燃烧而使大气CO<sub>2</sub>浓度急剧增加的最主要的人为活动<sup>[3]</sup>,所以土地利用变化对土壤碳库的影响已成为国际碳循环和全球气候变化研究的热点。在气候、土壤等自然条件相对一致的农业生态景观单元内,土地利用方式的变化是影响土壤碳素循环的一个最重要因素。【前人研究进展】国外在土地利用方式变更对SOC及其组分(土壤微生物碳,SMBC)影响方面的研究较早,且多集中在热带和亚热带地区。例如,早在1976年,Ayanaba等<sup>[4]</sup>报道了尼日利亚伊巴丹热带森林开垦2年后土壤全碳含量有所降低,且有覆盖残茬(玉米)的耕地比没有覆盖的耕地的下降速率要小。Lugo等<sup>[5]</sup>对美国波多黎各自由联邦和维尔京群岛的研究表明,森林砍伐开垦为农田10年后SOC含量下降46%,弃耕和森林次生演替50年使土壤碳恢复到原来成熟森林的90%。Follett等<sup>[6]</sup>报道了美国内布拉斯加州西部的高平原区(温带大陆性气候)微生物生长的碳有效性随着耕作强度的增加而降低,免耕、残茬覆盖和犁耕地的0~10 cm表层土壤微生物生物量分别为天然草地的57%、52%和36%。Islam等<sup>[7]</sup>研究了孟加拉国达卡的热带落叶婆罗双树林,与自然森林相比,林地皆伐和耕作导致土壤质量退化,全量有机碳和氮,微生物生物量都有所降低。Dinesh等<sup>[8]</sup>对印度安达曼群岛南部的研究表明,热带森林砍伐和耕作由于降低了可利用的有机物质水平,从而显著降低了土壤微生物活性。Powers<sup>[9]</sup>在哥斯达黎加东北部140 000 ha面积上的研究表明,热带森林向香蕉园转变使表层(0~30 cm)土壤碳浓度和储量降低了37%和16.5%,耕作引起土壤碳的损失速度远大于积累的速度。国内在土地利用变化对土壤碳库的影响方面的研究相对较晚,尤其是在土壤微生物量方面,近年来呈迅速增加趋势<sup>[10-15]</sup>。例如陈国潮等<sup>[10]</sup>发现浙江兰溪不同利用方式下红壤的土壤有机质含量和微生物量以荒地最低,其次为林地和旱地,最高为菜地和水田。Wang等<sup>[13]</sup>研究了中国亚热带红壤

丘陵区(千烟洲森林试验站)1980年以来的造林活动在碳汇集中的潜力。由农业土地和荒地向森林和林地的转化对土壤碳的汇集作用显著,湿地松林的碳汇集潜力最大。吴建国等<sup>[14]</sup>研究表明宁夏六盘山林区农田和草地SOC含量比13~28年的人工林地分别低42%和26%。姜勇等<sup>[15]</sup>对沈阳下辽河平原潮棕壤的研究表明,林地SOC含量和储量较水稻田、玉米地、撂荒地高,其它3种利用方式间SOC储量差异不显著。【本研究切入点】虽然国内外对不同利用方式下SOC及其组分(SMBC)动态等方面开展了大量的研究,但在中国亚热带红壤低山生态景观上,系统分析各利用方式下SOC和SMBC含量及其关系,尚缺乏较全面的报道。【拟解决的关键问题】笔者以广西环江县的肯福环境移民开发示范区为例,通过对典型样区密集采样分析,研究中国亚热带红壤低山生态景观水平上不同土地利用类型SOC和SMBC含量及其关系,以期阐明土地利用变化和管理对SOC库的影响,为科学经营和管理土地,维持和提高亚热带红壤低山区土壤肥力提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

以广西环江县肯福环境移民开发示范区(N 24°51', E108°15')为研究亚热带红壤低山的典型样区,该区属中亚热带南缘季风气候,具有湿热湿润,雨热同季,无霜期长等特点。年平均气温 19.9℃, 10℃的积温为 6 300℃,年平均降水量 1 389.1 mm, 4~8月降水量占全年的 70.6%,多为暴雨。地貌为低山丘陵,地形破碎,以坡地为主,海拔 202~396 m。土壤以第三纪红砂岩及第四纪红粘土发育的红壤为主。植被简化严重,代表本区自然植被的地带性植被群落已不复存在,除少数地段分布有稀疏马尾松、枫香林外,其余以灌木和草丛群落为主<sup>[16]</sup>。

### 1.2 野外调查取样与室内分析

通过实地踏勘,在研究区内选取面积为 4.70 km<sup>2</sup>的典型样区,该样区在种植制度、耕作管理、农业投入及产出水平方面均具有较好的代表性。在研究区最近一期(1984年)航片(1:1.4万)上随机选取 500~700个样点(以农田为主,林地作对照),编号,标注到田块,于 2003年8月进行实地采样。按耕地(水田和旱地)3~4个样/ha、果园 2~3个样/ha、林地 0.2~0.5个样/ha的标准和随机多点混合的原则采集 0~20

cm 的表层土壤, 每个样采集的样点数不少于 15 个。水田、旱地、果园和林地采样数分别为 77、309、92、193 个, 共采集 671 个土样。水田以双季稻为主; 旱地种植玉米、甘蔗和木薯等; 果园以椪柑、板栗、脐橙为主; 林地 12~13 年的飞播马尾松林、灌木及蕨类等。同时, 调查每个样点(地块)的种植制度或植被、施肥管理及产量水平、灌溉制度等情况。

土样采回后, 取部分样品风干、磨细过 0.25 mm 筛, 采用干烧法测定 SOC 含量<sup>[17]</sup>, 所用仪器为 Vario-MAX C/N 分析仪(德国)。其余新鲜土样过 2.0 mm 筛, 采用氯仿熏蒸-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提取法测定 SMBC 含量<sup>[18]</sup>。

### 1.3 数据分析

多重比较采用 LSD 法, 正态性分布检验采用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验(K-S 检验)均采用 SPSS13.0 软件包中的相应程序进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有机碳含量

表 1 显示, 本区 SOC 含量为(17.53±5.02) g·kg<sup>-1</sup>, 变幅为 6.19~33.61 g·kg<sup>-1</sup>, 其中, 林地 SOC 含量为(18.20±4.53) g·kg<sup>-1</sup>。与林地(自然植被)相比, 水田 SOC 含量增加了 15.5%( $P<0.01$ ), 说明淹水条件有利于 SOC 的积累, 而果园 SOC 含量比林地降低了 26.8%( $P<0.01$ ); 旱地 SOC 含量虽低于林地, 但由于开垦

年限较短等原因, 尚未达到显著水平( $P>0.05$ )。对照全国第二次土壤普查有机质分级标准(表 2)<sup>[19]</sup>, 本样区内 SOC 含量达到二级高水平, 其中, 水田、林地和旱地 SOC 含量均达到二级高水平, 而果园 SOC 含量处于三级中等水平。

SOC 含量的频数分布直方图显示(图 1), 本样区内 SOC 含量主要分布(发生频率 87.2%) 在 10~25 g·kg<sup>-1</sup> 区间内。其中(图 2), 水田有 79% 的样品分布在较高的 15~30 g·kg<sup>-1</sup> 区间内; 林地和旱地样品高峰值集中在 10~25 g·kg<sup>-1</sup> 区间, 分别占总样品的 91% 和 88%; 而果园有 99% 的样品落在较低的 10~15 g·kg<sup>-1</sup> 区间。标准差( $\sigma$ ) 表征着变量的绝对变异程度, 决定频率曲线的形状。水田、旱地和林地 SOC 的  $\sigma$  在 4.53~5.44 g·kg<sup>-1</sup> 之间, 频率分布曲线较为分散, 而果园则相反( $\sigma=2.78$  g·kg<sup>-1</sup>), 曲线分布较为集中。正态性分布检验采用柯尔莫哥洛夫-斯米诺夫检验(K-S 检验), 显著性水平  $\alpha=0.05$ , 若  $P>0.05$ , 则认为数据服从正态分布。由表 1 和图 1 可知, 中国亚热带典型红壤低山景观水平上, SOC 含量不符合正态分布( $P=0.04$ ), 而同一土地利用类型的 SOC 含量均符合正态分布( $P>0.05$ )。说明相同土地利用方式下, SOC 含量在空间上的变异是多种相互独立的随机因素微小变化综合作用的结果<sup>[20]</sup>, 而整个采样区 SOC 的变异除来源于随机因素外, 很大程度上源于地形差异、土地利用类型的转变及植被、耕作管理措施等相应条件的变化。

表 1 不同利用类型土壤有机碳、微生物碳含量及土壤微生物碳与有机碳的比率

Table 1 The contents of SOC and SMBC and the ratio of SMBC and SOC under different land use

项目 Items	土地利用 Land-use	样本数 Sample numbers	均值 Mean	标准差 S.D.	变异系数 C.V. (%)	最小值 Minimum	最大值 Maximum	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	K-S <i>P</i>
土壤有机碳 SOC (g·kg <sup>-1</sup> )	水田 Paddy field	77	21.01 aA	5.44	26	9.27	33.61	-0.26	-0.26	0.88**
	旱地 Dry land	309	17.50 bB	4.89	28	6.19	30.98	0.18	-0.48	0.45**
	林地 Woodland	193	18.20 bB	4.53	25	7.58	31.15	0.09	-0.28	0.76**
	果园 Orchard	92	13.31 cC	2.78	21	6.34	21.99	0.33	0.64	0.69**
	总计 Total	671	17.53	5.02	29	6.19	33.61	0.28	-0.43	0.04
土壤微生物碳 SMBC (mg·kg <sup>-1</sup> )	水田 Paddy field	71	539 aA	218	40	136	971	0.32	-0.82	0.49**
	旱地 Dry land	168	208 cC	89	43	17	550	0.77	0.97	0.28**
	林地 Woodland	128	293 bB	111	38	90	624	0.85	0.33	0.10**
	果园 Orchard	73	158 dD	61	39	24	310	0.14	-0.40	0.84**
	总计 Total	440	278	174	63	17	971	1.68	3.17	0.00
微生物碳/有机碳 SMBC/SOC (%)	水田 Paddy field	71	2.75 aA	1.28	46	0.45	6.00	0.54	-0.54	0.23**
	旱地 Dry land	168	1.20 cC	0.42	35	0.14	2.51	0.68	0.55	0.11**
	林地 Woodland	128	1.58 bB	0.39	24	0.66	2.41	0.05	-0.54	0.27**
	果园 Orchard	73	1.17 cC	0.40	35	0.21	2.14	0.17	-0.07	0.98**
	总计 Total	440	1.56	0.84	54	0.14	6.00	2.18	6.26	0.00

小写字母不同的表示其差异达到 5% 的显著水平, 大写字母不同的表示差异达到 1% 的显著水平。\*\*表示 K-S 检验达到极显著水平( $P>0.05$ )

Different lowercase and capital letters after the means mean respectively the differences at the 0.05 and 0.01 levels. “\*\*” means normal distribution by one-sample Kolmogorov-Smirnov test ( $P>0.05$ )

表 2 第二次全国土壤普查有机质分级标准

Table 2 The classification standards of soil organic matter in the second soil survey of China

级别 Class	水平 Level	土壤有机质 SOM (%)	土壤有机碳 SOC (g·kg <sup>-1</sup> )
1	极高 Very high	>4.0	>23.20
2	高 High	3.0 ~ 4.0	17.40 ~ 23.20
3	中 Middle	2.0 ~ 3.0	11.6 ~ 17.40
4	偏低 Little low	1.0 ~ 2.0	5.80 ~ 11.60
5	低 Low	0.6 ~ 1.0	3.48 ~ 5.80
6	极低 Very low	<0.6	<3.48

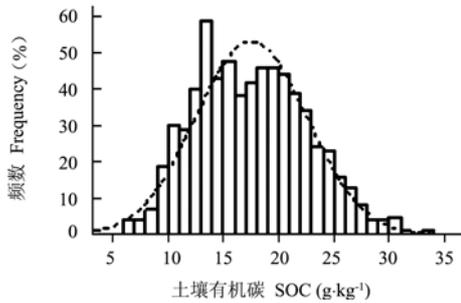


图 1 土壤有机碳含量直方图  
Fig. 1 Histogram of SOC content

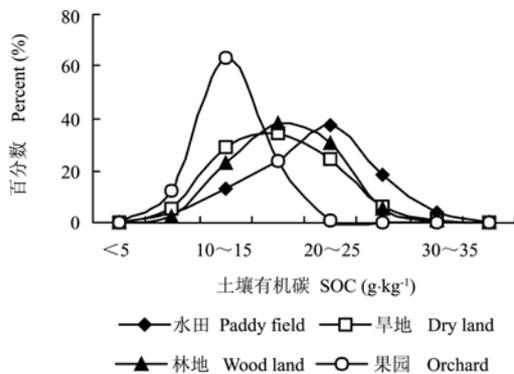


图 2 不同利用方式下土壤有机碳含量分布  
Fig. 2 Distribution of SOC under different land use

2.2 土壤微生物碳含量

本区 SMBC 含量为 278±174 mg·kg<sup>-1</sup>, 变化范围较大 (17~971 mg·kg<sup>-1</sup>) (表 1), 其中, 林地 SMBC 含量为 (293±111) mg·kg<sup>-1</sup>。与林地相比, 水田 SMBC 含量增加 84.0%, 而旱地和果园分别减少了 29.1% 和 46.1%。几种土地利用类型之间的 SMBC 含量均存在极显著的差异 ( $P<0.01$ )。由此可见, 不同土地利用方

式下, SMBC 的变化与 SOC 一致, 且更为迅速。说明 SOC 的积累和分布对 SMBC 具有重要的影响。

SMBC 含量的频数分布直方图显示 (图 3), 本样区内 SMBC 主要 (83.6%) 分布在 100~500 mg·kg<sup>-1</sup> 区间内。其中 (图 4), 水田有 82% 的样品的微生物含量在 300~900 mg·kg<sup>-1</sup> 区间, 变幅较大; 林地和旱地主要分布在 100~500 mg·kg<sup>-1</sup> 范围, 发生频率分别为 94% 和 92%; 果园有 99% 的样品分布在 20~300 g·kg<sup>-1</sup> 范围, 变幅较小。水田 SMBC 含量的绝对变异程度最大 ( $\sigma=218$  mg·kg<sup>-1</sup>), 频率分布曲线较分散, 这可能是由于不同取样田块的垦殖年限和人为管理 (如种植制度, 施肥方式, 水分管理) 等存在较大差异, 从而对土壤微生物种群和数量产生较大影响, 而林地、旱地和果园的变异相对较小 ( $\sigma$  在 61~111 mg·kg<sup>-1</sup>), 曲线分布较为集中。SMBC 含量的正态性分布检验结果与 SOC 相一致 (表 1), 即全部样品的 SMBC 含量不符

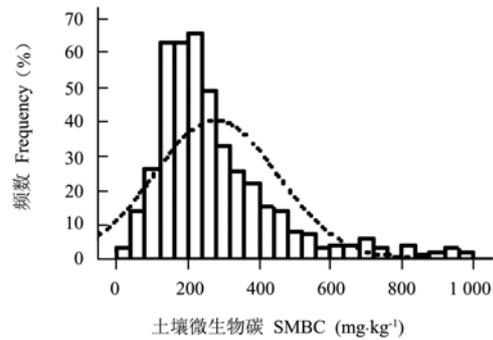


图 3 土壤微生物碳含量直方图  
Fig. 3 Histogram of SMBC content

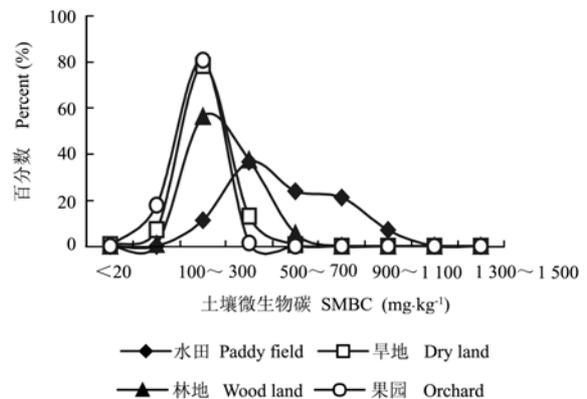


图 4 不同利用方式下土壤微生物碳含量分布  
Fig. 4 Distribution of SMBC under different land use

合正态分布 ( $P=0.00$ ), 而同一土地利用方式下均符合正态分布 ( $P>0.05$ ), 其原因与 SOC 相类似。

### 2.3 土壤微生物碳与有机碳的关系

以往研究表明<sup>[21,22]</sup>, 土壤微生物碳与有机碳的比率 (SMBC/SOC) 在 0.5%~4.0% 之间。本研究中, SMBC/SOC 在 0.1%~6.0% 之间, 平均为  $(1.56\pm 0.84)\%$  (表 1)。其中, 水田 SMBC/SOC 最高, 为  $(2.75\pm 1.28)\%$ ; 林地、旱地和果园之间的 SMBC/SOC 差别不大, 分别为  $(1.58\pm 0.39)\%$ 、 $(1.20\pm 0.42)\%$  和  $(1.17\pm 0.40)\%$ 。不同土地利用方式之间的 SMBC/SOC 差异小于 SMBC 含量的差异。

对 SOC 和 SMBC 含量的回归分析表明, 全部样品的 SOC 与 SMBC 含量之间呈极显著的相关关系 ( $R^2=0.2601$ ,  $n=440$ ) (图 5)。除水田外 (图 6-A), 旱地、果园和林地 SOC 和 SMBC 含量之间均呈极显著正相关 (图 6-B、6-C、6-D)。本样区水田包括原有的老水田和 1996 年环境移民示范区建立后新开垦的

水田。不同田块垦殖年限和人为管理等方面存在的较大差异势必会影响水田土壤微生物的种群和数量, 从而使水田 SOC 和 SMBC 含量之间没有线性关系, 且水田的 SMBC/SOC 的变异系数 (46%) 较大 (表 1), 其变化过程与原因有待于进一步探讨。

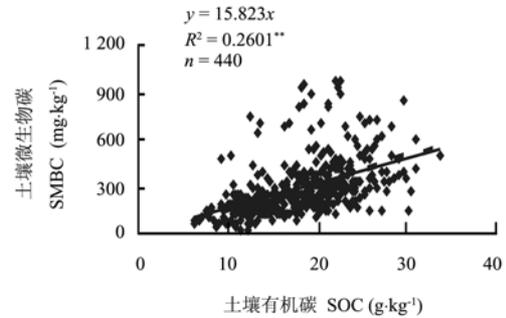


图 5 土壤有机碳与微生物碳的关系

Fig. 5 Relation between SOC and SMBC

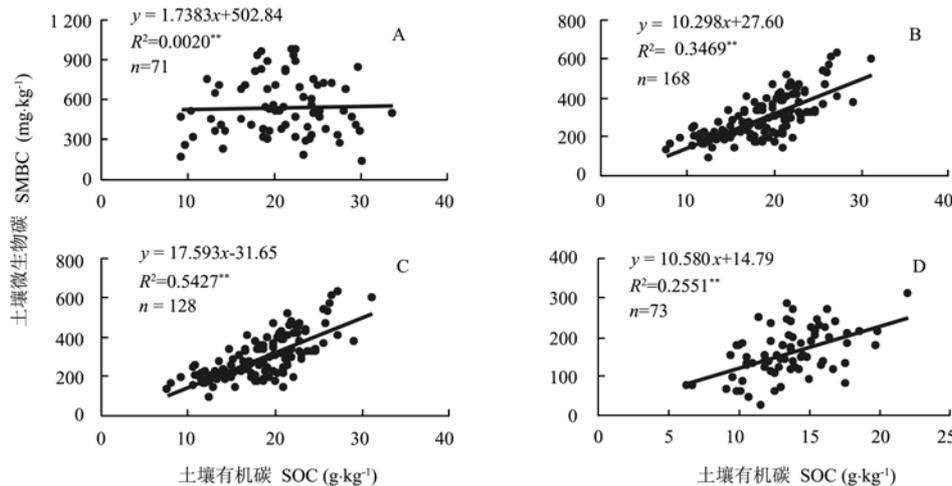


图 6 不同土地利用方式 (A 水田, B 旱地, C 林地, D 果园) 土壤有机碳与微生物碳的关系

Fig. 6 Relations between SOC and SMBC under different land use (A paddy field, B dry land, C wood land, D orchard)

## 3 讨论

SOC 对土壤的各种物理、化学、生态性状和土壤肥力具有决定性作用和深刻的影响, 是“土壤肥力再生能力”的重要物质基础, 其含量及变化是评价土壤质量的重要指标。本研究中, 林地 (自然植被) SOC 含量为  $(18.20\pm 4.53)$   $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。与林地相比, 水田 SOC 含量提高了 15.5% ( $P<0.01$ ); 旱地 SOC 含量低于林地, 未达到显著水平 ( $P>0.05$ ), 果园 SOC 含量显著降低

了 26.8% ( $P<0.01$ )。以上差异除了地形 (属于生态景观单元内自然条件的差异) 的影响外, 很大程度上与不同土地利用方式下植被、耕作管理措施以及当地的土地利用历史有关。水田位于坡下部的洼地, 以双季稻为主, 施肥和作物生产力水平都较高, 秸秆还田普遍, 且淹水条件下有机质的分解速度较慢<sup>[23]</sup>, 田面平整, 侵蚀轻微, 所以其 SOC 含量最高。林地、果园和旱地分布在自然条件相对一致的坡地上。一般情况下, 由于作物产生的有机物质大部分被取走, 因而进入旱

地土壤的新鲜有机质少于林地，且耕作引起土壤物理条件的改变能加速有机碳的分解<sup>[5,24]</sup>，故林地 SOC 含量应高于旱地。这在本研究中得到证实，但二者的差异并没有达到显著水平，其原因较为复杂。本研究所选林地并非天然林，而是在原有植被破坏后人工飞播的马尾松林，种植年限较短，与同等条件下的天然林相比，植被净生产力较低，又没有肥料投入，有机物质的输入量相对较少<sup>[25]</sup>，而旱地开垦年限较短，复种指数高，又有一定量的有机肥料（猪粪，滤泥）投入，故其 SOC 含量比林地仅降低了 3.8%。果园位于缓坡地，为 3~7 年的椪柑、板栗、脐橙，全部种植在新修的等高梯田上<sup>[16]</sup>。修建梯田时土壤原有的层次结构被打破，特别是在果树开穴种植时农民将表层富含有机碳的肥沃土壤集中填入穴内。此外，果园虽然有机肥用量大，但往往施在 20~50 cm 深度，导致果园表层 SOC 含量偏低。说明中国亚热带典型红壤低山景观水平上，果园建设促进了 SOC 的矿化分解，有研究者在黄土高原沟壑区也发现类似现象<sup>[26]</sup>。

虽然 SMBC 占 SOC 的比例较少，但它是 SOC 最活跃的部分，直接影响 SOC 的转化过程<sup>[10,21,22]</sup>。本研究中，林地 SMBC 含量为(293±111) mg·kg<sup>-1</sup>。与林地相比，水田 SMBC 含量增加 84.0%；而旱地和果园分别减少了 29.1%和 46.1%。显然，SMBC 对土地利用变化更为敏感，这与国内外的许多研究结果相吻合<sup>[4,6,10,21]</sup>。另一方面，土壤微生物量的大小可以指示其新陈代谢活动的强弱<sup>[10]</sup>，由上述研究发现，中国亚热带典型红壤低山景观水平上，水田土壤微生物活性高，新陈代谢旺盛，而林地、旱地和果园土壤微生物活性相对较低，SOC 循环更新速度慢。这是由于水田表层土壤的秸秆和有机肥的投入量最高。进入林地表层土壤的枯枝落叶量比通过作物根茬和根系分泌物进入旱地土壤的新鲜有机物要多。果园有机肥一般施在 20~50 cm 土壤深度内，故表层土壤微生物活性相对较低。

由于 SOC 和 SMBC 含量在土地利用变化过程中受到的影响程度“不同”，从而导致 SMBC/SOC 的差异。本研究中，与林地相比，水田 SMBC/SOC 增加了 73.9%，旱地和果园 SMBC/SOC 降低了 24.2%和 26.1%，这与国内外的许多研究结果一致<sup>[4,6,21]</sup>。例如英国洛桑土壤（Highfield）由草地改为耕地和休闲地 10 年后，其 SOC 含量下降 39%和 49%，SMBC 含量下降达 58%和 87%，SMBC/SOC 由 2.5%降低到 1.7%和 0.67%<sup>[21]</sup>。

变异系数的大小可以揭示随机变量的离散程度，即土壤养分空间变异的大小。有研究表明，变异系数 10%为弱变异性，10%~100%为中等变异，100%为强变异性<sup>[27]</sup>。表 1 显示，本区 SOC、SMBC 含量和 SMBC/SOC 均属于中等变异。其中，SOC 含量的变异系数较小，介于 21%~28%之间，SMBC 含量和 SMBC/SOC 的变异系数较大，介于 38%~40%之间。说明土地利用、人为管理及地形等对 SMBC 含量在空间不同位置上产生的影响比对 SOC 含量的影响大。这从另一方面证明 SMBC 含量对土地利用方式的变化更加敏感。

## 4 结论

4.1 中国亚热带典型红壤低山景观水平上，SOC 含量总体较高，SMBC 含量和 SMBC/SOC 总体较低，土壤微生物活性低，土壤有效养分释放速率较慢。在这种条件下，只有增施有机肥、强化作物秸秆还田、加速 SMBC 的周转、促进土壤有机质的分解和有效养分的释放，才能达到既提高作物产量又改善土壤肥力的效果。

4.2 土地利用对 SOC、SMBC 含量和 SMBC/SOC 均产生了显著的影响。与林地相比，水田 SOC、SMBC 含量和 SMBC/SOC 均有明显的增加，而果园则相反。旱地 SOC 含量较林地略有降低，SMBC 含量和 SMBC/SOC 则明显降低。

4.3 SMBC 和 SMBC/SOC 对土地利用变化的响应更加敏感，所以 SMBC 和 SMBC/SOC 的变化可以预示 SOC 含量和肥力的变化方向<sup>[4,6,21,28]</sup>。

## References

- [1] Richard D B, Tania C S, Lisa C, Ian R H. Linkages between soil biota, nitrogen availability, and plant nitrogen uptake in a mountain ecosystem in the Scottish Highlands. *Applied Soil Ecology*, 2002, 19: 121-134.
- [2] Parfitt R L, Yeates G W, Ross D J, Mackay A D, Budding P J. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management. *Applied Soil Ecology*, 2005, 28: 1-13.
- [3] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能. 土地利用、土地覆被变化 (LUCC) 与陆地生态系统碳循环. 见: 陈洋勤. 地球系统碳循环. 北京: 科学出版社, 2004: 76-100.  
Ge Q S, Dai J H, He F N. Land use/cover change and carbon cycle of terrestrial ecosystem. In: Chen P Q. *Carbon Cycle of the Earth*

- System*. Beijing: Science Press, 2004: 76-100. (in Chinese)
- [4] Ayanaba A, Tuckwell S B, Jenkinson D S. The effect of clearing and cropping on the organic reserves and biomass of tropical forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1976, 8: 519-525.
- [5] Lugo A E, Sanchez M J, Brown S. Land use and organic carbon content of some subtropical soils. *Plant and Soil*, 1986, 96: 185-196.
- [6] Follett R F, Schimel D S. The effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, 53: 1091-1096.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Powers J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern Costa Rica. *Ecosystems*, 2004, 7: 134-146.
- [10] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下微生物量的研究. *土壤通报*, 1998, 29: 276-278.  
Chen G C, He Z L. The study of soil microbial biomass of different land use in red soil area of China. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29: 276-278. (in Chinese)
- [11] 李忠佩, 王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机碳动态变化的模拟. *应用生态学报*, 1998, 9: 365-370.  
Li Z P, Wang X J. Simulation of soil organic carbon dynamic after changing land use pattern in hilly red soil region. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9: 365-370. (in Chinese)
- [12] 文 倩, 赵小蓉, 陈焕伟, 妥德宝, 林启美. 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: 1504-1509.  
Wen Q, Zhao X R, Chen H W, Tuo D B, Lin Q M. Distribution characteristics of microbial biomass carbon in different soil aggregates in semi-arid area. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37: 1504-1509. (in Chinese)
- [13] Wang S Q, Liu J Y, Yu G R, Pan Y Y, Chen Q M, Li K R, Li J Y. Effects of land use change on the storage of soil organic carbon: a case study of the Qianyanzhou forest experimental station in China. *Climatic Change*, 2004, 67: 247-255.
- [14] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响. *应用生态学报*, 2004, 15: 593-599.  
Wu J G, Zhang X Q, Xu D Y. Impact of land-use change on soil carbon storage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15: 593-599. (in Chinese)
- [15] 姜 勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 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*, 2005, 38: 544-550.  
Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, Wen D Z. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 544-550. (in Chinese)
- [16] 苏以荣, 黄 宇, 王克林, 李文祥, 曾馥平, 李 玲, 蒙冠禧, 韦政社. 西南环境移民安置地的生态环境状况. *环境与开发*, 2000, 15(3): 25-27.  
Su Y R, Huang Y, Wang K L, Li W X, Zeng F P, Li L, Meng G X, Wei Z S. Ecological and environmental conditions at settlement of environmental immigrants in Southwest China. *Environment and Exploration*, 2000, 15(3): 25-27. (in Chinese)
- [17] 南京农业大学. 土壤农化分析(第二版). 北京: 农业出版社, 1994: 29-33.  
Nanjing Agricultural University. *Soil Agricultural and Chemistry Analysis* (second edition). Beijing: Agricultural Press, 1994: 29-33. (in Chinese)
- [18] Wu J S, Joergensen R G, Pommerening B, Chaussod R, Brooks P C. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction-an automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 20: 1167-1169.
- [19] 赖辉比, 李淑秋, 傅积平. 封丘县潘店乡土壤肥力现状及评价. 见: 徐富安, 周凌云主编. 豫北平原农业生态系统研究(第2集). 北京: 气象出版社, 1997: 179-189.  
Lai H B, Li S Q, Fu J P. Soil fertility and assessment in Pan-dian village of Feng-qiu county. In: Xu F A, Zhou L Y, eds. *Research on Agro-Ecosystem in Plain of Northern Henan Province* (Vol. 2). Beijing: China Meteorological Press, 1997: 179-189. (in Chinese)
- [20] 毛达如. 植物营养研究方法. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 177-182.  
Mao D R. *Research Methods of Plant Nutrition*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994: 177-182. (in Chinese)
- [21] 吴金水. 土壤有机质及其周转动力学. 见: 何电源. 中国南方土壤肥力及栽培作物施肥. 北京: 科学出版社, 1994: 28-62.  
Wu J S. Soil organic matter and the dynamic in its turnover. In: He D Y, eds. *Soil Fertility and Fertilization for Cultivated Plants in Southern China*. Beijing: Science Press, 1994: 28-62. (in Chinese)
- [22] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义. *土壤*, 1997, 29(2): 61-69.  
He Z L. Soil microbial biomass and its roles in nutrient cycle and

- environmental quality assessment. *Soils*, 1997, 29(2): 61-69. (in Chinese)
- [23] 文启孝, 林心雄. 红壤地区土壤有机质的含量和特征. 见: 李庆逵. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983: 119-127.  
Wen Q X, Lin X X. The content and characteristics of soil organic matter in red soil region. In: Li Q K, ed. *China Red Soil*. Beijing: Science Press, 1983: 119-127. (in Chinese)
- [24] 王艳芬, 陈佐忠, Tieszen L T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响. 植物生态学报, 1998, 22: 545-551.  
Wang Y F, Chen Z Z, Tieszen L T. Distribution of soil organic carbon in the major grasslands of Xilinguole, Inner Mongolia, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22: 545-551. (in Chinese)
- [25] Luo R Y, Gao Z Q. Effects of Chinese fir, loblolly pine and deciduous oak forests on nutrient states of soils in northern subtropics of China. *Pedosphere*, 1994, 4(1): 1-10.
- [26] 刘守赞, 郭胜利, 王小利, 薛宝民. 植被对高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响. 自然资源学报, 2005, 20: 529-536.  
Liu S Z, Guo S L, Wang X L, Xue B M. Effect of vegetation on soil organic carbon of slope land in gully region of Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20: 529-536. (in Chinese)
- [27] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988: 321-326.  
Lei Z D, Yang S X, Xie S C. *Soil Water Dynamics*. Beijing: Qinghua University Press, 1988: 321-326. (in Chinese)
- [28] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(2): 159-164.

(责任编辑 李云霞)