

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^{*}

李新爱^{1,2} 肖和艾^{1,*} 吴金水¹ 苏以荣^{1,3} 黄道友¹ 黄敏¹ 刘守龙¹ 彭洪翠^{1,2}

(¹中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态重点实验室,长沙 410125; ²中国科学院研究生院,北京 100039;

³中国科学院环江喀斯特农业生态实验站,环江 547100)

【摘要】以广西环江大才为代表,选择亚热带典型喀斯特峰林谷地样区,通过对样区土壤进行密集采样和测定分析,研究了土地利用方式对土壤有机碳(O_C)和全氮(TN)含量及土壤微生物生物量碳(B_C)和氮(B_N)含量的影响。结果表明,3种土地利用方式下,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,土壤全氮含量为稻田显著高于林地,而林地显著高于旱地。土壤微生物生物量碳含量为稻田显著高于林地,林地显著高于旱地。土壤微生物生物量氮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。旱地土壤pH值显著低于稻田和林地土壤。3种土地利用方式下,土壤微生物生物量碳与土壤有机碳、土壤微生物生物量氮与全氮含量之间均呈显著的正相关关系。土壤微生物生物量碳和氮含量可以作为评价喀斯特地区土壤质量和肥力的指标之一,对土地利用方式响应较为敏感。

关键词 喀斯特地区 土地利用 林地 旱地 稻田 土壤有机碳 全氮 微生物生物量碳和氮

文章编号 1001-9332(2006)10-1827-05 **中图分类号** S154.3, S158.3 **文献标识码** A

Effects of land use type on soil organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen contents in Karst region of South China. LIXina^{1,2}, XIAO Heai¹, WU Jinshui¹, SU Yirong^{1,3}, HUANG Daoyou¹, HUANG Min¹, LIU Shoulong¹, PENG Hongcui^{1,2} (¹Key Laboratory of Subtropical Agro-Ecology, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; ³Huanjiang Experiment Station of Karst Agricultural Ecosystem, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17 (10): 1827 ~ 1831.

A total of 721 surface (0 ~ 20 cm) soil samples were collected from the paddy field, upland, and woodland in the Karst region of Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province, and the contents of their organic carbon (O_C), total nitrogen (TN), microbial biomass carbon (B_C), and microbial biomass nitrogen (B_N) were determined. The results showed that the O_C and B_N contents and soil pH value showed the trend of paddy field = woodland > upland, while TN and B_C contents had the trend of woodland > paddy field > upland. There was a significant positive correlation between B_C and O_C , and between B_N and TN. Soil microbial biomass C and N had rapid responses to the changes of land use type, which could be used as the sensitive biological indicators in evaluating soil quality and fertility in Karst region.

Key words Karst region, Land use type, Woodland, Upland, Paddy field, Soil organic C, Total N, Microbial biomass C, Microbial biomass N.

1 引 言

土壤有机质和氮素是土壤肥力的重要物质基础,对于土壤生产力和土地可持续利用及环境保护等方面有着重要作用和意义^[14]。土壤微生物是土壤有机质和养分(氮、磷、硫等)循环的驱动者,尽管土壤微生物生物量碳和氮占土壤有机碳和全氮的比例通常仅为1%~5%,但它们是土壤有机碳中最活跃的部分和植物所需氮素养分重要的“源”和“库”^[4,7]。土壤微生物生物量碳和氮不仅是研究土壤有机碳和氮素循环及其转化过程的重要指标^[5,9],而且是综合评价土壤质量和肥力状况的指

标之一^[6,18]。影响土壤有机质、氮素及微生物生物量碳和氮含量的自然因素包括土壤母质和气候条件等,而人为因素则主要包括土地利用和耕作管理方式等。研究表明,在气候和土壤等自然条件基本相同的条件下,土地利用方式对土壤有机碳和全氮及其组分(土壤微生物生物量碳和氮)的含量具有影响。如姜勇等^[8]对辽河平原潮棕壤的研究表明,林地土

*中国科学院知识创新工程项目(KZCX3-SW-426)、国家重点基础研究发展规划项目(G1999011802, 2002CB412503)、国家自然科学基金重点项目(40235057)和面上项目(40571086)、国家科技攻关资助项目(2004BA606A-08)。

**通讯联系人。E-mail: haxiao@isa.ac.cn
2005-09-30收稿, 2006-07-24接受。

壤有机碳含量高于水田、玉米地和撂荒地。陈国潮等^[3]对第四纪红土母质发育的红壤研究表明,不同利用方式下土壤微生物生物量以荒地最低,其次是林地和旱地,最高为菜地和水田。然而对于喀斯特地区土地利用对土壤有机碳和氮以及微生物生物量影响的研究报道很少,且以往的一些研究还存在样品量相对较少的不足。本文通过对广西环江喀斯特典型样区进行土壤密集采样和分析,探讨土地利用方式对土壤有机碳和全氮含量及土壤微生物生物量碳和氮含量的影响,以及土壤微生物生物量碳和氮与土壤有机碳和全氮含量之间的关系。

2 材料与方法

2.1 样区概况与土样采集

采样样区设于广西环江大才(24°46'N, 108°21'E),样区面积 500 hm²,为典型亚热带喀斯特峰林谷地,属中亚热带南缘季风湿润气候,具有湿热同季、无霜期长等特点,年平均气温 16.5 ~ 19.9 °C,年均降水量 1 389 mm,土壤为石灰岩母质发育形成。

按土地利用方式将样区分为稻田、旱地和林地 3 种土壤类型。稻田作物种植方式为早稻 3 晚稻,旱地作物种植方式主要为甘蔗 (*Saccharum officinarum*)、木薯 (*Manihot esculenta*)、桑叶和蔬菜等,林地植被主要为乔木、灌木、白茅和蕨类等。于 2003 年 8 月在样区按稻田和旱地 3 ~ 4 个 · hm⁻²、林地 0.2 ~ 0.5 个 · hm⁻² 的密度设采样点,每个采样点按“S”型采样法采集 10 钻表层(0 ~ 20 cm)土壤,混匀后取约 1 kg 土样。共采集土壤样品 721 个,其中稻田、旱地和林地土壤样品分别为 334、80 和 307 个。同时调查旱地和稻田采样点的肥料施用状况。

采集的新鲜土样,除去可见的土壤动物和植物残体,轻轻碾碎过 2 mm 筛,混匀,将土样分为 2 份。1 份调节土壤含水量约为饱和持水量(WHC)的 45%,用于测定土壤微生物生物量碳和氮;另 1 份土样经风干、磨细、过 100 目筛,用于测定土壤有机碳和全氮含量及土壤 pH 值。

2.2 分析方法

土壤微生物生物量碳和氮测定分别参照 Wu 等^[17]和 Brookes 等^[2]的方法。简要操作步骤:取相当于烘干基重 20 g 的新鲜土样 2 份,1 份用去乙醇氯仿熏蒸 24 h,除去土样中残留氯仿,熏蒸与不熏蒸土样(另 1 份土样)分别加入 80 ml 0.5 mol · L⁻¹ K₂SO₄ 溶液(土水比 1:4, W/V),震荡 30 min,过滤。提取液有机碳含量采用碳 3 自动分析仪(Phoenix 8000)测定,土壤微生物生物量计算按 Wu 等^[17]的方法。提取液经消化后,消化液全氮含量采用流动注射仪(FAStar 5000)测定,土壤微生物生物量氮计算按 Brookes 等^[2]的方法。

土壤 pH 采用蒸馏水(土水比 1:2.5, W/V)浸提 15 min,用 Mettler-toledo 320 pH 计测定;土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定^[11]。土壤全氮采用元素分析仪(Vario-MAX C/

N)测定。

数据采用 SPSS 11.0 和 Excel 2000 软件进行统计分析。

3 结果与讨论

3.1 不同土地利用方式下土壤有机碳和全氮含量

从表 1 可以看出,稻田土壤有机碳含量与林地土壤没有显著差异,而旱地土壤有机碳含量的平均值为 13.3 g · kg⁻¹,分别比稻田和林地土壤低 47.2% 和 44.8%,差异均达到极显著水平($P < 0.01$)。3 种利用方式下土壤有机碳含量的分布频率表明(图 1),稻田和林地土壤有机碳含量主要分布区间均在 5.0 ~ 35.0 g · kg⁻¹,其分布频率分别占 89.2% 和 85.2%,而旱地土壤有机碳含量主要分布区间在 5.0 ~ 25.0 g · kg⁻¹,其分布频率占 96.7%。王小利等^[16]对亚热带红壤低山区的水田、旱地、果园和林地表层(0 ~ 20 cm)土壤有机碳含量研究结果显示,稻田、林地和旱地的土壤有机碳含量分别为(21.01 ± 5.44)、(18.20 ± 4.53)和(17.50 ± 4.89) g · kg⁻¹。旱地土壤有机碳含量虽低于林地,但由于开垦年限较短等原因,尚未达到显著水平,不同利用方式下土壤有机碳含量依次为稻田 > 林地 = 旱地 > 果园。姜勇等^[8]对沈阳下辽河平原潮棕壤的研究表明,林地土壤有机碳含量和储量较水稻田、玉米地、撂荒地高。

稻田土壤全氮含量平均值分别比旱地和林地土壤高 36.6% 和 27.9%,差异均达到极显著水平($P < 0.01$) (表 1),而林地土壤全氮含量平均值比旱地土壤高 12.1%,差异也达到极显著水平($P < 0.01$)。稻田和林地土壤全氮含量主要分布区间均在 0.5 ~ 5.0 g · kg⁻¹,分布频率分别为 99.7% 和 98.8% (图 1),但稻田土壤全氮含量在 2.0 ~ 3.5 g · kg⁻¹ 范围内的分布频率比林地土壤高 15.2%,林地土壤全氮含量在 0.5 ~ 2.0 g · kg⁻¹ 范围内的分布频率比稻田土壤高 16.2%。而旱地土壤全氮含量主要分布区间在 0.5 ~ 3.5 g · kg⁻¹,分布频率为 99.7%。与土壤有机碳含量变化相比,旱地利用方式下土壤全氮含量的变化(比林地下降 12.1%)比土壤有机碳含量的变化(比林地下降 45.5%)要小得多。这一方面反应了土壤氮素的损失可能比土壤有机碳损失要慢;另一方面也可能与旱地耕作管理中施入一定量的氮素有关,旱地氮素的施入量通常较少。旱地土壤有机碳/全氮的比率(8.03)显著低于林地土壤(10.68),也说明旱地有机碳的损失比氮素快。而稻田土壤全

氮含量显著高于林地土壤,除地型条件外,主要可能与稻田土壤施入较多的氮素有关。同样,稻田土壤与林地土壤有机碳含量基本相同,而有机碳/全氮比率显著低于林地,表明施入的氮素可改变稻田土壤有机碳/全氮的比率。旱地土壤 pH 平均值低于林地和稻田土壤,差异均达到极显著水平,说明该样区林地开垦为旱地后土壤酸性变强。王效举等^[15]研究表明红壤开垦利用后土壤酸度有一定程度的加重,这是否与旱地土壤有机碳含量显著下降有关值得探讨。

表 1 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤有机碳和全氮含量变化
Table 1 Changes of soil organic C and total N contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province

土地利用方式 Land-use type	样本数 Sample number	pH (H ₂ O)	有机碳 O _C (g · kg ⁻¹)	全氮 TN (g · kg ⁻¹)	有机碳 / 全氮 O _C /TN
稻田 Paddy	334	6.19 ± 0.65aA	24.5 ± 7.78aA	2.66 ± 0.78aA	9.28 ± 1.16bB
旱地 Upland	80	5.46 ± 0.68bB	13.3 ± 4.49bB	1.68 ± 0.53cC	8.03 ± 1.70cC
林地 Woodland	307	6.25 ± 1.26aA	24.1 ± 10.5aA	2.33 ± 1.10bB	10.68 ± 1.59aA

表中不同小写和大写字母分别表示同列差异达显著水平 ($P < 0.05$) 和极显著水平 ($P < 0.01$)。Different lowercase and capital letters in each column represented statistical significant at 0.05 and 0.01 level, respectively. 下同 The same below.

3.2 不同土地利用方式下土壤微生物生物量碳和氮含量

从表 2 可以看出,稻田土壤微生物生物量碳 (B_C) 平均值分别比林地和旱地土壤高 69.6% 和 82.8%, 差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 旱地土壤 B_C 含量平均值比林地土壤低 43.7%, 差异达极

显著水平 ($P < 0.01$)。稻田土壤 B_C 含量主要分布区间为 550 ~ 2 550 mg · kg⁻¹, 其分布频率为 70.4% (图 2); 林地土壤 B_C 含量主要分布区间为 50 ~ 1 050 mg · kg⁻¹, 分布频率为 95.0%; 而旱地土壤 B_C 含量主要分布区间为 50 ~ 550 mg · kg⁻¹, 分布频率为 86.3%。由于稻田土壤有机碳含量平均值与林地土壤基本接近, 比旱地土壤高 47.5%; 而稻田土壤 B_C 含量平均值的变化与旱地和林地土壤比较, 远比有机碳的变化大; 林地土壤与旱地土壤有机碳含量平均值与土壤 B_C 平均值差异的变化基本相同。表明稻田利用方式下更有利于土壤微生物生物量的形成, 与陈国潮等^[3]研究的不同利用方式对红壤土壤 B_C 含量的影响基本相同, 但该样区土壤 B_C 含量明显高于红壤土壤 B_C 含量; 与刘守龙等^[10]研究的湖南稻田土壤 B_C 含量相比, 该样区稻田土壤 B_C 含量也高得多。表明喀斯特石灰岩发育的土壤 B_C 含量相对较高, 特别是在稻田土壤中。

稻田土壤微生物生物量氮 (B_N) 含量平均值与林地土壤之间没有显著差异; 旱地土壤 B_N 含量平均值分别比稻田和林地土壤低 62.2% 和 63.3%, 差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$)。稻田和林地土壤 B_N 含量主要分布区间在 5 ~ 205 mg · kg⁻¹, 分布频率分别占 96.4% 和 87.5% (图 2), 而旱地土壤 B_N 含量主要分布区间均在 5 ~ 105 mg · kg⁻¹, 分布频率占 93.1%。陈国潮等^[3]研究认为土地利用方式

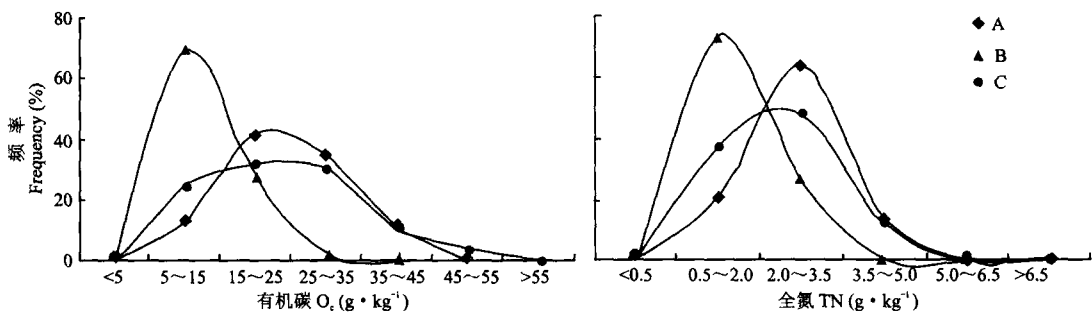


图 1 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤有机碳和全氮含量的分布频率

Fig. 1 Percentage frequency distribution of soil organic C and total N contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province.

A: 稻田 Paddy; B: 旱地 Upland; C: 林地 Woodland 下同 The same below.

表 2 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤微生物生物量碳和氮含量
Table 2 Soil microbial biomass C and N contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province

土地利用方式 Land-use type	样本数 Sample number	生物碳 B _C (mg · kg ⁻¹)	生物氮 B _N (mg · kg ⁻¹)	生物碳 / 有机碳 B _C / O _C (%)	生物氮 / 全氮 B _N / TN (%)	生物碳 / 氮 B _C / B _N
稻田 Paddy	334	1740 ± 945aA	113.6 ± 48.8aA	6.78 ± 1.58aA	4.22 ± 1.19aA	14.90 ± 4.59aA
旱地 Upland	80	298 ± 365cC	42.9 ± 33.9bB	1.95 ± 1.73bB	2.49 ± 1.73cB	6.87 ± 3.98bB
林地 Woodland	307	529 ± 283bB	117.0 ± 88.8aA	2.15 ± 0.62bB	4.67 ± 1.57bA	5.19 ± 1.59cC

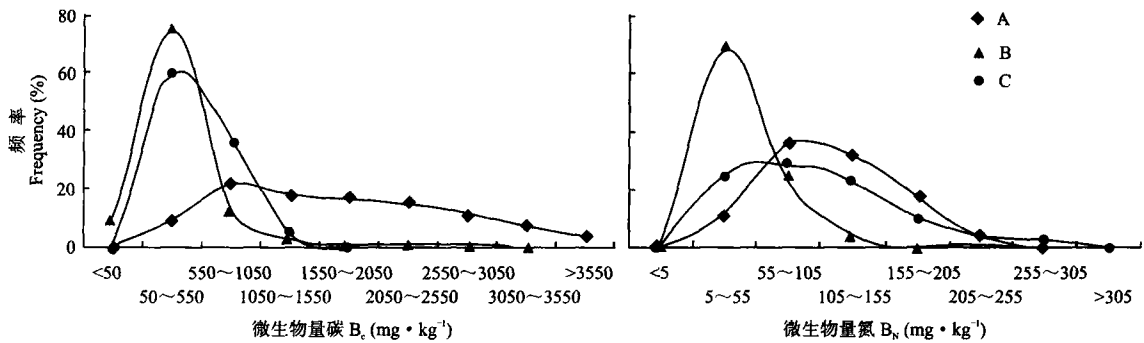


图 2 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤微生物生物量碳和氮含量的分布频率

Fig. 2 Percentage frequency distribution of soil microbial biomass C and N contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province.

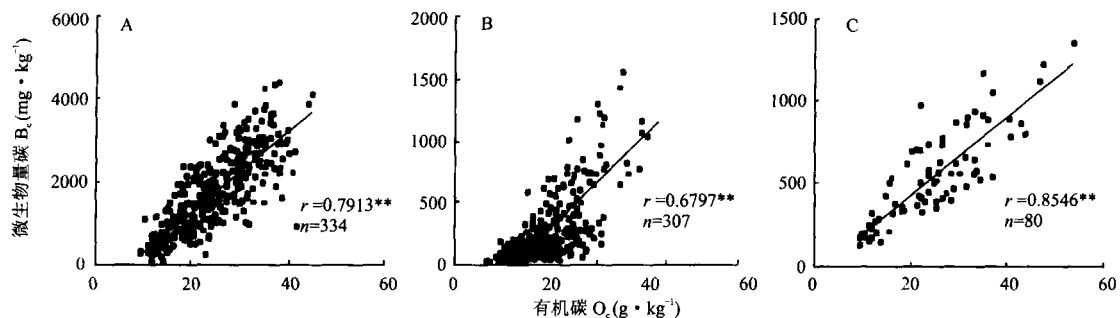


图 3 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤微生物生物量碳与有机碳含量的相关性

Fig. 3 Correlation between soil microbial biomass C and organic C contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province.

对红壤土壤 B_N 含量的影响相对较小,与本研究中稻田和林地利用方式的结果一致,但本研究表明旱地利用方式下土壤 B_N 含量显著低于稻田和林地.与陈国潮等^[3]研究的不同利用方式下红壤土壤 B_N 含量以及刘守龙等^[10]研究的湖南稻田土壤 B_N 含量相比,本研究的土壤 B_N 含量明显较高,特别是在稻田和林地土壤中.表明该样区土壤 B_N 含量具有明显的特异性,其对土壤氮素的转化和循环作用更强.

稻田土壤微生物生物量碳占土壤有机碳 (B_C/O_C) 比率平均值 (6.78%) 显著高于旱地和林地土壤 (1.95% 和 2.15%), 而旱地与林地土壤 B_C/O_C 比值没有显著差异 (表 2). 表明林地开垦为旱地时土壤有机碳和 B_C 含量同步下降,与上述结果一致.稻田土壤微生物生物量氮占土壤全氮 (B_N/T_N) 比率平均值为 4.22%, 与林地土壤 B_N/T_N 比率平均值 (4.67%) 没有显著差异; 但旱地土壤 B_N/T_N 比率平均值为 2.49%, 显著低于稻田和林地土壤 (表 2).

通常认为,土壤微生物生物量碳与生物量氮 (B_C/B_N) 比值是恒定的,但也有观点认为不同土壤的 B_C/B_N 比值存在差异. Anderson 等^[1]研究表明土壤 B_C/B_N 平均值为 6.7, 陈国潮等^[3]认为红壤土壤 B_C/B_N 平均值为 6.2 本研究中林地、旱地和稻田土

壤 B_C/B_N 平均值分别为 5.2、6.9 和 14.9, 与上述已有研究结果相比,旱地和林地土壤 B_C/B_N 平均值与 Anderson 等^[1] 和陈国潮等^[3] 的研究结果完全一致,但稻田土壤 B_C/B_N 平均值高 1 倍多.这可能与稻田土壤微生物的群落结构与旱地和林地土壤有较大差异有关.

3.3 土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机碳、全氮含量的关系

从图 3 可以看出,稻田、旱地和林地 3 种土地利用方式下土壤微生物生物量碳与土壤有机碳含量均呈极显著正相关.土壤有机质含量通常可用来指示土壤肥力,而土壤微生物生物量碳亦可作为喀斯特地区不同土地利用类型土壤肥力的指标之一. Parfitt 等^[12]指出,土壤微生物生物量比土壤有机质更能有效地反映土壤肥力状况,因为土壤有机碳含量高低不能直接地说明养分的有效性,而土壤微生物生物量则可以反映土壤活性养分库的状况.

土壤微生物生物量氮不仅是土壤氮素的重要储备库,同时也是植物有效氮的活性源^[13]. 已有研究指出,土壤微生物生物量氮可以作为评价土壤肥力的生物学指标,反映土壤氮素供应能力^[6,18]. 从图 4 可以看出,稻田、旱地和林地 3 种土地利用方式下土壤微生物生物量氮与土壤全氮含量均呈极显著正相

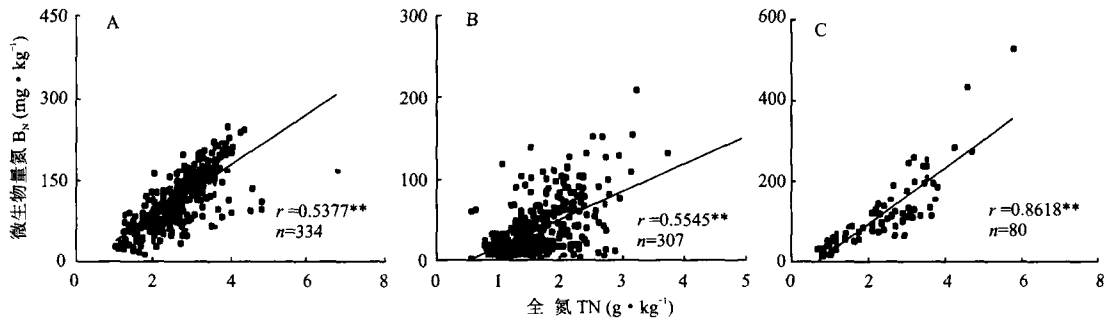


图 4 广西环江大才稻田、旱地和林地土壤微生物生物量氮与全氮含量的相关性

Fig. 4 Correlation between soil microbial biomass N and total N contents in paddy, upland and woodland soils in Dacai, Huanjiang County, Guangxi Province

关,说明土壤微生物生物量氮可作为反映喀斯特地区石灰岩发育的土壤氮素肥力生物学指标。

4 结 论

喀斯特石灰岩区旱地利用方式下土壤有机质、全氮以及土壤微生物生物量碳和氮含量均显著低于稻田与林地利用方式,说明旱地利用方式不仅不利于土壤有机碳和全氮的积累,而且使土壤微生物生物量碳和氮下降。同时,旱地利用方式下土壤 pH 值明显低于稻田和林地土壤。稻田比旱地和林地利用方式下更有利于土壤微生物生物量碳的形成,其含量平均值比林地和旱地高 3~5 倍。稻田土壤微生物生物量碳与生物氮比率 (B_C/B_N) 平均值比旱地和林地土壤高 1 倍多。土壤微生物生物量碳与土壤有机碳、土壤微生物生物量氮与土壤全氮含量之间均呈极显著正相关关系,土壤微生物生物量碳和氮含量可作为综合评价喀斯特石灰岩土壤质量和肥力的指标之一。

参考文献

- Anderson JPE, Domsch KH. 1980. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Sci*, **130**: 211~216
- Brookes PC, Landman A, Pruden G, et al. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol Biochem*, **17**: 837~842
- Chen G-C (陈国潮), He Z-L (何振立). 1998. Soil microbial biomass under different land-use types in red soil. *Chin J Soil Sci (土壤通报)*, **29** (6): 276~278 (in Chinese)
- Friedel JK, Munch JC, Fischer WR. 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biol Biochem*, **28**: 479~488
- Gupta VVSR, Roper MM, Kirkegaard JA, et al. 1994. Changes in microbial biomass and organic matter levels during the first year of modified tillage and stubble management practices on a red earth. *Austr J Soil Res*, **34**: 1339~1354
- Han X-R (韩晓日), Zhou D-Y (邹德乙), Guo P-C (郭鹏程), et al. 1996. Change of soil biomass N and its role in adjusting controlling nitrogen nutrition under long-term fertilization conditions. *Plant Nutr Fertil Sci (植物营养与肥料学报)*, **2** (1): 16~22 (in Chinese)

- Jawson ND, Elliott LF, Papendick RI, et al. 1989. The decomposition of ^{14}C -labelled wheat straw and ^{15}N -labelled microbial material. *Soil Biol Biochem*, **21**: 417~422
- Jiang Y (姜勇), Zhang Y-G (张玉革), Liang W-J (梁文举), et al. 2005. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use. *Sci Agric Sin (中国农业科学)*, **38**: 544~550 (in Chinese)
- Li D-P (李东坡), Wu Z-J (武志杰), Chen L-J (陈利军), et al. 2004. Dynamics of microbial biomass C in a black soil under long term fertilization and related affecting factors. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15** (8): 1334~1338 (in Chinese)
- Liu S-L (刘守龙), Xiao H-A (肖和艾), Tong C-L (童成立), et al. 2003. Microbial biomass C, N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soils. *Res Agric Modern (农业现代化研究)*, **24** (4): 278~282 (in Chinese)
- Lu R-K (鲁如坤). 1998. Analysis Method for Agriculture Soil. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press (in Chinese)
- Parfitt RL, Yeates GW, Ross DJ, et al. 2005. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management. *Appl Soil Ecol*, **28**: 1~13
- Schnure J, Rosswall T. 1978. Mineralization of nitrogen from ^{15}N labeled fungi, soil microbial biomass and roots and its uptake by barely plant. *Plant Soil*, **102**: 71~78
- Shaffer MJ, Ma LW, Hansen S. 2001. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. 1~10
- Wang X-J (王效举), Gong Z-T (龚子同). 1998. Assessment and prediction of soil changes under different land use patterns at a small area level in red soil hilly region. *Acta Pedol Sin (土壤学报)*, **35** (1): 135~139 (in Chinese)
- Wang X-L (王小利), Su Y-R (苏以荣), Huang D-Y (黄道友), et al. 2006. Effects of land use on soil organic C and microbial biomass C in hilly red soil region in subtropical China. *Sci Agric Sin (中国农业科学)*, **39** (4): 750~757 (in Chinese)
- Wu J, Joergensen RG, Pommerening B, et al. 1990. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-extraction ^{3}An automated procedure. *Soil Biol Biochem*, **20**: 1167~1169
- Yao H-Y (姚槐应), He Z-L (何振立), Chen G-C (陈国潮), et al. 1999. Fertility significance of microbial biomass in red soil ryegrass system. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **10** (6): 725~728 (in Chinese)

作者简介 李新爱,女,1979年生,硕士。主要从事土壤养分循环及其模拟研究,发表论文 4 篇。Tel: 0731-4615207; Email: lixin535@sohu.com

责任编辑 肖红