

不同利用方式下红壤微生物生物量及代谢功能多样性的变化^①

刘 明^{1,2}, 李忠佩^{1,2*}, 张桃林²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 研究了不同农林利用方式下红壤微生物生物量和代谢功能多样性等土壤质量指标的变化。结果表明: 不同利用方式对土壤质量各指标造成了显著的影响; 稻田的微生物生物量碳、氮最高, 林地和草地微生物生物量次之, 旱地的微生物生物量碳、氮最低 (分别是稻田利用方式的 4.3% 和 13.7%); 稻田的微生物代谢功能多样性最高, 旱地、林地和草地的细菌代谢功能多样性较低, 旱地的真菌代谢功能多样性最低; 微生物生物量和代谢功能多样性可以作为反映土壤质量变化的早期敏感的指标, 用来衡量管理措施的改变对土壤质量造成的影响。

关键词: 红壤; 利用方式; 微生物生物量; 微生物代谢功能多样性

中图分类号: S154

土壤质量变化与全球生物圈的可持续发展及农业的可持续利用密切相关^[1-2], 而土地の利用方式和管理措施的变化是影响土壤质量变化的重要因素^[3-4]。合理的土地利用可以改善土壤结构, 增强土壤对外界环境变化的抵抗能力, 提高土壤质量; 而不合理的利用方式会增加土壤侵蚀, 降低生物多样性, 导致土壤质量的退化^[5]。

土壤有机碳 (C) 是营养元素, 如氮 (N)、磷 (P) 等生物化学循环的重要组成部分, 与土壤的可持续利用能力密切相关。利用方式的变化可以对土壤有机C含量造成显著影响^[6]。微生物生物量被认为是一种比土壤有机质更为灵敏的评价土壤质量的指标^[7], 也容易受不同利用方式的影响。土壤微生物作为土壤有机质和养分转化与循环的动力, 参与土壤生态过程的各个环节, 其数量和组成是衡量土壤质量的重要指标。通过对微生物代谢功能多样性的研究可以了解土壤微生物的生理模式和群落结构^[8]。

我国红壤地区的土壤资源, 由于长期不合理的利用, 退化较为严重^[9], 研究土壤的有机质, 养分以及微生物对不同利用方式的响应, 有助于了解该地区的土壤生态过程及质量变化。对于红壤地区不同利用方式的研究大多关注利用方式与土壤有机质, 养分状况及微生物生物量的关系^[10-12], 而对于微生物

多样性的研究相对薄弱。因此本实验重点关注江西红壤地区 4 种典型的土地利用方式, 即长期精细管理的稻田 (80 年左右), 退化红壤经植被恢复后形成的荒草地和人工阔叶林, 以及粗放管理的旱地, 籍此了解不同利用方式下土壤的有机质和养分状况, 并重点研究微生物生物量及多样性指标的变化, 以期制定合理的土地管理措施, 防止土壤退化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤采自中国科学院红壤生态实验站, 位于江西省鹰潭市余江县刘家站 (东经 116°55'30", 北纬 28°15'30"), 属亚热带季风气候区, 年降雨量 1785 mm, 年均温 17.8℃。供试土壤分别采自该区域典型稻田 (利用年限 80 年左右的老水田)、草地 (红壤退化后自然恢复的荒草地)、林地 (红壤退化后植被恢复形成的人工小叶栎林) 和旱地 (花生地), 母质均为第四纪红色黏土。土壤样品为 5 点混合样品, 采样深度为 0 ~ 15 cm。土壤采集后, 带回室内, 除去根系、石块等杂物, 再过 2 mm 筛, 根据测试项目不同, 风干样室温保存或鲜样 4℃ 保存。土壤的有机C、全N及基本养分含量见表 1。

①基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目 (2007CB109301) 和中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09-08) 资助。

* 通讯作者 (zhpli@issas.ac.cn)

作者简介: 刘明 (1979—), 男, 江苏徐州人, 博士研究生, 主要从事土壤生物与生化方面研究。E-mail: mliu@issas.ac.cn

表1 不同利用方式下土壤的基本理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties under different land use types

土地利用方式	有机C (g/kg)	全N (g/kg)	全P (g/kg)	碱解N (mg/kg)	速效P (mg/kg)	黏粒含量 (g/kg)	C/N	含水量 (g/kg)
旱地	6.68	0.73	0.50	62.48	20.61	406.2	9.18	154
林地	8.98	0.86	0.29	66.15	4.22	471.6	10.48	203
草地	9.62	0.92	0.31	77.18	2.39	415.9	10.42	212
稻田	23.57	2.57	0.73	209.48	30.71	214.7	9.16	294

1.2 分析方法

土壤有机C采用Turin法；全N和速效N分别采用Kjeldahl和碱解扩散法；全P和速效P分别采用钼锑抗比色法和Olsen法；黏粒含量采用吸管法进行检测^[13]。

土壤微生物生物量C、N采用氯仿熏蒸提取法测定，根据熏蒸和未熏蒸处理土壤提取液中有机C、全N含量之差，分别乘以系数2.64（微生物生物量C）、1.85（微生物生物量N），求得微生物生物量C、N^[14]。

对于细菌代谢功能多样性的检测，采用96孔培养板和选择的9种C源进行培养实验，首先称取5 g新鲜土壤样本，加入12 ml 0.85% NaCl，振荡30 min，然后用0.04%的四氮唑紫溶液稀释后，吸取150 μ l样品加入96孔板中（每孔分别含有C源：核糖（ribose）、葡萄糖（glucose）、果糖（fructose）、甘露糖（mannose）、蔗糖（saccharose）、纤维二糖（cellobiose）、淀粉（starch）、纤维素（cellulose）和木质素（lignin）），分别培养24、48、72、96、120、144、136 h，最后检测590 nm处每孔吸光值。对于真菌多样性的检测：风干土样首先经过205 μ m及105 μ m筛洗涤，然后过滤并收集含有真菌的土壤颗粒，最后加入含有抗菌素的0.1% 琼脂糖溶液^[15]，其余检测步骤与细菌相同。以上实验均重复3次。

用SPSS13.0对不同利用方式之间的数据进行方差分析（ANOVA），差异水平通过LSD法检验；多样性分析及公式参考Zhong和Cai的报道^[16]；主成分分析用SPSS13.0进行。

2 结果与讨论

2.1 有机碳及养分含量

不同利用方式下，有机C的含量情况为：稻田>草地>林地>旱地（表1）。土壤有机C决定于系统物质输入和输出的平衡，李忠佩等^[17]的研究表明，荒地红

壤经水耕利用后，会因为施肥以及生物量的增加，导致土壤有机C的含量迅速升高，因此稻田的有机C含量较高；草地和林地由于养分投入较少，同时归还土壤的地被物量相对稻田也较少，有机C的含量低于稻田；旱地土壤，由于长期的粗放管理，同时长期暴露于亚热带地区的高水平光、热条件下，有机质的分解较为迅速，有机C含量最低。全N和碱解N的含量情况与有机C类似；全P和无机P的含量情况为：稻田最高，旱地次之，而林地和草地的含量相对较低。由于P素养分的投入，同时由于P在土壤中的移动性较小以及红壤很强的固P能力^[17]，所以农用地（稻田和旱地）的全P和速效P含量高于不施肥状态下的草地和林地。

2.2 微生物生物量碳、氮

微生物生物量作为一种灵敏的评价土壤质量变化的指标^[7]，耕作方式、有机残体的投入和施肥都会对其造成影响。本实验中，微生物生物量C、N含量情况为：稻田>草地>林地>旱地（图1）。该结果与此前的研究一致^[18]。微生物生物量的变化能够反映物料的分解特征和微生物的活性状态。稻田的有机无机物料投入比较高，因此微生物的养分充足，活性较高，生物量比其他利用方式要高，草地和林地的养分的投入主要是地被物的回归土壤，因此微生物生物量相对较低。此外，有研究表明土壤水分是影响微生物生长的重要因素之一^[19]，本研究中，由于水分的缺乏，旱地土壤微生物生长收到限制，因此与稻田相比，微生物生物量水平也较低。总而言之，在红壤地区不同农林利用方式下，稻田的微生物生物量和养分含量最高，草地、林地次之，粗放管理的旱地最低。因此稻田作为传统的管理措施，是一种较好的维持土壤质量的利用方式，而林地和草地作为土壤退化的恢复手段对土壤有机质的积累和肥力的保持也较为有利，旱地生境不利于土壤肥力的保持^[18, 20-21]。

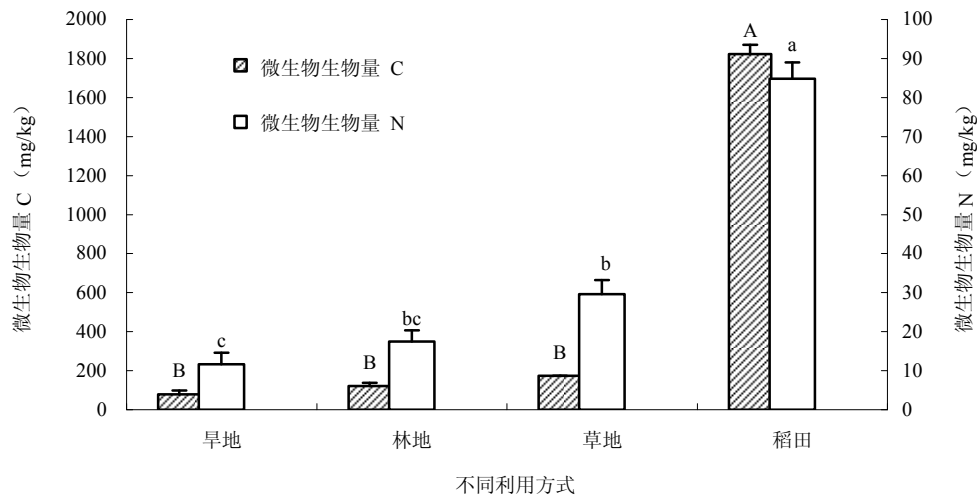


图 1 不同利用方式下微生物生物量 (图中大、小写字母分别代表微生物 C、N 的差异显著性 ($p < 0.05$))

Fig. 1 Soil microbial biomass under different land use types

2.3 微生物代谢功能多样性

土壤微生物区系和数量分布是土壤微生物分布的具体表现,可以灵敏地反映土壤环境变化过程。因此,土壤微生物的多样性是衡量土壤质量的重要指标。不同的利用方式及管理措施可以改变土地覆被状况,凋落物数量及养分的投入,从而影响微生物多样性。本实验通过 BIOLOG 分析,研究了不同利用方式下,细菌和真菌的代谢功能多样性。

Shannon 指数反映微生物的丰富度, Simpson 指数反映群落内常见物种的优势度。对细菌的代谢功能多样性研究表明,不同利用方式下,稻田 Shannon 指数显著高于林地和草地 ($p < 0.05$),旱地的 Shannon 指数也高于林地和草地,但是统计上差异不显著; Simpson 指数和 Shannon 指数相似,稻田和旱地较高,而林地和草地相对较低 (表 2); 对真菌的代谢功能多样性研究表明,稻田和林地真菌的 Shannon 指数和 Simpson 指数较高,草地相对较低,旱地最低 (表 2)。

不同利用方式下,细菌的代谢功能多样性的不同可能和 P 素肥料投入有关。Zhong 和 Cai^[16] 的研究显示,施用 P 肥土壤,细菌群落代谢功能多样性显著地高于不施 P 肥土壤。本实验的养分含量情况表明,稻田和旱地的全 P 和速效 P 含量均高于林地和草地,从而导致了细菌代谢功能多样性也大于林地和草地。主成分分析结果表明,除受到养分状况的影响以外,真菌代谢功能多样性主要受到土壤 C/N 比的影响 (图 2),而旱地的养分含量和 C/N 比均相对较低,因此其真菌的代谢功能多样性较低。

综上所述,红壤地区不同的利用方式对微生物的代谢功能多样性产生了显著的影响,农用地中稻田的细菌的多样性较高,旱地次之,而自然状态下的林地和草地较低;真菌的多样性也以稻田最高,林地和草地次之,旱地最低。此结果说明精细管理的稻田对维持微生物多样性较为有利。

表 2 不同利用方式下微生物代谢功能多样性

Table 2 Soil microbial functional diversity under different land use types

土地利用方式	细菌代谢功能多样性指数		真菌代谢功能多样性指数	
	Shannon 指数	Simpson 指数	Shannon 指数	Simpson 指数
旱地	1.249 ± 0.237 ab	4.669 ± 1.448 a	1.910 ± 0.064 a	6.296 ± 0.581 a
林地	0.911 ± 0.155 a	3.272 ± 0.421 a	2.061 ± 0.270 a	8.147 ± 2.013 a
草地	0.870 ± 0.029 a	2.751 ± 0.245 a	2.032 ± 0.137 a	7.783 ± 0.979 a
稻田	1.603 ± 0.231 b	6.056 ± 1.590 a	2.136 ± 0.189 a	8.321 ± 1.765 a

注:表中不同的字母代表不同利用方式下的差异显著性 ($p < 0.05$)。

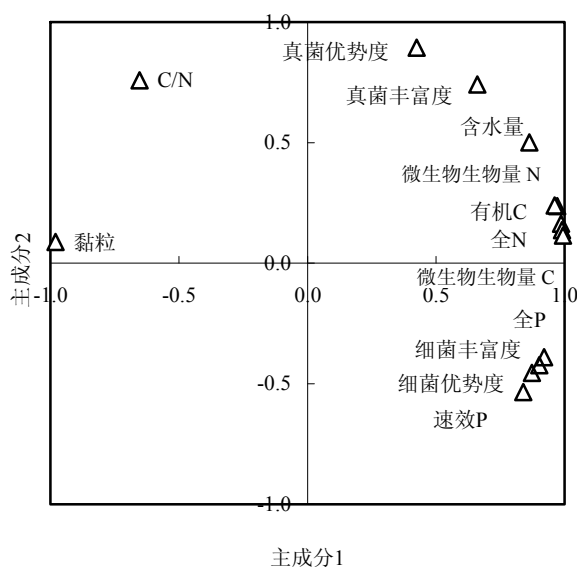


图2 主成分分析

Fig. 2 Principle component analysis

2.4 主成分分析

为了进一步探讨不同利用方式下土壤各个质量指标之间的关系，我们对生物指标，有机质和肥力指标进行了主成分分析，99.0%的变量可以被提取出的主成分解释，其中微生物生物量和细菌代谢功能多样性，有机C和养分含量解释了所有差异的76.3%，而真菌代谢功能多样性和土壤C/N比解释了22.7%（图2）。主成分分析表明黏粒含量、含水量与微生物生物量、微生物多样性指数和土壤肥力指标密切相关，黏粒的淋失可能是红壤质量性状改善的有效途径^[17]，而水分的缺乏，降低了土壤微生物生物量；不同利用方式下微生物生物量与土壤有机C、养分含量等指标密切相关；细菌的多样性与土壤微生物生物量、养分状况，特别是P素养分相关，除稻田土壤以外，其他利用方式下，微生物生物量与细菌多样性呈负相关关系，而P素养分的积累则增加了微生物生物多样性；真菌的多样性不仅与土壤的养分状况相关，而且与土壤C/N比密切相关。

3 结论

红壤地区不同利用方式对土壤微生物生物量及群落结构产生了显著的影响；稻田的微生物生物量，多样性和肥力状况均高于其他利用方式，说明在该地区，作为传统的利用方式，稻田有利于土壤质量的维持和提高；林地和草地作为土壤退化恢复的手段，保证了微生物多样性的维持，有机质以及养分的保持；在该

地区，长期粗放管理的旱地，土壤微生物生物量，有机C及养分状况相对较低，真菌的多样性下降，不利于土壤质量的保持；微生物生物量和多样性与土壤的有机质含量、养分状况密切相关，可以作为反映不同利用方式下土壤质量变化的早期的敏感指标。

参考文献：

- [1] Papendick RI, Rarr JF. Soil quality: The key to a sustainable agriculture. *Am. J. Alter. Agric.*, 1992, 7: 2-3
- [2] Wang XJ, Gong ZT. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. *Geoderma*, 1998, 81: 339-355
- [3] Doran JW. Determinants of soil quality and health // Ral L. *Soil Quality and Soil Erosion*. London: CRC Press, 1999: 17-36
- [4] Lal R. Soil quality and sustainability // Lal R. *Methods for Assessment of Soil Degradation*. London: CRC Press, 1997: 17-30
- [5] Doran JW, Sarrantonio M, Liebig M. Soil health and sustainability // Sparks DL. *Advances in Agronomy*. San Diego, CA, USA: Academic Press, 1996: 1-54
- [6] 王清奎, 汪思龙, 高洪, 刘艳, 于小军. 土地利用方式对土壤有机质的影响. *生态学杂志*, 2005, 24(4): 360-363
- [7] Powlson DS, Brookes PC, Christensen BT. 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: 159-164
- [8] Garland JL, Mills AL. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on base of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. *Appl. Environ. Micro.*, 1991, 57: 2351-2359
- [9] 赵其国. 我国红壤退化问题. *土壤*, 1995, 27(6): 281-285
- [10] 陈国潮, 何振立. 红壤不同利用方式下的微生物量研究. *土壤通报*, 1998, 29(6): 276-278
- [11] 陈永强, 俞劲炎. 不同利用方式下红壤内在性质的演化. *土壤通报*, 2004, 35(2): 149-151
- [12] 陈桂秋, 黄道友, 苏以荣, 谢小立, 吴金水. 红壤丘陵区土地不同利用方式对土壤有机质的影响. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 256-260
- [13] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科学出版社, 1999
- [14] Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19: 703-707
- [15] Buyer JS, Roberts DP, Millner P, Russek-Cohen E. Analysis of

- fungus communities by sole carbon source utilization profiles. *Journal of Microbiological Methods*, 2001, 45: 53–60
- [16] Zhong WH, Cai ZC. Long-term effects of inorganic fertilizers on microbial biomass and community functional diversity in a paddy soil derived from quaternary red clay. *Applied Soil Ecology*, 2007, 36: 84–91
- [17] 李忠佩, 李德成, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞玲, 施亚琴. 红壤水稻土肥力性状的演变特征. *土壤学报*, 2003, 40(6): 870–878
- [18] Li ZHP, Wu XCh, Chen BY. Changes in transformation of soil organic C and functional diversity of soil microbial community under different land uses. *Agri. Sciences China*, 2007, 6: 1235–1245
- [19] Illeris L, Michelsen A, Jonasson S. Soil plus root respiration and microbial biomass following water, nitrogen, and phosphorus application at a high arctic semi desert. *Biogeochemistry*, 2003, 65: 15–29
- [20] 苏永中, 赵哈林. 科尔沁沙地不同土地利用和管理方式对土壤质量性状的影响. *应用生态学报*. 2003, 14(10): 1681–1686
- [21] 侯鹏程, 徐向东, 潘根兴. 不同利用方式下吴江市耕地土壤环境质量变化. *生态环境*. 2007, 16(1): 152–157

Changes of Microbial Biomass and Functional Diversity in Red Soil Under Different Land Use Types

LIU Ming^{1,2}, LI Zhong-Pei^{1,2}, ZHANG Tao-lin²

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Changes of microbial biomass and functional diversity in red soil were determined under different land use types. Results showed that land use type significantly influenced the various aspects of soil quality. Soil microbial biomass was higher in paddy soil, but medium in grassland and forestry, while in arid-land soil the contents of microbial biomass C and N were minimum (4.3% and 13.7% of those in paddy soil respectively). Microbial functional diversity was higher in paddy soil, while bacterial diversity was lower in arid-land, forestry and grassland, fungal functional diversity was lowest in arid-land soil. Microbial biomass and functional diversity, as an early and sensitive indicator, could be used to evaluate the effect of land use type or management on soil quality.

Key words: Red soil, Land use, Microbial biomass, Microbial functional diversity