

衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段土壤微生物特性

陈璟, 杨宁

湖南环境生物职业技术学院园林学院, 湖南 衡阳 421005

摘要: 为了探讨衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段土壤微生物特性, 采用空间代替时间序列方法, 以草坡群落阶段(I)、灌草群落阶段(II)、灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV)的 0~40 cm 的土层为研究对象, 研究土壤微生物特性的演变特征。结果表明: (1) 从 I、II、III 至 IV, 土壤容重(Bulk Density, BD)、代谢熵($q\text{CO}_2$)显著降低($P<0.05$); 非毛管孔隙度(Non-capillary Porosity, NCP)、孔隙比(Non-capillary Porosity/Capillary Porosity, NCP/CP)、土壤有机碳(Soil Organic Carbon, SOC)、全氮(Total Nitrogen, TN)、阳离子交换量(Cation Exchange Capacity, CEC)、土壤微生物量碳(Soil Microbial Biomass Carbon, SMBC)、土壤微生物量氮(Soil Microbial Biomass Nitrogen, SMBN)与土壤基础呼吸(Soil Base Respiration, SBR)显著增加($P<0.05$); pH 值逐渐减小($P>0.05$)。 (2) SMBC/SMBN 比在 5.23~6.96 之间, 土壤微生物以细菌为主; II、III 至 IV 的土壤真菌比例、SMBC/SMBN 的比值与麦角固醇-C/SMBC 的比值显著高于 I ($P<0.05$)。研究结果丰富了该地区恢复生态学的内容, 为该区域植被恢复与重建提供一定的理论依据。

关键词: 植被恢复; 土壤基础呼吸; 微生物生物量; 麦角固醇; 紫色土; 衡阳

中图分类号: S714; X825

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0739-04

引用格式: 陈璟, 杨宁. 衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段土壤微生物特性[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 739-742.

CHEN Jing, YANG Ning. Soil Microbial Properties under Different Re-vegetation Stages on Sloping-land with Purple Soils in Hengyang [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 739-742.

土壤退化成为当今全球普遍关注的紧迫问题之一^[1], 而且也是我国面临的重大环境问题之一。而植被恢复是防止土壤退化、改良土壤功能的最有效措施之一^[2]。在生态系统中, 植被与土壤是一个相互作用、协调发展的统一体, 植被的演替伴随着土壤性状的改变, 土壤的分异导致植被的变化, 植被的变化影响着土壤的发育^[3-4]。尽管土壤微生物生物量碳(Soil Microbial Biomass Carbon, SMBC)仅占土壤有机 C 的 2%~4%, 但土壤微生物数量及其活性影响土壤有机质(Soil Organic Matter, SOM)的转化和养分的循环, 是维持土壤质量的基础^[5-6], 在土壤生态系统的恢复过程中, 土壤微生物特征与生化特征可作为其恢复状态的敏感指标^[7]。

衡阳紫色土丘陵坡地面积 $1.625\times 10^5 \text{ hm}^2$, 被公认为是湖南省环境最为恶劣的地区之一, 该区域水土流失严重, 植被稀疏, 基岩裸露, 有的区域几乎没有土壤发育层, 生态环境十分恶劣, 植被恢复十分困难^[8]。多年来该区域的研究重点主要集中在土壤理化性质以及适宜植物种类的选育等方面^[3-4, 9], 然而植被恢复是一个生物学过程, 其中土壤微生物起着关键作用, 在以往的研究中, 微生物过程很少被关注。为此, 本研究采用“空间序列代替时

间序列”的方法^[10-11], 对衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段土壤微生物特性进行研究, 增强我们对土壤生物学过程的认识, 进而对其植被恢复与重建提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

以衡阳紫色土丘陵坡地 ($110^\circ 32' 16'' \sim 113^\circ 16' 32'' \text{E}$, $26^\circ 07' 05'' \sim 27^\circ 28' 24'' \text{N}$) 为研究区域, 东起衡东县霞流镇与大浦镇, 西至祁东县过水坪镇, 北至衡阳县演陂镇与渣江镇, 南达常宁市官岭镇与东山乡和耒阳市遥田镇与市炉镇一带, 以衡南、衡阳两县面积最大, 地貌类型以丘岗为主, 紫色土呈网状集中分布于该区域中部海拔 60~200 m 的地带。该区域属亚热带季风湿润气候, 年平均气温 18°C ; 极端最高气温 40.5°C , 极端最低气温 -7.9°C , 年平均降雨量 1325 mm, 年平均蒸发量 1426.5 mm。平均相对湿度 80%, 全年无霜期 286 d。

1.2 研究方法

2010 年 8 月, 选择坡度、坡向、坡位和裸岩率等生态因子基本一致的坡中下部沿等高线的有代表性的样地(表 1): 草坡群落阶段(I)、灌草群落阶段(II)、灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV), 代

基金项目: 国家林业局 948 重点项目(2008-4-32); 湖南省重点课题项目(62020608001)

作者简介: 陈璟(1966 年生), 男, 副教授, 主要从事园林植物、园林生态方面的研究与教学工作。E-mail: heshecheng2@sina.com

收稿日期: 2013-03-04

表 1 样地概况

Table 1 The condition of sampling sites

	演替年限/a	[坡度/(°)]/坡向	海拔/m	盖度/%	优势植物
I	2	25/SW	125	40	狗尾草; 狗芽根
II	5~8	20/SW	115	50	紫薇; 糯米条; 狗尾草
III	20~25	30/SW	120	65	牡荆; 刺槐; 糯米条; 六月雪
IV	50a 左右	25/SW	130	80	枫香; 苦楝; 牡荆

狗尾草 *Setaria viridis*; 狗芽根 *Cynodon dactylon*; 紫薇 *Lagerstroemia indica*; 糯米条 *Abelia chinensis*; 六月雪 *Serissa japonica*; 牡荆 *Vitex negundo* var. *cannabifolia*; 刺槐 *Robinia pseudoacacia*; 枫香 *Liquidambar formosana*; 苦楝 *Melia azedarach*

表不同植被恢复阶段, 且每个样地的面积 $>1 \text{ hm}^2$, 群落演替的初始条件均为撂荒地。在每个 $>1 \text{ hm}^2$ 的样地内各设置 3 块 400 m^2 ($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$) 样方, 且样方间距 $>20 \text{ m}$, 在每个样方内按 S 型采取 15 个样本 ($0 \sim 40 \text{ cm}$) 混合为一个混合样, 去掉土壤中可见植物根系和残体, 将混合土样分成 2 部分, 一部分鲜土风干过筛 (100 目), 用于测定土壤的容重 (Bulk Density, BD)、毛管孔隙度 (Capillary Porosity, CP)、非毛管孔隙度 (Non-capillary Porosity, NCP)、土壤有机碳 (Soil Organic Carbon, SOC)、全氮 (Total Nitrogen, TN)、阳离子交换量 (Cation Exchange Capacity, CEC) 与 pH 值等土壤理化性状, 其测定方法参考文献^[12-13]方法; 另一部分鲜土过筛 (2 mm), 4°C 下保存, 用于土壤基础呼吸 (Soil Base Respiration, SBR)、SMBC、土壤微生物量氮 (Soil Microbial Biomass Nitrogen, SMBN) 与麦角固醇的测定, SMBC 采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 浸提法测定, 转换系数 K 采用 $0.45^{[14]}$, SMBN 采用氯仿熏蒸- K_2SO_4 提取-氮自动分析仪法, 转换系数 K 采用 $0.45^{[15]}$, SBR 测试参照《土壤农业化学分析方法》, 通常采用土壤中氧气的吸收量或二氧化碳和释放量来表达^[16], 代谢熵或呼吸熵 ($q\text{CO}_2$) 是 SBR 与 SMBC 的比值, 麦角固醇含量的测定采用外标法按峰面积进行定量^[17-19]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 13.0 软件进行数据处理与分析, 采用单因素方差分析法 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 比较不同数据间的差异, 所有数据均为 3 次重复的平均值, 表中数据为平均数 $\pm$ 标准差。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

由表 2 可见, 从草坡群落阶段 (I) 至乔灌群落阶段 (IV), 由于受土壤颗粒组成差异的影响, 后两个阶段的 BD 显著低于前两个阶段的 BD ($P < 0.05$), NCP 增加显著 ($P < 0.05$), 说明随着恢复的演替进行, 土体构造变得疏松, 土壤容蓄能力升高, 用来表征土壤通气性、渗透性与保水性的孔隙比 (Non-capillary Porosity/Capillary Porosity, NCP/CP) 显著增加 ($P < 0.05$); 由于植被凋落物的差异, SOC、TN 显著增加 ($P < 0.05$), CEC 显著增加 ($P < 0.05$), 说明随着恢复的演替进行, 土壤的保肥性能得到提高, 由于 SOC、TN 的增加, 土壤中有机的相应增加, pH 值逐渐减小 ($P > 0.05$)。

2.2 土壤呼吸强度与微生物生物量

植被恢复通过吸收养分与和归还有机物等影响土壤的理化性质, 土壤微生物量与 SBR 发生改变, 指示着植被恢复过程中土壤质量的演变过程。由表 3 可知, 随着恢复的演替进行, SMBC、SMBN 与 SBR 显著增加 ($P < 0.05$), 说明植被恢复改善了土壤水、热、气、温等状况, 增强了土壤的生物活性。

2.3 土壤微生物群落结构

SMBC/SMBN 可以反映土壤微生物种类与区

表 3 不同恢复阶段土壤微生物量与基础呼吸

Table 3 Microbial biomass, SBR under different re-vegetation stages

	w(SMBC)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(SMBN)/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	(SBR/ $\text{CO}_2\text{-C}$)/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)
I	150.12 $\pm$ 20.32a	28.69 $\pm$ 1.55a	0.37 $\pm$ 0.02a
II	286.69 $\pm$ 19.05ab	44.09 $\pm$ 2.54ab	0.50 $\pm$ 0.03ab
III	342.00 $\pm$ 21.65ab	50.76 $\pm$ 3.79ab	0.54 $\pm$ 0.02ab
IV	598.43 $\pm$ 19.67b	85.98 $\pm$ 2.56b	0.65 $\pm$ 0.03b

表 2 不同恢复阶段土壤理化性质

Table 2 Soil physio-chemical properties under different re-vegetation stages

	$\rho(\text{BD})/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	w(NCP)/%	w(CP)/%	NCP/CP	w(SOC)/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(TN)/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	(CEC)/ $b(\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1})$	pH
I	0.92 $\pm$ 0.02a	4.67 $\pm$ 0.45a	35.34 $\pm$ 4.00a	0.13 $\pm$ 0.02a	8.98 $\pm$ 1.03a	0.87 $\pm$ 0.02a	10.09 $\pm$ 1.09a	8.67 $\pm$ 0.05a
II	0.93 $\pm$ 0.03a	6.01 $\pm$ 0.56ab	35.10 $\pm$ 3.98a	0.17 $\pm$ 0.02ab	9.12 $\pm$ 1.05a	1.02 $\pm$ 0.03ab	12.54 $\pm$ 1.04ab	8.30 $\pm$ 0.03a
III	0.62 $\pm$ 0.02b	7.02 $\pm$ 0.61ab	34.23 $\pm$ 3.56a	0.21 $\pm$ 0.01ab	12.54 $\pm$ 1.32ab	1.23 $\pm$ 0.04ab	15.67 $\pm$ 1.11ab	7.99 $\pm$ 0.04a
IV	0.55 $\pm$ 0.01b	9.24 $\pm$ 0.58b	33.45 $\pm$ 3.76a	0.28 $\pm$ 0.02a	18.43 $\pm$ 2.00b	1.56 $\pm$ 0.04b	16.99 $\pm$ 1.23b	7.65 $\pm$ 0.04a

同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

表 4 不同恢复阶段土壤微生物商(qMB)及麦角固醇-C 的含量
Table 4 qMB values and soil ergosterol-C concentrations under different re-vegetation stages

	SMBC/SMBN	w(SMBC/SOC)/%	w(SMBN/TN)/%	qCO_2	w(麦角固醇-C)/($\mu g \cdot g^{-1}$)	麦角固醇-C/SMBC
I	5.23±0.54a	1.67±0.14a	3.30±0.30a	2.45±0.22a	0.12±0.00a	0.80±0.11a
II	6.50±0.5b	3.14±0.21b	4.32±0.41ab	1.71±0.15ab	3.24±0.23b	6.38±0.32ab
III	6.74±0.60b	2.73±0.22b	4.13±0.40ab	1.64±0.14ab	3.28±0.22b	9.59±0.51b
IV	6.96±0.64b	3.25±0.31b	5.51±0.50b	1.06±0.11b	3.82±0.34b	11.30±0.68b

系^[20],一般情况下,细菌 SMBC/SMBN 在 5/1 左右,放线菌在 6/1 左右,真菌在 10/1 左右^[21-22]。植被恢复前后 SMBC/SMBN 比在 5.23 ~ 6.96 之间,说明土壤微生物以细菌为主。与草坡群落阶段(I)相比,灌草群落阶段(II)、灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV)3 个演替阶段的土壤 SMBC/SMBN 显著提高($P<0.05$),说明草坡群落阶段(I)细菌数量在微生物中所占比例高于后 3 个演替阶段,植被凋落物与根系物质分解过程诱导微生物区系发生变化,从而促进演替进程的发展。

麦角固醇是真菌细胞膜中的主要固醇类物质^[23]。真菌死亡后麦角固醇将迅速分解,其相对含量可作为真菌活性的优良指标^[24-25]。如表 4 所示,在草坡群落阶段(I),麦角固醇-C 含量仅为 $0.12 \mu g \cdot g^{-1}$,而灌草群落阶段(II)、灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV)的麦角固醇-C 的质量分数显著提高($P<0.05$),在 $3.24 \sim 3.82 \mu g \cdot g^{-1}$ 之间,分别提高 27.00、27.33 与 31.83 倍。而后 3 个恢复阶段麦角固醇-C 含量无显著差异($P>0.05$)。

土壤中麦角固醇-C/SMBC 的比值越大,真菌在土壤微生物总量所占的比值越大,在草坡群落阶段(I),麦角固醇-C/SMBC 的比值显著低于后 3 个恢复阶段的麦角固醇-C/SMBC 的比值($P<0.05$),说明随着植被恢复的演替进行,凋落物随之增加,由于真菌能分解凋落物的纤维素与半纤维素等难以分解的物质,因此在灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV)阶段,麦角固醇-C/SMBC 的比值最大。

微生物熵(SMBC/SOC)是衡量生态系统中 SOC 积累或损失的一个重要指标,其值越大,土壤 C 的积累越大^[26-27]。在草坡群落阶段(I)中,SMBC/SOC 为 1.67%,显著低于而后 3 个演替阶段的 SMBC/SOC($P<0.05$),而后 3 个演替阶段的 SMBC/SOC 在 2.73% ~ 3.25% 之间,差异不明显($P>0.05$)。说明植被恢复后土壤层的 SOC 处于相对积累阶段。

代谢熵(qCO_2)是表征土壤微生物生物活性的一个个敏感指标,在一个较稳定和成熟的生态系统内表现一个较低的值。由表 4 可知,草坡群落阶段(I)的 qCO_2 显著高于后 3 个恢复阶段的 qCO_2 ($P<0.05$),说明在此阶段微生物的周转率快,平均菌龄

低,C 的利用效率低;后 3 个阶段的 qCO_2 低,说明土壤中的活性有机物较高,维持较好的土壤性状与可持续利用潜力,C 的利用效率显著提高。

3 结论

(1)衡阳紫色土丘陵坡地植被恢复后,由于植被凋落物、根表脱落物与根系分泌物的输入,土壤理化性状得以改善。具体表现为:BD 显著降低($P<0.05$),NCP 显著增加($P<0.05$),NCP/CP 显著增加($P<0.05$),SOC、TN 显著增加($P<0.05$),CEC 显著增加($P<0.05$),pH 值逐渐减小($P>0.05$),SMBC、SMBN 与 SBR 显著增加($P<0.05$)。

(2)植被恢复前后 SMBC/SMBN 在 5.23 ~ 6.96 之间,土壤微生物均以细菌为主。与草坡群落阶段(I)相比,灌草群落阶段(II)、灌丛群落阶段(III)与乔灌群落阶段(IV)等后 3 个演替阶段的土壤 SMBC/SMBN 与麦角固醇-C/SMBC 显著提高($P<0.05$),代谢熵(qCO_2)显著降低($P<0.05$)。

参考文献:

- [1] Stanley SW, Pierre CU. Soil erosion rates-myth and reality[J]. Science, 2000, 289: 248-250.
- [2] 杨玉盛,何宗明,林光耀,等. 退化红壤不同治理模式对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 276-282.
- [3] 杨宁,邹冬生,杨满元,等. 衡阳紫色土丘陵坡地植被不同恢复阶段土壤理化特征分析[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(6): 757-761.
- [4] 杨宁,邹冬生,杨满元,等. 衡阳紫色土丘陵坡地植被不同恢复阶段土壤微生物量碳的变化及其与土壤理化因子的关系[J]. 生态环境学报, 2013, 22(1): 25-30.
- [5] 陈璟,杨宁. 衡阳紫色土丘陵坡地自然恢复过程中微生物量碳动态变化[J]. 生态环境学报, 2012, 21(10): 1670-1673.
- [6] Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility[J]. Biology and Fertility of Soils, 2003, 37(2): 1-16.
- [7] 杨宁,邹冬生,李建国,等. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地主要植物群落自然恢复演替进程中种群生态位动态[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 87-93.
- [8] 杨宁,邹冬生,杨满元,等. 衡阳紫色土丘陵坡地不同恢复阶段植被特征与土壤性质的关系[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 90-96.
- [9] 杨宁,邹冬生,李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地植被恢复模式建设[J]. 草业科学, 2010, 27(10): 10-16.
- [10] 张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 86-92.
- [11] 杨宁,邹冬生,杨满元,等. 贵州雷公山秃杉的种群结构和空间分布格局[J]. 西北植物学报, 2011, 31(10): 2100-2105.
- [12] 杨宁,邹冬生,李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地土壤水分变化动态

- 研究[J]. 水土保持研究, 2009,16(6):16-21.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19(6):703-707.
- [15] Sparling G P, Gupta V V S R, Zhu G Y. Release of ninhydrin-reactive compounds during fumigation of soil to estimate microbial C and N[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993,25(12):1803-1805.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 12-13,106-108,146-195,266.
- [17] Morten K, Erland B. Estimation of conversion factors for fungal biomass determination in compost using ergosterol and PLFA[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004,36:57-65.
- [18] Montgomery H J, Monreal C M, Young J C, et al. Determination of soil fungal biomass soil ergosterol analyses[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000,32:1207-1217.
- [19] Eash N S, Stahl P D, Parkin T B, et al. A simplified method for extraction of ergosterol from soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 60:468-471.
- [20] 杨满元,杨宁,郭锐,等. 衡阳紫色土丘陵坡地恢复过程中土壤微生物数量特征[J]. *生态环境学报*, 2013,22(2):229-232.
- [21] 姜培坤,周国模. 侵蚀红壤植被恢复后土壤微生物量碳、氮的演变[J]. *水土保持学报*, 2003,17(1):112-114,127.
- [22] 杨宁,邹冬生,李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地自然恢复灌丛阶段主要种群空间分布格局[J]. *生态环境学报*, 2009,18(3):996-1001.
- [23] Weete A D. Structure and function of sterols in fungi[J]. *Advance in Lipid Research*,1989,23:115-167.
- [24] West A W, Grant W D. Use of ergosterol,diaminopimelic acid and glucosamine contents of soils to monitor change in microbial populations[J]. *Soil Biology and Biochemistry*,1987,19:607-612.
- [25] Davis M W, Lamar R T. Evaluation of methods to extract ergosterol for quantification of soil fungus biomass[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 607-612.
- [26] 陈璟,杨宁. 衡阳紫色土丘陵坡地不同植被恢复过程中土壤水文效应[J]. *中国生态农业学报*, 2013,21(5):590-597.
- [27] 杨宁,邹冬生,李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地主要植物群落生物量特征[J]. *湖南农业大学学报:自然科学版*, 2009,35(5):466-469.

Soil microbial properties under different re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang

CHEN Jing, YANG Ning

College of Landscape Architecture, Hunan Environmental-Biological Polytechnic College; Hengyang 421005, China

Abstract: The purpose was to study the soil microbial properties under different re-vegetation stages on sloping-land with purple soils in Hengyang. Taking the 0-40 cm soil layers in grassplot community stage(I), frutex and grassplot community stage(II), FG), frutex community stage(III) and arbor and frutex community stage(IV) in typical areas as test objects by using the space series to replace time series. The results showed that:(1)From I , II , III and IV, BD(bulk density, BD), $q\text{CO}_2$ significantly decreased($P<0.05$); NCP (non-capillary porosity, NCP), NCP/CP(non-capillary porosity/capillary porosity, NCP/CP), SOC (soil organic carbon, SOC), TN (total nitrogen, TN), CEC (cation exchange capacity, CEC), SMBC (soil microbial biomass carbon, SMBC), SMBN(Soil microbial biomass nitrogen, SMBN) and SBR(soil base respiration, SBR) significantly increased($P<0.05$); pH value gradually decreased ($P>0.05$). (2) The value of SMBC/SMBN was from 5.26 to 6.29 in the whole re-vegetation stages and the soil microbial community was mainly composed of bacteria; in II , III and IV, the ratio of fungi to microbial community, the ratio of ergosterol-C to SMBC and SMBC/SMBN were significantly higher than them in I ($P<0.05$). This study will to some degree enrich the restoration ecology of this area and provide theoretical basis for the vegetation recovery and reconstruction of ecosystem on sloping-land with purple soils in Hengyang.

Key words: re-vegetation; soil base respiration (SBR); soil microbial biomass; Ergosterol; purple soils; Hengyang