

退化红壤区不同重建模式森林土壤微生物碳氮特征研究

张水印¹, 余明泉^{1*}, 朱玲¹, 秦晓蕾²

(1. 江西科技师范学院 生命科学学院 江西 南昌 330038; 2. 江西农业大学 园林与艺术学院 江西 南昌 330045)

摘要:以地处江西省泰和县的退化红壤区不同植被重建模式的森林为研究对象,采用氯仿熏蒸浸提法测定不同植被重建模式森林土壤微生物量 C、N 的季节变化,结果表明:不同的植被重建模式对土壤微生物量 C、N 的影响均达到极显著($P < 0.001$),微生物量 N 大小依次表现为:阔叶林(33.67 mg/kg)、针阔混交林(30.64 mg/kg)、无林荒草地(28.09 mg/kg)、针叶林(23.46 mg/kg);微生物 C 量大小依次表现为:阔叶林(181.67 mg/kg)、针阔混交林(162.75 mg/kg)、无林荒草地(139.68 mg/kg)、针叶林(136.57 mg/kg)。季节对微生物量 N 的影响差异为极显著($P < 0.001$),对微生物量 C 的影响差异为显著($P < 0.05$),微生物量 C、N 均表现为夏、秋季高于春、冬季。微生物量 C、N 均与土壤全 N、全 C 呈显著相关,能有效地反映土壤的肥力状况。综合来看,不同植被恢复模式中阔叶林最好,其次为针阔混交林、无林荒草地和针叶林。

关键词:退化红壤;重建森林;微生物量 C、N

中图分类号:S714.5 文献标识码:A 文章编号:1000-2286(2010)01-0101-07

A Study on Microbial Biomass C, N Characteristics in Different Rehabilitating Forests on Degraded Red Soil

ZHANG Shui-yin¹, YU Ming-quan^{1*}, ZHU Ling¹, QIN Xiao-lei²

(1. College of Life Sciences, Jiangxi Science & Technology Normal University, Nanchang 330038, China; 2. College of Landscape Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China)

Abstract: The rehabilitated forest of different models in a degraded red soil region located in Taihe County, Jiangxi Province was taken as the object of the study. The season variation of soil microbial biomass C, N was investigated by chloroform fumigation extraction method. The results are described as follows: (1) The soil microbial biomass C, N were significantly affected by different rehabilitating models ($P < 0.001$). The soil microbial biomass N in the forests was ranked: broad-leaved forest (33.67 mg/kg), coniferous-broadleaved mixed forest (30.64 mg/kg), grassland (28.09 mg/kg), coniferous forest, and the microbial biomass C was ranked: broad-leaved forest (181.67 mg/kg), coniferous-broadleaved mixed forest (162.75 mg/kg), grassland (139.68 mg/kg), coniferous forest (136.57 mg/kg). Seasons significantly affected the soil microbial biomass N ($P < 0.001$) and had a notable effect on the soil microbial biomass C ($P < 0.05$). The soil microbial biomass C and N were higher in summer and autumn than in spring and winter. The soil microbial biomass C and N were notably associated with the total nitrogen in soil and could effectively reflect the status of

收稿日期:2009-05-07 修回日期:2009-12-18

基金项目:江西省教育厅科技项目(GJJ08373)

作者简介:张水印(1969-),男,副教授,硕士,主要从事土壤微生物研究;* 通讯作者:余明泉, E-mail:yumingquan_68@163.com。

soil fertility. In general, broadleaf forest was the best model in the different rehabilitating forests, followed by coniferous – broadleaved mixed forest, grassland and coniferous forest.

Key words: degraded red soil; rehabilitating forest; microbial biomass C, N

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分(C、N、P、S等)转化和循环的动力,它参与有机质的分解、腐殖质的形成、养分的转化和循环的各个生化过程^[1-2],土壤微生物生物量是土壤养分的储存库和植物生长可利用养分的重要来源,与微生物个体数量指标相比,更能反映微生物在土壤中的实际含量和作用^[3-6]。

红壤是南方的一个重要的土壤类型^[7],由于自然与人为因素的干扰,植被破坏非常严重,水土流失、土地沙化以及自然灾害加剧,造成生态系统恶化^[8],对退化红壤区进行植被恢复是防止土壤退化、改良土壤的最有效措施之一^[9]。杨玉盛等^[10]在对福建河田镇退化红壤治理的研究表明,严重退化红壤采用不同的模式治理后土壤微生物数量、呼吸强度、酶活性都获得明显改善。不同的植被恢复模式对退化红壤的理化性质、生态效应影响差异显著^[11],探讨退化红壤区植被重建模式对于提高红壤的开发利用具有非常重大的意义。

本研究以地处江西省泰和县的退化红壤区不同模式重建的森林为研究对象,定期测定不同植被重建模式的森林土壤微生物量的季节变化,探寻不同植被重建模式的森林土壤微生物生物量的变化规律,为退化红壤的植被重建和生态恢复提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于江西省中部的泰和县石山、螺溪、南溪的接合部,东经 115°04',北纬 26°44'。属亚热带季风湿润性气候,年降水量 1 726 mm,降雨多集中在 4~6 月份,约占全年降水量的 49%,7~9 月高温干旱。成土母质是第四纪红粘土,表层石砾含量较多,属于典型的红壤低丘岗地^[12]。长期以来,由于人为的高强度的割茅、挖菟和常年的过牧,森林已不复存在,植被盖度小于 30%,且分布不均,以狗尾草(*Setaria viridis*)、野古草(*Arunfinella anomala*)、白茅(*Imperata cylidrica* var.)、黄茅(*Heteropogon contortus*)为主。1991 年以消灭荒山、重建植被恢复退化的生态系统为目标,选择了马尾松(*Pinus massoniana*)、湿地松(*P. elliotii*)、晚松(*P. serotina* Michx)、火炬松(*P. taeda*)、木荷(*Schima superba*)、枫香(*Liquidambar fomesana*)、桉树(*Eucalyptus* spp.)、樟树(*Cinnamomum camphora*)等针阔叶树种,采取不同栽植密度、不同种类配置并在林下间种胡枝子(*Lespedeza* spp.)、黄栀子(*Gardenia macrophylla*)的模式重建森林^[12]。

1.2 样地的选取

选取针叶纯林、阔叶纯林、针阔混交林 3 种重建模式作为研究对象,另取无林地模式作为对照,每种模式选取 3 块样地,共计 12 块,分别是无林地(草地 1、2、3 号),针叶纯林为马尾松(4 号)、湿地松(5 号)、晚松(6 号),阔叶纯林为木荷(7 号)、樟树(8 号)、枫香(9 号),针阔混交林为枫香×马尾松(10 号)、木荷×枫香×马尾松(11 号)、樟树×湿地松(12 号)。各样地基本理化性质见表 1。

1.3 实验设计与分析方法

首次取样于 2008 年 3 月 20 日进行,将每个样地分成 4 个 10 m×10 m 的小样方,然后在每个小样方内用土钻随机钻取 4 管土,原地混合均匀后成为 1 个土样,1 个样地共 4 个土样,12 个样地共 48 个。土样过筛(2~3 mm)后,调节到 40% 左右的田间持水量,在室温下放在密闭的装置中预培养 1 周,密闭容器中放入 2 个适中的烧杯,分别加入水和稀 NaOH 溶液,以保持其湿度和吸收释放的 CO₂,预培后立即分析,微生物生物量采用氯仿熏蒸浸提法测定。同时取样作基本理化性质分析,土壤全 C 用油浴-高铬酸钾容量法测定;土壤全 N 用开氏消煮法测定;土壤全 P 用浓硫酸-高氯酸催化消煮,钼锑抗比色法测定;土壤容重用环刀法测定;pH 值用 1:2 水溶液, pH 计测定^[13]。分别于 2008 年 6 月 20 日(夏)、2008 年 9 月 20 日(秋)和 2008 年 12 月 20 日(冬)重复取样,共 4 次。

表 1 研究样地表层(0~15 cm)基本理化性质
Tab.1 Basic characteristics of surface soil (0-15 cm) in study sites

重建模式 Rebuild model	林型 Forest type	土壤容重/ (g·cm ⁻³) Bulk density	pH	有机碳/ (mg·g ⁻¹) Organic carbon	全氮/ (mg·g ⁻¹) Total nitrogen	全磷/ (mg·g ⁻¹) Total phosphorus	碳氮比 C:N	氮磷比 N:P
无林地	1	1.21(0.05)	4.40(0.09)	20.79(0.40)	2.85(0.22)	0.17(0.01)	7.61(0.59)	14.70(0.88)
Grassland	2	1.21(0.05)	4.46(0.09)	20.54(0.47)	2.34(0.18)	0.13(0.01)	8.33(0.27)	20.19(1.56)
	3	1.46(0.11)	4.31(0.27)	5.56(0.34)	0.93(0.11)	0.09(0.01)	6.32(0.49)	7.80(0.41)
针叶林	4	1.15(0.04)	4.31(0.03)	18.82(1.16)	2.39(0.13)	0.16(0.02)	7.89(0.27)	16.45(0.88)
Coniferous forest	5	1.49(0.08)	4.31(0.03)	19.81(1.28)	2.43(0.17)	0.11(0.02)	8.19(0.27)	18.91(1.98)
	6	1.01(0.15)	4.32(0.02)	19.83(0.51)	1.98(0.10)	0.17(0.01)	10.19(0.55)	12.11(0.73)
阔叶林	7	1.20(0.04)	4.36(0.07)	17.38(0.66)	1.69(0.16)	0.06(0.01)	10.89(0.98)	26.38(1.27)
Broad-leaved forest	8	1.13(0.08)	4.53(0.05)	25.83(0.28)	3.22(0.09)	0.12(0.02)	8.06(0.26)	21.67(1.51)
	9	1.22(0.09)	4.29(0.04)	22.60(0.58)	2.52(0.11)	0.21(0.02)	9.05(0.33)	12.28(0.81)
针阔混交林	10	1.36(0.17)	4.07(0.19)	14.25(0.35)	2.53(0.26)	0.26(0.02)	6.05(0.59)	10.77(0.99)
Coniferous-broadleaved	11	1.43(0.09)	4.22(0.09)	10.66(0.47)	1.26(0.13)	0.21(0.02)	8.84(0.54)	6.20(0.80)
mixed forest	12	1.10(0.17)	4.29(0.04)	20.14(0.36)	1.94(0.11)	0.22(0.01)	10.11(0.54)	8.92(0.32)

平均值(标准误)。Average value (standard error).

1.4 数据统计与分析

所有数据采用统计软件 SPSS for Windows 11.0 进行单因素方差分析和多因素方差分析,显著和极显著分别为 $P < 0.05$ 和 $P < 0.001$ 水平。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物量 N

方差分析表明:季节对微生物量 N 的影响差异为极显著 ($P < 0.001$) (表 2),表明不同植被恢复模式土壤微生物量 N 具有季节波动性,大小依次表现为:夏季(35.21 mg/kg)、秋季(30.15 mg/kg)、春季(27.36 mg/kg)、冬季(23.14 mg/kg)。呈现出夏、秋季高于春、冬季的规律,最高值出现在夏季,最低值出现在冬季,与植物的生长节律相同。不同植被恢复模式对土壤微生物量 N 的影响差异也为极显著 ($P < 0.001$) (表 2),大小依次表现为阔叶林(33.67 mg/kg)、针阔混交林(30.64 mg/kg)、无林荒草地(28.09 mg/kg)、针叶林(23.46 mg/kg) (表 3)。

进一步分析不同植被恢复模式中具体的林型发现,针叶林微生物量 N 大小依次表现为:湿地松、晚松、马尾松;阔叶林表现为樟树、木荷、枫香;针阔混交林各具体林型间差异不显著(表 4)。

研究发现,不同植被恢复模式和季节的交互作用对微生物 N 的影响差异为显著 ($P < 0.05$) (表 2)。

表 2 不同恢复模式及季节对土壤微生物量 N、C 和微生物 C/N 的影响

Tab.2 Effects of different rehabilitating forest and seasons on soil microbial biomass N, C and C/N

因素 Factor	自由度 df	微生物量氮 Microbial biomass N		微生物量碳 Microbial biomass C		微生物量碳氮比 Microbial biomass C/N	
		F	P	F	P	F	P
		重建模式 Rebuild model	3	896.26	0.000	21 529.91	0.000
季节 Seasons	3	1 232.11	0.000	9 840.00	0.001	11.37	0.017
重建模式 × 季节 R × S	9	129.79	0.043	2 414.73	0.215	2.40	0.687

2.2 土壤微生物量 C

从表 2 中可以看出,季节对微生物量 C 影响差异为显著 ($P < 0.05$) (表 2)。大小表现为秋季(170.03 mg/kg)、夏季(162.20 mg/kg)、春季(151.45 mg/kg)、冬季(136.98 mg/kg) (图 1)。方差分析

表明,不同植被恢复模式对微生物 C 的影响差异为极显著 ($P < 0.001$) (表 2)。不同植被恢复模式间微生物量 C 大小依次表现为阔叶林(181.67 mg/kg)、针阔混交林(162.75 mg/kg)、无林荒草地(139.68 mg/kg)、针叶林(136.57 mg/kg) (表 3)。

从不同植被恢复模式中具体林型来看,针叶林土壤微生物量 C 大小依次为晚松、湿地松、马尾松;阔叶林表现为:各林型间差异不显著;针阔混交林表现为:樟树 × 湿地松、枫香 × 马尾松、木荷 × 枫香 × 马尾松(表 4)。方差分析表明,不同植被重建模式与季节的交互作用对微生物 C 的影响差异不显著 ($P > 0.05$) (表 2)。

表 3 不同植被恢复模式土壤微生物量 N、C 及微生物量 C/N 年均值

Tab. 3 Average value of soil microbial biomass N, C and microbial biomass C/N in different rehabilitating forest soils

重建模式 Rebuild model	微生物量氮 / (mg · kg ⁻¹) Microbial biomass N	微生物量碳 / (mg · kg ⁻¹) Microbial biomass C	微生物量碳氮比 Microbial biomass C/N
无林荒草地 Grassland	28.09 ± 1.67b	139.68 ± 7.73b	5.23 ± 0.25a
针叶林 Coniferous forest	23.46 ± 0.81c	136.57 ± 4.29b	6.08 ± 0.26a
阔叶林 Broad-leaved forest	33.67 ± 1.47a	181.67 ± 6.87a	5.82 ± 0.29a
针阔混交林 Coniferous-broadleaved mixed forest	30.64 ± 1.28ab	162.75 ± 6.08a	5.66 ± 0.29a

平均值 ± 标准误 $n = 96$ 同一列中不同字母表示差异显著 $P < 0.05$ 。

Value are means ± standard error $n = 96$, value suffixed with different letters in each column is significantly different with each other at $P < 0.05$ significance level.

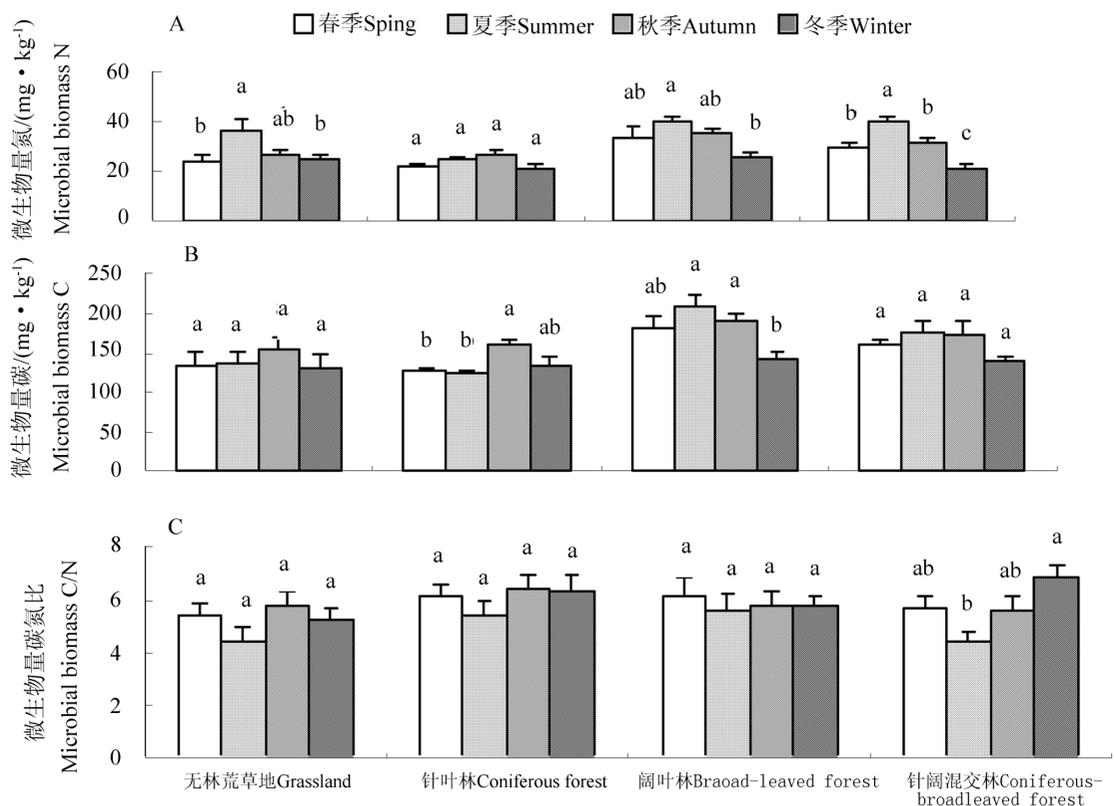


图 1 不同植被恢复模式土壤微生物量 N(A)、微生物量 C(B) 和微生物量 C/N(C) 季节动态变化

Fig. 1 Seasonal changes of soil microbial biomass N(A), microbial biomass C(B) and microbial biomass C/N(C) in different rehabilitating forest soils

2.3 土壤微生物 C/N

季节对土壤微生物量 C/N 的影响差异为显著 ($P < 0.05$) (表 2)。大小依次表现为冬季(6.07)、秋季(5.88)、春季(5.85)、夏季(4.98) (表 3)。不同的植被恢复模式对土壤微生物量 C/N 的影响没有差

异(表 2、表 3)。从不同植被恢复模式中具体林型来看,同一植被恢复模式中具体的林型的微生物 C/N 均没有差异(表 4)。方差分析表明,不同植被恢复模式与季节和交互作用对土壤微生物 C/N 的影响差异不显著。

表 4 不同植被恢复模式中各林型土壤微生物量 N、C 以及 C/N 的年均值

Tab. 4 Average value of soil microbial biomass N, C and microbial biomass C/N in different forest soils of the same rehabilitate

重建模式 Rebuild model	林型 Forest type	微生物量氮/(mg·kg ⁻¹) Microbial biomass N	微生物量碳/(mg·kg ⁻¹) Microbial biomass C	微生物量碳氮比 Microbial biomass C/N
针叶林 Coniferous forest	马尾松 <i>P. massoniana</i>	20.52 ± 1.27b	118.12 ± 7.59b	5.99 ± 0.48a
	湿地松 <i>P. elliotii</i>	26.99 ± 1.46a	143.07 ± 17.98a	5.44 ± 0.23a
	晚松 <i>P. serotina</i> Michx	22.87 ± 1.00ab	148.52 ± 7.77a	6.81 ± 2.22a
阔叶林 Broad-leaved forest	木荷 <i>Schima superba</i>	34.00 ± 2.89ab	182.49 ± 12.04a	5.58 ± 0.47a
	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	38.53 ± 1.60a	189.11 ± 6.15a	4.99 ± 0.20a
	枫香 <i>Liquidambar fomesana</i>	28.47 ± 2.48b	173.41 ± 15.91a	6.61 ± 2.66a
针阔混交林 Coniferous - broadleaved mixed forest	枫香 × 马尾松 <i>Liquidambar fomesana</i> × <i>P. massoniana</i>	33.29 ± 2.21a	158.68 ± 8.96ab	4.99 ± 0.34a
	木荷 × 枫香 × 马尾松 <i>Schima superba</i> × <i>Liquidambarfomesana</i> × <i>P. massoniana</i>	26.78 ± 2.42a	145.48 ± 6.47b	6.09 ± 0.54a
	樟树 × 湿地松 <i>Camphora</i> × <i>P. elliotii</i>	31.86 ± 1.79a	184.08 ± 13.18a	5.90 ± 0.39a

平均值 ± 标准误 $n=36$,同一列中不同字母表示差异显著 $P<0.05$ 。

Value are means ± standard error $n=36$, value suffixed with different letters in each column is significantly different with each other at $P<0.05$ significance level.

2.4 土壤微生物 N、C 与土壤理化性质的相关性

不同植被恢复模式森林土壤微生物量 C 阔叶林占有有机 C 的比例为 0.9% ~ 1.3% 平均 1.1%; 针阔混交林占有有机 C 的比例为 0.7% ~ 1.1% 平均 0.9%; 针叶林占有有机 C 的比例为 0.6% ~ 0.7% 平均 0.7%; 无林荒草地占有有机 C 的比例平均为 0.9%。微生物量 N 阔叶林占全 N 的比例为 1.3% ~ 2.1% 平均 3.02%; 针阔混交林占全 N 的比例为 1.1% ~ 2.0% 平均 3.37%; 针叶林占全 N 的比例为 0.8% ~ 1.2% 平均 2.35%; 无林荒草地占全 N 的比例平均为 1.38%。总体表明,不同植被恢复模式森林不仅影响土壤微生物量,而且影响微生物量 C、N 占土壤 C、N 百分率。

从表 5 中可以看出,微生物量 N 与土壤全 N、全 C 呈显著相关,而与全 P、pH 值、土壤容重不相关;微生物量 C 与土壤全 N、C/N 呈显著相关,与 N/P 呈一般性相关,与土壤容重呈负显著相关,而与全 P、pH 值不相关。

表 5 土壤微生物量 C、N 与土壤理化性质的相关性分析

Tab. 5 Correlations between soil microbial biomass C, N and basic characteristics

因素 Factor	全氮 Total nitrogen	全碳 Total carbon	全磷 Total phosphorus	pH	容重 Bulk density	碳氮比 C/N	氮磷比 N/P
微生物量氮 Microbial biomass N	0.42**	0.41**	0.06 ^{NS}	0.22 ^{NS}	-0.18 ^{NS}	0.12 ^{NS}	0.34*
微生物量碳 Microbial biomass C	0.43**	0.56***	0.14 ^{NS}	0.22 ^{NS}	-0.38**	0.39**	0.33*

NS 表示 $P > 0.05$; * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$ 。

NS means $P > 0.05$; * means $P < 0.05$; ** means $P < 0.01$; *** means $P < 0.001$ 。

3 讨 论

3.1 土壤微生物量 C、N 与植被恢复模式的选择

大量的研究表明,土壤微生物极易受土壤环境因子的影响,如土壤水分、气温季节变化、植物生长节律、不同施肥制度、作物根茬和根际产物(如根分泌物、粘胶物质、脱落细胞等)、有机无机肥料施用以及环境污染物等因子均会对土壤微生物产生较大的影响^[14]。从表 1 中可以看出,由于实施了多年的植被恢复工程,不同的植被恢复模式下森林土壤的理化性质已发生了很大的差异。同时,对于不同林地,林下物种多样性、凋落物的质量和数量、土壤酶活性已明显不同^[15-16],因而各恢复模式森林土壤微生物生物量也相应地发生了变化。刘满强等^[17]研究表明植被恢复后,退化红壤微生物量 C、N 显著升高,并且不同植被对土壤微生物量的恢复效果明显不同。本研究表明,不同植被恢复模式对土壤微生物量 C、N 的影响差异均为极显著($P < 0.001$) (表 2),微生物 N 表现为阔叶林 \geq 针阔混交林 \geq 无林荒草地 $>$ 针叶林;微生物 C 表现为阔叶林 = 针阔混交林 $>$ 无林荒草地 = 针叶林。可以看出,不同植被恢复模式中阔叶纯林模式最好,依次为针阔混交林、无林荒草地和针叶林。从本研究的微生物量 C、N 含量来看,无林荒草地在退化红壤植被恢复的作用优于针叶林,所以在退化红壤恢复中,应充分发挥红壤生态系统的自然恢复功能(草地的有机物积累阶段),适当辅之造林措施,而不宜大面积毁草植树。Sparling 研究表明^[22],草地垦植为林地后微生物量迅速下降也充分证明了这一点。

3.2 不同植被恢复模式土壤微生物量 C、N 的季节动态

土壤微生物量的季节变化主要受环境条件(干湿、气温)和植物生长等因子的综合影响。土壤微生物量随季节性变化与有机物的供应和植物生长状况及温、湿等环境因素有关^[18]。研究发现,土壤微生物量的季节动态普遍存在不确定性^[19],不同森林生态系统中,土壤微生物量可能有不同的季节动态变化特征,但最为普遍的是夏高冬低型和夏低冬高型以及干-湿季节交替循环型^[20]。本研究表明,不同植被恢复模式森林土壤微生物量 N 季节变化表现为夏季 $>$ 秋季 \geq 春季 \geq 冬季,微生物量 C 季节变化表现为秋季 = 夏季 \geq 春季 \geq 冬季,均呈现出夏季最高,冬季最低的规律,属于夏高冬低型,与植物的生长节律相同。这是由于江西夏季高温多雨,非常适合微生物的繁殖,而冬季因温度较低,同时也比较干燥,不利于土壤微生物的繁殖生长。

3.3 土壤微生物与土壤肥力表征

研究证明,土壤微生物生物量 C、N 与土壤 C、N 之间存在极显著的线性相关,因而土壤微生物生物量可以用来指示土壤肥力的水平^[21]。本研究表明,土壤微生物生物量 C、N 与土壤 C、N 之间存在显著的线性相关(表 5),表明不同植被恢复模式森林土壤微生物生物量可以用来指示土壤肥力的水平。且土壤微生物生物量 C 和 N 的变化基本保持同步,说明土壤微生物对 N 素的固持作用主要取决于土壤微生物本身的生物量的大小,土壤微生物生物量 C、N 能够很好地反映不同植被恢复模式森林土壤 C、N 水平。

从另一个角度来看,土壤微生物量 C 占有有机 C(MB/OC)的含量被认为是反映土壤微生物活性的重要指标之一。MB/OC 值反映土壤中单位有机碳所供养的微生物量,MB/OC 值越小,单位有机 C 所供养的微生物量较少,微生物活性高,导致土壤肥力提高。反之,微生物活性低,导致土壤肥力降低。本研究

中生物量 C 阔叶林中占有有机 C 的比例为 0.9% ~ 1.3% ,平均 1.1% ;针阔混交林占有有机 C 的比例为 0.7% ~ 1.1% ,平均 0.9% ;针叶林占有有机 C 的比例为 0.6% ~ 0.7% ,平均 0.7% ;无林荒草地占有有机 C 的比例平均为 0.9% 。可见针叶林土壤的肥力相对较低 ,而阔叶林、针阔混交林土壤的肥力相对要高。

土壤微生物在土壤 N 的矿化和固持过程中起着重要的调节作用。土壤微生物量 N 占土壤全 N 的比例可以反映土壤供应有效 N 的潜能 ,目前不同研究者的结果存在较大的差异。本研究表明微生物量 N 占全 N 的比例阔叶林中平均为 3.02% ;针阔混交林为 3.37% ;针叶林为 2.35% ;无林荒草地为 1.38% 。说明阔叶林土壤供 N 潜能处于较高的水平 ,而针叶林土壤相对较低。

可见 不同恢复植被下土壤微生物量 C、N 的显著差异 ,既表明了植被对红壤微生物量的巨大影响 ,也进一步肯定了土壤微生物量在监测退化红壤质量恢复上的作用^[22]。

致谢:本试验得到江西农业大学园林与艺术学院竹子重点实验室的大力支持 ,在此表示感谢!

参考文献:

- [1]俞慎,李振高.熏蒸提取法测定土壤微生物量研究进展[J].土壤学进展,1994,22(6):42-50.
- [2]曹慧,杨浩,孙波,等.不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征[J].土壤,2002(4):197-200.
- [3]Singh J S, Rashubanshi A S, Sinsh R S, et al. Microbial biomass acts a source of plant nutrients in dry tropical forest and savallna [J]. Nature, 1989, 338:499-500.
- [4]Srivastava S C, Singh J S. Microbial C, N and P in dry tropical soils: Effects of alternate land - uses and nutrient flux [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1991, 23(2):117-124.
- [5]Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimated [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1991:359-396.
- [6]He Z L. Soil microbial biomass and its significance in nutrient cycling and evaluation of environmental quality [J]. Soil, 1997, 21(2):61-69.
- [7]赵其国,石华,吴志东.红黄壤地区农业资源综合发展战略与对策[M].北京:科学出版社,1992:1-13.
- [8]史德明,周伏健,徐朋.我国南方土壤侵蚀动态与水土保持发展趋势[J].福建水土保持,1993(3):9-13.
- [9]何园球,沈其荣,王兴祥.红壤丘岗区人工林恢复过程中的土壤养分状况[J].土壤,2003,35(3):222-226.
- [10]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.
- [11]刘苑秋,杜天真,郭晓敏,等.退化第四纪红粘土重建森林模式及其土壤恢复研究[J].水土保持学报,2004,18(6):34-36.
- [12]刘苑秋,杨家林,杜天真.重建森林对退化红壤土壤酶特性影响[J].江西农业大学学报,2002,24(6):791-795.
- [13]鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学出版社,2000.
- [14]Paul E A, Voroney R P. Field interpretation of microbial biomass activity measurements [J]. Microbial Ecology, 1985, 17:509-514.
- [15]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[J].土壤,1997(2):61-67.
- [16]周会萍,牛德奎,张继红,等.湿地松人工林群落林下植物物种多样性研究[J].江西农业大学学报,2006,28(1):78-83.
- [17]刘满强,胡锋,何园球,等.退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J].土壤学报,2003,40(6):937-944.
- [18]赵先丽,程海涛,吕国红,等.土壤微生物生物量研究进展[J].气象与环境学报,2006,22(4):68-72.
- [19]Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global synthesis [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30(13):1627-1637.
- [20]王国兵,阮宏华,唐燕飞,等.森林土壤微生物生物量动态变化研究进展[J].安徽农业大学学报,2009,36(1):100-104.
- [21]蔡琼,丁贵杰.森林土壤生态环境质量评价指标研究概述[J].山东农业生物学报,2006,25(3):256-261.
- [22]Spading G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health [A]//Pankhurst C. Biological indicators of soil health, CAB International, 1997:97-119.