

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*

刘满强¹ 胡 锋¹ 何园球² 李辉信¹

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 不同植被恢复下退化红壤恢复 10 a 后土壤微生物量(C、N)的季节动态分析表明: 相比侵蚀裸地, 植被恢复显著提高了土壤微生物量。不同植被对微生物量的影响具有极显著差异($p < 0.01$), 0~5 cm 土层的季节平均值顺序为: 保护荒草地 > 干扰荒草地 > 小叶栎 > 混交林 > 木荷 > 马尾松; 不同植被下微生物量 N 的差异更为明显。土壤微生物量呈高度季节变异, 植被与季节存在极显著的交互作用($p < 0.01$), 但季节的影响低于植被; 植被和季节的影响主要反映在 0~5 cm 土层。微生物量与土壤有机质及其它生物活性指标高度相关($p < 0.01$), 且能很好地区分不同植被间的差异, 在红壤质量指示方面潜力很大。利用微生物量监测红壤质量恢复, 建议春季为采样期, 至少单独分析 0~10 cm 土层。

关键词 退化红壤, 植被恢复, 微生物量, 季节动态, 红壤质量

中图分类号 S154.2

红壤退化是我国面临的严峻挑战^[1], 植被恢复是最有效的改良措施之一^[2,3]。以往退化红壤恢复多研究土壤理化性质, 而现在, 以土壤功能为核心的土壤质量监测使得红壤生物活性受到极大关注^[4]。研究表明, 土壤微生物对高度风化淋洗的酸性红壤作用更大^[5]。鉴于土壤微生物生物量比土壤有机质变化更敏感, 因此可作为选择适宜土壤管理制度的灵敏指标^[6,7], 特别在监测退化土壤恢复方面具有较大潜力, 但现有资料很少^[4,7]。

退化红壤恢复中, 以土壤微生物量作为红壤质量的指示指标势必要考虑其时空变异^[7], 尤其是微生物量的季节动态在碳氮循环及养分释放方面具有重要地位^[8]。虽然我国学者已开始重视这方面的研究^[9,10], 但在不同气候或植被下, 季节动态可能迥异^[11], 而有关不同植被恢复下红壤微生物量季节动态的研究尚未见报道。

本研究的主要目的是: 了解退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量的分异及季节变化的影响, 探讨土壤微生物量 C、N 作为红壤质量指示指标的潜力, 为确定红壤质量恢复的生物指示者或最小数据集(MDS) 提供依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

本研究在中国科学院红壤生态实验站进行, 位于江西省鹰潭市余江县刘家站(N 28°15'30", E 116°55'30"), 属中亚热带湿润季风气候区。全年降水分配情况是: 1~3 月份 23%, 4~6 月份 48%, 7~9 月份 19%, 10~12 月份 10%。其中夏季(7~10 月份) 高温干旱, 月降水量仅为 100 mm, 而月蒸发量达 200 mm。

试验地原为侵蚀退化荒地, 丘陵坡度 5°~8°, 为第四纪红粘土发育的典型红壤。1989 年启动植被恢复长期定位试验, 建立了落叶阔叶林小叶栎(*Quercus chenii*, Qc)、常绿阔叶林木荷(*Schima superba*, Ss)、

* 国家自然科学基金项目(49871046)、国家重点基础研究发展规划项目(G1999011801)和中国科学院红壤生态开放实验站基金项目资助

- 通讯作者, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

收稿日期: 2002-06-05; 收到修改稿日期: 2002-12-28

针叶林马尾松(*Pinus massoniana*, Pm)和木荷-马尾松混交林(针阔混交林, Sm)等人工林地, 4种林地的郁闭度分别是0.8、0.5、0.5和0.6, 凋落物现存量(包括半分解, mg kg^{-1})分别为4.49、3.69、1.97和3.96。同时设立2种自然恢复的荒草植被, 以刺芒野古草(*Arundinella Setosa Trin.*)和狗牙根(*Cynodon dactylon Linn. Pars.*)为主, 间有稀疏马尾松。一种是试验区边缘有人为干扰(放牧、践踏)的荒草地(干扰荒草地 Slightly disturbed grassland, 简称自荒1, G1), 野草长势较差, 地表植物残体少, 土壤呈斑块状裸露; 另一种是隔离保护的荒草地(保护荒草地 Protected grassland, 简称自荒2, G2), 自荒2较自荒1的植被茂盛, 地表植物残体厚, 基本看不到土壤。此外, 在附近还选择侵蚀裸地作为对照(CK), 系长期侵蚀退化形成, 代表恢复前的状况。样地土壤基本性状见表1。

表1 不同植被恢复下土壤基本性质¹⁾

Table 1 Basic properties of soil under different vegetations of restoration

样地 Pbt	有机碳 Organic C (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	全磷 Total P (g kg^{-1})	有效氮 Available N (mg kg^{-1})	有效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Rapidly available K (mg kg^{-1})	pH (H_2O , 1: 2.5)
Qc	10.36	1.04	1.51	99.8	57.2	54.2	3.84
Ss	9.82	1.08	1.66	79.6	34.4	64.0	3.87
Pm	9.44	0.68	1.58	82.8	15.0	40.1	3.86
Sm	6.98	0.76	1.59	66.1	46.0	87.0	3.74
G1	12.59	1.07	1.66	87.6	32.3	50.5	3.84
G2	22.58	1.87	1.77	154.0	133.0	65.3	3.84
CK	5.63	0.4	ND ²⁾	44.1	1.0	35.3	3.78

1) 春季0~5cm土层的数据; 2) ND: 未测定, 下同

1.2 样品采集与分析

在上述样地中各选择3个典型样区, 于1999年5月、8月、11月及2000年2月(分别代表春、夏、秋、冬4季)在每个样区内分0~5、5~10和10~20cm土层随机采集多点样品混合, 4℃保存, 1周内测定。

微生物量测定采用氯仿熏蒸 $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ K}_2\text{SO}_4$ 提取法, 分别用重铬酸钾氧化法和开氏法测定提取液中的C、N。土壤动物调查方法见文献[12, 13](1), 其它土壤性质分析采用常规方法^[13]。

1.3 数据统计分析

方差分析、相关分析、聚类分析、主成分分析和鉴别分析均在SPSS软件上进行。

2 结果与分析

2.1 退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态

植被类型(V)对土壤微生物量C、N的影响具有极显著差异(表2), 对总变异的贡献分别为11.4%和17.3%(以占总方差的比例表达)。0~5cm土层的微生物量C季节平均值顺序为: 保护荒草地(自荒2, G2) > 干扰荒草地(自荒1, G1) > 小叶栎(Qc) > 混交林(Sm) ≥ 木荷(Ss) > 马尾松(Pm), 其中G1、G2之间及其与所有林地均达到显著差异($p < 0.05$, 表3); 微生物量N与微生物量C的差异趋势基本一致, 并且不同植被, 特别是林地之间的差异更明显($p < 0.05$, 表4)。

季节变化(S)对土壤微生物量C、N也有极显著影响, 解释变异分别为5.2%和3.1%(表2)。微生物量C、N在不同植被下的季节波动也不同($V \times S$, 表2), 一般地, 林地夏季和冬季的数值高于春季和秋季, 而荒草地春季和夏季的数值高于冬季和秋季(表3和表4)。对于春季和冬季, 各植被下土壤微生物量

(1) 刘满强, 胡锋, 陈小云, 等. 退化红壤不同植被恢复措施对蚯蚓种群的影响

C、N 顺序都与季节平均值相近, 且分异程度较夏季和秋季明显; 而对于夏季和秋季, 各林地下土壤微生物量 C、N 的高低顺序与季节平均值迥异(表 3 和表 4)。

土壤微生物量 C、N 的垂直分层现象极明显, 表层 0~ 5 cm 分别约为 5~ 10 cm 和 10~ 20 cm 土层的 2 和 3 倍; 土层(L)对总变异的贡献超过 50%。植被和季节对微生物量 N 的影响因土层而异($V \times L, S \times L$), 即对表层 0~ 5 cm 影响最明显, 随土层加深效应迅速减弱, 在 10~ 20 cm 基本无作用; 在各土层, 微生物量 C 对植被的反应也不相同($V \times L$), 但季节波动基本一致(表 2~ 表 4)。

表 2 土壤微生物量 C、N 及 C/N 比的综合方差分析

Table 2 Overall ANOVA of soil microbial biomass C, N and C/N ratio

变异来源 Source	土壤微生物量 C Soil microbial biomass C			土壤微生物量 N Soil microbial biomass N			土壤微生物量 C/N 比 Soil microbial biomass C/N ratio		
	d. f.	MS ⁴⁾	F	d. f.	MS	F	d. f.	MS	F
	V ¹⁾	5	0.35	16.7 [*]	5	0.72	32.3 ^{**}	5	61.2
S ²⁾	3	0.26	12.5 [*]	3	0.21	9.5 ^{**}	3	9.3	1.5
L ³⁾	2	3.89	184.0 ^{**}	2	5.08	227.9 ^{**}	2	84.3	13.5 ^{**}
V × S	15	0.07	3.3 ^{**}	15	0.11	4.9 ^{**}	15	8.4	1.3
V × L	10	0.04	1.7 [*]	10	0.05	2.3 ^{**}	10	3.5	0.6
S × L	6	0.01	0.5	6	0.05	2.3 [*]	6	27.8	4.4 ^{**}
V × S × L	30	0.02	0.9	30	0.02	0.9	30	3.8	0.6
误差	144	0.02		144	68.4		144	6.3	

注: * $p < 0.05$ 显著水平、** $p < 0.01$ 显著水平; 1) V: 植被; 2) S: 季节; 3) L: 土层; 4) MS: 均方

表 3 不同植被恢复下土壤微生物量 C 的季节动态

Table 3 Seasonal dynamics of soil microbial biomass C under different vegetations (mg kg⁻¹)

	0~ 5cm				MS ²⁾	5~ 10cm				MS	10~ 20cm				MS
	春	夏	秋	冬		春	夏	秋	冬		春	夏	秋	冬	
	Spr.	Sum.	Aut.	Win.		Spr.	Sum.	Aut.	Win.		Spr.	Sum.	Aut.	Win.	
Qc	377.2	404.6	273.0	463.3	379.5	214.3	209.0	162.8	268.8	213.7	94.3	108.1	118.2	168.1	122.2
c ¹⁾	a	b	b	ab	cd	ab	bc	bc	a	b	a	bc	a	a	
Ss	316.9	446.7	327.8	366.6	359.5	173.0	321.0	196.8	142.2	208.2	154.5	177.9	121.6	119.7	143.4
bc	a	b	a	ab	bcd	bc	bc	a	a	b	a	bc	a	ab	
Pm	207.3	355.2	215.3	365.0	288.5	114.5	223.7	174.9	330.0	210.8	138.3	195.5	92.5	203.7	157.5
b	a	b	a	a	b	ab	bc	cd	a	b	a	b	a	ab	
Sm	292.8	500.6	302.1	378.9	366.5	145.7	281.5	189.7	197.0	203.4	92.1	179.3	102.6	100.8	118.7
bc	a	b	ab	ab	bc	abc	bc	ab	a	b	a	b	a	a	
G1	540.3	496.8	303.7	403.3	436.0	252.1	181.6	138.0	324.9	224.1	200	169.1	158.5	160.8	172.1
d	a	b	ab	b	d	a	b	cd	a	b	a	bc	a	ab	
G2	782.8	1006.7	473.6	575.8	709.7	433.8	405.9	273.2	366.0	369.7	192	167.4	201.3	178.9	185.0
e	b	c	c	c	e	c	c	d	b	b	a	c	a	b	
CK	63.8a	ND	75.8a	ND		46.3a	ND	48.1a	ND		43.3a	ND		53.9a	ND

1) 列中字母若相同, 表明植被之间差异不显著, 下同($p < 0.05$, $n = 3$, 邓肯法); 2) 季节平均值。(下同)

表 4 不同植被恢复下土壤微生物量 N 的季节动态

Table 4 Seasonal dynamics of soil microbial biomass N under different vegetations (mg kg^{-1})

	0~ 5cm					5~ 10cm					10~ 20cm				
	春	夏	秋	冬		春	夏	秋	冬		春	夏	秋	冬	
	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	<i>M_s</i>	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	<i>M_s</i>	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	<i>M_s</i>
Qc	55.0cd	45.7ab	35.6c	71.8bc	52.0b	24.9b	17.8a	18.4b	32.7cd	23.4a	11.0b	12.2a	12.1b	17.9a	13.3a
Ss	37.3bc	39.5ab	39.6c	38.8a	38.8ab	19.0ab	24.8a	18.0b	9.9a	17.9a	16.4bc	18.0a	12.6b	11.3a	14.6a
Pm	20.5b	29.6a	17.4b	37.3a	26.2a	8.6a	15.2a	15.4b	32.1cd	17.8a	10.1b	16.2a	10.7b	18.3a	13.8a
Sm	40.0bc	53.7ab	31.3bc	54.9ab	45.0ab	16.7ab	26.3a	15.7b	19.6ab	19.6a	9.6b	25.7a	13.3b	11.1a	14.9a
G1	69.7d	66.0b	36.0c	50.5a	54.0c	25.8b	17.2a	16.3b	23.3bc	20.6a	20.7bc	20.6a	14.7b	8.8a	16.2a
G2	118.4e	158.9c	58.3d	88.8c	106.1d	52.0c	48.1b	30.7c	37.1d	42.0b	26.1c	24.5a	21.3b	16.0a	22.0b
CK	8.7a	ND	7.5a	ND		5.0a	ND	5.4a	ND		4.4a	ND		5.9a	ND

植被和土层对土壤微生物量 C/N 比也有极显著的影响(表 2 和表 5);各季节 0~ 5 cm 和 5~ 10 cm 土层微生物量 C/N 比都是马尾松最高,木荷、混交林和自荒 1 居中,小叶栎和自荒 2 较低;在 10~ 20 cm 土层,差异不明显(表 5)。各土层微生物量 C/N 比受季节的影响也不同($S \times L$,表 2)。虽然包括所有土层时,季节对 C/N 比的影响未达到显著水平(表 2),但对 0~ 5 cm 土层单独分析则相反(见表 6);除自荒 2 外,各植被下微生物量 C/N 比都以夏季最高,其次是秋季,而春季、冬季较低(表 5)。

表 5 不同植被恢复下土壤微生物量 C/N 比的季节动态

Table 5 Seasonal dynamics of soil microbial biomass C/N ratio under different vegetations

	0~ 5cm				5~ 10cm				10~ 20cm			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.	Spr.	Sum.	Aut.	Win.
Qc	6.9a	8.8ab	7.7a	6.5a	8.7a	11.9b	8.9ab	8.2a	9.0a	9.0ab	9.8ab	9.2a
Ss	9.2ab	11.3c	8.3ab	8.9b	9.3a	13.0bc	10.9abc	14.4c	10.9a	9.6ab	10.4ab	13.1a
Pm	10.0b	12.0c	12.5c	9.8b	13.3b	15.0c	11.5bc	10.6abc	12.9a	11.2b	8.7ab	13.6a
Sm	7.3a	9.3ab	9.7b	7.2ab	8.9a	10.9ab	12.0c	10.0ab	9.6a	7.3ab	7.6a	9.5a
G1	7.9ab	8.5ab	8.5ab	8.2ab	10.1a	10.6ab	8.4a	13.9bc	9.5a	8.3ab	11.1b	20.0a
G2	6.7a	6.3a	8.3ab	6.5a	8.4a	8.6a	8.8a	10.3abc	7.4a	6.8a	9.5ab	11.8a
CK	7.3a	ND	10.1b	ND	9.2a	ND	8.5a	ND	9.8a	ND	9.1ab	ND

侵蚀裸地春季和秋季土壤微生物量 C、N 的结果表明(表 3 和表 4),该样地土壤微生物量 C、N 远低于植被恢复样地,且季节和土层之间的变化幅度较植被恢复样地低。

上述结果反映出(表 1~ 表 4):(1)经 10 a 植被恢复,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;(2)土壤微生物量 C、N 具有明显的季节波动;(3)恢复植被类型对微生物量 C、N 的作用主要限于 0~ 5 cm 土层,而对 10 cm 以下土层影响不大,所以下文有关指示潜力分析将以 0~ 5 cm 土层为例。

2.2 土壤微生物量对红壤质量恢复的指示潜力

有前途的指示者至少应具备以下条件:(1)与土壤生态过程密切相关;(2)对土壤过程变化响应灵敏;(3)对气候等因子中度响应;(4)对其它土壤理化和生物学性质代表性高。对于土壤微生物量而言,已有的研究肯定了条件(1),本研究不同植被下微生物量的显著分异也支持条件(2)。

对于条件(3), 季节变异可能是土壤微生物量指示潜力的最大限制。图 1 直观地刻画了季节与植被对微生物量 C、N 分异的影响程度。图 1 中, 同一样地的 4 个季节未出现极相似(虚线包围)情形; 但除了混交林和自荒 2 位置最分散外, 小叶栎和木荷有 3 个季节、马尾松和自荒 1 有 2 个季节属于极相似; 若以中等相似水平划分(实线包围), 则小叶栎和木荷来自 4 个季节的微生物量值分别属于同一组。除了①组样点特殊外, 易发现微生物量次序与季节平均值一致。而图 1 中即使在实线框也没有超过 3 个样地属于同一季节的, 说明植被对微生物量的影响大于季节。从表 6 也可以发现, 植被对土壤微生物量总变异的贡献(微生物量 C、N 和 C/N 比分别为: 49.9、62.3 和 45.4%) 远大于季节(对应数值分别为 20.5%、13.1% 和 17.9%)。

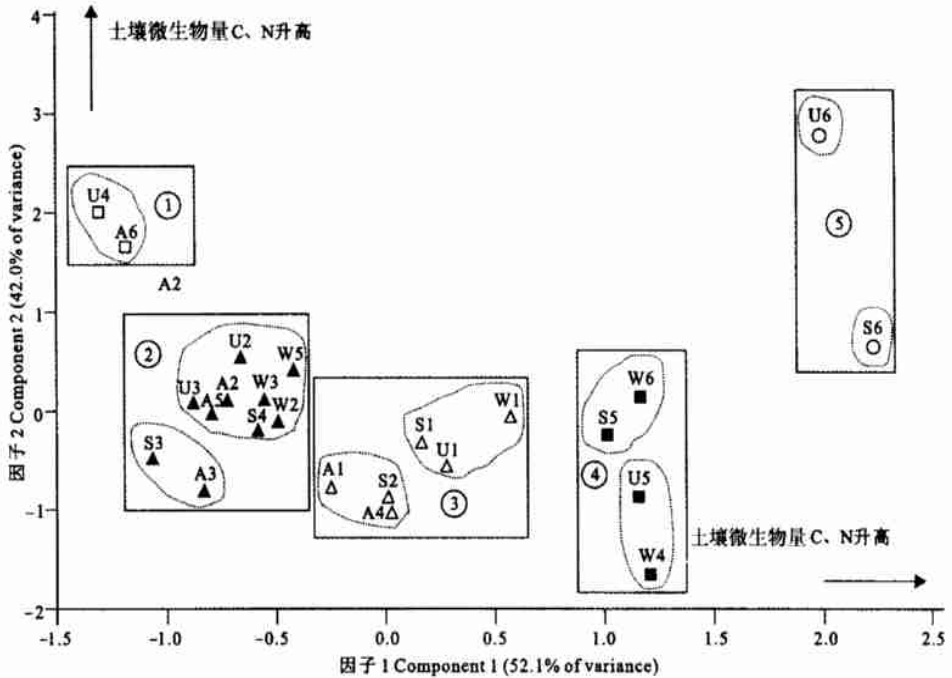


图 1 不同植被恢复下各季节微生物量 C、N 主成分分析排序图

Fig. 1 Scatter plots in principle component analysis (PCA) ordinations of microbial biomass C and N under different seasons and vegetations

注: 图中虚线框和实线框分别表示聚类分析的极相似和中等相似; 散点代号由字母和数字两部分组成; S: 春, U: 夏, A: 秋, W: 冬; 1-Qc, 2-Ss, 3-Pm, 4-Sm, 5-G1, 6-G2

尽管植被起主导作用, 但以微生物量来指示红壤质量, 不能不考虑采样季节问题。建议选择春季为采样时间: 首先, 经历了秋冬季有机物的积累, 春季温、湿度适宜, 红壤生物活性高, 代表了一个时段的状态^[14]; 其次, 春季样地间微生物量的趋势与季节平均值一致, 并且差异最大(表 3 和表 4)。从鉴别分析得到的鉴别函数来看: 微生物量 C = 1.22 × 春 + 0.40 × 夏 + 1.03 × 秋 - 0.25 × 冬; 微生物量 N = 1.10 × 春 + 0.61 × 夏 + 0.88 × 秋 + 0.63 × 冬。标准化系数的大小也表明春季对微生物量 C、N 影响较大; 再者, 春季微生物量与土壤有机质、养分及其它生物活性指标都高度正相关(表 7)。

表 6 0~5cm 土层土壤微生物量 C、N 及 C/N 比综合方差分析

Table 6 Overall ANOVA of soil microbial biomass C, N and C/N ratio at 0~5cm layer of soil

变异来源 Source	土壤微生物量 C Soil microbial biomass C			土壤微生物量 N Soil microbial biomass N			土壤微生物量 C/N 比 Soil microbial biomass C/N ratio		
	d. f.	MS ¹⁾	F	d. f.	MS ¹⁾	F	d. f.	MS ¹⁾	F
	V	5	0.203	32.2**	5	0.466	47.5**	5	25.1
S	3	0.139	22.0**	3	0.163	16.6**	3	16.5	12.3**
V×S	15	0.020	3.2**	15	0.030	3.1**	15	2.5	1.9*
误差	48	0.006		48	0.001		48	1.3	

* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$; 1) 均方表 7 土壤微生物量 C、N 与其它土壤质量指标的相关系数¹⁾

Table 7 Correlation coefficients between soil microbial biomass C and N and other soil quality indices

土壤质量指标 Soil quality index	微生物量 C Microbial biomass C	微生物量 N Microbial biomass N	土壤质量指标 Soil quality index	微生物量 C Microbial biomass C	微生物量 N Microbial biomass N
容量	-0.068	-0.116	颗粒有机碳	0.889**	0.883**
粘粒含量	-0.452	-0.449	颗粒有机氮	0.717**	0.802**
砂粒含量	0.078	-0.067	潜在可矿化 C	0.733**	0.814**
有机碳	0.874**	0.876**	潜在可矿化 N	0.779**	0.792**
全氮	0.856**	0.892**	转化酶	0.720**	0.857**
全磷	0.440	0.445	脲酶	0.789**	0.829**
有效氮	0.763**	0.817**	酸性磷酸酶	0.786**	0.825**
有效磷	0.774**	0.803**	蚯蚓生物量	0.854**	0.670**
速效钾	0.109	0.187	线虫数量	0.779**	0.740**
pH	0.210	0.097	DG 指数 ²⁾	0.640**	0.757**

1) 春季数据式; 2) 节肢动物多样性指数; **, * 显著水平分别是 $p < 0.01$, $p < 0.05$

3 讨论

容易理解, 由于没有植被覆盖, 侵蚀裸地缺乏有机物的输入且养分易于流失, 因此其土壤微生物量 C、N 都最低。在不同恢复植被下土壤微生物量 C、N 的显著分异, 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^[7]。相关分析也暗示, 不同植被下归还红壤的有机质(包括植物残体及根系分泌物等)的质量和数量差异与土壤微生物量分异密切联系(表 7)。荒草地微生物量显著高于林地, 与同一样地蚯蚓和土壤线虫的调查结果一致^{[13](1)}, 似乎与一般生态演替规律相反。草地和林地光合产物分配格局迥异, 前者大量集中在浅表层根系区域, 并且 1 年生习性也使物质和养分及时得到补充; 而退化红壤恢复初期, 未经草地土壤有机质的累积过程, 林地土壤养分向地上部的不断输出限制了土壤质量的迅速发展。Sparling 的研究表明, 草地垦植为林地后微生物量迅速下降^[15]。对于不同林地, 凋落物的质量和数量是决定因子。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; 在林地重建中也应注意选择适宜树种。当地植被恢复的经验和教训也已反映出这一问题^[3]。

红壤地区干湿季明显, 强烈的季节变化通过影响土壤环境及植被生长对微生物量产生巨大影响^[5], 同时暗示红壤微生物量作为养分“源库”的重要功能。本研究支持微生物量季节动态不容忽视的结论^[5, 8]。微生物量季节动态原因非常复杂, 在相同植被下, 气候条件和管理方式差异影响其动态^[4, 8, 11]; 而即使在同一气候下, 不同植被下土壤微生物量的季节动态也不相同则可能归因于土壤环境与植物生长等的复杂交互作用^[8]。荒草地没有树冠遮挡, 土壤温湿度变化更剧烈; 而林地之间的树种差异也导致土壤环境与归还有机物截然不同。Lovell 等^[16]认为, 土壤环境条件的变化可以抵消, 甚至颠倒基质引起

的微生物量变化趋势。实际上,土壤微生物量的季节动态普遍存在不确定性^[8],而本文建议春季采样也是权衡的结果。

夏季干热并没有导致微生物量明显降低,与同一样地节肢动物和蚯蚓的调查结果相反,而与线虫的结果一致^[12, 13](1)。土壤微生物量 C/N 比可反映微生物群落结构信息,其显著的季节性喻示着微生物群落结构变化可能是夏季微生物量较高的首要原因^[16];其次,夏季生长旺盛的植物为微生物提供大量能源;而土壤碎屑食物结构改变也可能是原因之一^[12]。此外,也不排除由于“熏蒸提取法”的缺陷,包含了部分“非微生物量”,如活性植物细胞及新近死亡的微生物等;虽然现有数据(采样时间间隔较长)难以确定多样地的养分固定或释放期,但不同植被下微生物量最高值与最低值不一致暗示草地和林地的养分转化特征不同。

土壤微生物量垂直分层有大量报道,土壤表层是植被与季节影响最强烈、有机质和生物活性最集中区域^[5, 6]。国外研究者对表层土壤尤为重视,土样一般都细致分层,甚至以 2.5 cm 为间隔^[7];而国内习惯取 0~20 cm,在一定程度上掩盖了处理间差异。在红壤质量恢复中,包括微生物量在内的所有土壤性质变化都以表层土壤最敏感^[2],因此建议至少单独采集 0~10 cm 以内的土样。

本研究初步确认,土壤微生物量 C、N 在监测红壤质量恢复中潜力巨大,既能明显区分不同植被恢复间的差异,又对土壤有机质和生物学性质有高度代表性。今后研究应:(1) 缩短采样间隔,确定更精确的适宜采样时间,并能够对红壤恢复中养分周转特征有深入认识;(2) 在更大尺度上,如在不同地点、不同年限的更多植被类型下研究红壤微生物量的时空变异;(3) 加强微生物群落结构与多样性方面的研究,以了解不同植被下红壤质量发展的微生物学机制。

参考文献

1. 赵其国. 我国红壤的退化问题. 土壤, 1995, 27(6): 281~285
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. 土壤学报, 1998, 35(2): 276~282
3. 孔德珍. 本烟洲红壤丘陵退化植被恢复途径的研究. 红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究, 第二集. 北京: 气象出版社, 1999. 44~51
4. 俞慎, 李勇, 王俊华, 等. 土壤微生物量作为红壤质量生物指标的探讨. 土壤学报, 1999, 36(3): 413~421
5. 姚槐应, 何振立, 黄昌勇. 红壤微生物量氮的周转期及其研究意义. 土壤学报, 1999, 36(3): 387~394
6. 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. 土壤学报, 2002, 39(1): 89~96
7. Sparling G P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: Pankhurst C, *et al.* eds. Biological Indicators of Soil Health. CAB International, 1997. 97~119
8. Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global synthesis. Soil Biol. Biochem., 1998, 30(13): 1627~1637
9. 陈国潮, 何振立, 姚槐应. 红壤微生物量的季节性变化研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 387~388
10. 朴河春, 洪业汤, 袁芷云, 等. 贵州喀斯特地区土壤中微生物量碳的季节性变化. 环境科学学报, 2000, 20(1): 106~110
11. Zeller V, Bardgett R D, Tappeiner U. Site and management effects on soil microbial properties of subalpine meadows: A study of land abandonment along a north-south gradient in the European Alps. Soil Biol. Biochem., 2001, 33: 639~649
12. 刘满强, 胡锋, 李辉信, 等. 退化红壤不同人工林恢复下土壤节肢动物群落特征. 生态学报, 2002, 22(1): 54~61
13. 李辉信, 刘满强, 胡锋, 等. 不同植被恢复方式下红壤线虫数量特征. 生态学报, 2002, 22(11): 1882~1889
14. Kandeler E, Tschirko D, Spiegel H. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralisation and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. Biol. Fertil. Soils, 1999, 28: 343~351
15. Sparling G P. A comparison of soil and microbial carbon, nitrogen and phosphorus contents and macroaggregate stability of a

(2) 刘满强. 不同植被恢复方式下退化红壤质量的分异及土壤质量的生物指标研究. 南京农业大学硕士论文, 2001

- soil under native forest and after clearance for pastures and plantation forest. *Biol. Fertil. Soils*, 1994, 17: 91~ 100
16. Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biol. Biochem.*, 1995, 27: 969~ 975
17. Haynes R J. Size and activity of the soil microbial biomass under grass and arable management. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, 30: 210~ 216

SEASONAL DYNAMICS OF SOIL MICROBIAL BIOMASS AND ITS SIGNIFICANCE TO INDICATE SOIL QUALITY UNDER DIFFERENT VEGETATIONS RESTORED ON DEGRADED RED SOILS

Liu Man-qiang¹ Hu Feng¹ He Yuan-qiu² Li Hu-xin¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Summary

Seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N were measured under six vegetations restored for 10 years on degraded red soils. Vegetation increased soil microbial biomass (C and N) markedly in comparison with the eroded bare soil (CK). Soil microbial biomass expressed by seasonal means in 0~ 5cm soil layer differed significantly ($p < 0.01$) among vegetations, and they were decreased in the following order: protected grassland (G2) > slightly disturbed grassland (G1) > deciduous broadleaf woodland (Qc) > coniferous-broadleaved mixed woodland (Sm) > evergreen broadleaf woodland (Ss) > coniferous woodland (Pm). Compared with microbial biomass C, microbial biomass N was more sensitive to the vegetations type. Soil microbial biomass showed a high degree of seasonality, and seasonal fluctuations were not consistent under different vegetations. ANOVA and Discriminant analysis indicated that vegetations had greater impact on soil microbial biomass than seasons. Stratification of microbial biomass was evident with sharply declined at lower depths. Changes of soil microbial biomass imposed by vegetations and seasons mainly happened in the surface layer of soil (0~ 5cm). Soil microbial biomass was significantly and positively correlated with soil organic matter and other biological properties, also it was capable of discriminating different vegetations distinctly. So soil microbial biomass had great potential as an indicator of red soil quality. Using soil microbial biomass to monitor the recovery of degraded red soil, soil sampling in spring was suitable and at least 0~ 10cm soil layer should be analyzed separately. Some possible highlights in future study of red soil microbial biomass were also briefly given.

Key words Degraded red soil, Vegetation restoration, Soil microbial biomass, Seasonal dynamics, Red soil quality