

文章编号: 100F 1498(2004) 04 054F 06

## 顺德森林改造区不同林分土壤环境质量研究\*

骆土寿<sup>1</sup>, 刘伟钦<sup>2</sup>, 尹光天<sup>1</sup>, 罗瑞强<sup>2</sup>, 李意德<sup>1</sup>, 陈德祥<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省佛山市顺德区农业局, 广东 顺德 528300)

关键词: 森林改造; 土壤性质; 重金属污染; 环境质量; 顺德

中图分类号: S714 文献标识码: A

土壤质量是环境质量的重要组成部分, 是指在一定的时间和空间范围内, 土壤维持生态系统的生产力和动植物健康而不发生退化及其它生态问题与环境问题的能力。土壤质量指标是表示从土壤生产潜力和环境管理的角度监测和评价土壤物理、化学和生物学性质、土壤过程以及可表征土壤变化的其它特征, 包括土壤肥力指标和土壤环境质量指标<sup>[1]</sup>。由于人类对土壤的不合理利用及环境污染, 土壤质量退化已成为全球关注的重大问题<sup>[2]</sup>。

珠江三角洲地区的日益城市化一方面为实现全面小康奠定了物质基础, 另一方面对环境建设和改善又提出了更高的要求。佛山市顺德区是改革开放后国内工业化较早、城市化水平较高的区域, 因此环境污染较重。为改善环境和打造生态城市形象, 顺德区在 2000 年开始实施全区 1 181.7 hm<sup>2</sup> 林分的“青山工程”森林改造, 构建和恢复“多树种、多层次、多色彩、多功能”的植物群落。为了科学地指导工程建设, 2001 年开展“青山工程”生态环境效益监测与评价研究项目, 本文是该项目的部分内容, 主要探讨工业化、城市化环境下改造林分的短期土壤环境质量差异及其环境容量, 为环境建设提供依据。

### 1 研究区自然环境概况

佛山市顺德区地处广东省珠江三角洲, 113°01' ~ 113°23' E, 22°40' ~ 23°02' N, 属亚热带季风气候, 年均日照时数 1 524.6 h, 年均气温 21.9 °C(1981—1991 年), 年均降水量 1 626.8 mm, 年均相对湿度 81%。植被多为 20 世纪 70 年代前后种植的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、桉树(*Eucalyptus* spp.)、相思(*Acacia* spp.)、竹子(*Bambusa* spp.) 等人工林, 林分组成单一, 多呈残次状态, 景观及生态效益极差。山地土壤为赤红壤, 成土母质为红色砂页岩。

2000 年 1—2 月在顺德区 3 个镇进行造林改造, 每穴施复合肥 100 g 和 P 肥 100 g, 全伐的林地造林前已炼山。本研究选择其中 6 个不同林分设置调查监测样地, 2002 年 1 月采集土样进行分析, 样地状况如表 1。

收稿日期: 2004 03 03

基金项目: 顺德农业科技推广重点项目“顺德‘青山工程’环境效益监测”(顺府科 200F 01)的部分研究内容

作者简介: 骆土寿(1963—), 男, 广东吴川市人, 高级工程师, 热林所森林生态监测与评价课题组专家。

\* 参加本项目工作的还有顺峰山林场、均安镇林业站、龙峰山林场等单位以及叶骝胜、陈步峰、孙冰、吴友军、欧阳文等技术人员, 特致谢意!

表 1 顺德改造区不同林分土壤剖面概况

样地	地名	改造前林分	改造方式	改造后林分状况	剖面概况
DL01	大良镇 卧牛岗	尾叶桉、窿缘桉 人工林	全伐,带 状整地	米老排、山苦楝、枫香等乡土树 种,平均树高为 1.25 m,郁闭度 0.4,地被物极少。	A 褐灰色, B, C 橙色。间有粉白色粉 砂土,干燥,团粒,石砾 5%,根系极 少。
DL02	大良镇 卧牛岗	窿缘桉、台湾相思 人工林	林下随机 穴植	大头茶、山苦楝等,平均树高 6.25 m 郁闭度 0.7,地被物较 少。	A 黄褐色,石砾 5%,根少。B 红棕 色,团粒,潮,石砾 15%,根极少。C 棕红色,粉砂,石砾 20%,根系无。
JA01	均安镇 大山	潺槁木姜群落	随机穴植	先补种窿缘桉,后种尾叶桉,平 均树高 5.8 m,植被盖度 92%, 以芒萁为主,地被物较少。	A 黄褐色,潮湿,块状结构,根极少。 B 橙色,潮湿,块状,石砾 10%,根系 极少。
LJ01	龙江镇 锦屏岗	湿地松纯林	疏伐至郁闭 度 0.3 后穴 状补植	藜蒴、大头茶、山苦楝、红椎、观 光木乡土树种,平均树高 11.2 m,覆盖度 93%,海金沙为主, 死地被物较厚。	A <sub>0</sub> 较厚,为海金沙藤覆盖及其腐殖 质层;A 褐灰色;B, C 棕黄色,间有粉 白色粉砂,潮湿,团粒,松,石砾 8%。 A <sub>0</sub> ~ 60 cm 根系少量。
LJ02	龙江镇 锦屏岗	湿地松间少量 窿缘桉混交林	全伐,带 状整地	枫香、大头茶、山苦楝、红椎、观 光木、米老排等,平均树高 1.1 m,覆盖度 10%,无死地被物。	A <sub>0</sub> 整地后较薄,也有部分流失;A 褐 棕色,疏松,湿润;B, BC 棕黄色,潮 湿,团粒,松,灰白粉砂石多, B 石砾 10%, BC 40%。
LJ03	龙江镇 锦屏岗	湿地松间少量窿 缘桉混交林,郁 闭度 0.6	不改造	平均树高 6.8 m,覆盖度 60%, 死地被物较厚。	A <sub>0</sub> 较厚,多为海金沙藤茎及其腐烂 物;A 褐棕色,疏松,湿润;B, C 棕黄 色,潮湿,团粒,松,根少量。

注:尾叶桉(*Eucalyptus urphylla* S. T. Blake), 窿缘桉(*Eucalyptus exserta* F. V. Muell), 米老排(*Mytilaria laosensis* Lec.), 山苦楝(*Euodia meliifolia* (Hance) Benth.), 枫香(*Liquidambar formosana* Hance), 台湾相思(*Acacia confusa* Merr.), 藜蒴(*Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.), 大头茶(*Gordonia axillaris* (Ker) Dietr.), 潺槁木姜(*Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob.), 湿地松(*Pinus elliottii* Engelm.), 红椎(*Castanopsis hystrix* A. DC.), 观光木(*Tsoongiodendron odorum* Chun), 海金沙(*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.), 芒萁(*Dicranopteris peltata* (Houtt.) Nakaike)。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选设及观测项目

土壤野外调查方法采用《森林生态系统定位研究方法》中的森林土壤基本调查方法<sup>[3]</sup>,即在顺德区范围内选取大良镇卧牛岗、均安镇大山和龙江镇锦屏岗 3 片具有代表性和典型性的地段作监测样区。根据植被、改造方式的不同设置标准样地,在标准地内选挖土壤剖面,记录剖面形态、发育状况等。土样采用物理分层采样法,在各层中间部位挖土壤环刀和分析样。

### 2.2 分析项目及测定方法

分析项目包括土壤密度、pH 值、有机质、全 N、全 P、全 K、全 Cd、全 Pb、代换性 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup>、水溶性 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup> 和 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N,全按国家标准<sup>[4]</sup>进行分析。

养分含量采用 75 cm 土层中各测定层的土壤密度和元素含量的加权平均值表示。土质量

采用每公顷 75 cm 土层中各物理层的土壤密度与体积之积的总质量表示(单位  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。土壤环境质量评价参考文献[1, 5]的方法,从土壤物理化学性质及重金属污染元素等因子分析评价。

### 3 结果与分析

#### 3.1 改造区不同林分土壤水分物理性质

不同改造方式的林分土壤水分物理参数测定结果(表 2)看出,改造区林地土壤密度在 1.45~1.61  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,土壤较为黏重;从土壤含水量、最大持水量和毛管持水量高低来比较林分土壤持水性能,JA01 最好,LJ01、LJ02 和 LJ03 次之,DL01 和 DL02 最差。同样,从土壤总孔隙度和毛管孔隙度看,JA01 土壤结构发育最好,保持水肥能力最强,LJ01、LJ02 和 LJ03 次之,DL01 和 DL02 最差。

表 2 改造区不同林分土壤水分物理性质参数

林分	土壤密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	土壤含水量/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	最大持水量/ %	毛管持水量/ %	最小持水量/ %	非毛管孔隙 度/%	毛管孔隙度/ %	总孔隙度/ %
DL01	1.61	153.9	25.45	22.19	20.01	5.25	35.48	40.73
DL02	1.57	133.5	26.96	23.14	20.19	5.89	35.73	41.62
JA01	1.45	179.0	30.92	26.75	24.40	6.00	38.68	44.68
LJ01	1.57	154.2	28.06	24.01	20.29	6.16	37.21	43.37
LJ02	1.49	167.7	28.61	23.23	20.50	7.97	34.54	42.51
LJ03	1.56	143.3	26.80	24.25	21.80	3.85	37.56	41.41

#### 3.2 改造区不同林分土壤养分含量

改造区不同林分土壤养分元素含量及 pH 值测定结果(表 3)看出,不同林分的土壤养分含量具有明显差异,并有一定的规律性,即未改造或林下随机穴植改造的林分(LJ03、DL02 样地)其有机质、全 N、交换性盐基离子、盐基饱和度和 pH 值最高,表现为:未改造 $\rightarrow$ 林下随机穴植 $\rightarrow$ 全伐带状整地的林分呈减少趋势,而全 K 的趋势恰相反,这与全伐造林前炼山留下的草木灰有关;全 P 没有共同的规律,这可能与造林施肥、母质硅铝含量差异及区域酸雨严重有直接关系。所以,在不考虑施肥造成的元素干扰下,林分改造短期内会造成林地土壤养分及元素流失。

表 3 改造区不同林分土壤养分含量

林分	pH 值	有机质 ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	全 N ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	全 K ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	全 P ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	硝态 N ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	交换 Ca/ ( $\text{cmol}\cdot(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+})\cdot\text{kg}^{-1}$ )	交换 Mg/ ( $\text{cmol}\cdot(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+})\cdot\text{kg}^{-1}$ )	交换 K/ ( $\text{cmol}(\text{K}^{+})\cdot\text{kg}^{-1}$ )	交换 Na/ ( $\text{cmol}(\text{Na}^{+})\cdot\text{kg}^{-1}$ )	盐基饱和 度/%
DL01	3.89	7.98	0.42	19.07	0.34	0.72	7.36	1.15	6.88	7.46	0.99
DL02	4.13	12.87	0.61	14.63	0.35	4.18	13.61	2.26	7.04	10.16	1.61
JA01	4.04	9.76	0.48	19.51	0.21	0.62	15.87	3.48	16.96	20.98	1.94
LJ01	4.14	11.17	0.60	3.44	1.04	2.60	27.76	1.54	3.73	4.03	4.98
LJ02	4.40	11.11	0.62	4.57	0.69	2.53	185.23	5.44	5.24	8.68	30.28
LJ03	4.73	19.11	0.88	4.18	0.54	2.77	445.82	9.12	7.10	13.35	60.65

硝态 N 作为土壤中的有效养分容易被植物吸收和淋失。表 3 表明,林分改造降低了土壤

硝态 N 的含量,全伐带状整地影响最大,种有台湾相思树的样地(DL02)土壤有效 N 含量较高。当然,豆科相思树根瘤固 N 及土壤的硝化也是主要原因之一。

从各样地土壤交换性盐基离子含量看,以  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  占比例大,未改造林地含量特别高,这与该区域土地开发、陆地源尘埃较多有关,尤其是未改造林地样点离省道 325 广湛线较近,在冬春季节由于林木的除尘作用,使树叶表面和林地被物表面出现厚厚的尘粉。林地 JA01 的交换性 K、Na 含量最高,使土壤潮湿,形成较差的块状结构。

### 3.3 改造区土壤有毒元素含量及污染等级

土壤中铅(Pb)的含量一般为  $0.1 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,自然土中多与地壳平均值( $15 \sim 17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )接近,全国监测结果显示镉(Cd)背景值为  $0.157 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,Pb 背景值为  $36.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [6]。森林具有富集扬尘的能力,可以吸附浮尘和气溶胶,固定某些污染物。所以,土壤有机质含量的提高能减少 Ni、Pb、Cd、Cr 的迁移浓度,使其大量积累在腐殖质层中,因此,森林表层土壤中的重金属浓度远高于开阔地[7]。本研究中,同一区域林地如大良镇(DL01、DL02)或龙江镇(LJ01、LJ02、LJ03)其原有林木保存较好的未改造和穴植改造的林地土壤 Pb、Cd 含量高,皆伐及带状整地的林地含量低,说明城市森林生态系统有固定重金属的生态效益。

在酸性土壤区,重金属污染是环境质量的重要指标。在国家土壤环境质量标准中,二级标准为保障农业生产、维护人体健康的土壤限制值,其中  $\text{Cd} \leq 0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{Pb} \leq 250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;三级标准为保障农林业和环境植物正常生长的土壤临界值,其中  $\text{Cd} \leq 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{Pb} \leq 500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [8]。故本分析中采用国家土壤环境质量标准一级为背景值( $S_b$ ),三级为临界值( $S_c$ ),根据  $S_b$  和  $S_c$  将土壤污染划分为 4 个等级,即:第一级,非污染,  $\leq S_b$ ; 第二级,轻污染,  $S_b \sim (S_b + S_c)/2$ ; 第三级,中污染,  $(S_b + S_c)/2 \sim S_c$ ; 第四级,重污染,  $\geq S_c$ 。根据土壤污染的 4 个等级求得 Cd、Pb 的污染等级含量范围(表 4)。

对照《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)和表 4 等级范围,本研究中不同林分土壤的 Cd 含量均超过环境质量三级标准值( $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),达重污染等级水平,尤以大良、均安为甚;Pb 含量超过自然背景标准值( $35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),均存在轻度环境污染(表 5)。

表 4 改造区土壤 Cd、Pb 的污染等级划分  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

污染等级	Cd 含量	Pb 含量
非污染	$\leq 0.20$	$\leq 35.00$
轻污染	$0.20 \sim 0.60$	$35.00 \sim 267.50$
中污染	$0.60 \sim 1.00$	$267.50 \sim 500.00$
重污染	$> 1.00$	$> 500.00$

表 5 改造区不同林分土壤镉(Cd)、铅(Pb)含量和污染等级及环境容量

林分	Cd			Pb		
	含量/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	污染等级	容量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$	含量/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	污染等级	容量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
DL01	2.31	重污染	-15.47	58.62	轻污染	5223.20
DL02	2.75	重污染	-20.20	106.99	轻污染	4527.56
JA01	2.64	重污染	-17.88	76.08	轻污染	4616.07
LJ01	2.00	重污染	-11.75	168.22	轻污染	3910.17
LJ02	2.09	重污染	-12.08	100.57	轻污染	4423.19
LJ03	2.24	重污染	-14.51	103.61	轻污染	4652.77

注:表中“-”(负值)表示已超过最大允许容量的数值。

### 3.4 改造区不同林分土壤的重金属环境容量分析

环境容量是指一定的环境单元,一定时限内遵循环境质量标准时,系统所能容纳污染物的最大负荷量。林地土壤生态系统对污染物有一定的缓冲容量,在这范围内体现了系统对污染物的自净能力。

参考有关土壤负载容量计算模式<sup>[1,9]</sup>,以Cd、Pb的临界值( $S_c$ )作为允许限值,本研究中林地75 cm土层重金属环境容量按下式计算:

$$E_c = 10 \times \sum_{i=1}^n \left( \rho \times d_i \times (S_c - S_i) \right) \quad (1)$$

式中, $E_c$ ——土壤中元素环境容量( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ); $\rho$ ——第*i*层土壤密度( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ); $d_i$ ——第*i*层土壤厚度(m); $S_c$ ——某元素含量允许值( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); $S_i$ ——第*i*层土壤某元素含量( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ );*i*——为土壤层次。

根据(1)式计算的Pb、Cd环境容量见表5。表5表明,Cd不但已没有容量空间,而且超过一定数值,尤以大良(DL01、DL02)、均安(JA01)为甚,龙江林地(LJ01、LJ02、LJ03)相对较少;而不同林分的Pb容量大小有差异,全伐带状整地的DL01林地容量最大,疏伐穴植的LJ01林地容量最小,其余林地的容量居中间,但土壤Pb环境容量与改造方式未表现明显的规律性,只是附近有家具厂、油漆厂的龙江镇林地(LJ01、LJ02)Pb环境容量较低。另外,据报道,机动车尾气排放对土壤环境产生影响,公路两旁土壤中Pb的含量明显增加,且距公路越近,Pb含量越高,两侧森林易受污染<sup>[7,10]</sup>,故距325省道广湛公路较近(约100~200 m)也许是造成龙江镇林地土壤Pb含量高、环境容量较小的原因之一。

## 4 小结与讨论

(1) 顺德森林改造区不同林分的土壤均较黏重,结构和保水保肥能力以均安镇为最好,龙江镇次之,大良镇较差。土壤养分含量具有明显差异,未改造或林下随机穴植改造的林分其有机质、全N、交换性盐基离子、盐基饱和度和pH值最高,表现为:未改造 $\rightarrow$ 林下随机穴植 $\rightarrow$ 全伐带状整地的林分呈减少趋势,而全K的趋势恰相反,全P没有共同的规律,林分改造降低了硝态氮的含量。故林分改造短期内会造成林地土壤养分及元素流失。

(2) 各林分土壤Cd含量均超过《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)三级标准值,已没有容量空间,达重污染等级;土壤Pb含量均超过自然背景标准值,存在轻度污染;重金属环境容量与改造方式未表现明显的规律性。

(3) 森林生态系统中重金属Cd、Pb的污染源有多种,输入主要来自大气的干、湿沉降和施用肥料,如化石燃料燃烧排放的飘尘(含Cr、Hg、As、Pb等),汽车尾气的Pb,磷肥中的Cd,但是土壤有机质和氧化物胶体对重金属有很大的吸附容量,且随pH值升高而显著增大。顺德区进行的“青山工程”初期,土壤环境质量未必表现明显效益,但种植乡土阔叶树种,增加土壤有机质和氧化物胶体含量,对提高环境容量,防止和净化酸性土壤重金属污染,凸显森林土壤环境服务功能具有重要作用和现实意义。

(4) 改造的林分对养分元素的保持和对重金属元素的净化作用以及随着林分演替进程的效果,还需作进一步的长期监测。

## 参考文献:

- [1] 陈怀满, 郑春荣, 周东美, 等. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 1~ 20, 39~ 45
- [2] 赵其国, 张桃林, 鲁如坤, 等. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 1
- [3] 林业部科技司. 森林生态系统定位研究方法[M]. 北京: 中国科技出版社, 1994. 84~ 100
- [4] GB 7848-87~ GB 78510-87, 森林土壤分析方法[S]
- [5] 广州投资环境介绍- 广州环境保护[Z]. <http://www.gzscse.gov.cn/welpage/inpart/huanjing/015> 1~ 12
- [6] 杨景辉. 土壤污染与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 387~ 395
- [7] 曾锋, 张金池. 重金属在森林生态系统中的迁移规律研究进展[J]. 世界林业研究, 2001, 14(2): 16~ 22
- [8] GB 15618-1995. 土壤环境质量标准[S]
- [9] 廖金凤. 广东省南海市农业土壤中铜锌镍的环境容量[J]. 土壤与环境, 1999, 8(1): 15~ 18
- [10] 廖金凤. 城市化对土壤环境的影响[J]. 生态科学, 2001, 20(1, 2): 91~ 95

## Study on the Soil Environmental Quality of Forest Rehabilitation in Shunde, Guangdong Province

LUO Tu-shou<sup>1</sup>, LIU Wei-qin<sup>2</sup>, YIN Guang-tian<sup>1</sup>, LUO Rui-qiang<sup>2</sup>, LI Yi-de<sup>1</sup>, CHEN De-xiang<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. The Agricultural Bureau of Shunde, Foshan City, Guangdong Province, Shunde 528300, Guangdong, China)

**Abstract:** By comparison the soil physical and chemical characteristics and heavy metal content of 6 forest rehabilitation sites in Shunde District, Foshan City, Guangdong Province, were studied and analyzed. The results showed that the soil bulk density was heavy in all the 6 sites. The soil structure and holding water fertility capability was the best in Jun'an followed by Longjiang and Daliang was the worst. The soil organic matter, total N, cation exchange capacity, base cation concentration and pH value showed a tendency to reduce with the different ways of silviculture from no rehabilitation to rehabilitate completely. The soil nutrient elements were losed slowly in forest rehabilitation prophase. In all sites, the soil cadmium(Cd) and plumbum(Pb) contents overstepped third scope of environmental quality standard for soils (GB 15618-1995) and nature background value respectively, reached heavier pollution and lightly pollution. The environment loading capacity of soil for heavy metals did not show the obvious correlation with the silviculture methods. In the initial stages of forest rehabilitation, the soil environment qualities were not diverged from that of before rehabilitation. Planting native broadleaf tree species had great significance to protect forest soil from heavy metal pollution and raise environment capacity.

**Key words:** forest rehabilitating; soil characteristics; heavy metal pollution; environmental quality; Shunde