

# 广东省林地土壤有效态锌、镉含量及其与有机质和 pH 的关系

官彦章<sup>1,2</sup>, 刘月秀<sup>1,3</sup>, 刘姝媛<sup>1,2</sup>, 叶金盛<sup>4</sup>, 曾曙才<sup>1,2</sup>

(1 华南农业大学 林学院, 广东 广州 510642; 2 农业部生态农业重点开放实验室, 广东 广州 510642; 3 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 4 广东省林业调查规划院, 广东 广州 510500)

**摘要:**通过对主要森林类型林下土壤进行野外调查和室内测定,研究了粤北、粤东、粤西和珠江三角洲4个地区林地土壤有效 Zn、Cd 含量、pH 和土壤有机质含量,并分析了后二者与有效 Zn、Cd 的相关关系。结果表明:广东林地土壤 A 层有效 Zn、Cd 质量比分别为 2.770 和 0.045 mg · kg<sup>-1</sup>, B 层分别为 1.071 和 0.013 mg · kg<sup>-1</sup>, A 层含量显著高于 B 层。有效 Zn、Cd 平均含量以粤北最高,粤东和珠江三角洲次之,粤西最低。土壤有效 Zn、Cd 含量与有机质含量呈极显著正相关关系。土壤 A 层有效 Zn、Cd 含量与 pH 相关性不显著, B 层有效 Zn、Cd 含量与 pH 呈显著负相关关系。

**关键词:**林地土壤; 有效锌; 有效镉; 有机质; pH

中图分类号: S718

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2011)01-0015-04

## Available Zn and Cd Contents in Relation to pH and Organic Matter in Forest Soils of Guangdong Province

GONG Yan-zhang<sup>1,2</sup>, LIU Yue-xiu<sup>1,3</sup>, LIU Shu-yuan<sup>1,2</sup>, YE Jin-sheng<sup>4</sup>, ZENG Shu-cai<sup>1,2</sup>

(1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, Guangzhou 510642, China;

3 College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

4 Academy of Forestry Survey and Planning of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China)

**Abstract:** Based on field soil survey and lab test, contents of available Zn, Cd and their relations to organic matter (OM) and pH values in forest soils of northern, eastern and western parts of Guangdong and Pearl River Delta region were studied and relations between available Zn, Cd and pH, OM were analyzed. Results showed that available Zn and Cd contents in the A horizons of the forest soils were 2.770 and 0.045 mg · kg<sup>-1</sup>, respectively, and those in the B horizon were 1.071 and 0.013 mg · kg<sup>-1</sup>, respectively, the latter significantly lower than A horizons. Mean contents of available Zn and Cd in forest soils of northern Guangdong were the highest, followed by those in eastern Guangdong, Pearl River Delta region and western Guangdong in a decreasing order. Contents of available Zn and Cd were found to be significantly positively correlated with OM contents in both A and B horizons, and significantly negatively correlated with pH values in B horizons.

**Key words:** forest soil; available Zn; available Cd; organic matter; pH

随着城市化和工业化的发展,土壤重金属污染越来越受到人们的关注。土壤重金属不仅对植物生长造成影响,还会造成二次污染,引起大气和水污染<sup>[1]</sup>,进而危害人类健康。土壤重金属元素以不同的

形态存在,在研究土壤重金属污染危害时,不仅应注意其总量水平,还需重视其各种形态的含量<sup>[2]</sup>,尤其是有效态的含量。植物吸收的重金属只是某一种或几种形态<sup>[3]</sup>。Zn 虽然是植物生长的必需元素,但含

收稿日期:2010-03-01

作者简介:官彦章(1982—),男,硕士研究生;通信作者:曾曙才(1971—),男,教授,博士,E-mail:sczeng@scau.edu.cn

基金项目:广东省社会发展计划项目(2008B030302008);农业部生态农业重点开放实验室项目(2010-LH02)

量过高会影响植物生长及产品品质;Cd 是有害的重金属元素. 重金属在植物根、茎、叶及籽粒中的大量累积, 不仅严重影响植物的生长和发育, 而且会进入食物链, 危及人类健康<sup>[4]</sup>. 在不同土壤条件下(如不同土壤类型、土地利用方式和物理化学性状等), 重金属元素的存在形态有所不同, 其中土壤物理化学性状对重金属元素的迁移转化具有重要影响. 土壤理化性状的改变会直接影响重金属在土壤环境中的行为<sup>[4]</sup>. 土壤 Zn、Cd 的有效性及其植物对 Zn、Cd 的吸收与土壤 pH 成反比<sup>[5-6]</sup>. He 等<sup>[6]</sup>发现, 利用苔藓泥炭(Sphagnum peat)作为有机肥加入砂质土壤中, 水溶态及可交换态 Cd 由 27% 上升到 54%; 而 Fe-Mn 化态 Cd 则由 19% 下降到 13%. 其他土壤上也观察到类似现象. 本文研究了粤北、粤东、粤西和珠江三角洲 4 个地区林地土壤有效态 Zn、Cd 含量及其与土壤有机质及 pH 值之间的关系, 以期为林地土壤环境质量监测、管理及重金属污染防治提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

广东位于北纬 20°09′~25°31′, 东经 109°45′~117°20′, 陆地面积 17.97 万 km<sup>2</sup>. 山地主要分布在粤北、粤东和粤西, 丘陵尤以粤东南丘陵最为广阔, 台地主要分布在雷州半岛, 平原多分布在沿海地区. 除粤北山区属中亚热带季风气候外, 大部分地区为南亚热带和热带季风气候, 夏长冬短, 雨量充沛, 光、热、水资源丰富. 土壤类型和原生植被随纬度呈带状分布, 自北往南由红壤过渡到赤红壤、砖红壤, 其中粤西南部为玄武岩发育的砖红壤, 与其他成土母质相比, 玄武岩母质中不但重金属元素含量较高, 且风化的土壤中重金属元素含量也较高<sup>[7-8]</sup>, 珠江三角洲成土母质主要是河流冲积物、花岗岩、砂页岩等. 粤北地区自然植被以亚热带常绿阔叶林为主, 中部过渡到亚热带季雨林, 南部雷州半岛以热带季雨林为主<sup>[9]</sup>.

### 1.2 采样与分析方法

依据广东省粤北、粤东、粤西和珠江三角洲 4 个地区不同森林植被类型的面积和自然分布状况, 本研究共选择了 122 个林分进行调查和土壤样品采集, 其中粤北 81 个(河源 22 个, 梅州 16 个, 韶关 13 个, 清远 11 个, 肇庆 9 个, 云浮 8 个, 惠州 2 个), 粤东 8 个(汕尾 3 个, 揭阳 3 个, 汕头 1 个, 潮州 1 个), 粤西 18 个(茂名 9 个, 湛江 5 个, 阳江 3 个, 雷州 1 个), 珠江三角洲 15 个(惠州 5 个, 江门 4 个, 肇庆 3 个, 广州 2 个, 佛山 1 个). 林分类型既有天然林, 也有人工林, 既有针叶林, 也有阔叶林, 基本涵盖了省内的主要林分类型. 调查采样时间为 2007 年 5—8 月. 在选定的每片林地内, 进行植被和枯落物调查,

并选择 3 个代表性地段挖掘土壤剖面, 深 80 cm 以上或至母质层, 记录土壤剖面形态特征, 记录 A、B 层厚度, 分层采集土壤分析样品, 及时送回实验室, 土壤分析样品风干后研磨过筛, 贮存于广口瓶中待用.

土壤 pH(H<sub>2</sub>O) 采用电位法测定, 土水质量比为 1.0:2.5; 有机质采用重铬酸钾容量法测定; 有效 Zn、Cd 采用 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 的 HCl 浸提-AAS 法测定<sup>[10]</sup>.

### 1.3 数据处理

用 Microsoft Excel 2003 软件对原始数据进行初步处理和图表制作, 用 SPSS 16.0 软件进行方差分析和相关分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 广东林地土壤有效 Zn、Cd 含量

广东林地土壤 A、B 层有效 Zn 平均质量比分别为 2.770 和 1.071 mg·kg<sup>-1</sup> (图 1a), 均远小于广州市郊区表层土壤有效 Zn (23.790 mg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[11]</sup>. 土壤 A、B 层平均有效 Cd 分别为 0.045 和 0.013 mg·kg<sup>-1</sup> (图 1b), 亦远低于广州市郊区表层土壤有效 Cd (0.153 mg·kg<sup>-1</sup>)<sup>[11]</sup>. 这很可能是由于广州市郊土壤受到来自工业(污水、烟尘、废气以及矿区等)和农业(化肥)的污染所致.

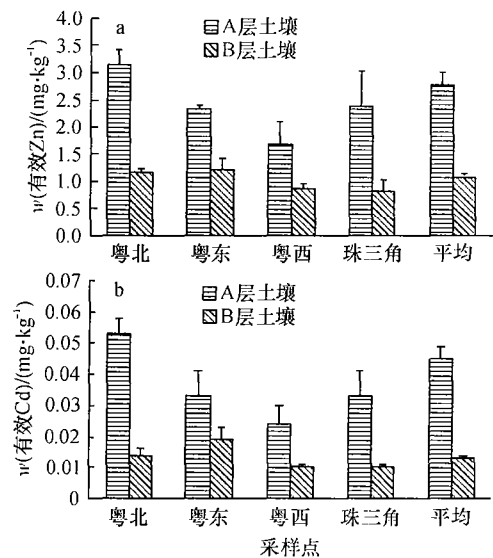


图 1 广东土壤有效 Zn、Cd 的区域分布特征

Fig. 1 The distribution feature of soil available Zn and Cd contents in Guangdong

元素在土壤剖面中的分布受到多种因素影响而表现出不同分布类型, 一般有均匀分布型、表层富集型、某一层位富集型、底层富集型和不规则分布型<sup>[12]</sup>. 广东省林地土壤 A 层有效 Zn、Cd 含量显著高于 B 层, 有效 Zn、Cd 的剖面分布属表层富集型, 可能是由于表层土壤 Zn、Cd 受人类活动、干湿沉降和生物富集影响所致.

不同地区 A 层土壤有效 Zn、Cd 含量存在较大差

异,有效 Zn、Cd 平均含量均以粤北最高,粤东和珠江三角洲次之,粤西最低;不同地区 B 层有效 Zn、Cd 含量无明显差异,进一步说明 A 层有效 Zn、Cd 含量可能受外源 Zn、Cd 影响,与成土母质关系不密切。

由表 1 可见,人工林地土壤 A 层有效 Zn、Cd 含量均显著低于天然次生林,这与我们的预期(人工林施肥等活动可能带入一定量的 Zn 和 Cd,从而提高其含量)刚好相反。这可能是由于天然次生林长期演替过程中,有效提高土壤有机质含量,富集土壤营养元素,并通过降低土壤酸度,增加有效态重金属含量<sup>[13]</sup>。人工林地 B 层土壤有效 Zn、Cd 含量则与天然次生林无显著差异。

表 1 广东省不同林分类型土壤 Zn、Cd 有效含量<sup>1)</sup>

| 林分起源  | w/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |              |              |              |
|-------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|
|       | A 层                      |              | B 层          |              |
|       | Zn                       | Cd           | Zn           | Cd           |
| 人工林   | 2.360±1.880a             | 0.035±0.031a | 0.996±0.707a | 0.012±0.009a |
| 天然次生林 | 3.307±2.364b             | 0.057±0.047b | 1.172±0.697a | 0.015±0.014a |

1) 同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示差异不显著(Duncan's 法,  $P > 0.05$ )。

表 2 广东省林地土壤 pH 和有机质含量<sup>1)</sup>

Tab. 2 pH values and organic matter contents in forest soils of Guangdong Province

| 土层  | pH         |            |            |            |            | w(有机质)/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |              |              |              |              |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|     | 粤北         | 粤东         | 粤西         | 珠三角        | 平均         | 粤北                            | 粤东           | 粤西           | 珠三角          | 平均           |
|     | A 层        | 4.46±0.31a | 4.67±0.27a | 4.65±0.28a | 4.38±0.30a | 4.50±0.31a                    | 35.70±18.52a | 43.92±25.88a | 36.70±25.10a | 56.16±22.51a |
| B 层 | 4.60±0.30b | 4.74±0.30a | 4.65±0.20a | 4.51±0.24a | 4.60±0.28b | 19.00±12.37b                  | 21.56±11.82a | 14.20±9.10b  | 18.47±8.48b  | 18.36±11.49a |

1) 同列数据后凡具有一个相同英文字母,表示差异不显著(Duncan's 法,  $P > 0.05$ )。

### 2.3 林地土壤有效 Zn、Cd 与 pH 和有机质的相关性

据重金属形态分级方法<sup>[19]</sup>,将土壤中重金属分成 5 个级别,即:可交换态、碳酸盐结合态、Fe-Mn 氧化结合态、有机态和残余态。Cd 有 2 种价态(0 和 +2),土壤中镉的化合物多是 Cd<sup>2+</sup> 及其化合物。Zn 是两性金属,不仅能溶于酸,而且能溶解在强碱中形成锌酸盐。研究表明,重金属在土壤中的吸附受土壤 pH、有机质等因素影响,土壤对重金属离子的吸附随 pH 升高、土壤有机质和 Fe-Mn 氧化物含量增加而增大<sup>[20-23]</sup>。McBride 等<sup>[20]</sup>研究认为土壤 pH 和游离含水氧化物对污染土壤中 Cu、Zn、Cd、Pb 等的吸持力和溶解性具有极大的影响。

#### 2.3.1 A 层有效 Zn、Cd 与 pH、有机质的相关性

土壤 A 层 pH 与有机质含量呈负相关,相关系数是 -0.207(表 3)。土壤有机质分解的产物中包含酸性物质,随着有机质的增加,分解的酸性产物也相应增加,故土壤 pH 降低。从表 3 可以看出,土壤 A 层有效 Zn、Cd 与 pH 相关性不显著。土壤 A 层有效 Zn、Cd 含量与有机质含量呈极显著正相关,相关系数分别

### 2.2 广东省林地土壤 pH 和有机质状况

2.2.1 广东省林地土壤 pH 状况 土壤酸碱度是土壤重要的性质之一,是土壤形成过程和熟化培肥过程的一个指标<sup>[14]</sup>。在土壤中,与酸碱度关系最为密切的是土壤-植物系统中的化学元素,pH 直接影响土壤中各种元素的存在形态、有效性及迁移转化<sup>[15]</sup>。由表 2 可知,广东林地土壤 A、B 层 pH 平均值分别为 4.50、4.60,均属于酸性土壤。A 层 pH 平均值显著小于 B 层,酸沉降、枯落物分解产生有机酸等均可能使 A 层 pH 下降。4 个地区中,仅粤北的 A、B 层 pH 差异显著,其他 3 个地区层间差异均不显著。

2.2.2 广东省林地土壤有机质含量 有机质是森林土壤肥力的核心<sup>[16]</sup>,可为林木提供养分,改善土壤物理性状。广东林地土壤 A 层有机质质量比变化极大,变幅为 0.7~155.6 mg·kg<sup>-1</sup>,平均为 46.67 mg·kg<sup>-1</sup>(表 2),达到很丰富水平<sup>[17]</sup>。土壤 B 层有机质变化亦很大,变幅在 0.35~68.49 mg·kg<sup>-1</sup>之间,平均值为 18.36 mg·kg<sup>-1</sup>,为偏低水平<sup>[17]</sup>,与土壤 A 层相差 3 个数量级。这主要是由于地表枯落物分解转化过程中形成的腐殖质进入表层土壤,增加了土壤 A 层有机质含量<sup>[18]</sup>。

是 0.425 和 0.415,表明 A 层土壤有效 Zn、Cd 含量随有机质含量增加而呈现增加趋势,可能原因包括:有机质及其分解中间产物减少了 Zn、Cd 的化学固定;有机质及其中间产物和 Zn、Cd 形成溶解度大的络合物或螯合物;有机质通过降低土壤的 pH 增加了土壤中 Zn、Cd 的有效态含量。土壤 A 层中有效 Zn 与 Cd 的含量呈极显著正相关关系,这可能是由于 Zn 与 Cd 化学性质相似,它们在自然界总是伴生、伴存的缘故<sup>[24]</sup>。

#### 2.3.2 B 层有效 Zn、Cd 与 pH、有机质的相关性

从表 3 可以看出,与土壤 A 层不同,土壤 B 层有效 Zn 含量与 pH 呈极显著负相关,有效 Cd 含量与 pH 呈显著负相关,这可能因为:土壤 pH 增加,土壤胶体可变电荷数量增加,因而对重金属离子的吸附力加强;土壤中形成的络合物或螯合物的稳定性随着 pH 的升高而增加;土壤中 OH<sup>-</sup> 增加,形成 Zn(OH)<sub>2</sub>、Cd(OH)<sub>2</sub> 沉淀的机会加大<sup>[21]</sup>。与 A 层相似,土壤 B 层 pH 与有机质含量呈极显著负相关,相关系数是 -0.389。土壤 B 层有效 Zn、Cd 含量与有机质呈极显

表3 土壤A、B层有效Zn、Cd与pH、有机质的相关关系<sup>1)</sup>

Tab.3 Correlation coefficients between available Zn, Cd and pH, organic matter content in A and B horizons

| 土壤物质 | A层      |         |         | B层       |         |         |
|------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
|      | pH      | 有机质     | 有效Zn    | pH       | 有机质     | 有效Zn    |
| 有机质  | -0.207* |         |         | -0.389** |         |         |
| 有效Zn | -0.157  | 0.425** |         | -0.277** | 0.317** |         |
| 有效Cd | 0.038   | 0.415** | 0.744** | -0.224*  | 0.511** | 0.609** |

1) \*表示显著相关( $P < 0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P < 0.01$ ),  $n = 122$  (Pearson 相关系数法).

显著正相关, 相关系数分别为 0.317 和 0.511. 土壤 B 层中有效 Zn 与 Cd 的含量达极显著正相关.

### 3 结论

广东林地土壤呈酸性, A 层 pH 低于 B 层, 且差异显著; A 层有机质平均含量远高于 B 层, 但在统计上差异不显著. A、B 层土壤 pH 与有机质含量分别呈显著和极显著负相关.

广东林地土壤有效 Zn、Cd 含量远低于广州市郊区土壤. A 层有效 Zn、Cd 含量显著高于 B 层, Zn、Cd 含量呈表层富集型分布. 有效 Zn、Cd 含量粤北最高, 粤东和珠江三角洲次之, 粤西最低. 人工林土壤 A 层有效 Zn、Cd 含量显著低于天然次生林, B 层土壤 Zn、Cd 含量则无显著差异.

林地土壤 A 层有效 Zn、Cd 与 pH 相关性不显著, B 层有效 Zn 含量与 pH 呈极显著负相关, 有效 Cd 与 pH 呈显著负相关. 土壤 A、B 层有效 Zn、Cd 含量均与有机质呈极显著正相关关系.

#### 参考文献:

- [1] BURT R, WILSON M A, MAYS M D, et al. Major and trace elements of selected pedons in the USA [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32: 2109-2121.
- [2] 李俊莉, 宋华明. 土壤理化性质对重金属行为的影响分析 [J]. *环境科学动态*, 2003, 1: 24-26.
- [3] ALLACE A. Dose-response curves for zinc, cadmium and nickel in combination of one, two or three [J]. *Soil*, 1989, 147: 401-410.
- [4] HART J J, WELCH R M, NORVELL W A, et al. Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars [J]. *Plant Physiol*, 1998, 116: 1413-1420.
- [5] ERIKSSON J E. The influence of pH, soil type and time on adsorption and by plants of Cd added to the soil [J]. *Water, Air and Soil Pollut*, 1989, 48: 317-335.
- [6] HE Q B, SINGH B R. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content [J]. *Water, Air and Soil Pollut*, 1994, 74: 251-265.
- [7] 陈静生, 洪松, 邓宝山, 等. 中国东部花岗岩、玄武岩及石灰岩上土壤微量元素含量的纬度分异 [J]. *土壤与环境*, 1999, 8(3): 161-167.
- [8] 廖金凤. 海南省土壤中的镍 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 1998, 37(增刊2): 16-18.
- [9] 崔光琦, 黄国锋, 张永波, 等. 广东省生态环境现状、存在问题和对策 [J]. *生态环境*, 2003, 12(3): 313-316.
- [10] 杜森, 高祥照. 土壤分析技术规范 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2006: 191.
- [11] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征 [J]. *中国环境科学*, 2003, 23(6): 592-596.
- [12] 杜俊平, 廖超英, 田联会, 等. 长白山自然保护区土壤重金属含量及其分布特征研究 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22(3): 84-87.
- [13] 张永利, 鲁绍伟, 杨峰伟. 华北土石山区人工林与天然林结构与功能研究 [J]. *灌溉排水学报*, 2007, 26(6): 63-68.
- [14] 李福燕, 李许明, 吴鹏飞, 等. 海南农用地土壤重金属含量与土壤有机质及 pH 的相关性 [J]. *土壤*, 2009, 41(1): 49-53.
- [15] 蔡晓明, 尚玉昌. 普通生态学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1995.
- [16] 余雪标, 莫晓勇, 龙腾, 等. 不同连栽代次桉树林枯落物及其养分组成研究 [J]. *海南大学学报: 自然科学版*, 1999, 6(2): 140-144.
- [17] 郑镜明, 张红爱, 梁素莲. 广东省林地土壤监测研究报告 [J]. *广东林业科技*, 2009, 25(3): 29-34.
- [18] 张勇, 庞学勇, 包维楷, 等. 土壤有机质及其研究方法综述 [J]. *世界科技研究与发展*, 2005, 27(5): 72-78.
- [19] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metal [J]. *Analytical Chemistry*, 1979, 51(7): 844-851.
- [20] McBRIDE M, SAUVE S, HENDERSHOT W. Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils [J]. *Eur J Soil Sci*, 1997, 48: 337-346.
- [21] NAIDU R, KOOKANA R S, SUMNER M E. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review [J]. *J Environ Qual*, 1997, 26: 602-617.
- [22] COVELO E F, ANDRADE M L, VEGA F A. Heavy metal adsorption by humid umbrilsols: Selectivity sequences and competitive sorption kinetics [J]. *J Colloid Interface Sci*, 2004, 280: 1-8.
- [23] FONTES P F, GOMES P C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metals by the mineral matrix of tropical soils [J]. *Applied Geochemistry*, 2003(18): 795-804.
- [24] 许嘉林, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.

【责任编辑 李晓卉】