

# 基于不同土地利用方式的深圳市农用地土壤重金属污染评价

谢婧<sup>1</sup>, 吴健生<sup>1,\*</sup>, 郑茂坤<sup>2</sup>, 王仰麟<sup>2</sup>, 李俊杰<sup>1</sup>, 彭建<sup>2</sup>

1. 北京大学深圳研究生院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055

2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871

**摘要:** 为探讨深圳市农林土壤重金属的污染现状, 分菜地、果园、林地和荒地等4种不同的土地利用类型, 共采集了52个表层土壤样品, 采用原子吸收法测定了其重金属Cu、Pb、Zn、Cd、Cr和Ni全量, 单项污染指数法和内梅罗综合指数法评价了6种重金属在土壤中的污染现状. 评价结果显示, 部分土壤样点存在较为严重的重金属污染, Cd的污染最为严重, Cu的污染最轻; 不同用地类型下的污染等级不同, 荒地处于尚清洁(警戒限)水平, 菜地和林地处于轻度污染水平, 果园处于中度污染水平, 全市农用地土壤处于轻度污染水平.

**关键词:** 农用地; 重金属; 污染评价; 深圳

文章编号: 1673-5897(2010)2-202-06

中图分类号: X82

文献标识码: A

## Evaluation of the Heavy Metal Pollution in Different Agricultural Soils of Shenzhen City

XIE Jing<sup>1</sup>, WU Jian-sheng<sup>1,\*</sup>, ZHENG Mao-kun<sup>2</sup>, WANG Yang-lin<sup>2</sup>, LI Jun-jie<sup>1</sup>, PENG Jian<sup>2</sup>

1. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055

2. School of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871

Received 3 February 2010

accepted 4 March 2010

**Abstract:** In order to analyze the content of agricultural surface soil and evaluate the hazard of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Cr and Ni) in such field in Shenzhen, a survey was conducted. Twelve, twenty three, fifty, and two soil samples were collected from vegetable land, fruit land, wood land, and grass land, respectively. Pollution situation of the six heavy metals were evaluated using single contamination index method and Nemerow composite index. Results showed that serious heavy metal pollution was found in some soil samples. The pollution of Cd was most serious and Cu was slightest. There were different heavy metal pollution levels in different land-use types. The grass land was at good level, vegetable land and wood land were slightly polluted, and fruit land was moderately polluted. On the whole, the agricultural surface soils of Shenzhen were at slight pollution level.

**Keywords:** agricultural land; heavy metal; evaluation; Shenzhen

收稿日期: 2010-02-03 录用日期: 2010-03-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 40635028); 国家自然科学基金青年项目 (No. 40801066); 中国博士后科学基金项目 (No. 200801017)

作者简介: 谢婧 (1986-), 女, 硕士研究生, E-mail: xiejingsweety@126.com; \* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: wujs@szpku.edu.cn

### 1 引言(Introduction)

土壤与人类的生活密切相关,良好的土壤环境质量是人类健康生活的保障.近年来城市工业化进程快速推进,人类急于追求经济效益而对土壤环境的保护重视不够,废液、废气无节制的排放使重金属得以在土壤中积累(Lee *et al.*, 2006; Velea *et al.*, 2009).土壤中重金属的累积将导致土壤生态功能的退化甚至丧失,并有可能通过食物链危及当地人的健康(Fu *et al.*, 2008; 赵金璇等,2009; 王玲梅等,2009).

深圳市土壤重金属的研究始于 20 世纪 80 年代末陶澍等对其重金属等微量元素背景值的研究(Tao, 1990; 1995a; 1995b; 1998).之后,其他研究者相继从各个方面对深圳市土壤重金属进行了研究.目前的研究主要集中于具体用地类型或具体区域,如城市绿地(史正军等,2006; 2007; 卢瑛等,2009)、红树林(林初夏,2004)、垃圾填埋场(廖利等,1999; 赵宏伟等,2009)等,对农用地的研究则重点关注了部分菜地(金肇熙等,2000; 王多加等,2000; 宁建凤等,2007)中重金属的浓度状况,尚缺乏对全市尺度不同土地利用方式下土壤重金属污染及其风险的研究.深圳市我国经济发展最快的地区之一,随着工农业的快速发展,深圳地区土壤重金属污染日益加剧(郑茂坤等,2009).上一次全市尺度重金属污染调查已是十余年前,近年来并没有对深圳全市区域的农业、林业及荒地土壤重金属进行研究,亟需新的研究工作以确认近 20 年

来深圳土壤重金属的变化及其风险情况(郑茂坤等,2009).本文在前期研究(郑茂坤等,2009)基础上进一步分析了深圳市不同土地利用方式下农用地土壤重金属的累积特征和污染状况,以期为全面了解深圳市土壤重金属污染状况及其风险评价提供科学依据.

### 2 材料与方法(Materials and methods)

#### 2.1 研究区概况

深圳市位于广东省南部沿海,毗邻香港,东经 113°46'至 114°37',北纬 22°27'至 22°52',属亚热带海洋性气候,平均年降雨量 1933.3mm,土壤以赤红壤为主,植被为热带季雨林型的常绿季雨林.深圳市自改革开放以来,经过 30 年的建设,由一个边陲小镇发展到现代化都市,是我国快速城市化的典型城市.快速的工业化使深圳农用地面积急剧减少,农用地周边的化工厂、制药厂等排放的废液、废气分别通过灌溉和大气沉降等在土壤中积累.

#### 2.2 样品采集和前处理

土壤样品于 2009 年 3 月采集.以 8km×8km 的网格,分菜地、果园、林地和荒地 4 种土地利用方式,采集土壤样品 52 个,如图 1 所示,龙岗区 35 个,宝安区 14 个,南山区、福田区和罗湖区各 1 个;菜地 10 个,果园 26 个,林地 14 个,荒地 2 个.在 100m×100m 的地块,以“之”字型多点取样,四分法混合装袋的方法采集 0~20cm 的表层土壤样品 5kg.每个采样点的经纬度均用 GPS 精确定位给



图 1 土壤样点分布

出,并详细记录样点周围的环境.采集的土壤样品室内自然风干,分捡出石砾及植物根系等杂物,磨碎,过10目筛待测土壤pH,过100目筛待测土壤重金属全量和有机质含量.

### 2.3 样品指标测定

土壤pH和有机质含量在北京大学深圳研究生院城市人居环境科学与技术实验室测定.土壤pH采用电位法,有机质用非扩散性吸附型红外线法(NDIR)测定.土壤重金属的全量在中国科学院南京土壤研究所土壤污染与修复重点实验室测定,HF-HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消煮后,Cu、Pb、Zn、Cr和Ni的全量采用火焰原子吸收分光光度法,Cd全量用石墨炉原子吸收分光光度法测定.采用20%的样品重复,并用标准土壤样品G3和G5进行过程控制以保证数据质量.

### 2.4 数据处理

本文采用Excel\_2003软件对数据进行统计和分析,并绘图和制表;采用SPSS 13.0对重金属含量和土壤理化性质进行相关性分析.

### 2.5 研究方法

#### 2.5.1 评价方法

本研究应用的主要污染评价方法是单项污染指数法和内梅罗综合指数评价法(国家环境保护总局,2004).其评价公式如下:

单项污染指数:

$$I_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式中: $I_i$ 为某样品中污染元素*i*的分指数; $C_i$ 为某样品中*i*元素的实测浓度; $S_i$ 为*i*元素的评价标准.

单项污染综合指数:

$$P = (1/n) \sum I_i \quad (2)$$

式中: $P$ 为*i*元素*n*个样品中的平均污染指数; $n$ 为该用地类型参与计算的样品数量.

内梅罗综合指数:

$$P_N = (0.5 \times ((P_{ave})^2 + (P_{max})^2))^{0.5} \quad (3)$$

式中: $P_N$ 为内梅罗综合指数; $P_{ave}$ 为多个元素单项污染综合指数平均值; $P_{max}$ 为多个元素单项污染综合指数最大值.

#### 2.5.2 评价标准

本研究土壤Cu、Zn、Cr和Cd采用国家土壤环

境质量标准(GB 15618-1995)(国家环境保护总局,1995)的二级标准作为评价标准,其值分别为100mg·kg<sup>-1</sup>、200mg·kg<sup>-1</sup>、200mg·kg<sup>-1</sup>和0.3mg·kg<sup>-1</sup>,Pb和Ni参考万洪富等(2009)的研究成果,分别取值100mg·kg<sup>-1</sup>和60mg·kg<sup>-1</sup>.等级划分标准参照国家土壤环境质量标准(HJ/T166-2004)(国家环境保护总局,2004)(表1).

表1 评价等级划分标准  
Table 1 Criteria of pollution rank

内梅罗污染指数	污染等级
<0.7	清洁无污染
0.7~1	尚清洁(警戒限)
1~2	轻度污染
2~3	中度污染
>3	重度污染

### 3 结果与分析(Results and analysis)

#### 3.1 深圳市农用地土壤重金属的累积特征

深圳农用地土壤重金属含量的描述性统计详见本研究前期成果(郑茂坤等,2009).土壤中重金属Cu、Pb、Cd、Zn、Cr和Ni的含量平均值分别为21.64、60.66、2.12、78.54、58.45和15.72mg·kg<sup>-1</sup>,将土壤重金属含量/背景值生成百分比堆积柱形图(图2),展示出土壤重金属的含量分布特征.图2表明,不同重金属元素在土壤中累积程度存在差异,其中以Cd的累积最为显著,有超过20%的土样中Cd含量超过背景值的10倍;所有的土样中,Ni的含量均未超出背景值的5倍,约10%的样品中Cd和Cr超过背景值的5倍,仅有个别样品的

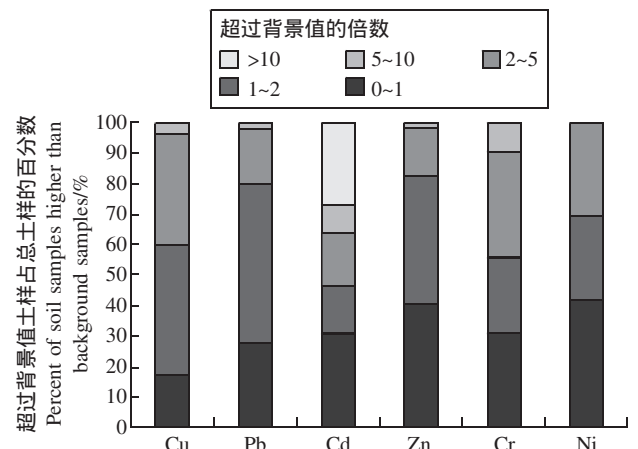


图2 土壤重金属含量/背景值百分比堆积柱形图 (背景值参考Tao(1990))

Fig.2 Stacked column chart of heavy metal content per background value (Background values see Tao(1990))

Cu、Pb 和 Zn 含量超过背景值 5 倍。

同香港( Lee et al., 2006)、广州( 柴世伟等, 2003)和北京( 霍霄妮等, 2009)土壤重金属平均含量相比, 深圳市农用地土壤中 Cd 和 Pb 的含量显著高于其他城市; Cu、Cr 的含量与其他城市相差不大, Zn 含量低于广州、高于香港, Ni 含量低于北京, 而与广州和香港相差不大。

### 3.2 深圳市农用地土壤重金属的污染评价

#### 3.2.1 深圳市农用地土壤重金属的单项污染指数评价

根据公式(2)对测得的数据进行处理, 得到各重金属单项污染指数统计表(表 2)。由表 2 可见, 所有的土样中 Cu 的指数值均处于清洁水平, Cr 和 Ni 的指数值均处于尚清洁(警戒限)和清洁水平; 1 个土样(1.92%)中的 Zn 达到轻度污染水平, 其余土样均为清洁或尚清洁水平; 5 个土样(9.62%)中的 Pb 达到轻度和中度污染水平; 6 种重金属中仅有 Cd 达到重度污染水平(12 个土样, 23.08%), 达到轻度和中度污染的土样也达到 15.39%(8 个土样)。可见, 深圳市农用地表层土壤已受到重金属不同程度的污染, 其中受 Cd 污染最严重, 其次为 Pb。

对各样点进行单项污染指数排序, 各种重金属污染指数最大值多为菜地或果园。其中, 位于龙岗上山村某坡地荔枝园的 Cd 指数最大, 是所有样点平均值的 80 多倍, 这可能是因为该果园靠近工业园区且灌溉用水来自旁边的河流, 受污染的可能性较大。此外, 工业区附近和道路两侧的样点均表现为 Pb 指数较大, 而水库附近的林地和菜地则显示各项指数较小, 与其他相关研究结果较为一致。

表 2 单项污染指数统计

Table 2 The heavy metal pollution indexes

污染等级	超标样品数占总样品数的比例/%					
	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	Ni
清洁无污染	100.00	67.31	53.85	92.31	90.38	96.15
尚清洁(警戒限)	0.00	23.08	7.69	5.77	9.62	3.85
轻度污染	0.00	7.69	9.62	1.92	0.00	0.00
中度污染	0.00	1.92	5.77	0.00	0.00	0.00
重度污染	0.00	0.00	23.08	0.00	0.00	0.00

#### 3.2.2 深圳市农用地土壤重金属的综合污染指数评价

根据公式(3)计算得到的深圳农用地土壤重金

属内梅罗综合污染指数列于表 3。由表 3 可见, 中荒地综合污染指数值为 0.87, 处于尚清洁(警戒限)水平; 菜地和林地综合污染指数值分别为 1.06 和 1.85, 处于轻度污染水平, 但林地的综合污染指数值已很接近中度污染, 若不加重重视, 会很快突破警戒, 达到中度污染的水平; 果园综合污染指数值为 2.01, 达到中度污染的控制水平。从全市水平来看, 深圳市农用地土壤污染处于轻度污染水平。

无论从土地利用类型还是从区域尺度来看, Cu、Pb、Zn、Cr 和 Ni 的单项污染综合指数值均在清洁水平范围内, 其中菜地、果园和林地的 Pb 含量接近轻度污染, Cd 的单项污染综合指数均在轻度污染以上, 果园、林地达到中度污染水平。由公式(3)可知, 单项污染综合指数的最大值对内梅罗污染综合指数的大小有着重要的影响, 因此, 判断深圳农业土壤的污染水平, 主要关注土壤中 Cd 的含量。Cd 的单项污染综合指数最大, 这可能是由于部分制造业, 尤其是汽车制造业的蓄电池生产工艺中大量使用 Cd, 富含 Cd 的废水排放到周边的土壤中。其次, Pb 的平均污染指数接近警戒限, 土壤中铅可能主要来源于历史尾气排放沉降、污水灌溉和废弃的含铅蓄电池渗滤液。

表 3 不同土地利用类型的综合污染指数

Table 3 The heavy metal pollution indexes under different land use

土地利用类型	单项污染综合指数 P						综合污染指数 PN
	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	Ni	
菜地	0.28	0.56	1.38	0.42	0.34	0.37	1.06
果园	0.21	0.67	2.74	0.46	0.26	0.21	2.01
林地	0.18	0.59	2.52	0.30	0.29	0.24	1.85
荒地	0.18	0.33	1.18	0.19	0.42	0.38	0.87
全市	0.22	0.61	2.32	0.40	0.28	0.25	1.71

在所有用地类型中, Cd 的单项污染综合指数均为最大, Cu 的单项污染综合指数均为最小, 表明在所有的土地利用类型中, Cd 的污染程度最高, Cu 的污染程度最低。对比图 2, Zn 的累积作用明显比 Cu 弱。这是因为在国家二级标准中 Cu 的标准值为  $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Zn 为  $200\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 而 Cu 的深圳背景值为  $22.6\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Zn 为  $74.2\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 由这两组数据可知 Zn 较 Cu 超过背景值后更易达到污染标准值。还需要注意的是, 荒地中 Cr 的单项污染综合指数排序第二, 而相比其他土地利用类型,



Cr 在荒地中累积作用最弱，表明荒地受重金属污染影响最小。但由于荒地样本数量偏少，在后续研究中需追加样点来进一步说明。

3.3 深圳土壤各重金属污染的相关关系

同一来源的重金属之间存在着一定的相关性，根据相关性可以判断土壤重金属污染来源是否相同(Galley and Lloyd, 1985)。各重金属含量之间的相关关系如表 4 所示。由表 4 可见，Cu 和 Pb、Cr、Ni 存在较强的相关性，相同的来源可能是电子制品生产；Zn 和 Pb 存在较强的相关性，相同的来源可能是交通污染，Zn 是汽车轮胎硬度添加剂(张志红和杨文敏, 2001)，轮胎磨损会产生含锌含铅粉尘；Cr 和 Ni 存在较强的相关性，同源污染可能来自电动汽车制造等相关制造业。

表 4 各重金属含量之间的相关系数

Table 4 Pearson's correlation coefficients between heavy metals

	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	Ni
Cu	1					
Pb	0.415**	1				
Cd	0.025	-0.135	1			
Zn	0.244	0.495**	-0.105	1		
Cr	0.480**	0.048	0.265	-0.212	1	
Ni	0.661**	0.198	0.269	0.081	0.781**	1

注：\*\*表示在 0.01 水平相关(双尾检验)

通讯作者简介:吴健生(1965—),男,湖南新化人,副教授,主要从事遥感与 GIS、景观生态学与土地利用、数字城市与城市安全等方面的研究。

References

Chai S W, Wen Y M, Zhang Y N, Dong H Y, Chen Y J, Long X B, Luo M R, Xiang Y R, Zhou M. 2003. The heavy metal content character of agriculture soil in Guangzhou suburbs [J]. China Environmental Science, 23(6): 592-596(in Chinese)

Fu J J, Zhou Q F, Liu J M, Liu W, Wang T, Zhang Q H, Jiang G B. 2008. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health [J]. Chemosphere, 71(7): 1269-1275

Galley F A, Lloyd O L. 1985. Grass and surface soils as monitors of atmospheric metal pollution in central Scotland [J]. Water, Air and Soil Pollution, 24(1): 1-18

Huo X N, Li H, Sun D F, Li B G, Zhou L D. 2009. Status assessment of heavy metals in Beijing agricultural soils [J]. Journal of Agro-Environment Science, 28(1): 66-71(in Chinese)

Jin Z X, Zhou X Y, Zhong J E, Wang D J, Zhang B. 2000.

Status assessment of heavy metals in Beijing agricultural soils [J]. Guangdong Agricultural Science,(3): 32-33(in Chinese)

Lee C S, Li X D, Shi W, Shi W Z, Cheung S C N, Thornton I. 2006. Metal contamination in urban, suburban and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics [J]. Science of the Total Environment, 356(1-3): 45-61

Liao L, Quan H D, Wu X L, Liang R H, Li Q S, Zhang J F. 1999. Investigation of the soil pollution nearby the Yantian waste landfill site of Shenzhen city [J]. Urban Environment & Urban Ecology, 12(3): 51-53(in Chinese)

Lin C X, Chu C X, Lu W Z, Long J, Liu Y, Xu S J. 2004. Chemical characteristics of mangrove soils in the Futian Nature Reserve, Shenzhen [J]. Ecologic Science, 23 (2): 118-123(in Chinese)

Lu Y, Gan H H, Zhang B S, Shi Z J. 2009. Concentration and chemical fractionation of heavy metals in soils of urban green space in Shenzhen City [J]. Environmental Chemistry, 28(2): 284-288(in Chinese)

Ning J F, Zou X Z, Yang S H, Huang Q. 2007. Analysis on current status of soil environmental quality around the Shiyan Reservoir in Shenzhen City [J]. Guangdong Agricultural Science, (2): 82-85(in Chinese)

Shi Z J, Lu Y, Zhong X, Lu S Y, Liu Z L. 2006. Soil quality research in green land of Shenzhen City [J]. Landscape Garden Science & Technology,(1): 20-24(in Chinese)

Shi Z J, Wu C, Lu Y. 2007. Comparative study on soil heavy metal content of urban green ground near parks and roads in Shenzhen City [J]. Chinese Journal of Soil Science, 38(1): 133-136(in Chinese)

State Environmental Protection Administration. 1995. GB 15618-1995 Environmental Quality Standard for Soils [S]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese)

State Environmental Protection Administration. 2004. HJ/T166-2004 Environmental Quality Standard for Soils [S]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese)

Tao S. 1990. Trace Element Contents in Soils from Shenzhen [R]. Chinese EPA Report 75-60-01-01-33

Tao S. 1995a. Kriging and mapping of copper, lead, and mercury contents in surface soil in Shenzhen area [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 83(1-2): 161-172

Tao S. 1995b. Spatial structures of copper, lead, and mercury contents in surface soil in the Shenzhen area [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 82(3-4): 583-591

Tao S. 1998. Factor score mapping of soil trace element contents for the Shenzhen area [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 102(3): 415-425

Velea T, Gherghel L, Predica V, Krebs R. 2009. Heavy metal contamination in the vicinity of an industrial area near Bucharest [J]. Environmental Science and Pollution Research, 16(1): 27-32

Wan H F, Zhou J M, Chen N C, Yang G Y. 2009. Advice on revision of environmental quality standard for acid soils: A case

- of Pb, Ni and Cd [J]. Soils, 41(2): 192-195(in Chinese)
- Wang D J, Jin Z X, Zhong J E, Zhou X Y. 2000. Analysis on heavy metals in Shenzhen permanent vegetable soils [J]. Guangdong Agricultural Science,(1): 19-21(in Chinese)
- Wang L M, Wei C Y, Yang L S. 2009. Using rice as bio-indicator for heavy metal contamination, a study in the Pb-Zn mining and smelting area at Shuikoushan, Hunan Province, China [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 4(3): 373-381(in Chinese)
- Zhang Z H, Yang W M. 2001. Analysis on chemical components in particulates of gasoline-fueled engine exhaust[J]. China Public Health, 17(7): 623-624(in Chinese)
- Zhao H W, Zhong X P, Liu Y S, Wang J J, Hong Y, Zhao K S, Zeng H. 2009. Mercury pollution investigation in predominant plants surrounding Shenzhen Qingshuihe municipal solid waste incineration plant[J]. Environmental Science, 30(9): 2786-2791 (in Chinese)
- Zhao J X, Li Y F, Liang J, Wang X Y, Li B, Liu W, Dong Z Q, Qu L Y, Gao Y X, Chen C Y. 2009. Contents of heavy metals in some vegetables and their potential risks to human health in Guiyang and Wanshan areas [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 4(3): 392-398(in Chinese)
- Zheng M K, Xie J, Wang Y L, Wu J S, Li J J, Peng J. 2009. Heavy metal accumulation characters and risk assessment in the soil of agriculture and forest of Shenzhen area[J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 4(5): 726-733(in Chinese)
- 中文参考文献**
- 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 董汉英, 陈玉娟, 龙祥葆, 罗妙榕, 向运荣, 周毛. 2003. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征 [J]. 中国环境科学, 23(6): 592-596
- 国家环境保护总局. 1995. GB 15618-1995 土壤环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社
- 国家环境保护总局. 2004. HJ/T166-2004 土壤环境监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境科学出版社
- 霍霄妮, 李红, 孙丹峰, 李保国, 周连第. 2009. 北京市农业土壤重金属状态评价[J]. 农业环境科学学报, 28(1): 66-71
- 金肇熙, 周向阳, 钟娇娥, 王多加, 张兵. 2000. 深圳市主要蔬菜基地土壤环境质量现状及评价 [J]. 广东农业科学, (3): 32-33
- 廖利, 全宏东, 吴学龙, 梁荣华, 黎青松, 张进峰. 1999. 深圳盐田垃圾场对周围土壤污染状况分析[J]. 城市环境与城市生态, 12(3): 51-53
- 林初夏, 储诚兴, 卢文洲, 龙洁, 刘勇, 徐颂军. 2004. 深圳福田自然保护区红树林土壤的化学特征 [J]. 生态科学, 23(2): 118-125
- 卢瑛, 甘海华, 张波, 史正军. 2009. 深圳市城市绿地土壤中重金属的含量及化学形态分布[J]. 环境化学, 28(2): 284-288
- 宁建凤, 邹献中, 杨少海, 黄庆. 2007. 深圳石岩水库周边农用地土壤环境质量状况分析[J]. 广东农业科学, (2): 82-85
- 史正军, 卢瑛, 钟晓, 陆少雁, 刘振良. 2006. 深圳城市绿地土壤质量状况研究[J]. 园林科技, (1): 20-24
- 史正军, 吴冲, 卢瑛. 2007. 深圳市主要公园及道路绿地土壤重金属含量状况比较研究[J]. 土壤通报, 38(1): 133-136
- 万洪富, 周建民, 陈能场, 杨国义. 2009. 我国酸性土壤地区土壤环境质量标准实践中的修改建议: 以铅、镍和镉的标准研究为例[J]. 土壤, 41(2): 192-195
- 王多加, 金肇熙, 钟娇娥, 周向阳. 2000. 深圳市永久性菜地蔬菜重金属污染状况分析[J]. 广东农业科学,(1): 19-21
- 王玲梅, 韦朝阳, 杨林生. 2009. 矿冶区周边水稻对不同来源重金属污染的指示作用[J]. 生态毒理学报, 4(3): 373-381
- 张志红, 杨文敏. 2001. 汽油车排出颗粒物的化学组分分析 [J]. 中国公共卫生, 17(7): 623-624
- 赵宏伟, 钟秀萍, 刘阳生, 王俊坚, 洪渊, 招康赛, 曾辉. 2009. 深圳市清水河垃圾焚烧厂周围地区优势植物的汞污染研究 [J]. 环境科学, 30(9): 2786-2791
- 赵金璇, 李玉锋, 梁佳, 王小燕, 李柏, 刘文, 董泽琴, 瞿丽雅, 高愈希, 陈春英. 2009. 贵阳和万山地区部分蔬菜中的重金属含量及其健康风险[J]. 生态毒理学报, 4(3): 392-398
- 郑茂坤, 谢婧, 王仰麟, 吴健生, 李俊杰, 彭建. 2009. 深圳市农林土壤重金属累积现状及风险评价研究[J]. 生态毒理学报, 4(5): 726-733