

大宝山矿山下游地区稻田土壤重金属含量特征*

许超, 夏北成, 何石媚, 秦建桥, 李海骞, 林小方

(中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

摘要: 通过现场采样及室内测试, 研究了广东大宝山矿山下游地区稻田土壤重金属 Cd、Zn、Pb、Cu 的总量及有效态含量。结果表明, 该地区稻田土壤污染是 Cd 和 Cu 为主的多金属复合污染, 稻田土壤 Cd、Zn、Pb 和 Cu 总量的平均值分别为 2.19、244.94、179.93 和 287.91 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。4 种重金属的有效性系数均较高, Pb 有效性系数最高, Zn 的有效性系数最低。Cd、Zn、Pb、Cu 总量与其有效态含量之间极显著相关 ($P < 0.01$)。土壤 pH 值对 Cd、Zn、Pb、Cu 的总量及有效态含量影响不大, 相关性不显著。土壤有机质含量与 Zn 和 Cu 总量和有效态含量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)。

关键词: 重金属; 土壤污染; 有效性; 大宝山矿区

中图分类号: X508 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-0122-06

土壤重金属总量作为评估土壤污染的重要指标, 广泛应用于各国土壤环境质量标准。但众多研究表明, 仅以重金属总量并不能准确评估土壤重金属的潜在环境风险和人类健康风险^[1-2]。应用单一提取方法测定的重金属形态能提供重金属移动性、毒性与生物有效性信息^[3-4], 是污染土壤风险评估的重要手段^[5], 又是人们对受污染土壤进行治理和修复的基础^[6]。用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$ 提取的重金属可较好地反映植物对酸性土壤重金属的吸收, 被认为是酸性土壤重金属有效态^[7]。

大宝山矿区及其周围地区生态环境重金属污染问题一直以来都受到广泛关注^[8-11]。目前, 不少学者研究了大宝山矿区周围土壤重金属污染特征, 对大宝山矿山下游污染稻田重金属污染状况的研究相对较少; 此外, 以上研究绝大多数是以重金属总量为指标评价大宝山矿区土壤重金属污染状况, 对土壤有效态含量的研究还很缺乏。本文以广东省大宝山矿山下游地区受重金属污染的稻田为研究对象, 调查大宝山矿山下游地区稻田土壤的 Cd、Zn、Pb、Cu 的总量和有效态含量及其相互关系, 为查清大宝山矿山下游地区稻田土壤重金属污染状况, 对重金属污染的稻田土壤提出切实可行的治理技术以及快速评估其环境风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区概况及采样

大宝山矿地处广东翁源与曲江交界处, 流域范

围为东经 $113^{\circ}40' - 113^{\circ}43'$, 北纬 $24^{\circ}30' - 24^{\circ}36'$ 。矿区地处亚热带季风气候区, 年平均气温 20.3°C , 年均降水量 $1\,782.7 \text{ mm}$ 。大宝山矿是一座大型铁多金属伴生矿床, 矿区主体上部为褐铁矿体、中部为铜硫矿体, 下部为铅锌矿体, 并伴生有钨、铋、钼、金和银等有色金属矿和多种微量毒害元素。20 世纪 60 年代末开始兴建的大量国有和个体露天采矿场和金属冶炼厂产生的酸性采矿废水造成下游农田的大面积污染。在大宝山下游酸性矿山废水污灌区的水稻田随机布设样点采集水稻土样品 21 个。每样点在 5 m^2 范围内采用“S”型采集 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 表层土壤样品, 用聚乙烯薄膜袋包装。土壤样品室温风干, 粉碎, 过 20 目筛, 用以分析土壤 pH 值和 Cd、Zn、Pb 和 Cu 有效态含量, 另取少量土样磨细全部过 100 目筛, 用以测定有机质、Cd、Zn、Pb 和 Cu 总量。

1.2 分析方法

土壤样品 pH 值 (水土比 2.5:1) 用 pH 计测定; 有机质水合热重铬酸钾氧化-比色法测定, 样品 Cd、Zn、Pb、Cu 有效态含量用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HCl}$ 提取后测定^[12], 样品总量的消解采用 $\text{HF}-\text{HClO}_4-\text{HNO}_3$ 混合酸在聚四氟乙烯坩锅中消化后测定^[12]。用 ICP-OES (Optima 5300DV, Perkin - Elmer Instruments, USA) 测定 Cd、Zn、Pb 和 Cu 含量。试验数据为 3 次重复的平均值。

* 收稿日期: 2007-09-18

基金项目: 广东省自然科学基金团队资助项目 (06202438); 中山大学 985 工程环境与污染控制技术创新平台项目

作者简介: 许超 (1978 年生), 男, 博士生; 通讯联系人: 夏北成; E-mail: xiabch@mail.sysu.edu.cn

2 结果与讨论

2.1 稻田土壤重金属总量分析

大宝山矿山下游地区稻田土壤的 pH 值在 4.05 ~ 5.71 之间, 平均值为 4.71, 所有土壤样点都呈

酸性 (表 1), 一方面是因为多金属硫化物排放的大量矿山酸性废水大大降低了该区域土壤的 pH 值, 同时该区域为酸雨区, 一定程度上也加重了土壤的酸度。

表 1 稻田土壤的 pH 值、有机质和重金属总量

Tab. 1 The pH, concentrations of organic matter and total contents of heavy metals in paddy soils

土壤样点	pH 值	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	重金属总量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)			
			Cd	Zn	Pb	Cu
1	5.07	19.40	2.92	369.15	195.29	366.84
2	4.98	17.96	6.01	481.50	652.82	559.65
3	5.31	18.53	1.39	172.00	120.03	259.06
4	4.88	22.04	2.35	285.75	147.12	276.62
5	4.24	25.32	3.48	518.75	240.16	472.90
6	4.10	22.60	1.18	62.68	93.57	176.99
7	4.36	24.01	1.07	60.18	129.65	286.79
8	5.71	22.62	3.05	472.69	166.55	335.50
9	5.70	14.76	0.93	69.93	72.72	136.65
10	5.35	22.42	2.06	133.98	85.89	196.57
11	5.13	19.86	0.97	94.78	57.07	136.45
12	4.77	14.33	0.54	49.35	43.01	119.14
13	4.45	19.66	1.24	116.98	65.58	156.43
14	4.72	19.66	1.34	135.48	73.50	185.65
15	4.61	21.61	2.97	193.88	82.93	175.38
16	4.10	22.31	3.86	518.56	323.50	502.15
17	4.82	27.44	3.49	508.43	175.52	566.02
18	4.05	16.79	0.49	41.98	35.75	37.79
19	4.15	25.78	1.65	249.89	143.37	299.79
20	4.16	22.31	1.36	284.00	710.18	467.66
21	4.21	27.74	3.59	323.89	164.41	332.08
平均值	4.71	21.29	2.19	244.94	179.93	287.91
标准差	0.53	3.69	1.39	173.28	180.90	153.80
变异系数	0.11	0.17	0.64	0.71	1.01	0.53

稻田土壤的有机质含量在 $14.76 \sim 27.74 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均值为 $21.29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 1)。土壤 Cd 总量在 $0.49 \sim 6.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均值为 $2.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 土壤 Zn 总量在 $41.98 \sim 518.75 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均值为 $244.94 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 土壤 Pb 总量在 $35.75 \sim 710.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均值为 $179.93 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 土壤 Cu 总量在 $37.79 \sim 566.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均值为 $287.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 1)。与国家土壤环境质量二级标准 (GB15618 - 1995, $\text{pH} < 6.5$ 、 $\text{Cd} \leq 0.30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{Zn} \leq 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{Pb} \leq 250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{Cu} \leq 50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 相比, 21 个土壤样品, Cd、Cu、Zn 和 Pb 的超标

率分别为 100%、95.24%、47.62% 和 14.29%, 污染程度为 $\text{Cd} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb}$ 。可见, 大宝山矿山下游稻田土壤的 Cd、Cu、Zn、Pb 污染已经相当严重。

2.2 稻田土壤重金属有效态含量分析

大宝山矿山下游地区稻田土壤重金属 Cd、Zn、Pb、Cu 的有效态含量变化分别为 $0.09 \sim 1.22$ 、 $5.77 \sim 123.32$ 、 $9.50 \sim 287.82$ 、 $8.66 \sim 219.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其平均值分别为 $0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $50.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $63.31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $95.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 4 种重金属的有效态含量均处于较高水平 (表 2)。

表 2 稻田土壤重金属有效态含量和有效性系数

Tab. 2 Available concentrations and valid coefficients of heavy metals in paddy soils

土壤样点	重金属有效态含量/(mg · kg ⁻¹)				有效性系数/%			
	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu
1	0.80	88.61	78.19	125.82	27.24	24.00	40.04	34.30
2	1.22	114.78	219.44	200.00	20.67	23.84	33.61	35.74
3	0.47	34.65	42.61	81.02	33.52	20.14	35.50	31.28
4	0.54	63.37	50.38	130.54	22.83	22.18	34.24	47.19
5	0.60	123.32	98.71	219.29	16.90	23.79	41.10	46.27
6	0.23	13.30	23.50	39.19	19.54	21.22	25.11	22.14
7	0.18	12.91	35.26	81.57	16.23	21.45	27.20	28.44
8	0.79	92.52	43.51	119.12	25.92	19.57	26.13	35.51
9	0.25	10.97	20.74	30.42	27.13	15.69	28.52	22.26
10	0.37	21.16	25.42	60.02	17.75	15.79	29.60	30.53
11	0.23	16.58	16.27	28.80	23.17	17.49	28.50	21.10
12	0.09	6.40	12.64	15.54	15.90	12.97	29.40	13.05
13	0.25	17.23	15.06	27.82	19.52	14.73	22.96	17.78
14	0.28	18.78	20.36	41.50	20.49	13.86	27.71	22.36
15	0.60	38.07	36.36	59.68	20.04	19.64	43.84	34.03
16	0.79	109.48	107.8	167.65	19.93	21.11	33.32	33.39
17	0.71	109.12	80.66	198.91	20.44	21.46	45.61	35.14
18	0.11	5.77	9.50	8.66	21.96	13.74	26.56	23.15
19	0.32	42.30	50.70	99.49	19.82	16.95	35.37	33.19
20	0.25	47.30	287.82	138.96	17.90	16.66	40.53	29.71
21	0.54	67.03	54.61	130.02	15.08	20.69	33.22	39.15
均值	0.46	50.17	63.31	95.43	21.05	18.90	32.77	30.27
标准差	0.29	40.57	69.98	64.88	4.45	3.53	6.48	8.76
变异系数	0.63	0.81	1.11	0.68	0.21	0.19	0.20	0.29

采用有效态含量和有效性系数^[13] (即有效态含量/总量含量×100%) 来对土壤中 Cd、Zn、Pb、Cu 的移动性和生物有效性进行比较, 结果表明, 4 种重金属有效态含量均高于我国土壤有效态临界值^[14]。4 种重金属的平均有效性系数分别为 21.05%、18.90%、32.77%、30.27% (表 2), 表明 4 种重金属的平均有效性系数均较高, 也表明了大宝山矿山下游地区稻田土壤重金属的活性比较强。根据总量, 稻田土壤 Pb 的污染程度在 4 种重金属中最低, 但其有效性系数却最高, 其次是 Cu 的有效性系数, Cd 和 Zn 的有效性系数相对较低。Pb 的有效性系数最高, 具有最强的活性, 最易于被水稻吸收; 而 Zn 的有效性系数最低, 不易于被水稻吸收 (表 2)。潘根兴等在江苏南部的水稻土的研究中也报道了 Pb 比 Zn 更高的稀酸提取率, 其有效性更高^[15], 我们的研究分析表明在大宝山矿山下游地区稻田土壤中, Pb 和 Cu 的有效性较 Cd 和 Zn 的高。

2.3 重金属总量与有效态含量的关系

土壤中 Cd、Zn、Pb、Cu 有效态含量与其总量

呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 即随着 Cd、Zn、Pb、Cu 总量的增加, 这四种元素的有效态含量也随之增加, 其回归方程分别为: $y = 0.198\ 3x + 0.021\ 6$ 、 $y = 0.231\ 3x - 6.486\ 2$ 、 $y = 0.382\ 3x - 5.512$ 、 $y = 0.404\ 7x - 21.113$, 其对应的相关系数分别为 0.950、0.988、0.988、0.960 (图 1、表 3)。

2.4 土壤 pH 值、有机质含量与重金属总量及有效态含量之间的关系

pH 与有效态 Cd 含量成正相关、与有效态 Zn 含量无关, 而与有效态 Pb、Cu 含量成负相关, 其相关性都不显著 ($P > 0.05$); pH 与 Cd 总量成正相关、与 Zn、Pb、Cu 总量成负相关, 且其相关性都不显著 ($P > 0.05$) (表 3)。

土壤有机质含量与 Cd、Zn、Pb、Cu 总量呈正相关, 其相关系数分别为 0.368、0.487、0.121、0.518, 其中有机质含量与 Zn、Cu 总量呈显著正相关 ($P < 0.05$)。土壤有机质含量与 Cd、Zn、Pb、Cu 有效态含量呈正相关, 其中有机质含量与 Zn、Cu 有效态含量显著正相关 ($P < 0.05$)。贺建群等^[16]试验结果也表明, 水稻土中各提取剂提取

的 Cd、Cu、Zn、Pb 有效态含量均与土壤有机质含量呈正相关。土壤中的可溶性有机质对重金属的移动性和生物有效性有重要作用。土壤可溶性有机质含有大量的功能基团，可以与土壤中的重金属通过络合或螯合作用，形成有机物-金属配合物，从而提高重金属的可溶性；然而，大分子固相有机物则可同土壤中粘土矿物一起吸附重金属，限制了重金属的移动性和生物有效性^[17]。土壤有机质、粘粒

和氧化物均对重金属有较大的吸附能力^[18]。
元素间相关性显著，说明元素间一般具有同源关系或是复合污染。Cd、Cu、Zn、Pb 总量之间呈显著正相关性 ($P<0.05$)，Cd、Cu、Zn、Pb 有效态含量之间也呈显著正相关性 ($P<0.05$)。可见，大宝山下游地区稻田土壤 Cd、Cu、Zn、Pb 污染具有同源性，或者说大宝山下游地区稻田土壤污染为复合污染。

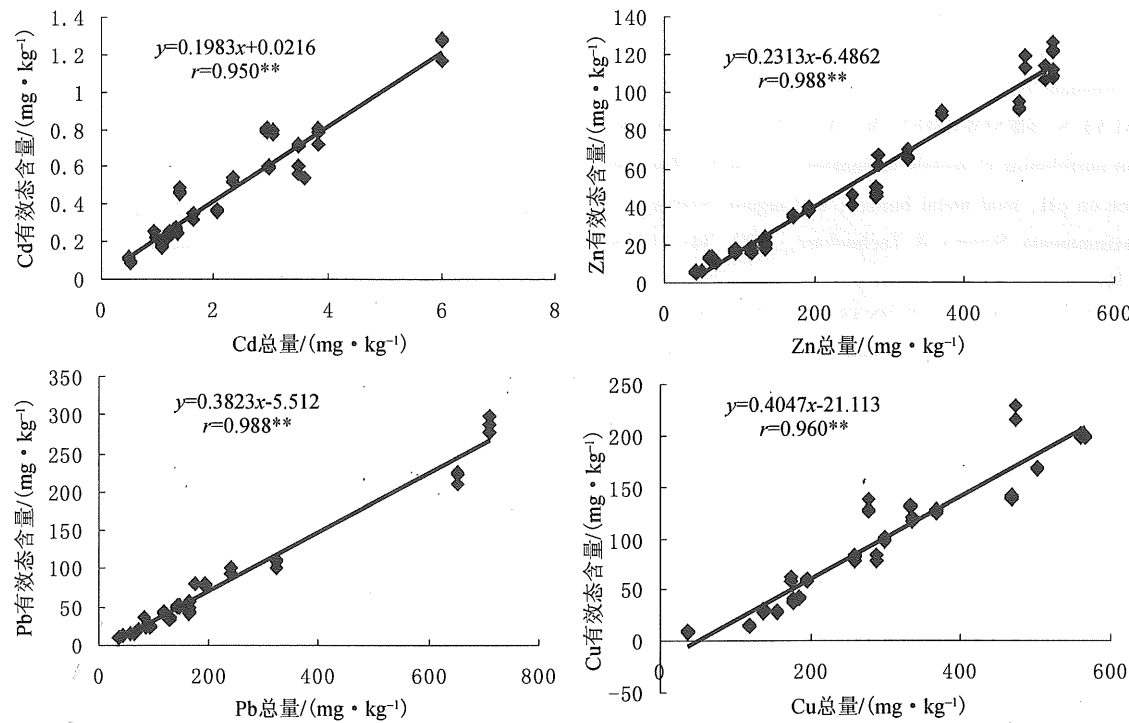


图1 稻田土壤中 Cd、Zn、Pb、Cu 总量和有效态含量之间的关系 (** $P<0.01$)
Fig. 1 Relationships between total Cd, Zn, Pb, Cu contents and their available contents in paddy soils (** $P<0.01$)

表 3 稻田土壤 pH、有机质及重金属元素间的相关性
Tab. 3 Relationships among pH, organic matter and heavy metals in paddy soils

项目	有效态 Cd	有效态 Zn	有效态 Pb	有效态 Cu	总 Cd	总 Zn	总 Pb	总 Cu	有机质	pH
有效态 Cd	1.000	0.877 **	0.458 *	0.772 **	0.950 *	0.851 **	0.505 *	0.744 **	0.225	0.233
有效态 Zn		1.000	0.532 *	0.942 **	0.881 **	0.988 **	0.538 *	0.888 **	0.447 *	0.001
有效态 Pb			1.000	0.661 **	0.502 *	0.552 **	0.988 **	0.749 **	0.153	-0.196
有效态 Cu				1.000	0.822 **	0.932 **	0.654 **	0.960 **	0.562 **	-0.112
总 Cd					1.000	0.856 **	0.546 *	0.782 **	0.368	0.042
总 Zn						1.000	0.554 **	0.895 **	0.487 *	-0.002
总 Pb							1.000	0.746 **	0.121	-0.169
总 Cu								1.000	0.518 *	-0.116
有机质									1.000	-0.385
pH										1.000

注：* 和 ** 分别代表 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 显著水平。

3 结 论

被调查的大宝山矿山下游地区稻田土壤 pH 呈酸性。大宝山矿山下游地区稻田土壤污染是以 Cd

和 Cu 为主的多金属复合污染。4 种重金属的有效态含量均较高，Pb 和 Cu 的有效性系数高于 Cd 和 Zn；Pb 的有效性系数最大，其活性也最大。
Cd、Zn、Pb、Cu 总量与其有效态含量之间显

著相关 ($P < 0.01$)。土壤 pH 值对 Cd、Zn、Pb、Cu 的总量及有效态含量影响不大,相关性不显著。有效态 Cd 含量与 pH 成正相关,而有效态 Pb、Cu 含量与 pH 成负相关。土壤有机质含量与 Zn 和 Cu 总量和有效态含量呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)。

参考文献:

- [1] LI F L, SHAN X Q, ZHANG T H, et al. Evaluation of plant availability of rare earth elements in soils by chemical fractionation and multiple regression analysis[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102: 269–277.
- [2] SAUVE S, HENDERSHOT W, ALLEN H E. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on pH, total metal burden, and organic matter[J]. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34: 1125–1131.
- [3] McLAUGHLIN M J, ZARCINAS B A, STEVENS D P, et al. Soil testing for heavy metals[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2000, 31: 1661–1700.
- [4] LI J X, YANG X E, HE Z L, et al. Fractionation of lead in paddy soils and its bioavailability to rice plants[J]. *Geoderma*, 2007, 141: 174–180.
- [5] IMPELLITTERI C A, SAXE J K, COCHRAN M, et al. Predicting the bioavailability of copper and zinc in soils: modeling the partitioning of potential bioavailable copper and zinc from solid to soil solution[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2003, 22 (6): 1380–1386.
- [6] 王庆仁, 崔岩山, 董艺婷. 植物修复-重金属污染土壤整治有效途径[J]. *生态学报*, 2001, 21 (2): 326–331.
- WANG Qinren, CUI Yanshan, DONG Yiting. Phytoremediation-An effective approach of heavy metal cleanup from contaminated soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (2): 326–331.
- [7] 李恋卿, 郑金伟, 潘根兴, 等. 太湖地区不同土地利用影响下水稻土重金属有效性库变化[J]. *环境科学*, 2003, 24 (3): 101–104.
- LI Lianqing, ZHENG Jinwei, Pan Genxing, et al. Change of available pool of heavy metals in paddy soils under human land use impacts from the taihu lake region, Jiangsu Province, China[J]. *Environmental Science*, 2003, 24 (3): 101–104.
- [8] 周建民, 党志, 司徒粤, 等. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23 (6): 1172–1176.
- ZHOU Jianmin, DANG Zhi, SITU Yue, et al. Distribution and characteristics of heavy metals contaminations in soils from Dabaoshan Mine Area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23 (6): 1172–1176.
- [9] 蔡美芳, 党志, 文震, 等. 矿区周围土壤中重金属危害性评估研究[J]. *生态环境*, 2004, 13 (1): 6–8.
- CAI Meifang, DANG Zhi, WEN Zhen, et al. Risk assessment of heavy metals contamination of soils around mining area[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13 (1): 6–8.
- [10] 付善明, 周永章, 赵宇鹄, 等. 广东大宝山铁多金属矿废水对河流沿岸土壤的重金属污染[J]. *环境科学*, 2007, 28(4): 805–812.
- FU Shanming, ZHOU Yongzhang, ZHAO Yuyan, et al. Study on heavy metals in soils contaminated by acid mine drainage from Dabaoshan Mine, Guangdong[J]. *Environmental Science*, 2007, 28 (4): 805–812.
- [11] 付善明, 周永章, 张澄博, 等. 河流沿岸环境对粤北大宝山矿废水锰污染的环境响应[J]. *中山大学学报:自然科学版*, 2007, 46 (2): 92–96.
- FU Shanming, ZHOU Yongzhang, ZHANG Chenbo, et al. Environmental response to manganese contamination of dabaoshan mine in environmental system of lower reaches[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007, 46 (2): 92–96.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- LU Rukun. Assay on Agro-Chemical Properties of soil [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [13] 柴世伟, 温琰茂, 韦献革, 等. 珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征[J]. *中山大学学报:自然科学版*, 2004, 43 (4): 90–94.
- CHAI Shiwei, WEN Yanmao, WEI Xiang, et al. Heavy metal content characteristics of agricultural soils in the Pearl River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2004, 43 (4): 90–94.
- [14] 陆继龙, 周永昶, 周云轩. 吉林省黑土某些微量元素环境地球化学特征[J]. *土壤通报*, 2002, 33 (5): 365–368.
- LU Jilong, ZHOU Yongchang, ZHOU Yunxuan. Environmental geochemical characteristics of some microelements in the black soil of Jilin Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33 (5): 365–368.
- [15] 潘根兴, 高建芹, 刘世梁, 等. 活化率指示苏南土壤环境中重金属污染冲击初探[J]. *南京农业大学学报*, 1999, 22 (2): 46–49.
- PAN Genxing, GAO Jianqin, LIU Shiliang, et al. Activity index as an indicator of environmental stress of heavy metal elements on soils in southern Jiangsu, China [J]. *Journal of Nanjing University*, 1999, 22 (2): 46–49.
- [16] 贺建群, 许嘉琳, 杨居荣, 等. 土壤中有效态 Cd、Cu、Zn、Pb 提取剂的选择[J]. *农业环境保护*, 1994, 13 (6): 246–251.
- HE Jianqun, XU Jialin, YANG Jurong, et al. Study of

- the extractants for available Cd, Cu, Zn and Pb in soils [J]. *Agro-environmental Protection*, 1994, 13 (6): 246-251.
- [17] 曹会聪, 王金达, 张学林. 东北地区污染黑土中重金属与有机质的关联作用[J]. *环境科学研究*, 2007, 20 (1): 36-41.
- CAO Huicong, WANG Jinda, ZHANG Xuelin. Study on the association between heavy metals and organic matter in polluted black soil in northeast China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20 (1): 36-41.
- [18] YIN Y, IMPELLITTERI C A, YOU S J, et al. The importance of organic matter distribution and extract soil: solution ratio on the desorption of heavy metals from soils [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 287: 107-119.

Characteristics of Cd, Zn, Pb, Cu Content of Paddy Soils in the Lower Stream of Dabaoshan Area, Guangdong

XU Chao, XIA Bei-cheng, HE Shi-mei, QIN Jian-qiao, LI Hai-qian, LIN Xiao-fang

(School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: 21 samples were collected from heavy metal contaminated paddy soil to analyze soil properties, total contents and available part of Cd, Zn, Pb, and Cu in the lower stream of Dabaoshan mine area, Guangdong Province. The results indicate that the most important contaminants in the paddy soils in the lower stream of Dabaoshan mine area are Cd and Cu related multi-metal compounds. The average total contents of Cd, Zn, Pb and Cu in 21 samples are 2.19, 244.94, 179.93 and 287.91 mg/kg, respectively. The coefficients of available parts to total contents of Cd, Zn, Pb and Cu are high, and the coefficient of Pb element is the biggest, and that of Zn element is the smallest. There are significant correlations between total and available contents of the four heavy metals ($P < 0.01$). In addition, the effects of pH on total and available contents of Cd, Zn, Pb, and Cu are not significant. Organic matter contents are positively associated with total and available contents of Zn and Cu ($P < 0.05$).

Key words: heavy metals; soil pollution; availability; Dabaoshan mining area; Guangdong province

(上接第121页)

Research of Spatial Structure of Land Use Change Based on RS/GIS Technology

ZHANG Xin-chang, XIONG Xiang-chen

(Department of Remote Sensing and Geographic Information Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

ABSTRACT: Based on DOM, remote sensing (RS) and GIS technology were used to conduct a macro-description and micro-quantitative analysis on the dynamic change of land-use in Guangzhou city. Firstly, extract the information of land-use change for finding a general landuse change in all districts of Guangzhou city; Secondly, use Land-Use Types Transition model to analyze mutual conversions between various landuse types and build a Land-Use Spatial Position Conversion model for quantitatively analyzing the land-use type space position conversion; Finally, take the Land-Use Dynamicity model to evaluate the land-use change in Guangzhou. The results show that the absolute volume of land-use type change is huge, the conversions within the first land-use type predominate, farmland decreases relatively fast and adjustable land-use type increases substantially. This research is useful for the rapidly-developing urban land-use.

Key words: land-use; remote sensing; GIS engineering; dynamic change