

震后土壤 Cu Zn 分布特征及影响因素研究

蔡 艳, 蒋 琴, 张世熔, 李 婷, 宋 旭, 吴德勇

(四川农业大学资源环境学院, 四川 雅安 625014)

摘 要:研究 5·12 汶川地震后土壤 Cu、Zn 空间分布特征及影响因素,其结果对指导灾后农业生产和居民生活恢复,以及保障新型农村居民点的生态安全性具有十分重要的现实意义。以典型地震灾区彭州市新黄村为例,采用常规重金属测定方法,并用 GIS 研究了 5·12 汶川地震后土壤 Cu、Zn 空间分布特征及影响因素。结果表明,在水平方向上 Cu 含量 $[(38.23 \pm 15.21) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 自中东部-北部和中东部-南部逐渐增加;Zn 含量 $[(109.01 \pm 29.68) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 从北到南先减少后增加,从东到西表现为先增加后减少;虽然两者均未超过国家土壤环境质量二级标准,但地震后帐篷安置点、生活垃圾堆放点、房屋倒塌点土壤 Cu、Zn 含量明显高于未受地震影响处;在垂直方向上,帐篷压实水田土壤耕作层和犁底层 Cu、Zn 含量大多高于自然水田,心土层和底土层二者含量差异不明显。影响因素分析结果表明,不同土地利用类型中水田和荒地土壤 Cu 含量显著高于旱地土壤,水田土壤 Zn 含量显著高于荒地和旱地土壤;有机质含量与 Cu、Zn 含量呈极显著正相关,相关系数分别为 $r=0.639^{**}$ 和 $r=0.561^{**}$;Cu 含量与 pH 呈显著正相关($r=0.459^{*}$),Zn 含量与 pH 相关性不强($r=0.380$);人类活动对土壤中 Cu、Zn 含量有一定影响。

关键词:地震;重金属;空间变异;GIS

中图分类号:X833 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)01-0110-06

Research of Cu, Zn Distribution Characteristics in Soil and Its Influencing Factors After the Earthquake

CAI Yan, JIANG Qin, ZHANG Shi-rong, LI Ting, SONG Xu, WU De-yong

(College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: There is great practical significance that study of soil Cu, Zn spatial distribution characteristics and influencing factors after 5·12 Wenchuan earthquake, Because the results can be to guide recovery of agricultural production and living after disaster, as well as to protect the ecological safety of new rural settlements. The paper studied the distributed characteristics and influencing factors of Cu, Zn in the soil in a typical earthquake-stricken area named new Huangcun Pengzhou City. The results showed that: Cu contents $[(38.23 \pm 15.21) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}]$ took a gradual increase from the middle east to the north and the middle east to the south in the horizontal direction; Zn contents $[(109.01 \pm 29.68) \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}]$ reduced at first and then increased from north to south, while conducted differently from east to west. Both Cu and Zn did not exceed the soil environmental quality second-level standards. However, Cu, Zn contents in the soil under tent settlements after the earthquake, living garbage dumps and the housing collapse were significantly higher than the soil where were not affected by the earthquake. In the vertical direction, Cu, Zn contents in paddy field under tents were mostly higher than the natural paddy field on plow layer and plow pan layer, but other two layers had not obvious differences between the two fields. The influencing factors indicated that: Cu contents of paddy fields and wasteland were significantly higher than that of dry land in the different soil types, and Zn contents of paddy soil were significantly higher than the wasteland and dry land; The correlation coefficients of organic matter contents and the Cu, Zn contents were $r=0.639^{**}$ and $r=0.561^{**}$, which took a highly significant positive correlation; Cu contents and pH took a significant positive correlation($r=0.459^{*}$), and the correlation coefficient of Zn contents and pH was 0.380; The human activities had a certain impact on Cu, Zn contents in the studied area.

Keywords: earthquake; heavy metal; spatial variability; GIS

收稿日期: 2009-05-12

基金项目: 科技部科技支撑计划项目(2008BAK51B01)

作者简介: 蔡 艳(1976—), 女, 四川达县人, 硕士, 讲师, 主要从事土壤肥力与植物营养研究。E-mail: caiyya@126.com

通讯作者: 张世熔 E-mail: rsz01@163.com

2008年5月12日四川省汶川县境内发生里氏8.0级大地震。这次地震是建国以来震级最高、破坏最激烈的地震,不仅造成了巨大的人员伤亡和财产损失,同时对地表也造成了巨大的破坏,引起了崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害^[1]。此次地震后,各方面学者集中研究了地震对经济^[2]、环境和生态系统^[3]等方面的影响。此次地震的重灾区集中于农村地区,震后由于房屋垮塌、搭建临时居住地及人类活动等引起土壤生产力不可避免地发生变化。目前关于地震及震后人类活动对灾区土壤环境质量的影响尚未见报道。

Cu、Zn是作物生长的必需微量元素,但施入过量会造成土壤重金属污染并阻碍植物正常生长。土壤Cu、Zn含量同时也是影响土壤环境质量的重要因素^[3]。本研究通过测定典型地震灾区彭州市新黄村土壤中Cu、Zn含量,采用基于GIS基础的地统计分析方法,分析了研究区域土壤Cu、Zn的分布特征及影响因素,其结果对当地农业土壤修复、恢复生态农业生产、促进农业可持续发展及保障新型农村居民点的生态安全性具有重要意义,对加快整个地震灾区灾后生态恢复与重建新农村也具有十分重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

彭州市通济镇新黄村位于5·12地震带边缘,是这次地震重灾区之一,建筑物几乎全部倒塌。该区域主要由湔江冲积平原、低山丘陵与山坡荒地构成,具有龙门山脉农业区域典型地貌特征。幅员3.9 km²,有耕地92 hm²(其中:水田53.3 hm²,旱地38.7 hm²),荒地86.7 hm²。现有26个村民小组,常住人口660户、1100余人,人口分布比较集中。主产水稻、玉米、蒜苔、核桃。境内平均海拔860 m,常年平均气温约15℃,年平均降雨1000 mm,植被覆盖较好。土壤类型主要有:平坝土壤属湔江冲积土,丘陵及山区属山地冷沙黄泥及山地灰棕壤。彭白公路贯穿全村,是通往白水河国家森林公园和银厂沟国家级风景区的必经之地。新黄村土地利用现状见图1。

1.2 土壤样品采集与测定方法

2008年8月中旬,在研究区域内按临时安置点分布位置、土地利用类型、地形等特点随机布点,每个采样点在10 m范围内取3~4个土样混合,采样深度为0~20 cm。另按土壤发生层采集典型水田土壤剖面4个,其中压实水田(震后搭建临时安置点、居民生活踩踏导致土壤压实)3个,自然水田(震后未搭建临时

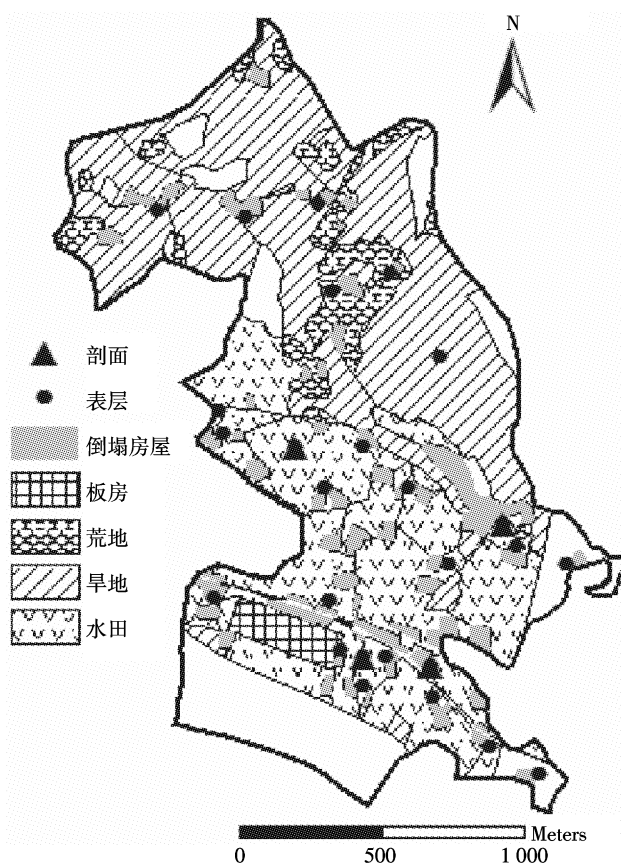


图1 土地现状和样点分布图

Figure1 Map of land present situation and sampling point distribution

安置点,受人类活动影响较小)1个。样点分布图见图1。采样时通过研究区域土地利用现状图、现场访问等形式了解土壤变动情况。

Cu和Zn的测定采用盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消煮,ICP测定^[4]:称取过0.25 mm筛的土样约1.000 g于烘干的聚四氟乙烯坩埚中,加HNO₃-HF-HClO₄在红外消煮仪上消煮至土壤成黄色,然后用1:1 HCl将其洗净转入50 mL容量瓶中定容,过滤于聚乙烯塑料瓶中,最后用ICP测定溶液中Cu、Zn含量。pH采用电位法测定,有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定^[4]。

1.3 数据处理方法

采用SPSS和Excel对数据进行基础处理。采用ArcGIS9.0进行地统计学和插值分析。

2 结果与分析

2.1 土壤Cu、Zn含量常规统计分析

研究区土壤中水平方向上Cu、Zn含量见表1。在SPSS单一样品K-S检验中,该区域土壤中Cu、Zn含

表 1 土壤样本中 Cu、Zn 含量的统计特征
Table 1 Statistical characters of the Cu,Zn contents

项目	背景值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	最小值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	最大值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	平均值/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	标准差	变异系数/%	偏度	丰度	K-S(P)
Cu	29.7	8.96	68.63	38.23	15.21	39.78	-0.38	-0.32	0.60
Zn	82.1	40.17	169.47	109.01	29.68	27.23	-0.47	0.49	0.63

量成正态分布,其含量分别为 $(38.23\pm15.21)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $(109.01\pm29.68)\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,比四川省土壤背景值^[9]分别高 28.72%、32.78%,两者均未超过国家土壤环境质量二级标准^[6]。元素含量变异系数反映样本间平均变异程度^[7]。本试验中 Cu 和 Zn 的变异程度中等偏小,且 Cu 的变异程度比 Zn 的变异程度高。从偏度上来看,Cu、Zn 均成左偏态分布;从峰度值看,土壤中 Cu 的最大值为负,Zn 的最大值为正。

2.2 土壤 Cu、Zn 含量地统计学分析

从表 2 可以看出,研究区域土壤中 Cu 含量的块金值与基台值的比值为 26.62%,表现为稍强空间相关性;Zn 含量的块金值与基台值的比值为 44.87%,表现为中等空间相关性^[8]。说明两者含量是由随机性因素和结构性因素共同作用的结果。土壤 Cu、Zn 含量空间差异也表现在变程上,变程越小,说明外在因素对土壤中该元素的空间变异影响越大;变程越大,内在因素如土壤母质等对土壤中该元素的空间变异影响越大^[9]。在长轴方向上,Cu、Zn 含量的变程相当,在短轴方向上,Cu、Zn 的变程分别是 1 167.88、981.55 m,表明地震影响导致的空间变异对土壤中这两种元素的影响顺序为 $\text{Zn}>\text{Cu}$ 。

2.3 土壤 Cu、Zn 含量插值分析

克里格法产生的估计量是线形、无偏、最优的^[10]。以下是利用克里格插值对研究区域中土壤 Cu、Zn 含量进行空间插值,以此来反映研究区域中这两种元素总的空间变异情况。

从图 2 可以看出,研究区域 Cu 含量呈团状分布,分别从中东部—北部和中东部—南部逐渐增加。低浓度区主要分布在研究区域东部,此区土地利用类型为旱地,其上无倒塌房屋。Cu 含量最高值区($\text{Cu}>50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和大部分较高值区($45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}<\text{Cu}<50$

$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)出现在研究区域西南部,该区原是农村居民地,地震后为临时帐篷搭建地。此外,研究区域北部亦有一片较高值区,此地主要为旱地,零星分布有倒塌房屋。

从图 3 可以看出,研究区域土壤中 Zn 含量也成团状分布,总体上从北到南先减少后增加,从东到西表现为先增加后减少,低值区($\text{Zn}<85\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)被中高值区($85\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}<\text{Zn}<95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)包围。Zn 含量低值区

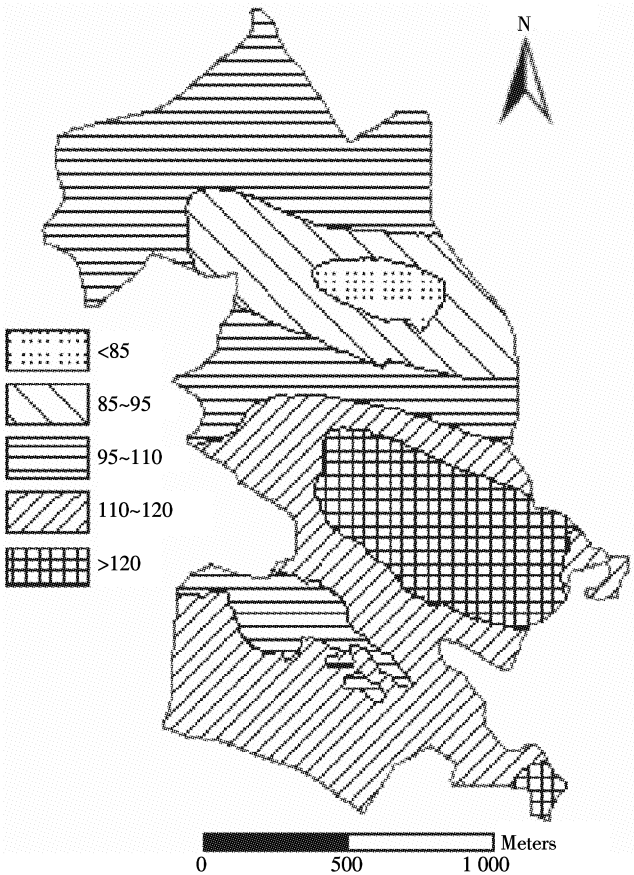


图 2 Cu 含量空间插值图/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Figure 2 Spatial distribution of Cu contents

表 2 土壤样本中 Cu、Zn 含量的地统计分析
Table 2 Geostatistical analysis of spatial variability for Cu,Zn contents

项目	模型	块金值	基台值	块金值/基台值	决定系数 R^2	变程/m		预测误差	
						长轴	短轴	平均误差	标准化均方根误差
Cu	高斯	68.132	253.102	26.62	0.336	1 978.55	1 167.88	-0.369 2	1.205
Zn	高斯	479.43	1 068.43	44.87	0.450	1 978.55	981.55	-0.362 4	1.185

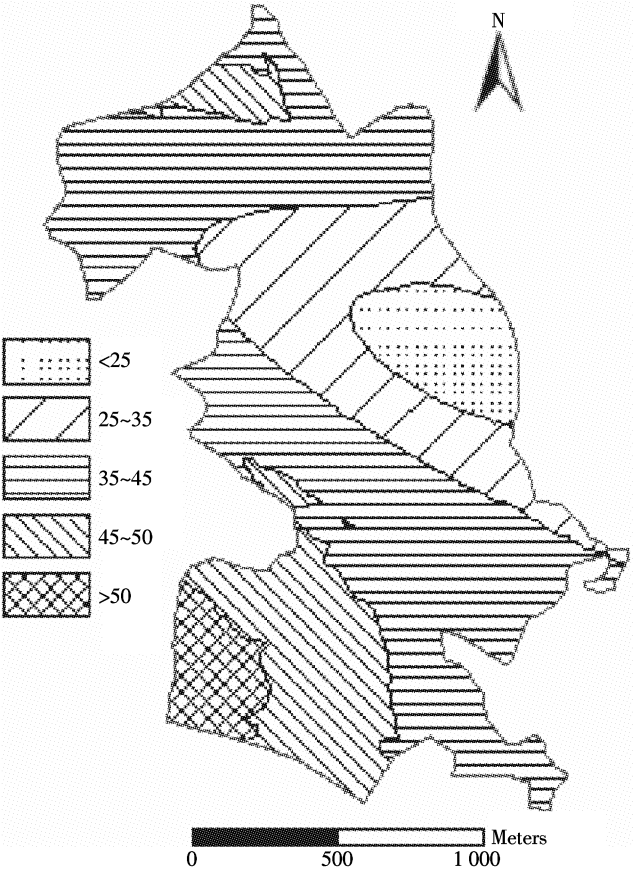


图 3 Zn 含量空间插值图/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Figure 3 Spatial distribution of Zn contents

集中于旱地区,中高值区分布集中于灌溉水田,最高值区($\text{Zn}>125\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)位于研究区域东南部,此地临近公路,震前为居民房屋集中区,震后房屋全部倒塌。

2.4 土壤中重金属 Cu、Zn 垂直分布特征

从图 4 可以看出,自然水田和压实水田土壤 Cu 含量均随采样深度的增加而呈现逐渐降低的趋势。压实水田耕作层和犁底层 Cu 含量分别为 38.31 和 $27.49\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,自然水田耕作层和犁底层 Cu 含量分别为 29.48 和 $25.15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,压实水田比自然水田分别高 29.95% 和 9.30% 。心土层和底土层两种水田土壤 Cu 含量变化不大,这与重金属不易迁移的特性相吻合。从图 5 可以看出,水田土壤 Zn 含量也是随着土层深度的增加而降低的,压实水田耕作层和犁底层土壤 Zn 含量分别为 125.29 和 $84.85\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,自然水田耕作层和犁底层 Zn 含量分别为 97.94 和 $70.74\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,压实分别比自然水田高 27.92% 和 19.95% 。

2.5 影响因素分析

影响土壤重金属含量的空间分布因素有很多,包括自然(土壤、地形、水文、小气候条件)和人为因素(土地利用、耕作、灌溉、污染排放)^[9]。

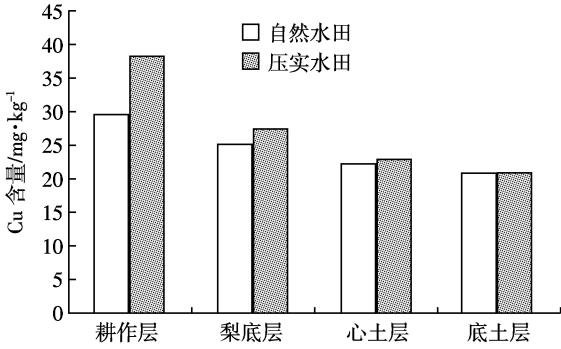


图 4 不同水田土壤剖面 Cu 含量
Figure 4 Cu contents of different paddy field soil

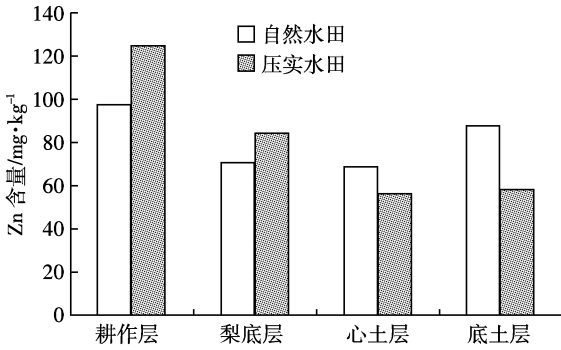


图 5 不同水田土壤剖面 Zn 含量
Figure 5 Zn contents of different paddy field soil

2.5.1 土地利用类型

有关研究指出,耕地土壤 Cu 含量显著高于荒地土壤,离公路较近地区土壤中 Zn 含量显著高于居民区及工矿用地和荒地土壤^[1]。说明土地利用类型会对土壤 Cu、Zn 含量产生一定的影响。从表 3 可以看出:水田土壤和荒地土壤中 Cu 含量显著高于旱地土壤,水田土壤和荒地土壤之间 Cu 含量无显著差别;水田土壤 Zn 含量显著高于荒地土壤和旱地土壤,荒地土壤和旱地土壤之间 Zn 含量无显著差别。

2.5.2 pH 和有机质

重金属含量与土壤一些理化性质有一定相关性,

表 3 不同土地利用方式下土壤 Cu、Zn 含量方差分析

Table 3 Variance analysis of Cu, Zn contents under different land use types

土地利用方式	Cu/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Zn/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
水田	$43.18\pm 8.75\text{a}$	$117.19\pm 22.40\text{a}$
旱地	$37.24\pm 25.08\text{a}$	$98.79\pm 51.17\text{ab}$
荒地	$14.00\pm 0.99\text{b}$	$65.50\pm 18.99\text{b}$

注:多重比较采用最小显著差数法,小写字母代表 0.05 显著水平,处理之间有相同字母者差异不显著。

如 pH 值、粘粒含量、有机质(OM)含量^[12]。土壤粘粒和有机质对微量元素具有较强的吸附作用,会导致局部微量元素增高,增大土壤重金属空间分布的差异^[13-14]。从表 4 可以看出,研究区域土壤 Cu、Zn 含量成极显著正相关($r=0.548^{**}$),说明两者具有相似的空间变异趋势,这与前面两者的空间分析相吻合。经测定,研究区域受人为因素影响的地方,如压实水田、压实旱地有机质含量普遍高于自然水田和自然旱地,有机质含量与 Cu、Zn 含量呈极显著正相关,相关系数分别为 $r=0.639^{**}$ 和 $r=0.561^{**}$ 。Cu 含量与 pH 呈显著正相关($r=0.459^{*}$),Zn 含量与 pH 相关性不强($r=0.380$)。

表 4 土壤 Cu、Zn 含量与 pH 和有机质含量的相关系数
Table 4 Correlation coefficients of Cu, Zn contents and pH or organic matter contents

项目	Cu	Zn	pH	OM
Cu	Zn	pH	OM	1.000
0.548**	0.459*	0.639**		1.000
0.380	0.561**			1.000
0.651**				1.000

注:*代表 0.05 显著相关,**代表 0.01 显著相关。

2.5.3 震后人类活动

震后人类活动对灾区耕作土壤重金属含量有较大影响。从图 4 和图 5 可以看出,在耕作层和犁底层,压实水田土壤 Cu 含量分别比自然水田土壤高 29.95%和 12.60%,压实水田土壤 Zn 含量分别比自然水田土壤高 27.92%和 19.95%。究其原因,可能是由于地震中房屋倒塌,加之余震不断,人们在开阔的水田土壤上排水搭建临时帐篷,生活污水或垃圾的随意排放及畜禽粪便的不当处理,均可能使土壤 Cu、Zn 含量升高^[15-21]。此外,震后防疫所喷消毒剂或杀菌剂亦可能会导致土壤 Cu、Zn 含量增加^[21]。

通过对研究区域 Cu、Zn 含量的插值分析得出房屋倒塌处高于其他没受影响的地区。地震中房屋倒塌,堆积了大量的固体废弃物,据研究指出矿业和工业固体废弃物污染最为严重,且这类废弃物在堆放或处理过程中,由于日晒、雨淋、水洗,重金属极易移动^[22]。所以房屋倒塌堆积处和帐篷搭建区 Cu、Zn 含量稍高。

3 结论

通过对研究区域采样点重金属含量测定和分析可知,彭州市新黄村土壤中 Cu、Zn 含量均未超过国家土壤环境质量二级标准。Cu、Zn 空间分布表现为团

状分布,低值区主要分布在研究区北部地区,高值区主要分布在研究区中部且基本上均为搭建帐篷的水田处。Cu、Zn 含量空间变异中等,二者与有机质含量均呈极显著正相关,Cu 含量与 pH 呈显著正相关,Zn 含量与 pH 相关性不强。压实水田土壤重金属含量比自然水田土壤普遍偏高,耕作层和犁底层安置点水田土壤中 Cu 含量分别比自然水田土壤相应层次高 29.95%和 12.60%,耕作层和犁底层安置点水田土壤中 Zn 含量分别比自然水田土壤相应层次高 27.92%和 19.95%。

参考文献:

- [1] 王文杰,潘英姿,徐卫华,等.四川汶川地震对生态系统破坏及其生态影响[J].环境科学研究,2008,21(5):110-116.
WANG Wen-jie, PAN Ying-zi, XU Wei-hua, et al. Analysis on ecosystem destroy and its ecological impact caused by earthquake in Wenchuan, Sichuan Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(5):110-116.
- [2] 宋旭光,庞明川,王晓玲,等.汶川地震灾害对中国经济影响的分析与评价[J].财经问题研究,2008(8):3-10.
SONG Xu-guang, PANG Ming-chuan, WANG Xiao-ling, et al. Analysis and evaluation of Wenchuan earthquake's impacts on China's economic[J]. *Research of Financial Problems*, 2008(8):3-10.
- [3] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等.我国土壤质量及其评价研究的进展[J].土壤通报,2006,37(1):137-143.
LIU Shi-liang, FU Bo-jie, LIU Guo-hua, et al. Research review of quantitative evaluation of soil quality on China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(1):137-143.
- [4] 鲍士旦.土壤化学分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005.
BAO Shi-dan. Method of soil analysis and agricultural chemical analysis(3rd edition)[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2005.
- [5] 曾昭华.四川省土壤元素含量和生态农业地质研究[J].四川地质学报,2005,25(1):44-50.
ZENG Zhao-hua. A study of elemental contents in soil and ecologic and agriculture geology in Sichuan [J]. *Sichuan geological journals*, 2005, 25(1):44-50.
- [6] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB 15618—1995 土壤环境质量标准[S].北京:测绘出版社,1995.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB 15618—1995 Quality standards of soil environment[S]. Beijing:Surveying and Mapping Press, 1995.
- [7] 吴伟铭.环境统计学[M].北京:中国环境科学出版社,1991.
WU Yu-ming. Environmental statistics[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 1991.
- [8] Cambardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. *Soil Science Society of America*, 1994, 58:1501-1511.

- [9] 毛竹, 张世熔, 李婷, 等. 铅锌矿区土壤重金属空间变异及其污染风险评价——以四川汉源富泉铅锌矿山为例[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 1-5.
- MAO Zhu, ZHANG Shi-rong, LI Ting, et al. Spatial variability and environmental pollution assessment of soil heavy metal in the vicinity of a Lead/Zinc mine: A case study from fuquan Lead/Zinc mine in Hanyuan county[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 1-5.
- [10] Webster R, Oliver M A Stat. Methods in soil and land resource survey [M]. New York: Oxford University Press, 1990.
- [11] 李春艳, 田永圻, 华德尊, 等. 不同土地利用类型下土壤特性及重金属评价[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(9): 39-73.
- LI Chun-yan, TIAN Yong-qi, HUA De-zun, et al. Soil characteristic and heavy metal appraisal under different land utilization way[J]. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(9): 39-73.
- [12] 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 Jian-min, 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.
- [13] 张乃明, 陈建军, 常晓冰. 污灌区土壤重金属累积影响因素研究[J]. 土壤, 2002, 34(2): 90-93.
- ZHANG Nai-ming, CHEN Jian-jun, CHANG Xiao-bing. Study about influence factors of soil heavy metal accumulation after sewage irrigation[J]. *Soil*, 2002, 34(2): 90-93.
- [14] 秦明周, 成金环, 董庆超, 等. 化学工业污水灌溉对土壤中砷的分布影响——以开封市化肥河为例[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 436-440.
- QIN Ming-zhou, CHENG Jin-huan, DONG Qing-chao, et al. Impact of chemical sewage irrigation on arsenic content in soils: A case study on Huafei River, Kaifeng[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 39(3): 436-440.
- [15] Lipiec J, Stepniowski W. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients[J]. *Soil and Tillage Research*, 1995, 35: 37-52.
- [16] 黄治平, 徐斌. 规模化猪场废水污灌农田的土壤 Zn 和 Cu 空间变异分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 126-132.
- HUANG Zhi-ping, XU Bin. Spatial variability of Zinc and Copper in farmland soil irrigated with swine wastewater[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1): 126-132.
- [17] Long Cang, Wang Yu-jun, Zhou Dong-mei, et al. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3): 371-374.
- [18] 游金明, 翟明仁, 张宏福. 猪饲料中必需微量元素的盈缺对养猪生产的影响[J]. 中国饲料, 2003(8): 16-17.
- YOU Jin-ming, ZHAI Ming-ren, ZHANG Hong-fu. Effects of necessary trace elements in pig feed on pig production[J]. *China Feed*, 2003(8): 16-17.
- [19] Eneji A Egrinya, Honna T, Yamamoto S. Manuring effect on rice grain yield and extractable trace elements in soils[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24(7): 967-977.
- [20] Moreno-Caselles Joaquin, Raul Moral, Maria Dolores Perez-Murcia, et al. Fe, Cu, Mn and Zn input and availability in calcareous soils amended with the solid phase of pig slurry[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2005, 36: 525-534.
- [21] Bolan Nanhi S, Domy C Adriano, Santiago Mahimairaja. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products[J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, 34: 291-338.
- [22] 黄琳, 蔡鲁晟, 贾莹. 我国环境中有害重金属的来源与分布及防治对策[J]. 科技情报开发与经济, 2007, 17(7): 189-191.
- HUANG Lin, CAI Lu-sheng, JIA Ying. The source and distribution of and precaution countermeasures for the harmful heavy metal in Chinese environment[J]. *Sci-tech Information Development & Economy*, 2007, 17(7): 189-191.