

城市灰尘重金属污染特征及生态危害评价

李凤全, 潘虹梅, 叶玮, 朱丽东, 王志刚 (浙江师范大学旅游与资源管理学院地理过程实验室, 浙江金华 321000)

摘要 以金华市城市灰尘为对象, 研究了灰尘中重金属污染的特征, 并采用富集系数法和潜在生态危害法对灰尘中重金属的生态危害进行了评价。结果表明, 金华市城市灰尘中 Pb、Cu、Cr、Zn 的积累最为强烈; 重金属在不同功能区的含量差别较大, Pb、Cu、Mn、Zn、Ni、V 6 种重金属在厂区的含量平均值明显高于其他功能区; 窗台灰尘和地表灰尘中的重金属浓度具有明显的差别; 富集系数法评价结果显示, 样品中以 Pb、Zn 的富集最为强烈, 有些样品达到了极强富集; 生态危害系数评价表明, 各功能区都受到重金属不同程度的污染, 重金属生态危害程度依次是厂区 > 商业区 > 文教区 > 居民区 > 交通区 > 园区。

关键词 重金属; 城市灰尘; 污染评价; 生态危害

中图分类号 X131 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)06-02495-04

Specificity of the Heavy Metal Pollution and the Ecological Hazard in Urban Dust

LI Feng quan et al (Geographical Process Laboratory, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

Abstract The specificity of the heavy metal pollution in urban dust of Jinhua City was studied for the ecological hazards based on the methods of enrichment factor and potential ecological hazard. The results showed that: the accumulation of Pb, Cu, Cr and Zn was the most serious; the concentration of heavy metals in different domains was quite different and the concentration of Pb, Cu, Mn, Zn, Ni and V was much higher than other domains; there were obvious differences in the concentration of heavy metals between dust on surface and window; according to enrichment factor assessment, Pb and Zn were intensively accumulated; and the potential ecological hazard assessment results showed that every domains were polluted by heavy metals in some degree. The ecological hazard for the different domains was the order of industrial area > business area > school area > residential area > traffic area > garden plot.

Key words Heavy metal contamination; Urban dust; Ecological hazard

城市灰尘是城市环境学研究的范畴, 城市灰尘污染, 一方面是颗粒物污染, 另一方面是重金属污染。城市灰尘颗粒物既是污染物又是重金属污染物的载体。除城市灰尘颗粒物本身外, 其携带的有毒有害重金属, 更增强了城市灰尘本身的危害性^[1]。国内外研究表明^[2], 城市灰尘中的重金属含量主要受交通运输、工业生产以及城市建设等人类活动的影响, 在降水、风等外动力条件下对城市环境造成直接污染; 城市灰尘容易通过呼吸道和皮肤被人体吸收或直接摄入, 在人体内被消化、吸收, 产生积累, 对人体健康产生危害; 城市灰尘中重金属 Pb 是儿童血 Pb 的一个重要潜在污染源。因此, 研究城市灰尘中重金属的污染状况对于城市生态环境和居民身体健康都具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 样品的采集 该研究于 2006 年秋季在金华市代表性功能区——厂区、居民区、文教区、园区、交通区和商业区分别选取了 15、17、13、12、22、5 个地表灰尘样品, 同时在 15 个采样区路面和窗台采集灰尘样品 30 个, 分别代表城市地表灰尘和窗台灰尘样品。采样时在各采样区根据具体情况布设若干个采样点, 按多点混合的原则获取足量的样品装入样品袋, 贴上标签并详细记录当地环境。

1.2 实验室分析 样品烘干后过 180 目筛, 经粉碎、压制成片后, 用英国帕纳科公司生产的波长色散型 X 射线荧光光谱分析仪测定 Pb、Cu、Cr、Mn、Zn、Co、Ni、V 8 种重金属元素。

2 结果与分析

2.1 城市灰尘重金属的含量分布 基于实验数据, 分别计算城市灰尘中 Pb、Cu、Cr、Mn、Zn、Co、Ni、V 元素的平均值、范围和变异系数(表 1), 列出了各元素的克拉克值及 84 个样品

中重金属含量超过地壳中含量的样品个数(n)。该研究中 Ni、V 两种元素在地壳中的含量均大于样品中含量的平均值, 其中 Ni 元素超标的 16 个样品中有 10 个采自厂区, V 元素超标的两个样品均是厂区样; Mn 含量的平均值接近克拉克值, 元素含量超过克拉克值的 27 个样品中有 12 个样品采自厂区; Pb、Cu、Cr、Zn 的积累十分强烈, 平均值均达到克拉克值的 3 倍以上, 其中以 Pb、Zn 最为严重, 大约是克拉克值的 1 和 9 倍。可见, 人类活动对灰尘重金属的污染不容忽视。

表 1 城市灰尘重金属含量分布

Table 1 The distribution of heavy metals in urban dust

重金属 Heavy metal	平均值 ng/kg Average value	最小值 ng/kg Minimum	最大值 ng/kg Maximum	变异系数 % Coefficient of V.	克拉克值 ³⁾ ng/kg Clarke value	n
Pb	161.78	65.88	604.45	56.84	15	84
Cu	142.13	38.57	1254.36	107.71	38	
Cr	219.83	56.90	4035.92	214.24	63	
Mn	780.41	370.44	2182.10	29.27	780	
Zn	758.73	189.94	4057.77	67.25	86	
Co	60.47	15.25	133.87	44.03	32	
Ni	44.43	19.78	154.89	51.99	57	
V	62.84	43.96	104.72	20.33	99	

通过计算变异系数可知, 城市灰尘重金属含量有较大的差异。变异系数越大, 表明人为活动的干扰作用越强烈或污染程度越严重。除 Mn、V 变异系数较低外, 其余重金属元素的变幅均高于 40%, 变异系数最大的是 Cr, 其次是 Cu、Zn、Pb。综合以上分析结果, 金华市城市灰尘中受人为活动干扰严重的重金属为 Pb、Cu、Cr、Zn。

2.2 城市不同功能区灰尘重金属含量及空间分布特征 不同功能区重金属含量差别较大(表 2)。从 8 种重金属的平均值看, Pb、Cu、Mn、Zn、Ni、V 在厂区含量的平均值明显高于其他功能区, 居民区 Cr 含量平均值最高, 园区 Co 含量平均值最高。各功能区 Pb 的含量顺序是厂区 > 商业区 > 文教区 >

基金项目 浙江省教育厅项目(20060478)。

作者简介 李凤全(1971-), 男, 吉林长春人, 博士, 副教授, 从事城乡环境方面的教学和研究工作。

收稿日期 2007-11-17

表2 不同功能区灰尘中重金属平均含量 ng/kg

Table 2 The average content of heavy metals in urban dust in different functional domains

功能区 Functional domains	Pb	Cu	Cr	Mn	Zn	Co	N	V
厂区 Industrial area	254.47	291.04	320.44	1039.09	127.44	67.47	70.18	77.99
居民区 Residential area	131.27	99.00	343.76	718.44	745.46	59.55	40.50	61.70
文教区 School area	161.27	121.14	140.97	723.67	736.32	58.00	39.74	62.06
园区 Garden	130.15	98.72	118.97	708.37	538.76	71.19	33.51	61.32
交通区 Traffic area	136.00	108.81	161.13	736.87	645.13	53.63	37.26	54.24
商业区 Business area	178.13	147.48	201.95	727.01	783.81	53.57	50.54	64.70

交通区 > 居民区 > 园区, 厂区 Pb 含量是园区的近 2 倍。各功能区 Cu 的含量顺序是厂区 > 商业区 > 文教区 > 交通区 > 居民区 > 园区, 厂区 Cu 含量是园区的近 3 倍。Cr 在各功能区的含量顺序是居民区 > 厂区 > 商业区 > 交通区 > 文教区 > 园区, 居民区 Cr 含量是园区的 3 倍。Mn、Zn、V 元素在厂区含量最高, 分别为 1 039.09、1 127.44 和 77.99 ng/kg, 其他功能区 Mn、Zn、V 的含量差别不大, 可见工厂对周边环境的 Mn、

Zn、V 污染有很大的贡献。Co 在各功能区的含量顺序是园区 > 厂区 > 居民区 > 文教区 > 交通区 > 商业区, N 在各功能区的含量顺序是厂区 > 商业区 > 居民区 > 文教区 > 交通区 > 园区。

由各重金属元素之间的相关系数可知, Pb、Cu、Mn、Zn、N、V 之间的相关系数很高(均 > 0.92), 因此, 这些金属元素的来源可能相同。金华市城市灰尘中重金属元素的主要来源与人类经济活动密切相关, 如工业活动和交通运输等。其中, 厂区对灰尘中重金属的含量贡献最大, 园区受到重金属的污染相对较小。居民区 Zn 含量较高, 仅次于厂区和商业区, 这可能与居民产生的生活垃圾的排放和燃烧有关。文教区 V 含量居第 3, 从功能区来看, V 来源可能与工厂燃油燃煤, 商业区、居民区小摊、餐馆等燃料的使用有关。

2.3 地表灰尘与窗台灰尘重金属含量比较 地表灰尘主要以沉降于城市不同功能区的路面尘为代表, 窗台灰尘指大气悬浮物在一定动力条件下沉降在窗台的尘埃。在分析实验数据的基础上, 对窗台灰尘和地表灰尘中 Pb、Cu、Cr、Mn、Zn、Co、N、V 的平均含量(\bar{V}) 和变异系数(CV) 进行比较(表 3), 发现窗台灰尘中 8 种重金属的平均含量均高于地表灰尘。窗台灰尘中重金属的变异系数比较大, Zn、Co、N 等元素的变异系数均 > 1, 说明降尘中重金属含量变化大, 来源面广; 地表灰尘中重金属的变异系数较小, 说明地表灰尘中的重金属来源较单一。

表3 窗台和地表灰尘中重金属含量均值和变异系数比较

Table 3 Comparison of average value and variation coefficient for the content of heavy metals in dust on windowsill and dust on the earth's surface

灰尘项目 Items	Pb		Cu		Cr		Mn		Zn		Co		N		V	
	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV	\bar{V}	CV
	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%	ng/kg	%
窗台灰尘 Dust on windowsill	162.76	44.61	147.91	77.42	164.39	93.81	799.76	29.34	1 940.22	182.74	79.60	163.35	57.96	136.72	69.28	33.33
地表灰尘 Dust on the earth's surface	102.41	31.09	87.25	48.37	108.17	35.03	730.43	14.11	549.13	51.80	56.54	38.16	35.78	60.10	58.61	20.89

2.4 灰尘重金属污染评价及潜在的生态危害

2.4.1 评价方法。 国内外关于重金属污染评价的方法较多^[6-16]。但目前国内外尚无统一的对于城市灰尘中重金属污染评价的标准和方法, 笔者主要采用富集系数法和潜在生态危害法对金华市城市灰尘的重金属污染程度进行评价, 综合反映重金属对生态环境的影响潜力^[6-7]。

2.4.2 评价结果。

2.4.2.1 富集系数法评价。 富集系数法(SEF) 是 Buat-Ménard 和 Chessel 于 1979 年提出的, 用于评价沉积物重金属污染程度的方法, 其计算式为:

$$K_{SEF} = (S_n / S_{ref}) / (a_n / a_{ref}) \quad (1)$$

式中, K_{SEF} 为重金属富集系数; S_n 为重金属含量; S_{ref} 为参比元素的含量; a_n 为重金属的背景值; a_{ref} 为参比元素的背景值, 参比元素一般选择迁移过程中性质较稳定的元素, 该研究选取 Al 作为参比元素, 为了更好地反映灰尘中重金属的富集程度, 以克拉克值为参比标准。

根据富集因子的大小, 可以将元素的富集(污染)程度分

为 6 个级别, 污染级别越高受到人类活动的影响越大。 $K_{SEF} < 1$, 无富集, 污染级别为 0; $1 < K_{SEF} < 2$, 轻微富集, 污染级别为 1; $2 < K_{SEF} < 5$, 中度富集, 污染级别为 2; $5 < K_{SEF} < 20$, 显著富集, 污染级别为 3; $20 < K_{SEF} < 40$, 强烈富集, 污染级别为 4; $K_{SEF} > 40$, 极强富集, 污染级别为 5。

对灰尘中 Pb、Cu、Cr、Mn、Zn、Co、N、V 进行评价, 结果显示(表 4), Cr 的富集程度最严重, 最大富集系数达到 87.977, 其次是 Pb、Zn、Cu。根据富集因子分级表, 84 个样品中有 67 个 Pb 显著富集, 有 4 个达到极强富集; 70 个样品中 Zn 显著富集, 有 2 个达到极强富集; 多数样品中 Cu、Cr、Co 元素处于中度富集状态; 样品中 Mn、N、V 元素处于无富集或轻微富集状态。

2.4.2.2 潜在生态危害系数法。 潜在生态危害指数法是瑞典学者 Hakanson 于 1980 年建立的用于评价沉积物重金属污染及生态危害的方法, 并给出潜在生态危害程度的定量划分方法, 是沉积物质量评价中应用最广泛的方法之一。

表4 重金属富集系数评价结果统计

Table 4 The statistics of evaluation results for enrichment coefficient of heavy metals

重金属 Heavy metal	富集系数 Enrichment coefficient		样品数 Samples									
	最大值 Maximum	最小值 Minimum	$K_{SEF} < 1$	1	$K_{SEF} < 2$	2	$K_{SEF} < 5$	5	$K_{SEF} < 20$	20	$K_{SEF} < 40$	$K_{SEF} > 40$
	Pb	71.256	6.848	0	0	0	0	67	13	4		
Cu	49.285	1.600	0	4	50	28	0	2				
Cr	87.977	1.344	0	7	61	14	0	2				
Mn	6.499	0.652	3	73	7	1	0	0				
Zn	68.656	3.443	0	0	1	70	11	2				
Co	7.682	0.807	1	24	50	9	0	0				
Ni	6.312	0.497	40	36	7	1	0	0				
V	1.609	0.643	50	34	0	0	0	0				

灰尘中多种重金属的污染系数 C_d 和潜在生态危害指数 E_{RI} 分别是所有重金属的污染系数之和及所有重金属的潜在生态危害系数总和, 计算式如下:

$$C_d = \sum_i C_i^i = (\sum C_i / C_n^i) \quad (2)$$

$$E_{RI} = \sum_i E_i^i = \sum_i T_i^i \cdot C_i^i \quad (3)$$

式中, C_i^i 为重金属 i 的实测浓度; C_n^i 为重金属 i 的评价参比值; C_i^i 为重金属 i 的污染系数; C_d 为重金属污染程度; T_i^i 为重金属毒性响应系数, Hakanson 根据各种污染物含量水平, 确定了其毒性水平, 并通过规范化处理后给出各污染物的值: $Zn(1) < Cr(2) < Cu = Pb = Ni(5)$; E_i^i 为重金属 i 的潜在生态危害系数; E_{RI} 为多种重金属的潜在生态危害系数(表5)。

表5 评价指标与污染程度和潜在生态危害程度的关系

Table 5 The relationship between pollution degree and ecological hazard degree

污染程度 Contamination degree	C_i^i	C_d	生态危害程度 Ecological hazard degree	E_i^i	E_{RI}
低污染 Low	$C_i^i < 1$	$C_d < 8$	轻微 Slight	$E_i^i < 40$	$E_{RI} < 150$
中污染 moderate	1 $C_i^i < 3$	8 $C_d < 16$	中等 moderate	40 $E_i^i < 80$	150 $E_{RI} < 300$
较高污染 Relatively high	3 $C_i^i < 6$	16 $C_d < 32$	较高 Relatively high	80 $E_i^i < 160$	300 $E_{RI} < 600$
高污染 High	$C_i^i > 6$	$C_d > 32$	高 High	160 $E_i^i < 320$	$E_{RI} > 600$
			极高 Extremely high	$E_i^i > 320$	

基于上述研究成果, Pb、Cu、Cr、Zn 等元素的富集程度最严重, 说明金华市灰尘已受到 Pb、Cu、Cr、Zn 的污染, 对环境的生态危害较大。因此选择 Pb、Cu、Cr、Zn 和富集程度较小的 Ni 对城市不同功能区灰尘中重金属污染及潜在的生态危害进行评价。

单项重金属污染系数及生态危险指数表明(图1), 工业

区受到 Ni 的中度污染, Cr 元素较高度度的污染以及 Pb、Cu、Zn 的高度污染, 除了 Pb 对环境的生态危害较高外, 其余元素对环境的生态危害尚低; 居民区、文教区、园区、交通区和商业区都受到 Pb、Zn 的高度污染, 居民区受到 Cr 较高度度的污染, 文教区受到 Cu 较高度度的污染, 灰尘中的 Pb 对居民区、文教区、园区、交通区和商业区的生态产生中等程度的危害。

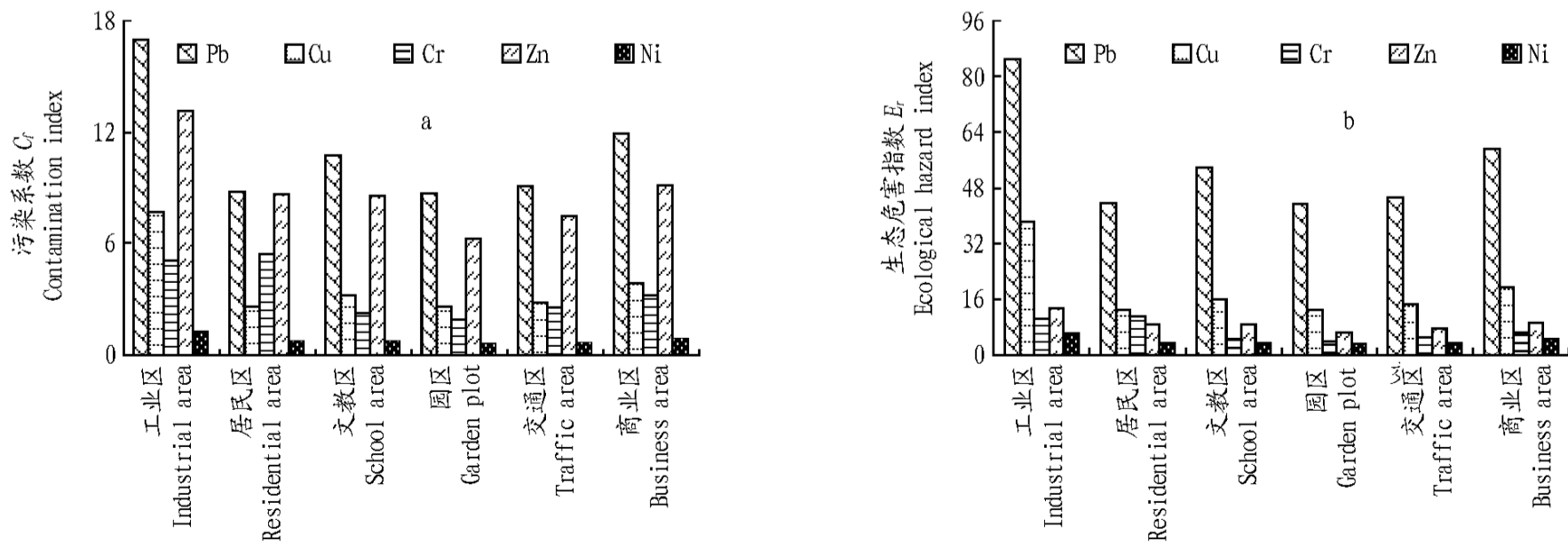


图1 不同功能区单项重金属污染系数(a)及生态危害指数(b)

Fig. 1 The contamination index of single heavy metal (a) and ecological hazard index of single heavy metal (b) in different functional domains

由多种重金属污染程度及生态风险系数来看, 厂区 $C_d 44.051$, $E_{RI} 152.557$; 居民区 $C_d 26.192$, $E_{RI} 79.916$; 文教区 $C_d 25.436$, $E_{RI} 86.217$; 园区 $C_d 20.015$, $E_{RI} 69.353$; 交通区 C_d

22.643 ; $E_{RI} 75.535$; 商业区 $C_d 28.962$, $E_{RI} 98.739$ 。厂区受到重金属的高度污染, 其他功能区均受到重金属较高度度的污染, 可见, 城市环境中重金属的排放及防治应引起相关部门

的高度重视。重金属对厂区的生态危害最严重,达到中等水平,各功能区受重金属生态危害程度依次是厂区>商业区>文教区>居民区>交通区>园区。

通过计算金华市灰尘中的单项潜在生态危害系数,获得其潜在生态危害综合指数的平均值为90.350,说明金华市灰尘中重金属污染存在轻微生态危害,有必要对城市灰尘的重金属污染进行综合治理,尤其应该加强对灰尘中Pb的治理。

3 结论与讨论

(1) 金华市灰尘中Pb、Cu、Cr、Zn的积累最为强烈且变异系数较大。重金属元素的含量分析结果显示,Pb、Zn的积累最严重;Pb、Cu、Cr、Zn的变异系数较大,表明人为活动的干扰作用强烈。

(2) 不同功能区重金属含量差别较大,厂区重金属的平均含量较大。从8种重金属的平均值看,Pb、Cu、Mn、Zn、Ni、V在厂区的含量平均值明显高于其他功能区,居民区Cr含量平均值最高,园区Co含量平均值最高。

(3) 窗台灰尘和地表灰尘的重金属含量具有明显的差别。窗台灰尘中8种重金属的平均含量均高于地表灰尘,而且变异系数较大,说明重金属含量变化大,来源面广。

(4) 富集系数法评价结果表明,大多数样品中Pb、Zn达到了显著富集,甚至极强富集;Cu、Cr、Co元素处于中度富集状态;Mn、Ni、V元素处于无富集或轻微富集状态。

(5) 对富集程度最严重的Pb、Cu、Cr、Zn等元素进行潜在生态危害评价,分析显示,从单项重金属的污染程度及生态危害来看,工业区受到Pb、Cu、Zn的高度污染,其他功能区都受到Pb、Zn的高度污染;Pb对功能区环境造成较高生态危害,对其他区域的生态产生中等程度的危害,其余元素对环境的生态危害尚低。由多种重金属污染程度及生态风险系数来看,厂区受到重金属的高度污染,其他功能区均受到重

金属较高程度的污染,各功能区受重金属生态危害程度依次是厂区>商业区>文教区>居民区>交通区>园区。

参考文献

- [1] 杜佩轩,马智民,韩永明,等.城市灰尘污染及治理[J].城市问题,2004(2):46-49.
- [2] II XD,POONCS,IIUPS.Heavy metal contamination of urban soils and street dust in Hong Kong[J].Applied Geochemistry,2001(16):1361-1368.
- [3] 黎彤,倪守斌.地球和地壳的化学元素丰度[M].北京:地质出版社,1990.
- [4] SUTHERLAND R A, TOLSA C A. Multi-element analysis of road-deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii [J]. Environmental Pollution,2000,110:483-495.
- [5] MAREKLISEWCZ, ROBERT HEIMBURGER, JERZY GOJIMOWSKI. Granulometry and the content of toxic and potentially toxic elements in vacuum cleaner collected indoor dusts of the city of Warsaw[J]. The Science of the Total Environment,2000,263:69-78.
- [6] 冯慕华,龙江平,喻龙,等.辽东湾东部浅水区沉积物中重金属潜在生态评价[J].海洋科学,2003,27(3):52-56.
- [7] 丁喜桂,叶思源,高宗军.近海沉积物重金属污染评价方法[J].海洋地质动态,2005,21(8):31-36.
- [8] 霍文毅,黄风茹,陈静生,等.河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J].地理科学,1997,17(1):81-86.
- [9] 余松林,徐本良,陈曦,等.原沈阳冶炼厂主厂区土壤污染现状评价及污染治理措施[J].环境保护科学,2005,31(6):65-67.
- [10] HABES GHREFAT, NCEMYUSUF. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan [J]. Chemosphere, 2006,65:2114-2121.
- [11] STRAND A. A model strategy for the simulation of chlorinated hydrocarbon distribution in the global environment [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1996,86:283-316.
- [12] NELSON D. Diffusive exchange of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls across the air-water interface of Chesapeake Bay [J]. Environ Sci Technol, 1988,22:912-919.
- [13] 张秀芝,鲍征宇,唐俊红.富集因子在环境地球化学重金属污染评价中的应用[J].地质科技情报,2006,25(1):65-72.
- [14] 赵沁娜,徐启新,杨凯.潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J].华东师范大学学报:自然科学版,2005(1):111-116.
- [15] 贾振邦,梁涛,林健枝,等.香港河流重金属污染及潜在生态危害研究[J].北京大学学报:自然科学版,1997,33(4):485-492.
- [16] 史贵涛,陈振楼,王利,等.上海城市公园灰尘重金属污染及其潜在生态风险评价[J].城市环境与城市生态,2006,19(4):40-43.

(上接第2494页)

监测、评价和科学研究,以及负责对污染的耕地进行修复和耕地污染事故的调查处理及补救;在完善管理体制的同时,必须提高执法人员的业务素质 and 执法水平,建立和健全执法人员的培训考核制度,制订培训计划,提高执法人员的专业水平,鼓励执法人员进行在职的学历学习,实施有效的鼓励和奖励措施。

2.5 提高公民的耕地保护意识,完善公众参与机制 加强耕地保护的宣传和教

育,给破坏和污染耕地的行为造成强大的社会舆论压力,为耕地污染防治创造良好的社会环境。其次,必须健全与完善公众参与机制,扩大公众参与的渠道,调动广大公众参与的热情,使广大的社会公众积极而有效地参与制订耕地资源的保护中去,参与制定耕地污染防治的法律与政策,以促进耕地资源的可持续利用。

参考文献

- [1] 甘藏春,魏莉华,李炜.《土地管理法》的修订与自然资源立法的发展趋势[J].中国法学,1999(1):50-56.
- [2] 李双元,蒋新苗,蒋茂凝.中国法律理念的现代化[J].法学研究,1996(3):45-64.
- [3] 博登海默E.法哲学及其方法[M].邓正来,译.北京:华夏出版社,1987:310.
- [4] 桑东莉.论我国农业用地土壤污染防治的法律保障[J].环境与生态,2004,21(4):54-57.