第 34 卷第 2 期	环 境 科 学 学 报	Vol. 34, No. 2
2014 年 2 月	Acta Scientiae Circumstantiae	Feb. , 2014

杨杰,严密,李晓东,等. 2014. 医疗废物焚烧炉运行前后 5 年周边土壤重金属对比分析研究[J]. 环境科学学报,34(2): -Yang J, Yan M, Li X D, *et al.* 2014. Levels of heavy metals in soil around a medical waste incinerator: comparison after five years of operation[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,34(2): -

医疗废物焚烧炉运行前后5年周边土壤重金属对比分 析研究

杨杰1,严密2,李晓东1,金余其1,*,严建华1

浙江大学能源工程学系,杭州 310027
浙江工业大学机械工程学院,杭州 310014
收稿日期:2013-04-20 修回日期:2013-06-05 录用日期:2013-06-06

摘要:为研究医疗废物焚烧炉对周边土壤中重金属含量的影响,对某典型焚烧厂周围土壤进行了运行前和运行5年(2007—2012年)后重金属含量的采样分析研究.共采集20个土壤样品、2个飞灰样品,并对其中砷(As)、镉(Cd)、铜(Cu)、汞(Hg)、镍(Ni)、铅(Pb)、锑(Sb)、钒(V)、 锌(Zn)共10种重金属的含量进行了测定.结果显示,除Pb外,其余金属元素含量都有不同程度的升高.主成分分析表明,医疗废物焚烧厂并 不是该区域土壤中重金属的唯一污染来源,还存在其它潜在污染源.健康风险评估结果显示,砷(As)在非致癌及致癌风险评估中都明显超标, 必须严格控制砷排放,降低砷在环境中的含量.

关键词:医疗废物;焚烧;重金属;土壤

文章编号:0253-2468(2014)02- - 中图分类号:X 文献标识码:A

Levels of heavy metals in soil around a medical waste incinerator: comparison after five years of operation

YANG Jie¹, YAN Mi², LI Xiaodong¹, JIN Yuqi^{1,*}, YAN Jianhua¹

1. Department of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027

2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014

Received 20 April 2013; received in revised form 5 June 2013; accepted 6 June 2013

Abstract: In order to investigate the impact of medical waste incinerator (MWI) on the heavy metal deposition in ambient soil, a comprehensive soil sampling and measurement program concerning heavy metals around a typical MWI plant in cases of pre-service and post-service after five years (2005—2012) was conducted. 20 soil and 2 fly ash samples were collected, and 10 heavy metals, including arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), antimony (Sb), vanadium (V) and zinc (Zn), were tested. Experimental results indicate that the concentrations of all tested metals except Pb have the increasing trend. The principal component analysis shows that medical waste incinerator is not the only source of heavy metals in ambient soil. Other potential pollution sources may exist in this studied region. Health risk assessment shows that Arsenic concentration is obviously excessive in both non-carcinogenic and carcinogenic risk assessments. This point out that Arsenic emission should be strictly controlled to prevent its deposition in the environment.

Keywords: medical waste; incineration; heavy metal; soil

1 引言(Introduction)

医疗废物是一种特殊的固体废物,含多种有害物和致病细菌,具有很强传染性和致病性(钟宁等,

2004).据统计,2005年我国医疗废物产量约为74万t(Duan et al.,2008),且仍在快速增长,对社会和环境安全造成了很大的威胁.因此,医疗废物无害化处置是一项十分重要的工作.目前,医疗废物

基金项目:国家重点基础研究发展(973)计划项目(No.2011CB201500);环保公益性行业科研项目(No.201209022)

Supported by the National Basic Research Program of China (No. 2011CB201500) and the Public Welfare Projects for Environmental Protection (No. 201209022)

作者简介: 杨杰(1987—),男,博士生,E-mail: zjujack@zju.edu.cn; * 通讯作者(责任作者),E-mail:jinyuqi@zju.edu.cn

Biography: YANG Jie (1987—), male, Ph. D. candidate, E-mail: zjujack@ zju. edu. cn; * Corresponding author, E-mail: jinyuqi@ zju. edu. cn

处置技术主要有高温焚烧法、高压蒸汽法、微波消 毒法、化学法、等离子体法和热解法(张虹等, 2005).由于焚烧法具有快速减量化、减容化、无害 化等优点,已被证明是一种快速有效的医疗废物处 置技术但由于固废焚烧存在多种污染物排放问题, 尤其是重金属和二噁英的排放,制约了焚烧技术的 推广应用.目前,有关医疗废物焚烧炉二噁英排放 对周围环境的影响已得到初步研究(Li et al., 2010; Gao et al., 2009),但针对医疗废物焚烧炉重 金属排放对环境的影响研究则相对较少. 医疗废物 经焚烧后会产生约30%的底灰和3%的飞灰(刘汉 桥等,2007),而烟气中的重金属则以气态和富集于 飞灰上的固态形式排放进入大气(Kuo et al., 2007),并通过干湿沉降直接进入土壤及水体中 (Rimmer et al., 2006). 由于重金属往往具有很强 的环境生态毒性与生物累积性,对生态和人类健康 构成了严重的潜在威胁(Weber et al., 2007; Reis et al., 2007),从而引起了关注.本研究以浙江北部 某医疗废物焚烧厂为例,基于区域内10种金属在土 壤中的含量水平及分布特征,探究其影响因子及潜 在污染来源,以期为评估医疗废物焚烧厂重金属排 放对周边土壤环境的长期影响和健康风险评价提 供参考.同时,正确了解焚烧炉运行过程中存在的 潜在的环境风险,可以指导焚烧厂的安全运行和科 学管理,促进居民对焚烧技术的理性认识.

2 材料和方法 (Materials and methods)

2.1 采样点及采样方法

本文所研究的医疗废物焚烧厂(北纬 35.91°, 东经 12.00°)位于浙江北部,2007 年 5 月开始投入 运行.焚烧炉采用了回转窑结合二燃室的焚烧技 术,设计日处理 10 t 医疗废物,尾气净化系统包括 急冷塔、半干法脱硫塔和布袋除尘器.烟囱高度为 35 m,低于周围山峰.浙北地区属于亚热带季风气候 区,风向随季节变化明显,冬季盛行西北风,夏季盛 行东南风.杭宁高速在附近经过,周围 1000 m 内没 有村庄,在外围(高速公路)焚烧厂建筑物不可见 (严密等,2011).

2007 年在焚烧厂运行前,对厂区周边进行了10 个土壤样品的采集.采样点利用手持式GPS进行定 位,具体如图1所示.利用筒式取土器(长度×直 径:24 cm×4 cm)进行土壤采样,取土深度为10 cm.为有效反应取样点的土壤特性,采用五点采样 法采样(在半径2m的圆上,4个主方向和圆心点上 各取等份土,然后混合作为该点的土壤样品).每个 点大概采集1.5kg土壤,去除其中的砂砾和植物残 屑,在室内风干后研磨成粉末(<0.25mm),然后低 温保存待预处理及仪器分析.焚烧厂运行5年后,利 用同样方法在相同地点进行了采样.



图1 土壤采样点分布图(图中括号中数字表示离焚烧炉距离, m)

Fig. 1 Location of soil samples (The numbers show the distances from incinerator, m)

2.2 样品处理及分析

样品采集后,去除其中的砂砾和植物残屑,干 燥研磨过筛.根据《固体废物中的重金属测定消解 法》(GB/T15555.2—1995),按照程序进行 HNO₃、 HF和 HClO₄对 0.1g土壤样品的消解,消解后用去 离子水定容到 50 mL.利用 ICP – MS 对砷(As)、镉 (Cd)、铜(Cu)、汞(Hg)、镍(Ni)、铅(Pb)、锑(Sb)、 钒(V)、锌(Zn)等 10 种金属进行测量.

利用 SPSS16.0 统计分析软件及 PCA 分析方法 对重金属含量进行统计分析.利用 Preliminary Remediation Goals(PRGs)对周边居民进行健康风险 评价,其中,PRGs 是美国环境保护署(US EPA)颁布 的旨在保护人体健康的污染土壤初步修复目标值, 可定义为在对污染场地进行初步调查后开展修复 方法选择时初步设定的修复目标值,不仅包括居住 用地还包括工业、商业用地(US EPA, 2012).

3 结果和讨论(Results and discussion)

表1是2007年和2012年焚烧炉周围土壤样品 中金属平均含量和变化情况,以及与我国土壤环境质 量标准农业用地二级标准值的比值和典型焚烧炉周 边土壤中的金属含量.由表可知,2007年土壤中铅的 含量最高,达到 199.93 mg·kg⁻¹;其次是锌,达到 79.67 mg·kg⁻¹;接下来分别是铜(23.53 mg·kg⁻¹)、 砷(17.96 mg·kg⁻¹)、锑(12.67 mg·g⁻¹)、镍(12.66 mg·kg⁻¹)、钒(7.64 mg·kg⁻¹)、镉(0.87 mg·kg⁻¹); Hg的含量最低,为0.59 mg·kg⁻¹.而 2012年土壤中 金属含量最高的是 Zn,达到 254.81 mg·kg⁻¹;其次 是铅(153.60 mg·kg⁻¹);含量最低的则是 Cd,为 1.37 mg·kg⁻¹.从表中可知,除铅外,其他金属都有 不同程度的增加.其中,变化幅度最大的是钒,从 7.64 mg·kg⁻¹增加到 53.80 mg·kg⁻¹,增幅达到 604.48%;其次是汞,从0.59 mg·kg⁻¹增加到 3.89 mg·kg⁻¹,增幅达 560%. 根据我国土壤环境质量标准(GB 15618— 2008)(中华人民共和国环境保护部,2008),2012 年 焚烧厂周边土壤中除了 Cu、Ni、V 的含量低于土壤 质量农业用地二级标准值之外,其余都有不同程度 的超标,其中,汞为限值的 1111%,镉为限值的 456%,但都在土壤质量居住用地和工业用地二级标 准之内,无一超标.对比国内外研究发现,研究区的 金属含量均高于西班牙加泰罗尼亚地区危险废物 焚烧炉周边土壤金属含量(Vilavert *et al.*, 2012), 与英国纽卡斯尔地区的生活垃圾焚烧炉周边土壤 金属含量相比则互有高低(Rimmer *et al.*, 2006), 但与温岭电子废物处理厂周边土壤中金属含量相 比则明显低很多(Tang *et al.*, 2010).

	長1	土壤中金属含量	、变化趋势及典型焚烧炉周边土壤中金属含	量
--	----	---------	---------------------	---

Table 1 Concentrations and temporal trend of metal concentrations in soil samples and metal concentration in soil around the typical incinerator

香人屋	含量/(r	$ng \cdot kg^{-1}$)	变化幅度		比值		其他地	↓他地区金属含量/(mg·kg ⁻¹)	
里金周 2007 年 2012 年 (2		(2007—2012年)	农业	居住	工业	温岭	纽卡斯尔	加泰罗尼亚	
As	17.96	39.66	120.0%	99.1%	79.3%	56.6%	\searrow	20	8.56
Cd	0.87	1.37	57.2%	456.0%	13.7%	6.85%	2.6	0.65	0.27
Cu	23.53	48.72	107.0%	97.4%	16.2%	9.74%	296.3	233	38.2
Hg	0.59	3.89	560.0%	1111.0%	97.2%	19.4%	1.0	0.50	0.04
Ni	12.66	18.00	42.2%	22.5%	12.0%	9.00%	48.0	30	16.9
\mathbf{Pb}	199.93	153.60	- 23.2%	192.0%	51.2%	25.6%	501.9	350	42.5
\mathbf{Sb}	12.67	15.90	25.5%	159.0%	53.0%	39.7%	_	_	0.12
V	7.64	53.80	604.0%	41.4%	26.9%	21.5%	_	_	32.4
Zn	79.67	254.81	219.0%	127.0%	50.9%	36.4%	432.7	419	_
总计	355.51	589.74	65.8%	$\overline{\mathbf{V}}$			_	_	_

图 2 显示了离焚烧炉不同距离的各采样点重金 属总含量分布.由图可知,大部分采样点的总含量 都有所增高,但增幅不明显,其总含量随距离增加 而降低的趋势也不明显.因此,认为周边土壤受到 焚烧炉污染物排放的影响较小. 在这 10 个采样点 中,这是因为 S6(725 m)、S9(1165 m)样点的重金 属含量偏离的比较明显,S6 地处高速路附近,2011 年有一条新的公路在附近修建;S9 位于村庄主干道 旁的农田边,研究期间在附近发现好几个露天焚烧 点. 如表 2 所示, S6 和 S9 中 Pb(241.70 mg·kg⁻¹和 422.50 mg·kg⁻¹) 和 Zn(340.10 mg·kg⁻¹和 130.70 mg·kg⁻¹)的值特别高.而 Collett 等(1998)研究表 明,焚烧厂对周围土壤中 Cd 和 Pb 的含量没有明显 影响;杨金燕等(2005)研究认为,土壤中铅的来源 主要有工业生产、交通运输、垃圾处理及农用施肥. 因此,认为当地土壤中重金属含量还受到了其它污 染源的影响.





图 3 是 2007 年和 2012 年土壤和飞灰中重金属 含量情况分布图.由图可知,土壤中的金属都以 Pb、 Zn、As 为主,而飞灰中以 Cu、Zn、Hg 为主.说明土壤 和飞灰中的金属分布存在较大差异,该地区其他金 属污染源及影响因素不可忽视.

Table 2 Metal concentrations in soil in 2007 and 2012							mg∙kg ⁻¹				
年份	采样点	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	\mathbf{Sb}	V	Zn	总计
2007	S1	41.36	4.06	33.56	0.52	5.78	44.54	13.25	12.01	135.40	290.5
	S2	28.68	0.56	16.29	0.67	12.15	95.54	14.12	5.53	70.01	243.6
	S3	13.35	0.45	11.44	0.75	12.71	52.05	18.55	6.85	150.10	266.3
	S4	57.42	1.72	80.34	0.28	6.77	1525.00	43.15	4.44	218.20	1937.0
	S5	7.48	0.31	17.60	0.97	27.67	54.03	4.14	5.68	37.05	154.9
	S6	9.73	0.49	19.41	1.21	14.08	66.40	5.66	7.71	49.75	174.5
	S7	8.24	0.28	18.49	0.42	13.15	28.45	10.20	11.95	34.24	125.4
	S8	5.13	0.26	10.62	0.41	10.68	50.95	11.12	14.35	29.34	132.9
	S9	6.76	0.35	12.74	0.21	12.05	37.43	3.22	5.91	44.01	122.7
	S10	1.46	0.25	14.82	0.46	11.51	45.23	3.30	1.94	28.59	107.6
2012	S1	13.33	0.46	15.47	5.65	20.49	68.29	6.53	65.11	84.15	279.5
	S2	13.35	0.55	12.26	4.48	15.71	58.81	3.28	40.75	802.40	951.6
	S3	15.27	0.25	30.48	2.45	8.00	126.50	3.45	48.39	84.91	319.7
	S4	151.00	5.61	244.7	2.43	35.12	443.50	92.15	71.69	831.80	1878.0
	S5	10.30	0.32	22.67	4.70	24.50	50.20	4.73	66.83	62.79	247.0
	S6	142.00	4.32	72.58	2.42	16.18	241.70	10.04	46.53	340.10	875.9
	S7	8.60	0.52	14.91	4.94	25.26	44.03	3.81	51.04	67.97	221.1
	S8	6.48	0.38	16.18	5.78	7.59	40.96	14.76	65.33	51.44	208.9
	S9	26.94	0.67	41.46	1.57	17.05	422.50	17.36	51.16	130.70	709.4
	S10	9.28	0.66	16.43	4.45	10.12	39.59	2.87	31.14	91.89	206.4
	飞灰	19.15	10.8	732.90	197.90	101.10	92.89	156.10	17.46	475.40	1804.0





图 3 工壤及飞灰甲金属含重分布比较

Fig. 3 Comparison of metals distribution in soil and ash

为进一步研究评价样品间的关联性与差异性, 引进了主成分分析法(Principal component analysis, PCA),PCA可以将一个事件的多个变量在丢失信息 最少的基础上,综合成几个较少的综合指标,即主 因子.主成分数以特征值 >1 为条件进行筛选.表 3 为因子分析经 Varimax 旋转后前 3 个主成分及各种 金属的载荷,发现方差累计贡献率达 88.5%.第一 主成分(PC1)贡献率为52.22%,与Cu、Hg、Ni、Sb、Cd相关,这类金属受外环境影响较小,主要受成土过程和土壤流失的影响,因此,第一主成分主要反映土壤环境自身的作用.第二主成分(PC2)贡献率为18.70%,与Pb和As相关,第三主成分(PC3)贡

表 3 土壤中重金属主成分载荷

Table 3	Rotated component matrix for metals in soils							
金属	载荷							
	成分1	成分 2	成分 3					
Cu	0.989	0.094	0.064					
Hg	0.970	-0.138	-0.094					
Ni	0.960	-0.137	0.098					
\mathbf{Sb}	0.927	0.269	0.113					
Cd	0.891	0.303	0.190					
$^{\rm Pb}$	-0.012	0.899	-0.142					
As	0.127	0.698	0.576					
V	-0.060	-0.153	0.892					
Zn	0.432	0.392	0.606					
特征值	4.700	1.683	1.587					
方差贡献率	52.221%	18.695%	17.628%					
累计贡献率	52.221%	70.917%	88.545%					

献率为17.63%,与V和Zn相关,认为其反映了距离及采样点地形的影响.图4a和图4b所示,样品由于采样年份的不同而呈明显的集聚,并且与飞灰距离较远,这意味着除了飞灰这一潜在的影响因素之外,还有其他潜在污染源.土壤样品中锌和铅含量很高,可能与含铅汽油及含锌润滑油的使用有关(Day et al., 1975; Miguel et al., 1997).此外,许多当地企业从事萤石开采和加工,而萤石里含有铁、铅等重金属(史帅星等,2010);同时,每年80%~ 90%生产的砷用于生产有机磷农药并被施用于土壤上(Nriagu et al., 1988).这些都是土壤中重金属的潜在来源.





collected in 2007(a) and 2012(b)

从表2可知,部分金属含量超过了我国土壤环境质量标准的有关限值,因此,对居住在附近的村民进行非致癌风险和致癌风险评估就显得很重要. 本文利用2012年土壤金属的平均含量与美国 EPA Preliminary Remediation Goals 规定的居民生活区安 全值的比值进行风险评估(US EPA, 2012).图 5a 为非致癌风险评估结果,可知,除了砷之外,其他元 素的含量都在安全值范围之内,砷的含量明显超出 安全值(22 mg·kg⁻¹),比值达到 180%. 图 5b 是致 癌风险的评估结果,发现镉在安全值(1800 mg·kg⁻¹)之内而砷再次超标.这个结果与 Nadal 等 (2005)的研究结果相一致,他们认为砷之所以普遍 超标是因为美国 EPA 制定的致癌风险安全值(0.39 mg·kg⁻¹)和环境中砷的含量相比过低的缘故,例 如,英国土壤中砷的背景值为 10.9 mg·kg⁻¹(Martin et al., 2009);根据《中国土壤元素背景值》,我国土 壤中砷背景值为11.2 mg·kg⁻¹(宋志东等,2012). 本研究中 S4 样点的砷含量在焚烧炉运行前后都是 最高的,这是因为 S4 位于山坡上,存在比较严重的 水土流失和风化现象,在风化的过程中,铝和铁的 含量会增加,进而会导致砷含量的增加(翁焕新等, 2000);另一重要原因就是含砷有机磷农药的使用 (Nriagu et al., 1988),因此, 需减少该地区含砷农 药的使用.



图 5 2012 年研究区土壤金属非致癌风险(a)和致癌风险(b) 比较

Fig. 5 Non-carcinogenic risk (a) and carcinogenic risk (b) comparison of metal concentrations in soils in 2012

4 结论(Conclusions)

研究表明,医疗垃圾焚烧厂运行5年后周围土 壤中重金属含量有着不同程度的变化,其中,含量 最高的为锌,平均含量达到 254.81 mg·kg⁻¹;增幅 最大的为钒,从 7.64 mg·kg⁻¹ 增加到 53.80 mg·kg⁻¹, 增幅达到 604%. 2012 年土壤中低于土壤 质量农业用地二级标准值的金属只有 Cu、Ni 和 V, 汞超标最严重,达到限值的1111%;其次是镉,达到 限值的456%,但所有金属含量都在土壤质量居住 用地和工业用地二级标准之内.主成分分析结果表 明,医疗废物焚烧厂并不是周边土壤中重金属的唯 一污染来源,还存在其它潜在污染源.同时,利用美 国 EPA Preliminary Remediation Goals 规定的居民生 活区安全值进行风险评估研究表明,砷在非致癌风 险和致癌风险的评估中均超标,必须尽量减少砷释 放到环境中的量.本研究进行了医疗废物焚烧炉周 边土壤重金属浓度调查研究,但仍需更多的研究工 作以更全面了解医疗废物焚烧炉对周围环境及人 体的健康影响.

责任作者简介:金余其(1970—),博士,主要从事生活垃圾 及各类产业固废资源化利用理论与技术的研究.在国内外期 刊和会议上共发表论文40余篇,其中SCI收录5篇,EI收录 10余篇.获国家发明专利5项,实用新型专利6项.

参考文献(References):

- Collett R S, Oduyemi K, Lill D E. 1998. An investigation of environmental concentrations of cadmium and lead in airborne matter and surface soils within the locality of a municipal waste incinerator
 - [J]. Science of the Total Environment, 209: 157-167
- Day J P, Hart M, Robinson M S. 1975. Lead in urban street dust[J]. Nature, 253: 343-345
- Duan H B, Huang Q F, Wang Q, et al. 2008. Hazardous waste generation and management in China: A review [J]. Journal of Hazardous Materials, 158 (2/3): 221-227
- Gao H C, Ni Y W, Zhang H J, et al. 2009. Stack gas emissions of PCDD/Fs from hospital waste incinerators in China [J]. Chemosphere, 77(5): 634-639
- Kuo N W, Ma H W, Yang Y M, et al. 2007. An investigation on the potential of metal recovery from the municipal waste incinerator in Taiwan [J]. Waste Management, 27: 1673-1679
- 刘汉桥,蔡九菊,齐鹏飞,等.2007. 医疗垃圾焚烧灰特性实验研究 [J].东北大学学报,28(4):533-536
- Li X D, Yan M, Chen T, et al. 2010. Levels of PCDD/Fs in soil in the vicinity of a medical waste incinerator in China: The temporal variation during 2007 - 2009 [J]. Journal of Hazardous Materials,

179(1/3): 783-789

- Martin I, De Burca R, Morgan H. 2009. Soil Guideline Values for inorganic arsenic in soil [S]. London: Environment Agency
- Miguel E, Llmas J F, Chacón E, et al. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead [J]. Atmospheric Environment, 31(17): 2733-2740
- Nadal M, Bocio A, Schuhmacher M, et al. 2005. Trends in the levels of metals in soils and vegetation samples collected near a hazardous waste incinerator[J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 49(3): 290-298
- Nriagu J O, Pacynat J M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals [J]. Nature, 333: 134-139
- Reis M F, Sampaio C, Brantes A, et al. 2007. Human exposure to heavy metals in the vicinity of Portuguese solid waste incinerators-Part 1: Biomonitoring of Pb, Cd and Hg in blood of the general population [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 210(3/4): 439-446
- Rimmer D L, Vizard C G, Tanja P M, et al. 2006. Metal contamination of urban soils in the vicinity of a municipal waste incinerator: One source among many [J]. Science of the Total Environment, 356(1/ 3): 207-216
- 宋志东, 唐永金.2012.常见污染元素土壤背景值间的相关关系[J]. 江苏农业科学,40(9):322-324
- 史帅星,江宇,曹亮,等. 2010. 超声作用对 + 38μm 萤石矿的再粉 碎、解离度和成分构成的影响研究[J].有色金属,(2):31-34
- Tang X J, Chao F S, Shi D Z, et al. 2010. Heavy metal and persistent organic compound contamination in soil from Wenling: an emerging e-waste recycling city in Taizhou area, China [J]. Journal of Hazardous Materials, 173: 653-660
- US EPA. 2012. Preliminary Remediation Goals [S]. San Francisco: United States Environmental Protection Agency
- Vilavert L, Nadal M, Schuhmacher M, et al. 2012. Concentrations of metals in soils in the neighborhood of a hazardous waste incinerator: assessment of the temporal trends [J]. Biol Trace Elem Res, 149: 435-442
- Weber J, Karczewska A, Drozd J, et al. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts [J]. Soil Biology & Biochemistry, 39 (6): 1294-1302
- 翁焕新,张霄宇,邹乐君,等. 2000.中国土壤中砷的自然存在状况及 其成因分析[J].浙江大学学报(工学版),34(1):88-92
- 严密,李晓东,陆胜勇,等.2011.危险废物焚烧炉周边土壤中二噁英 等分布[J].浙江大学学报(工学版),45(5):896-900
- 杨金燕,杨肖娥,何振立.2005. 土壤中铅的来源及生物有效性[J]. 土壤通报,36(5):765-772
- 张虹,王立群. 2005. 医疗废物处置方法的探讨[J].环境卫生工程, 13(6):19-21
- 中华人民共和国环境保护部,国家质量监督检验检疫总局.2008. GB 15618—2008 土壤环境质量标准[S].北京:环境保护部
- 钟宁,周少奇. 2004. 医疗废物的处理现状及防治政策[J]. 环境卫 生程, 12(3): 183-187