

大型垃圾焚烧厂周边环境汞影响的初步调查

汤庆合^{1,2}, 丁振华¹, 江家骅², 杨文华², 程金平¹, 王文华^{1*}

(1. 上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘要:对上海浦东生活垃圾焚烧厂运行 2 年来对周边环境的汞影响的初步调查结果显示: 垃圾焚烧厂周边环境的土壤背景值偏高, 平均为 125.9 ng/g; 运行 1a 后和 2a 后的平均值分别为 139.9 ng/g 和 137.7 ng/g, 其中处于下风口的偏西面受影响较大; 当地种植的大部分蔬菜叶子的汞含量超过国家卫生标准(GB2762-94), 2003 年的大豆和高粱果实中汞含量分别是 2002 年的 2.3 和 2.7 倍. 垃圾焚烧厂上风口、厂区内和下风口处大气汞浓度分别为 5.1 ng/m³、5.0 ng/m³ 和 10.6 ng/m³.

关键词:垃圾焚烧; 汞; 分布; 影响

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2005)01-0196-04

Environmental Effects of Mercury Around a Large Scale MSW Incineration Plant

TANG Qing-he^{1,2}, DING Zhen-hua¹, JIANG Jia-hua², YANG Wen-hua², CHENG Jin-ping,
WANG Wen-hua¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Science, Shanghai 200233, China)

Abstract: Samples of soil, vegetables, crops and air collected from Yuqiao Incineration Plant, Pudong Shanghai, were analyzed with an AMA-254 liquid/solid mercury analyzer. It is shown that background levels (BLs, 2001) of mercury in surface soil is a little higher, mercury content in soils one year after operation (2002) and two year (2003) were both higher than BLs. The levels of mercury in vegetables is higher than Standard levels (GB 2762-94), the content of mercury in Soya and broomcorn sampled in 2003 was 2.3 and 2.7 times than that in 2002. Atmospheric mercury levels were 10.1, 5.0 and 10.6 ng/m³ in up-site, site and down-site.

Key words: incineration; mercury; influence

焚烧法处理固体废弃物由于具有显著的减容、减量、灭菌和回收热能等特点, 已经成为很多国家处理城市固体垃圾的主要方式之一^[1~4]. 随着垃圾焚烧工厂的建成和运行, 由此产生的二次污染问题也日益显现出来, 这些污染主要包括飞灰污染、烟道气中二噁英污染以及焚烧过程中产生的重金属污染^[5~9]. 由于汞元素的特殊物理化学性质, 在垃圾焚烧过程中垃圾中所含的汞超过 90% 随烟气排放到周围大气中, 进入大气中的汞一方面参与地区和全球汞的生物地球化学循环, 另一方面随降水和大气降尘沉降到地面环境中, 进一步参与环境中汞的迁移和循环. 据 USEPA^[10] 估算, 1995 年美国废物焚烧汞释放量为 54t, 占所有人为因素释放的 34%. 另外大量研究均证实, 随着垃圾焚烧处理比重的不断增加, 由此向大气中排放的汞量也越来越多^[11~15].

在我国, 垃圾焚烧技术刚刚起步, 许多城市正逐渐采取焚烧法处理城市垃圾. 目前除上海、杭州、深圳、北京、珠海等城市已开展垃圾焚烧外, 厦门等城市也开始筹建垃圾焚烧电站. 据国外的经验, 垃圾焚烧比例的增加可能会向周围环境的汞排放量增加,

由此对大气汞的贡献也会提高, 对于这一环境问题应当引起足够的重视和预计.

1 实验方法

1.1 垃圾焚烧厂概况

浦东生活垃圾焚烧厂位于浦东新区北蔡镇御桥工业小区内, 占地面积 82 165 m², 总投资 6.98 × 10⁹ 元, 日焚烧处置生活垃圾 1 000t, 年处置生活垃圾 3.65 × 10⁵t, 是我国第一座现代化的千吨级生活垃圾焚烧处理工厂. 从 2001 年底试运行, 2002 年 7 月 1 日正式运行. 本研究通过对焚烧厂周边环境样品(水、土壤、植物、农作物和动物)的采集和分析, 研究了该厂运行 2 年来对周边环境介质中汞的年度记录和分布特征及其生态危害等环境行为.

1.2 镀金石英砂吸附管的制备

石英砂经玛瑙研钵研细, 筛选其中 60~80 目细

收稿日期: 2004-03-31; 修订日期: 2004-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(20077016)

作者简介: 汤庆合(1980-), 男, 硕士, 主要从事固体废物环境化学和污染控制与资源化研究. E-mail: tangqinghe@hotmail.com

* 通讯联系人, 教授, 博士生导师, 电话: 021-54745262.

粒,先浸泡在 10%稀硝酸中 24h,然后先后用自来水和双蒸水冲洗至中性,烘干.将一定量的纯金溶于王水(石英烧杯中),然后在 140℃左右,电热板上加热至倒入的石英砂恰能浸没.继续加热至微干,然后转移到石英坩埚中,放入马弗炉中 500℃下继续加热约 30 min,即得镀金石英细砂.制备好的金沙中金的含量约为 20%.石英管管长大约 3cm,内径 0.6cm,其中装有约 0.85g 镀金石英砂,金沙填充层长约 1.5cm,两端用石英棉塞紧.

1.3 样品的采集、处理和分析

1.3.1 样品采集

土壤样品:以场部为中心,在其四周不同距离处采集表层土壤,如图 1 所示.每次分别在 8 个点采集 3 个平行样,3 年共计 71 个土壤样品.分别在垃圾焚烧厂在运行前(2001 年 10 月)、运行 1 年后(2002 年 11 月)和运行 2 年后(2003 年 12 月)3 个时间点取样,分析.

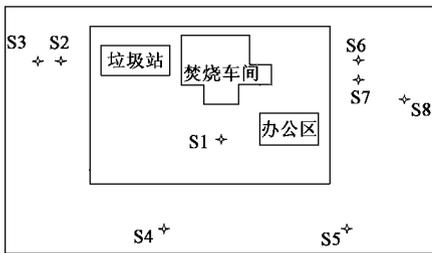


图 1 浦东御桥垃圾焚烧厂采样分布点示意图

Fig.1 The sampling points in Pudong Incineration Plant

植物样品:分别于 2002 年 11 月和 2003 年 11 月 2 个年份,采集了当地农田所种植蔬菜,如小青菜、银丝菜等,以调查这些蔬菜中汞浓度是否符合国家相关安全标准以及 2 个不同年份的变化比较.

气体样品:以 CD-1 型大气采样器为采样动力,采用镀金石英砂吸附管来吸收富集大气中的气态汞.分别在焚烧厂的上风口 500m 处、下风口 500m 处以及厂区内每处均采集 2 个大气样品.采样时间为 2003 年 11 月.采样流速为 0.5L/min,采样时间为 30 min.采集结束后,将石英管放入塑料试管内,密封保存至实验室,立即分析.

1.3.2 样品处理

土壤样品:将采集的土壤样品放置室内自然风干,研磨后过 100 目尼龙筛,然后装入样品袋中,待分析.

植物样品:先用自来水冲洗掉附在植物样品表面上的土和其他物质,然后蒸馏水冲洗 3 遍,放置室

内待水自然蒸发完后,剪刀裁取不同组织,并立即测定鲜重时的总汞浓度.

1.3.3 样品分析

所有样品的汞浓度分析均由 AMA 254 固/液自动汞分析仪(Milestone, Italy)完成.该仪器绝对检测限为 0.01 ng,即当进样中汞绝对含量高于 0.01 ng 时均能被准确检出.

土壤/植物样品:用分析天平精确称取 0.1 mg 左右的 1.3.2 中处理好的样品,AMA 254 分析测定汞浓度.当测试样品为 0.1 mg 时,仪器检出限为 0.1 ng/g.

大气样品:采样后的镀金石英砂吸附管用 AMA 254 高级汞分析仪直接测定汞吸附量,根据采样流速和采样时间来计算所采气体中汞的浓度.当采样体积为 10~50L 时,仪器检出限为 0.2~1.0 ng/m³.

2 结果和讨论

2.1 垃圾焚烧对周边土壤中汞含量的影响

2.1.1 土壤背景值调查

浦东御桥垃圾焚烧厂周边地区土壤汞含量的背景值列于表 1.

表 1 浦东垃圾发电厂周围表层土壤样品特征及汞含量/ng·g⁻¹

样号	采样位置	特征	总汞
S1	垃圾发电厂内表层土	表土	83.3
S2	垃圾发电厂外西 200 m 草地表层	表土	122.0
S3	垃圾发电厂西北 300 m	表土	101.1
S4	垃圾发电厂西南 300 m 菜地	表土	108.2
S5	垃圾发电厂东南 350 m 农宅旁	表土	133.1
S6	垃圾发电厂东 300 m(大棚内)	表土	160.3
S7	垃圾发电厂东 300 m 菜地	表土	123.5
S8	垃圾发电厂东 500 m 大寨河桥边菜地	表土	176.1

土壤样品中总汞含量为 83.30~176.10 ng/g,平均值为 125.95 ng/g.垃圾焚烧场周边为农田,周边没有工业污染源.土壤结果高于北京地区土壤 81 ng/g 及南京地区土壤 120 ng/g 的平均数据^[16],这应与上海市的工业发展历史较长有关.燃煤释放的汞在区域内沉降,可使近郊的土壤中有汞的积累;同时过去农民在对农田进行施肥时,有使用农家肥和河肥的传统^[17],其中农家肥中含有一定的煤灰与柴灰,经过燃烧产生的煤灰和柴灰也可能造成汞高度富集,使土壤汞含量增高;河肥主要成分就是河里的底泥,而底泥是河流及大气沉降中汞的贮存库之一,也具有较高的汞含量.两者的共同作用结果可能是造成上海地区土壤中汞的背景值处于较高水平

的原因.

2.1.2 焚烧场运行 2 年来对周边表层土壤影响

图 2 为垃圾焚烧厂自 2001 年 2 年来周边土壤汞浓度的变化情况.点 S1 位于垃圾焚烧厂内,2002 年和 2003 年的数据差别不大.总体来说,3 年的数据没有显著性差异,说明该处土壤并没有受到明显的汞影响.S2 位于垃圾焚烧厂西 200 m,从结果来看,3 年的结果呈逐年递增趋势;S3 位于垃圾焚烧厂西北 300 m 处,该处 2002 年土壤汞浓度较背景值有所上升,但和 2003 年数据基本没有差异,总体上也呈增长趋势.S4 位于垃圾焚烧厂西南 300 m 处,2002 年的土壤汞浓度较背景值提高 1.6 倍左右,2003 年的监测结果又有所下降,但仍高于 2001 年的背景值.S5 位于垃圾焚烧厂东南 350 m 处,垃圾焚烧厂运行 1a 后的数据较背景值稍有下降,但 2003 年又有明显上升.S6.S7.S8 分别处于焚烧厂东 200 m 蔬菜大棚内外和东 300 m 处,大棚内土壤汞浓度在垃圾焚烧厂运行前后并没有明显变化,而 S7 和 S8 处的土壤汞浓度随时间稍有升高趋势,但并不十分明显.

垃圾在焚烧过程中,垃圾中大部分的汞由烟气释放到大气中,而大气汞的迁移和沉降等行为受气

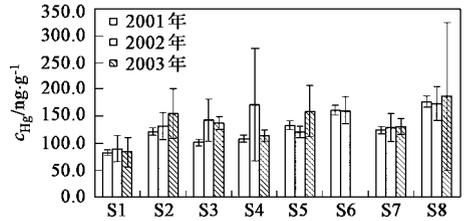


图 2 3 年来土壤汞浓度变化情况

Fig.2 Changes of mercury in soils from 2001 to 2003

象因素影响很大,风向为其中最重要的因素之一.由于上海多为偏东风,因此可以预计处于下风口的地方受垃圾焚烧影响较大,上述研究结果则基本符合这一推测.

2.2 当地产农作物中汞浓度调查

垃圾焚烧厂周围多为农田,其上主要种植一些蔬菜和粮食作物.在垃圾焚烧场运行 1a 和 2a 后,分别采集了银丝菜、小青菜等一些蔬菜样品和黄豆和高粱 2 种粮食作物样品,研究了这些农作物中的汞浓度,并对两年的情况作一对比.

2.2.1 蔬菜中汞的分布

图 3 为蔬菜的结果,除米苣的根汞最高外,汞在

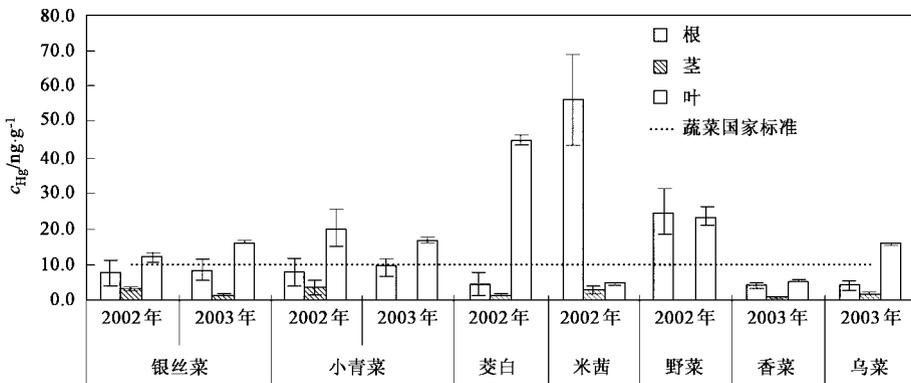


图 3 蔬菜中汞的分布情况

Fig.3 Levels of mercury in vegetables

各种蔬菜中的分布特征是叶汞浓度最高.

2.2.2 粮食中汞的分布

图 4 为大豆和高粱中汞的浓度情况.总体而言,大豆比高粱对汞具有更好的吸收和富集能力,在同一环境下生长的两者的浓度比值为 1.5 左右.尽管 2 年的结果均未超过国家相关标准,但对不同年份的数据则表明,无论大豆还是高粱,2003 年的数据均高于 2002 年,垃圾焚烧厂运行 2 年时的大豆和高粱的汞浓度比运行一年时的分别提高了 2.3 和 2.7 倍.

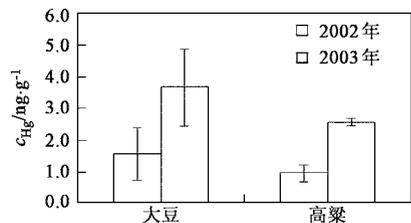


图 4 粮食中的汞浓度

Fig.4 Content of mercury in soybeans and broomcorns

2.3 垃圾焚烧厂周边大气汞浓度调查

表 2 为大气中汞浓度分析结果. 垃圾焚烧厂上风口、厂区内以及下风口处大气汞浓度分别为 5.1、5.0 和 10.6 ng/m³. 表明上风口和厂区内的数值基本处于同一水平上, 而下风口处空气中汞浓度显著高于前者. 初步证实垃圾中的汞通过焚烧烟气的排放, 和向四周大气中扩散的事实.

表 2 周边大气中的汞浓度结果/ng·m⁻³

Table 2 Result of atmospheric mercury around of WSI/ng·m⁻³

样品	上风口 300 m	厂区内	下风口 300 m
样品 1	5.2	4.9	11.2
样品 2	5.0	5.2	9.7
平均	5.1	5.0	10.5

综上, 无论土壤还是植物的结果均初步表明了垃圾焚烧厂使周边环境汞浓度有上升趋势, 上升的原因应该是通过垃圾焚烧燃烧时的烟气排放所致, 随烟气进入大气环境中的汞又可通过大气的干湿沉降模式迁移到土壤之中, 进一步参与汞的界面迁移和地球化学循环. 为进一步了解垃圾焚烧对环境的汞影响, 有必要继续跟踪研究, 并建立年度数据档案, 以便为垃圾焚烧的技术评价和污染控制提供科学依据.

3 结论

(1) 垃圾焚烧厂周边环境的土壤背景值偏高, 平均为 125.9 ng/g; 运行 1a 后和 2a 后的平均值分别为 139.9 ng/g 和 137.7 ng/g. 处于下风口的西面、西北面和西南面受影响较大, 而焚烧厂内和位于上风口的几个地点则受影响不明显.

(2) 对当处生长的蔬菜调查结果表明, 大部分蔬菜叶子的汞含量超过国家卫生标准 (GB2762-94), 2003 年采取的银丝菜和小青菜的根汞浓度较 2002 年的结果有所上升. 当处生长的大豆和高粱 (果实) 中汞浓度尽管没有超过国家标准, 但 2003 年的结果明显高于 2002 年, 两者的 2003 年的结果分别是 2002 年的 2.3 和 2.7 倍.

(3) 垃圾焚烧厂上风口和厂区内的数值基本处于同一水平上, 而下风口处空气中汞浓度则显著上升, 3 个地点的监测结果分别为 5.1 ng/m³、5.0

ng/m³ 和 10.6 ng/m³.

参考文献:

- [1] 王伟, 袁光钰. 我国的固体废弃物处理处置的现状与发展 [J]. 环境科学, 1997, 18(2): 87~90.
- [2] 郑明辉, 张兵. 台湾城市垃圾焚烧处理现状 [J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 24~26.
- [3] 张静. 浦东新区生活垃圾焚烧场工程实例 [J]. 上海环境科学, 2000, 19(1): 37~39.
- [4] 葛俊, 徐旭, 等. 垃圾焚烧重金属污染物的控制现状 [J]. 环境科学研究, 2001, 14(3): 62~64.
- [5] Li, Chur The, Zhuang, Huan Kai. PAH emission from the incineration of three plastic wastes [J]. Environment International, 2001, 27(1): 61~67.
- [6] Dyke Patrick H, Foan Colin, Fiedler Heidelore. PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK [J]. Chemosphere, 2003, 50(4): 469~480.
- [7] Kari Tuppurainen, Ismo Halonen, et al. Formation of PCDD/Fs in Municipal Waste Incineration and its inhibition mechanisms: A review [J]. Chemosphere, 1998, 36(7): 1493~1511.
- [8] 张金成, 姚强, 等. 垃圾焚烧二次污染物的形成与控制技术 [J]. 环境保护, 2001, (5): 17~18.
- [9] 陆胜勇, 池涌, 等. 垃圾焚烧中重金属污染物的迁移和分布规律. 热力发电, 2003, (3): 24~28.
- [10] USEPA. "Mercury Study Report to Congress", 1997, Vol (11): An Inventory of Anthropogenic mercury emission in the US.
- [11] Remann DO. Mercury output from garbage incineration [J]. Waste Management & Research, 1986, 4(1): 45~56.
- [12] Lerner BJ. Mercury emission control in medical waster incineration [A]. In: 86th Air & Waste Management Association Annual Meeting and Exhibition [C]. Dever, CO, USA, 1993.
- [13] Van Velzen D, Langenkamp H, Herb G. Review: Mercury in waste incineration [J]. Waste Management & Research, 2002, 20(6): 556~568.
- [14] Paur H R, Williams Rolf. Reducing the mercury emissions from a sewage incineration plant [J]. CHEM ENG TECHNOL., 1998, 21(2): 161~165.
- [15] Dorland Dianne, Stepun Joseph J. Mercury behavior in a wastewater sludge incineration process [A]. In: 2nd International Symposium on Gas Transfer at Water surfaces [C], 1991, Minneapolis, MN, USA, 09/11-14/90.
- [16] 夏增禄, 穆从如, 李森照, 等. 我国若干土壤类型剖面中汞的自然含量及其分异的初步分析 [J]. 科学通报, 1984, 29(10): 620~622.
- [17] 曹慧, 杨浩, 赵其国. 长江三角洲地区土壤质量退化的类型、驱动力与对策 [J]. 中国人口、资源与环境, 2001, 11: 47~48.