

Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Forestry Lands of Application of Municipal Sludge Compost

Yujia Zhai, Li Feng, Boqiang Ma, Liqiu Zhang*

College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing, China
Email: kathy920@163.com

Received: Feb. 18th, 2014

Abstract

Application of municipal sludge compost in forestry land will not directly bring pollutants, such as heavy metals, into food chain, but it will change the content of heavy metals in soil. This paper studied potential environment risk of heavy metals in Ginkgo land and Plum blossom land after application of compost. The ecological risk index was used to evaluate the potential ecological risk of heavy metals in soil. The results showed that one year after fertilization, the Ginkgo and Plum lands had low ecological risk in general, where Cd and Hg were the main pollution factors. However the pollution of Hg in Ginkgo forest had reached high ecological risk. Moreover the ecological risk is higher when the application of compost amount is greater. Also, it can be found that soil background value is an important factor when applying sewage sludge compost in forest lands.

Keywords

Heavy Metals; Potential Ecological Risk; Municipal Sludge Compost; Forestry Land

施用城市污泥堆肥后林业土壤中重金属的潜在生态风险评价

翟羽佳, 封 莉, 马博强, 张立秋*

北京林业大学环境科学与工程学院, 北京, 中国
Email: kathy920@163.com

收稿日期: 2014年2月18日

*通讯作者。

摘要

在林业土壤施用城市污泥堆肥产品不会将重金属等污染物直接带入食物链，但是会改变土壤中重金属的含量，影响土壤环境。本文研究了施用城市污泥堆肥后梅花林与银杏林土壤中重金属含量的变化，并利用潜在生态风险评价法对其风险进行评价。评价结果表明：施肥一年后，梅花林和银杏林土壤的总体风险均属于低风险范围，Hg、Cd为风险的主要贡献者。从各重金属的风险分析，银杏林中Hg的污染已达到较高风险，且高施肥量的风险大于低施肥量。参比土壤背景值可以发现，在林地或园林绿地施用污泥堆肥时，需要考虑施肥场地土壤中重金属的背景值。

关键词

重金属；潜在生态风险评价；城市污泥堆肥；林业土壤

1. 引言

随着城市化的进程日益加剧，城市污水处理厂的数量也在大幅增加。截至2013年3月底，全国设市城市、县累计建成城镇污水处理厂3451座，城市污水处理设施的日处理能力已达 $1.45 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ ，这些污水处理设施产生的污泥中约有10%通过堆肥处理技术回用到土地[1]。

我国已经开展了大量关于城市污泥处理处置及利用的研究工作。其中，污泥堆肥的土地利用受到了广泛关注。污泥或经过堆肥后施用于林地土壤，可以改善土壤的理化性质与生物活性。但是，城市污泥林业利用也存在一定的风险。污泥堆肥后仍然存在重金属、有毒有机物等有害因子，会对环境造成一定的风险。由于重金属具有难迁移、易富集和危害大等特点成为限制污泥利用的主要因素[2]。

瑞典科学家Lars Hakanson基于沉积学理论创立的潜在生态危害指数法是目前重金属风险评价中应用非常广泛的方法之一。兰天水、林健等利用该法评价了龙岩市公路旁土壤中重金属的分布及其潜在生态危害，该路段土壤重金属以Cd、Pb污染为主，属于中等生态危害[3]。童祥英等选取百里杜鹃矿区附近的土壤为研究对象，利用潜在生态危害指数法评价矿区土壤生态风险，表明该矿区土壤已造成不同程度的生态危害[4]。也有部分学者将该方法用于评价污泥农用风险。孙敬勇等分析了广州7种城市污泥中Zn、Cu、Pb、Cr、Mn、Ni的含量，并对污泥农用过程中重金属的潜在生态风险进行了综合性评价[5]。张蓉等测定合肥市及周边蚌埠，阜阳，黄山，宿州等城市7个污水处理厂污泥、生物反应器活性污泥及污水中5种重金属Pb、Cr、Cu、Zn、Cd的含量，用潜在生态危害指数法对污泥中重金属的污染程度进行评价[6]。铁梅等将沈阳市城市污泥以不同质量比施于土壤，并采用潜在生态风险指数法对施肥土壤中重金属具有的生态风险性进行了评价，土壤中Pb呈现无污染和低生态风险；Cu和Zn呈现中度污染和低生态风险；Cd达到强度污染和重度生态风险，重金属潜在生态风险(RI)总体处于强度生态风险水平[7]。

本文采用潜在生态风险评价方法对施用城市污泥堆肥产品的梅花林、银杏林的8种重金属Cu、Zn、Pb、Cr、Ni、As、Hg以及Cd进行了生态风险评价。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

实验中所用的污泥来自于北京市某污泥处置厂，堆肥工艺为条垛式好氧堆肥，污泥堆肥含水率48.6%。堆肥产品中重金属含量见表1。可见，该堆肥产品中重金属的含量满足《城镇污水处理厂污泥处置林地

Table 1. Content of heavy metals in soil and compost mg/kg
表 1. 堆肥产品及土壤重金属的含量 mg/kg

| 样品来源 | Cu | Zn | Pb | Cr | Ni | As | Hg | Cd |
|-------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 堆肥 | 102.1 | 744.1 | 27.4 | 66.9 | 18.1 | 9.6 | 9.9 | 0.5 |
| 中国城市污泥均值* ¹ | 486 | 1450 | 131 | 185 | 77.5 | 16.1 | 2.84 | 2.97 |
| 北京市污泥均值* ² | 96 | 1075 | 39 | 78 | 33 | 13.6 | 10 | 1.6 |
| 银杏林背景值 | 18.2 | 88.3 | 21.4 | 24.6 | 16.7 | 5.9 | 1.4 | 0.2 |
| 梅花林背景值 | 10.2 | 73.9 | 10.9 | 23.8 | 15.4 | 2.0 | 0.1 | 0.3 |
| 土壤环境质量标准 二级[8] pH = 6.5 - 7.5 | 200 | 250 | 300 | 200 | 50 | 30 | 0.50 | 0.30 |
| 土壤环境质量标准 二级[8] pH > 7.5 | 200 | 300 | 350 | 250 | 60 | 25 | 1 | 0.6 |
| 城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质[9] < | 1500 | 3000 | 1000 | 1000 | 200 | 75 | 15 | 20 |
| 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿用泥质[10] < | 1500 | 4000 | 1000 | 1000 | 200 | 75 | 15 | 20 |

注: *¹数据来自文献(陈同斌等, 2003), 样本统计资料的年限为 1994~2001 年[11], *²数据来自文献(李琼等, 2009)[12]。

用泥质》和《城镇污水处理厂污泥处置园林绿地用泥质》的要求。与李琼[12]选用的北京市污泥性质相似, 具有 Hg 含量较高的特点。

2.2. 施肥场地及施肥方法介绍

在北京市鹫峰国家森林公园选取梅花林和银杏林两块试验样地作为施肥场地。

1) 银杏林场地介绍

银杏林场地为 700 m² 的平地, 场地内为长势均匀的银杏树(*Ginkgo biloba* Linn.), 约 300 棵, 树龄约为 10~20 年, 在林内划分 5 个 10 m × 10 m 的样方, 银杏林地土壤的 pH 为 7.25。重金属含量背景值见表 1。

2) 梅花林场地介绍

梅花林场地为面积约为 400 m² 的坡地, 宽 10 m, 坡降方向长 19 m, 坡度为 3%, 样地内种植 5 列树龄均一的梅花树, 沿坡降方向每列 4 棵。梅花林地土壤的 pH 为 7.51, 重金属含量的背景值见表 1。

3) 施肥时间与方法

为考察不同施肥量及施肥方式对污泥堆肥中的重金属在土壤中的积累和迁移的影响, 于 2011 年 4 月在银杏林场地和梅花林场地分别以沟施和环状施肥的方式施用污泥堆肥, 施肥量为 1.5、3、4.5 和 6 kg/m², 同时设置不施肥对照组。于施肥后一年后采集土壤样品并对其进行监测, 分析重金属含量。

2.3. 评价方法

1980 年瑞典科学家 Lars Hakanson 应用沉积学原理, 提出了土壤和沉积物潜在生态危害指数法(RI)评价方法[13]。

潜在生态危害综合指数 RI 值为:

$$RI = \sum EI_r^i = \sum T_r^i C_f^i = \sum T_r^i \cdot \frac{C_s^i}{C_n^i} \quad (1)$$

其中: C_f 为重金属 i 的污染系数, C_s 为表层土壤重金属 i 的环境暴露值, C_n 为重金属 i 的参比值, T_r 为重金属 i 的生物毒性响应系数, EI 为重金属 i 的潜在生态风险。

参比标准选用土壤环境质量的二级标准(见表 1), 以此来确定施肥之后对土壤造成的污染。根据徐争启的研究, 计算出的潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数[14]。

$$\text{Zn} = 1 < \text{Cr} = 2 < \text{Cu} = \text{Ni} = \text{Pb} = 5 < \text{As} = 10 < \text{Cd} = 30 < \text{Hg} = 40$$

在进行综合计算之后, 得到 EI 和 RI 值, 风险等级标准见表 2。

该法不但考虑了土壤重金属含量, 而且还将重金属的生态效应、环境效应及毒理学性质联系起来, 综合考虑了重金属的毒性在土壤沉积物中的迁移转化规律, 划分出潜在危害的程度, 体现出了生物有效性、相对贡献等特点, 是综合反应重金属对生态环境影响潜力的指标, 适合于大区域范围沉积物和土壤的评价比较。

2.4. 数据处理

分别采用 origin 及 excel 软件对数据进行处理和图表的绘制。

3. 结果

3.1. 银杏林土壤的重金属评价结果

施肥一年后, 监测土壤中重金属的含量, 并对该监测结果进行风险评价, 可以判断污泥堆肥施用于银杏林所造成的潜在生态风险, 结果见表 3 及图 1。

将污泥堆肥产品施用银杏林后, 不同施肥浓度的重金属(除 Hg 外)潜在生态风险都较低, 各施肥浓度差距不大, 没有明显的线性关系。但是, 重金属 Hg 的潜在生态风险值偏高, 施肥浓度越大, 其风险值越大。其他各重金属的风险值均为低风险, 各金属 EI 值得排序为: $\text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr}$ 。

3.2. 梅花林土壤的重金属评价结果

施肥一年后, 污泥堆肥中各重金属对梅花林所造成的潜在生态风险结果见表 4 及图 2。

Table 2. The relation between EI, RI and degree
表 2. 潜在生态危害系数和危害指数与污染程度关系

| | EI | RI |
|------|-----------|------------|
| 低 | ≤ 40 | ≤ 150 |
| 中等 | 40~80 | 150~300 |
| 较高风险 | 80~160 | 300~600 |
| 高风险 | 160~320 | 600~1200 |
| 非常高 | > 320 | > 1200 |

Table 3. The results of ginkgo forest potential ecological risk assessment
表 3. 银杏林的潜在生态风险评价结果

| | | E_i^r 评价范围 | | |
|--|-----|------------------------------|---------------------------|---|
| 施肥浓度 | RI | 可接受的风险 $80 < E_i^r \leq 160$ | 中等风险 $40 < E_i^r \leq 80$ | 低风险 $E_i^r \leq 40$ |
| RI 评 价范 围 低风险 (≤ 150) | 4.5 | 127.76 | Hg | $\text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr}$ |
| | 6 | 123.28 | Hg | $\text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr}$ |
| | 1.5 | 104.25 | | Hg $\text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr}$ |
| | 3 | 99.94 | | Hg $\text{Cd} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Cr}$ |

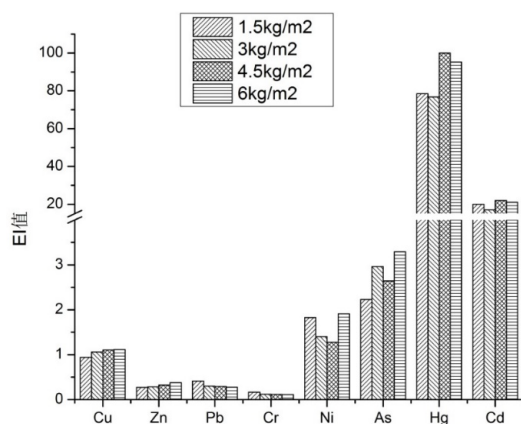


Figure 1. Histogram of Ginkgo forest potential risk of heavy metals

图 1. 银杏林重金属潜在生态风险柱状图

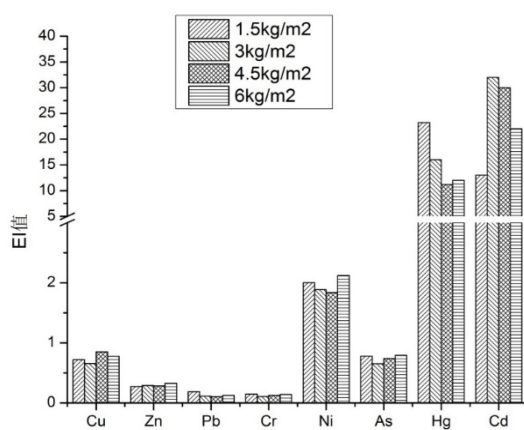


Figure 2. Histogram of Plum forest potential risk of heavy metals

图 2. 梅花林重金属潜在生态风险柱状图

Table 4. The results of plum forest potential ecological risk assessment

表 4. 梅花林的潜在生态风险评价

| | | | | E_i' 评价范围 |
|-------------|-----------------------|------|-------|---------------------------------------|
| | | 施肥浓度 | RI | 低风险 $E_i' \leq 40$ |
| RI 评价 范围 | 低风险 (≤ 150) | 3 | 51.7 | Cd > Hg > Ni > As > Cu > Zn > Cr > Pb |
| | | 4.5 | 45.14 | Cd > Hg > Ni > Cu > As > Zn > Cr > Pb |
| | | 1.5 | 40.31 | Hg > Cd > Ni > Cu > As > Zn > Pb > Cr |
| | | 6 | 38.28 | Cd > Hg > Ni > As > Cu > Zn > Pb > Cr |

将堆肥产品施用梅花林之后,不同施肥浓度的重金属潜在生态风险都较低,各施肥浓度差距不大,各重金属的风险值也均为低风险,各金属 EI 值的排序为: Cd > Hg > Ni > Cu > As > Zn > Cr > Pb。

4. 讨论

将城市污泥堆肥产品的重金属含量与《城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质》、《园林绿地用泥质》

进行对比, 该实验用泥完全符合使用标准, 可以施用于林地和园林。但是在实际研究过程中发现, 北京市城市污泥具有 Hg 含量偏高的特点, 将该污泥施用于梅花林, 不会造成潜在风险; 而对于背景值已经偏高的银杏林土壤来说, 施用该污泥会引发 Hg 的潜在生态风险, 且堆肥产品浓度越大, Hg 的潜在生态风险越明显。这与林兰稳[15]的研究结果相近, 堆肥产品中含量较高的重金属会成为施肥土壤的主要生态风险源。

5. 结论

1) 北京市城市污泥产品具有 Hg 含量较高的特点, 潜在生态风险评价结果表明, 相比于其他 7 种重金属, 施用堆肥产品后, 土壤中 Hg 的潜在生态风险较高。在将城市污泥堆肥产品林业利用过程中, 会造成一定程度的生态风险。

2) 施肥后土壤中的 RI 值会随着施肥量的增加而增大, 这种趋势在 RI 值越大的土壤中表现越明显。

3) 施肥场地的背景值也会影响施肥后土壤中重金属的潜在生态风险, 而且有可能成为生态风险的主要贡献者。

基金项目

环保公益性行业科研专项 No.201109041。

参考文献 (References)

- [1] 中投信德 (2013) 2012-2013 年中国污泥处理行业投资分析预测报告。
- [2] 霍霄妮, 李红, 孙丹峰, 等 (2009) 北京市农业土壤重金属状态评价. *农业环境科学学报*, **1**, 6-71.
- [3] 兰天水, 林健, 等 (2003) 公路旁土壤中重金属污染分布及潜在生态危害的研究. *海峡预防医学杂志*, **1**, 4-6.
- [4] 董祥英, 杨玉琼, 刘红 (2011) 百里杜鹃矿区附近土壤重金属潜在生态风险及环境容量研究. *安徽农业科学*, **4**, 2146-2148.
- [5] 刘敬勇, 孙水裕, 许燕滨, 等 (2009) 广州城市污泥中重金属的存在特征及其农用生态风险评价. *环境科学学报*, **12**, 2545-2556.
- [6] 张蓉 (2011) 合肥及周边城市污水污泥重金属含量和农用潜在生态风险评价. *安徽农业大学学报*, **2**, 280-285.
- [7] 铁梅, 宋琳琳, 惠秀娟, 等 (2013) 污泥与施污土壤重金属生物活性及生态风险评价. *土壤通报*, **1**, 215-221.
- [8] 国家环境保护部 (1995) GB 15618-1995, 土壤环境质量标准. 国家环境保护部, 北京.
- [9] 中国住房和城乡建设部 (2011) CJT 362-2011, 城镇污水处理厂污泥处置林地用泥质. 中国住房和城乡建设部, 北京.
- [10] (2009) GB/T 23486-2009, 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质. 中国标准出版社, 北京.
- [11] 陈同斌, 黄齐飞, 高定, 等 (2003) 中国城市污泥的重金属含量及其变化趋势. *环境科学学报*, **5**, 561-569.
- [12] 李琼, 徐兴华, 左余宝, 等 (2009) 污泥农用对痕量元素在小麦 - 玉米轮作体系中的积累及转运的影响. *农业环境科学学报*, **10**, 2042-2049.
- [13] Hakanson, L. (1979) An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, **14**, 975-1001.
- [14] 徐争启, 倪师军, 庾先国, 张成江 (2008) 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算. *环境科学与技术*, **31**, 112-115.
- [15] 林兰稳, 钟继洪, 张国林, 等 (2006) 广州市污水污泥堆肥在环境绿化中的应用. *生态环境*, **5**, 974-978.