

扬州市职业大学

毕业设计说明书

题目：廖家沟饮用水源地土壤重金属污染调查与评价

学 院： 生物与化工工程学院

专 业： 应用化工技术

班 级： 化工 1301

学生姓名： 杨如梦

学 号： 130702138

指导教师： 马武生

张瑜蓉（企业）

完成时间： 2016 年 5 月

摘要

为获取集中式饮用水源地土壤中重金属元素的含量及分布,分析了廖家沟水源地土壤中 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni、Co、Hg、As 和 Se 的含量,采用单因子指数法、尼梅罗综合指数法对水源地土壤中重金属污染水平进行了评价。结果表明:土壤中 Cd 超过二级标准的样品数最多,超标率为 47% (平均含量 $0.273 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 其次是 Zn (平均超标率 38%)、Pb (平均超标率 22%) 和 Cu (平均超标率 16%), 而 Cr 和 Ni 超标率为 6% 左右。土壤中 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Se 平均含量均超过环境背景值,存在污染的表层积累。Ni、Co 和 As 平均含量与环境背景值相当,但由于变异系数较大,故均有点位超过环境背景值。分别选用 GB 15618-1995 一级标准、二级标准和江苏省土壤背景值为评价参照值,结果显示,廖家沟水源地处于轻微-中等程度的污染水平,其中 Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 已接近或已处于预警水平。采用潜在生态危害指数法进行重金属潜在生态风险评价。结果表明:各重金属元素的潜在生态危害系数 E_p^i 平均值大小顺序为 $\text{Cd}(40.95) > \text{Hg}(36.53) > \text{Cu}(12.07) > \text{As}(10.38) > \text{Pd}(8.86) > \text{Co}(5.13) > \text{Ni}(4.90) > \text{Cr}(3.45) > \text{Zn}(2.28)$, 各重金属 E_p^i 的平均值都小于 50 处于轻微生态危险, RI 最小值处于轻微生态危害,而最高值达到中等生态危害,从总体来看,研究区土壤生态危害级别为轻微生态危害。本研究为该地区饮用水水源地的风险管理与环境保护提供科学依据。

关键词: 重金属; 集中式饮用水源地; 污染评价; 土壤

Abstract

In order to obtain the concentrations and distribution of heavy metal elements in soil of Liaojiagou water source, such as Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Co, Hg, As and Se were measured. The degree of heavy metals concentrations was assessed based on single factor indices and Nemeru comprehensive indices methods. The results showed that the proportion of soils samples exceeding the Grade II of environmental quality standard for soil of Cd was the largest in all the elements. The over standard rates of Cd were 47% ($0.273 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in three water sources, respectively, followed by Zn (38%), Pb (22%) and Cu (16%). And the proportion of soils samples exceeding the Grade II of Cr and Ni were about 6%. The average contents of Pb, Cr, Cd, Cu, Zn and Se were higher than the background values and exist the surface accumulation of contamination in three water sources. The average contents of Ni, Co and As is approximately equal to the environmental background and presence of sampling points over the environmental background values because the coefficient of variation is larger. In this study, the pollution situation of heavy metals in three water sources was evaluated against references of the Grade I and II of environmental quality standard for soil national standard limits and background values of Jiangsu province soil respectively. The result showed that Liaojiagou water sources exist heavy metal accumulation and reached minor - moderate pollution levels, in particular, Cd, Pb, Cr, Cu and Zn has been close to or has been at the level of early warning. Results showed that the order of the average values of the potential ecological risk coefficient E_r^i for the heavy metal element turned out to be the inequality lined as $\text{Cd} (40.95) > \text{Hg} 36.53 > \text{Cu} (12.07) > \text{As} (10.38) > \text{Pd} (886) > \text{Co} (5.13) > \text{Ni} (4.90) > \text{Cr} (3.45) > \text{Zn} (2.28)$, which revealed that the average value of E_r^i for each heavy metal was less than 50, implying the slight ecological risk. Also, while the minimum value of RI was of slight ecological risk, its maximum value was of averaged ecological risk. From an overall point of view, the ecological risk level of the soil in the focused area was of

slight ecological risk. These results would provide partly scientific databases for the risk management and environmental protection of this area of drinking water sources.

Key words: heavy metal; centralized drinking water source; pollution evaluation; soils

目 录

| | |
|-------------------------|----|
| 摘 要..... | I |
| Abstract..... | II |
| 绪 论..... | 1 |
| 1 材料和方法..... | 2 |
| 1.1 研究区域概况..... | 2 |
| 1.2 布点和样品采集..... | 2 |
| 1.3 实验器材..... | 2 |
| 1.4 样品处理与分析..... | 3 |
| 1.5 污染水平评价..... | 3 |
| 1.5.1 评价标准..... | 3 |
| 1.5.2 评价方法..... | 3 |
| 1.5.3 重金属潜在生态危害评价法..... | 4 |
| 2 结果与讨论..... | 6 |
| 2.1 重金属在土壤中的含量..... | 6 |
| 2.2 金属污染现状评价..... | 8 |
| 2.3 土壤潜在生态风险评价..... | 8 |
| 3 结 论..... | 9 |
| 参考文献..... | 10 |
| 致 谢..... | 11 |

绪 论

2015 年联合国千年发展目标会议上最大的主题是解决农村社区饮用水问题^[1]，可见保障饮用水安全，就是保障人们基本生存权，也是“以人为本”最直接的体现。然而随着我国经济的快速发展、工业化进程的加快和城市化水平的不断提高，产生的废气和废渣势必对周边环境产生影响，如重金属、多环芳烃污染物以干沉降或湿沉降的形式将对水体和土壤造成污染，这将对饮用水带来潜在安全问题^[13, 14]。我国政府已经印发了《关于落实科学发展观加强环境保护的决定》，明确提出，以饮水安全和重点流域治理为重点，加强水污染防治工作。目前，USEPA 共提出了 165 种污染物的水质评价基准，包括有机物（106 项）、农药（30 项）、金属（17 项）、无机物（7 项）、基本物理化学特性（4 项）和细菌（1 项）等。由于重金属具有持久性、可累积性和生态毒性等特点，可从土壤迁移到植物和水生态系统中，并且进一步通过饮用水和食物链的传递和富集危害到人类健康^[15]。因此，加强饮用水源地周边土壤重金属的分析和监控十分必要，具有重要的环境指示意义。

随着经济的不断发展，江苏省扬州市的工业发展迅速，如化工、旅游、食品、养殖等行业发达。扬州作为经济社会快速发展的地区之一，河流、湖库等地表水源土壤存在环境污染和生态系统破坏的威胁，且作为南水北调东线源头，水源地土壤的生态安全对社会经济的可持续发展具有重大意义。鉴于此，该市 2008 年印发《扬州市城市饮用水水源地安全保障规划》（扬府办发[2008]47 号），为改善城市饮用水源地水环境质量和保障饮用水安全提供了依据，2016 年初该市 8 个饮用水源地通过江苏省验收，并可互为备用。因此，本研究选择了该市具有代表性的廖家沟大型集中式饮用水源地土壤中重金属的分布开展了专门研究，主要目的有：

（1）从饮用水源地土壤样品中检验出土壤中不同重金属元素的含量及分布现状；

（2）重金属污染水平评价。以《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）中一级标准限值和江苏省土壤背景值作为调查元素的环境背景值，采用单项污染指数法和尼梅罗综合污染指数法对重金属污染状况进行评价，为该地区饮用水源地的风险管理与保护提供科学依据。

（3）重金属潜在生态风险评价。以环境背景值（以《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）中一级标准限值为主要参考依据，江苏省土壤背景值为辅）为参比值。对各点采用潜在生态危害指数进行评价。

1 材料和方法

1.1 研究区域概况

选取江苏扬州地区廖家沟大型集中式地表水饮用水源地土壤作为研究对象。廖家沟水源地一级保护区位于城镇区，居民点用地所占比重大，耕地相对较低，草地、林地和未利用土地很少。基本信息如表 1 所示。

表 1 扬州地区廖家沟饮用水水源地基本信息

| 水源地名称 | 供水水源 | 涵盖水厂 | 年供水量/万 t/a | 供水人口/万人 |
|------------|--------|---------|------------|---------|
| 入江水道廖家沟水源地 | 淮河入江水道 | 第一、第三水厂 | 5332 | 45.0 |

1.2 布点和样品采集

选取水源地一级保护区陆域作为采样范围，采样区域内无违章建筑、无排污口、无规模化畜禽养殖。按照棋盘式布点法进行布点，每个区域设置 30 个以上采样点（如图 1），采集 0~20cm 表层土壤作为样本。各样点采集平行 3 份样品，按照采样原则采取土壤样品，并做好标志。将采回来的样品，均匀混合后，用四分法处理并制得 1~2kg 混合样。放在木盘或者塑料布上，摊成薄薄的一层，置于室内通风阴干，并经常翻动，切忌阳光暴晒。在土样半干时，必将大块捏碎（尤其是粘性土壤），以免完全干后结成硬块，难以磨细。混合样品风干后，应去除动植物残体（如根、茎、叶、虫体），石块，以及石灰、铁、锰等的结核。



图 1 水源地土壤调查采样点分布示意

1.3 实验器材

精密酸度计：雷磁 PHSJ-4F 型，上海仪电科学仪器股份有限公司；重金属消解仪：SH230N 型，济南海能仪器股份有限公司；电子分析天平：PL-S 型，瑞士梅特勒-托利多国际股份有限公司；原子荧光光度计：AFS-933 型，北京吉天仪器有限公司；原子吸收分光光度计，TAS-990 型，北京普析通用仪器有限责

任公司。

1.4 样品处理与分析

土壤 pH 及重金属元素测定与分析方法:

(1) 土壤 pH。称取通过 1mm 孔径筛的风干土壤 20.0g, 然后放于 50mL 高型烧杯中, 加 20mL 去除 CO₂ 水, 以搅拌器搅拌 2min, 使土粒充分分散, 放置 30min 后进行测定。将电极插入待测溶液中(注意玻璃电极球泡下部位位于土液界面处)。静置 10min, 将读数开关打开, 待读数稳定时记下 pH。将读数开关关闭, 将电极从待测溶液中取出, 用蒸馏水洗涤, 然后使用滤纸条将电极上的水分吸干后, 即可进行第二个样品的测定。每测 3~4 个样品后, 需用标准缓冲溶液进行检查定位。用酸度计测定 pH 时, 直接读取 pH。结果保留一位小数, 并标明浸提液 pH。本方法规定水土比为 2.5:1。

(2) 土壤 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn、Ni 和 Co 全量分析。仪消解, 采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解体系, 程序升温至冒浓厚白烟, 并蒸发至内容物呈粘稠状^[4, 5]。Cu、Zn 采用 DTPA 浸提—原子吸收分光光度法, 用 pH 7.3 的 DTPA-CaCl₂ 缓冲溶液作为浸提剂, 螯合浸提出土壤中有效态 Cu、Zn, 用原子吸收分光光度法测定。Cd 和 Pb 采用石墨炉原子吸收分光光度法测定。Cr、Ni 和 Co 采用火焰型测定。

(3) 土壤 Hg 和 As 全量分析。

实验过程: 土壤中各种形态砷的化合物, 经硝酸—高氯酸消解后, 转变成砷酸或砷酸盐, As⁵⁺在 KMnO₄ 溶液中经过 KI 与 SnCl₂ 溶液还原为 As³⁺, 再与 H₂ 生成 AsH₃ 气体, 通过乙酸铅棉花消除多余的 H₂S, 最终的产物为一种红色络合物。颜色深度与三价砷离子成正比, 比色测定。

(4) 土壤 Se 全量分析。土壤样品用含钼酸盐的硫酸—高氯酸消化, 使四价以下的无机或有机硒化合物转化为 Se⁴⁺, 以盐酸将 Se⁶⁺还原 Se⁴⁺。在酸性条件下, Se⁴⁺与 2,3—二氨基萘作用, 用环己烷萃取, 在波长 376nm 紫外光照射下, 产生强荧光, 荧光波长为 520nm, 其强度与 Se⁴⁺浓度成正比。重金属离子及大量氧化物对本法测定有干扰, 可用 EDTA 及盐酸羟胺消除。

(5) 质量控制。测定全过程按照质量控制要求操作, 制备全过程空白溶液, 同步测定标准物质或加标回收, 测定误差范围≤2%。实验药剂均与标准方法一致, 未标注试剂类型均选择优级纯, 实验用水为 MiliQ 纯水。

1.5 污染水平评价

1.5.1 评价标准

鉴于《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 中一级标准值是依据全国 4095 个样点的统计资料所制定, 故该标准中的一级限值可作为当地土壤环境背景值参考依据之一。该标准中的二级标准值为土壤受到污染的警示值, 故此将标准中二级标准值作为是否受到污染的评价依据。对于 GB 15618-1995 中没有的评价标准则执行《全国土壤污染状况评价技术规定》(环发[2008]39 号) 中规定限值。另外还选取江苏省土壤背景值调查数据作为参考^[6]。

1.5.2 评价方法

本次研究采用单项污染指数法和尼梅罗综合污染指数法对廖家沟饮用水水源地土壤中重金属污染状况进行评价。

单项污染指数法计算公式为： $P_i=C_i/S_i$

式中： S_i 为污染物*i*的评价标准值或参考值； P_i 为污染物的单项污染指数； C_i 为调查点位土壤中污染物的实测浓度值。

尼梅罗综合污染指数（ P_N ）计算公式为：
$$P_N = \sqrt{\frac{(C_i/S_i)_{ave}^2 + (C_i/S_i)_{max}^2}{2}}$$

式中： $(C_i/S_i)_{ave}$ 为污染物各单向污染指数的平均值， $(C_i/S_i)_{max}$ 为污染物中单向污染指数的最大值。 P_N 不仅考虑了各种污染物的平均污染水平，同时兼顾污染物中最严重污染所造成的危害。

尼梅罗综合污染指数法所用分级标准如表 2 所示。

表 2 土壤综合污染指数分级标准

| 分级 | 综合污染指数(P_N) | 污染等级 | 污染水平 |
|-----|------------------------|------|-----------|
| I | $P_{综} \leq 0.7$ | 安全 | 清洁 |
| II | $0.7 < P_{综} \leq 1.0$ | 警戒线 | 尚清洁 |
| III | $1.0 < P_{综} \leq 2.0$ | 轻污染 | 土壤已受到污染 |
| IV | $2.0 < P_{综} \leq 3.0$ | 中污染 | 土壤已受到中度污染 |
| V | $P_{综} > 3.0$ | 重污染 | 土壤已受到严重污染 |

1.5.3 重金属潜在生态危害评价法

潜在生态危害指数法是应用沉积学原理，从而评价重金属污染及生态危害的方法。潜在生态风险指数可以定量评价单一元素的风险等级。潜在生态危害指数法的计算公式为^[9-10]：

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i, \quad C_f^i = \frac{C_n^i}{C_0^i}$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot C_f^i = \sum_{i=1}^n T_r^i \cdot \frac{C_n^i}{C_0^i}$$

式中： E_r^i 为重金属潜在生态危险系数、 T_r^i 为单一重金属的毒性系数，具体为 $Zn=1 < Cr=2 < Cu=Ni=Pb=Co=5 < Cd=30 < Hg=40$ ^[11]。 C_f^i 为单一金属污染系数、 C_n^i 为样品实验浓度、 C_0^i 为土壤背景参考值、RI 为潜在生态危险指数。潜在生态危险指数与污染程度的关系如表 3 所示。

表 3 潜在生态危害指数评价标准

| E_r^i | 单一重金属的生态风险程度 | RI | 生态风险程度 |
|------------|--------------|------------|--------|
| <40 | 轻微 | <150 | 轻微 |
| 40-80 | 中等 | 150-300 | 中等 |
| 80-160 | 较高 | 300-600 | 较高 |
| 160-320 | 高 | ≥ 600 | 高 |
| ≥ 320 | 极高 | | |

2 结果与讨论

2.1 重金属在土壤中的含量

由表 4 可以看出，廖家沟水源地最小变异系数为 13.0% (Cr)，最大变异系数为 45.9% (Se)，说明土壤中重金属含量受外界干扰显著。

以《土壤环境质量标准》中一级标准为主要参考依据，江苏省土壤背景值为辅)对比可知，除 Hg 外，其他 8 种重金属即：Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 元素平均含量均超过了其环境背景值（环境背景值的 1.4~2.4 倍），廖家沟水源地 As 的变异系数 25.8%（浓度范围为 9.1~27.2 mg·kg⁻¹），故此 Ni、Co 和 As 均有采样点位超过环境背景值；Se 是煤中除 S、N、F、Cl、Br、Hg 外极易挥发的微量元素，是煤中潜在的有毒微量元素之一，也是燃煤污染排放的标识元素。在对样品 Se 检测结果可知，水源地土壤 Se 平均含量均超过环境背景值，区域存在 Se 污染的表层积累。

表 4 水源地土壤中重金属与硒的含量（单位：mg·kg⁻¹）

| 元素 | 廖家沟饮用水水源地(n=32) | | | 环境背景值 | |
|----|-----------------|------|-------|-------|---------|
| | 含量范围 | CV% | 平均值 | 一级标准 | 文献[12]* |
| Cd | 0.16~0.40 | 29.6 | 0.27 | 0.2 | 0.13 |
| Pb | 44.3~102.0 | 29.8 | 62.7 | 35.0 | 26.2 |
| Cr | 134.2~198.6 | 13.0 | 155.3 | 90.0 | 77.8 |
| Cu | 72.3~120.9 | 18.6 | 84.6 | 35.0 | 22.3 |
| Zn | 167.0~382.5 | 30.8 | 243.5 | 100.0 | 62.6 |
| Ni | 32.0~51.8 | 15.0 | 36.7 | 40.0 | 26.7 |
| Co | 9.6~19.7 | 23.2 | 10.1 | - | 12.6 |
| Hg | 0.086~0.188 | 24.2 | 0.135 | 0.15 | 0.29 |
| As | 12.3~28.9 | 25.8 | 13.0 | 15.0 | 10.0 |
| Se | 0.55~1.75 | 45.9 | 0.99 | - | 0.22 |

*注：选用 A 层土壤数据。

由图 2 我们可以看出污染样品中 Pb、Cr、Cu、Zn、Ni、Co、As 的含量较高，Cd、Hg、Se 的含量较低，但由于它们毒性系数大，因此潜在环境危害较大，其发展趋势也应引起关注。

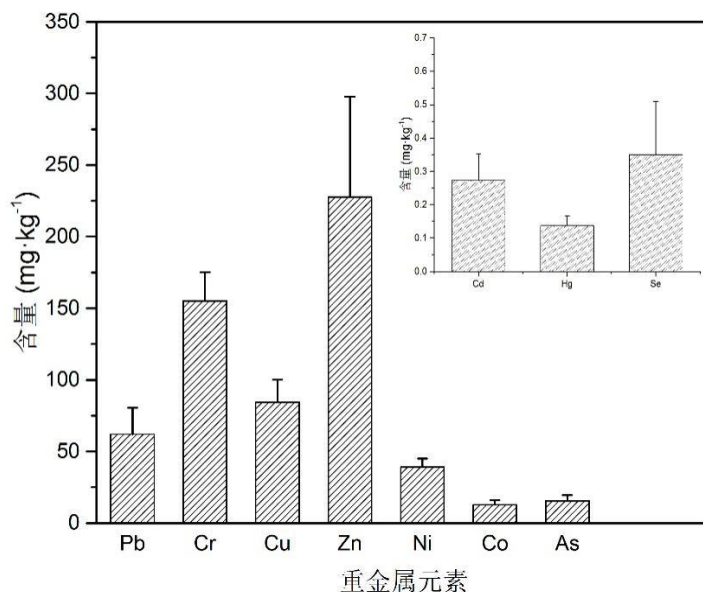


图 2 污染样品中重金属的含量

结合相应各采样点位样品的 pH 值，将金属含量与《土壤环境质量标准》中一级标准和二级标准限值进行比对，获得各金属含量在区间的占比。如图 3 所示。由图可知，廖家沟水源地 Cd 超标率为 47%（平均含量为 0.273 mg·kg⁻¹），其次是 Zn、Pb 和 Cu，平均超标率分别为 38%、22%和 16%，而 Cr 和 Ni 超过二级标准的样品数比例为 6%左右。Co、As、Hg 和 Se 含量均未超二级标准，水源地土壤中的 Co 和 As 相当比例尚未超过环境本底值，这可能与该区域土壤的形成年代有关。

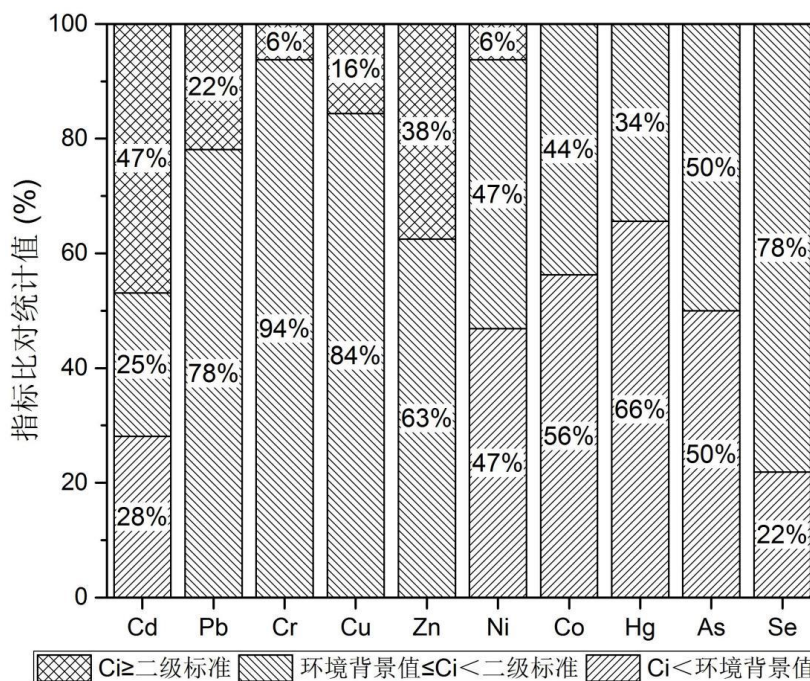


图 3 水源地采样点位样品金属含量与环境背景值和二级标准对比比例

2.2 金属污染现状评价

根据单项污染指数和尼梅罗综合污染指数的计算方法，分别选取《土壤环境质量标准》一级标准、二级标准和江苏省土壤背景值作为评价参照值，计算结果见表 5。结果表明，按照一级标准作为评价参照值，水源地土壤中 Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 的单因子污染指数范围位于 1.4~2.4 之间，说明水源地土壤重金属表现为富集现象，尤其是 Pd、Cu 和 Zn，属于中等程度污染-重污染。水源地土壤中 Ni、Co、Hg、As 单因子污染指数处于 1.0~1.2 范围之内，属于非污染-轻污染状态。虽然 Hg 和 As 处于污染较轻，但由于它们毒性系数大，因此潜在环境危害较大，其发展趋势也应引起关注。廖家沟水源地土壤 P_N 位于 2 左右，进一步说明土壤已受到轻微污染或中等程度污染。若取江苏省土壤背景值作为参照，则廖家沟水源地 P_N 位于 3 左右，说明土壤已受到较严重污染。若取二级标准作为评价参照值，则廖家沟水源地尚处于清洁状态。

总的来说，廖家沟水源地土壤存在一定程度的重金属累积情况，处于轻度-中等程度的污染水平，尤其是 Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn，已接近或已处于预警水平。

表 5 水源地土壤中重金属污染指数

| 水源地 | 评价参照值 | 单因子污染指数 (P_i) | | | | | | | | | | P_N |
|------------|--------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | Cd | Pb | Cr | Cu | Zn | Ni | Co | Hg | As | | |
| 入江水道廖家沟水源地 | GB 15618-1995 一级标准 | 1.4 | 1.8 | 1.7 | 2.4 | 2.3 | 1.0 | - | 0.9 | 1.0 | 2.0 | |
| | 江苏省土壤背景值 | 2.1 | 2.4 | 2.0 | 3.8 | 3.6 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 1.6 | 3.0 | |
| | GB 15618-1995 二级标准 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | |

2.3 土壤潜在生态风险评价

以环境背景值（以《土壤环境质量标准》中一级标准为主要参考依据，从表 6 可以看出，各重金属元素的 E_r^i 平均值大小顺序为 Cd(40.95) > Hg(36.53) > Cu (12.07) > As(10.38) > Pd (8.86) > Co (5.13) > Ni (4.90) > Cr (3.45) > Zn (2.28)，各重金属 E_r^i 的平均值都小于 50 处于轻微生态危险，其中 Cd 和 Hg 的最大值已经达到中等危害。RI 最小值处于轻微生态危害，而最高值已达到中等生态危害，从总体来看，研究区土壤生态危害级别为轻微生态危害。

表 6 水源地土壤中重金属元素潜在生态污染系数

| 系数 | Cd | Pd | Cr | Cu | Zn | Ni | Co | Hg | As | RI |
|-------------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|
| E_r^i 最小值 | 24.00 | 5.71 | 2.70 | 8.66 | 1.30 | 3.80 | 3.53 | 22.13 | 6.80 | 78.63 |
| E_r^i 最大值 | 61.50 | 13.14 | 4.46 | 17.49 | 3.83 | 6.26 | 7.94 | 50.40 | 18.00 | 183.02 |
| E_r^i 平均值 | 40.95 | 8.86 | 3.45 | 12.07 | 2.28 | 4.90 | 5.13 | 36.53 | 10.38 | 124.45 |

危害程度 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微 轻微

3 结论

(1) 廖家沟饮用水源地土壤中重金属含量分布较为分散，受外界干扰比较显著。水源地土壤中 Cd、Pb、Cr、Cu、Zn 和 Se 平均含量均超过环境背景值，存在污染的表层积累。Ni、Co 和 As 均有点位超过环境背景值。

(2) 采用一级标准做评价参照值，廖家沟饮用水源地已受到污染或中等程度污染，若取二级标准作参照，则廖家沟水源地尚处于清洁状态。其中 Cd、Pb、Cr、Cu 和 Zn 已接近或已处于预警水平。

(3) 采用潜在生态危害指数得出各重金属 E_i^p 的平均值都小于 50 处于轻微生态危险。但是 Cd 和 Hg 的最大值已经达到中等危害，需要加强防治。从总体来看（根据 RI 平均值），该研究区土壤生态危害级别为轻微生态危害。

参考文献

- [1] 王璐. 千年发展目标的回顾与展望[J]. 中国卫生政策研究, 2015, 8 (10): 40-40.
- [2] 刘洪莲, 李艳慧, 李恋卿, 等. 太湖地区某地农田土壤及农产品中重金属污染及风险评价[J]. 安全与环境学报, 2006, 6 (5): 60-63.
- [3] 徐文东, 曾荣树, 叶大年, 等. 电厂煤燃烧后元素硒的分布及对环境的贡献[J]. 环境科学, 2005, 26 (02): 64-68.
- [4] Rice, E., Bridgewater, L. Association APH: Standard methods for the examination of water and wastewater[J]. American Public Health Association, 2012.
- [5] 中国环境监测总站, 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室. 环境监测方法标准实用手册(第3册):土壤、固体废物和生物监测方法(第1版)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [6] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [7] Xiaoping, L. I., Wang, X. Contamination assessment and distributions of heavy metals from Weinan typical industrial urban soil,P.R.China[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2010, 24 (10): 100-104.
- [8] 谢小进, 康建成, 李卫江, 等. 上海宝山区农用土壤重金属分布与来源分析[J]. 环境科学, 2010, 31 (3): 768-774.
- [9] 宁小波, 项文化, 方晰, 等. 贵阳花溪区石灰土林地土壤重金属含量特征及其污染评价[J].生态学报, 2009, 29 (4): 2169-2177.
- [10] 邵学新, 黄标, 赵永存, 等. 长江三角湖典型地区土壤中重金属的污染评价[J]. 环境化学, 2008, 27 (2): 218-221.
- [11] 徐争启, 倪师军, 张成江, 等. 潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. 环境科学与技术, 2008, 31 (2): 112-115.
- [12] 中国环境监测总站, 国家环境保护环境监测质量控制重点实验室. 环境监测方法标准实用手册(第3册):土壤、固体废物和生物监测方法(第1版)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [13] Sharma, R. K., Agrawal, M., Marshall, F. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2007, 66 (2): 258-266.
- [14] Li, X., Lee, S.-l., Wong, S.-c., et al. The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach[J]. Environmental Pollution, 2004, 129 (1): 113-124.
- [15] McLaughlin, M. J., Parker, D., Clarke, J. Metals and micronutrients—food safety issues[J]. Field crops research, 1999, 60 (1): 143-163.

致谢

在本次研究中，由于自身理论知识和动手操作能力都有所欠缺，我在本次研究中经常会遇到很多问题。在此，我非常感谢马武生老师，每次在我有困难的时候都会耐心的给我讲解，每次聆听与思考的过程中都使我受益匪浅，马老师的谆谆教诲也一直在我耳边萦绕。在此过程中最让我感动的是每每遇到问题马老师都是面带微笑的为我解决各种困难。马老师，真的辛苦您了。同时也感谢张瑜蓉老师对我的指导，与她交谈中让我明白许多专业知识。同样也非常感谢同学们对我的帮助，才能使本次研究能够在计划的时间内完成任务。“纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行”本次研究也使我受益匪浅，在以后的学习中我会更加知难而进，勇往直前。