

污水处理厂污泥中重金属污染及生态风险研究

王娜^{1,2,3,4}, 何俐蓉^{1,2,3,4}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年1月8日; 录用日期: 2022年2月10日; 发布日期: 2022年2月17日

摘要

以忻州某污水处理厂为例, 采用ICP-MS分析了污泥中重金属Cd、Hg、Pb、Cr、As、Ni、Zn及Cu的含量, 利用单因子污染指数法分析了其生态风险。结果表明: 各个采样点重金属均能检出, 其中各采样点重金属Cd、Cr均超标, Hg和Ni均未超标。单因子污染指数法表明重金属在各个采样点重金属Cd为重度污染, 其余重金属污染水平均在轻污染及以下水平。

关键词

污泥, 重金属, 生态风险

Study on Heavy Metal Pollution and Ecological Risk in Sewage Treatment Plant Sludge

Na Wang^{1,2,3,4}, Lirong He^{1,2,3,4}

¹Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group, Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources of China, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Received: Jan. 8th, 2022; accepted: Feb. 10th, 2022; published: Feb. 17th, 2022

Abstract

Taking a sewage treatment plant in Xinzhou as an example, the contents of heavy metals Cd, Hg, Pb, Cr, as, Ni, Zn and Cu in sludge were analyzed by ICP MS, and its ecological risk was analyzed by single factor pollution index method. The results show that heavy metals can be detected at all sampling points, in which the heavy metals Cd and Cr exceed the standard, and Hg and Ni do not exceed the standard. The single factor pollution index method shows that the heavy metal Cd in each sampling point is seriously polluted, and the pollution levels of other heavy metals are at the level of light pollution and below.

Keywords

Sludge, Heavy Metals, Ecological Risk

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

污水处理厂在水处理过程中会产生大量的污泥, 这些污泥重金属含量高, 占地空间较大。据统计, 国内污水处理厂在运行过程中污泥产生率约为 $1.62 \text{ t DS}/104\text{m}^3$ [1], 污泥如此巨大的产生量已成为污水处理厂的顽疾。近年来, 国内污泥处置方式主要以填埋为主[2], 但是在填埋的过程中不仅占用了大量的土地, 污泥中的渗滤液将造成地下水污染、土壤污染等二次环境污染问题[3], 在安全隐患上也存在填埋稳定性等问题[4]。因此, 对污水处理厂污泥进行资源化利用迫在眉睫。有研究表明, 污泥中含有较高的有机质及植物生长所需的营养元素, 污泥经沤肥等处理之后可作为有机肥施用于农田[5] [6]。另一方面, 由于污水来源及处理工艺的不同, 污泥中的有害成分及含量也会发生一定量的变化, 使得污泥在土地利用过程中存在一定的风险, 特别是污泥中的重金属对土壤环境的危害。

方宇媛等[7]以池州市某城镇污水处理厂为例研究污泥中重金属风险, 研究表明, 该污泥中重金属总潜在生态风险水平达到了中风险水平; 林敏等[8]分析了杭州 6 座污水处理厂污泥重金属情况, 结果显示, 类金属 As 与重金属 Cd 的可利用程度高达 80%, 并提出了污泥资源化利用的相关措施; 李金辉等研究了六盘水某污水处理厂污泥农用价值与所含重金属的健康风险评价, 研究表明污泥中的 Hg 为非致癌风险的主要影响元素, Cd 为致癌风险的主要影响元素。以上分析表明, 不同污水处理厂污泥中重金属存在较大的差异。因此, 研究污水处理厂污泥中重金属特征及风险分析对探讨污泥的最佳处置及综合利用提供数据支持和理论参考。

2. 材料与方法

2.1. 污泥来源

污泥样品采自忻州某污水处理厂 1 号水处理站沉淀池 1#池、1 号水处理站二级储水池、5 号水处理站加药泥块、先导水处理站 1#布水槽、先导水处理站成品泥 1#、先导水处理站成品泥 2#。每天取样 1 次, 每次取样 1 个污泥样品。

2.2. 样品预处理

将污泥置于 105℃烘箱中经过 6~8 h 干燥, 取干燥后的污泥样品进行研磨, 过 0.25 mm 筛, 在干燥器中保存待用。

2.3. 样品测定

称取 0.1 g 干燥样品置于聚四氟乙烯消解管中, 加入 5 mL 弄 HNO₃ 在石墨消解仪上加热消解 0.5 h, 然后加入 2.5 mL HClO₄ 继续消解, 温度控制在 130℃~150℃。2 h 后在加入 2.5 mL HF 加热至冒白烟, 待白烟冒尽, 在加入 2.5 mL HNO₃ 低温(80℃~90℃)加热至样品完全溶解, 继续加热数分钟。待溶液变清, 取下冷却, 冷却后将溶液转移至容量瓶, 用 5% 硝酸定容至 50 mL。取定容后经 0.45 μm 微孔滤膜过滤的清液进行测定。所有测定均为平行样(n = 3)的结果。

2.4. 数据分析方法

单因子指数法计算公式:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \quad (1)$$

式中, P_i 即第 i 种污染物的单因子指数; C_i 是第 i 种污染物实测浓度, mg/kg; C_{0i} 是第 i 种污染物的标准限值, mg/kg, 其取值详见表 1、表 2。为了确保污泥农用过程中的风险在可控范围内, 国家针对不同的污泥利用途径, 制定了相应的重金属含量控制标准。本研究选择 GB 4284-2018《农用污泥污染物控制标准》A 级标准作为评价基准限值。

Table 1. The value of C_{0i}

表 1. C_{0i} 取值

指标	Hg	Cd	As	Pb	Cr	Zn	Cu	Ni
C_{0i} (mg/kg)	3	3	30	300	500	1200	500	100

Table 2. The pollution degree corresponding to P_i

表 2. P_i 所对应的污染程度

序号	指数	指数范围				
1	P_i	$P_i \leq 0.7$	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$2.0 < P_i \leq 3.0$	≥ 3.0
	单个重金属污染等级	安全	警戒限	轻污染	中污染	重污染

3. 结果与分析

3.1. 污泥中重金属含量分析

检测了各沉淀池中重金属 Cd、Hg、Pb、Cr、As、Ni、Zn、Cu 的含量, 结果见表 3。结果表明, 这八种重金属元素含量差异较大。其中, 各个采样点除重金属 Hg、Ni 均未超标外(《农用地土壤污染风险筛选值》(GB15618-2018)), 其余重金属在部分采样点均超标。其中重金属 Cd 在 1#~6# 采样点超标倍数依次为 4.75、30.95、15.02、8.99、12.34、19.42; 重金属 Pb 在 2#、3#、5#、6# 采样点超标倍数依次为 2.78、1.40、1.29、1.64; 重金属 Cr 在 1#~6# 采样点的超标倍数依次为 1.77、1.40、2.75、3.31、1.27、2.53; 类金属 As 在 2#、3# 采样点的超标倍数依次为 1.34、1.32; 重金属 Zn 在 2# 采样点的超标倍数为 3.52; 重金

属 Cu 在 3# 采样点的超标倍数为 2.35。

Table 3. Heavy metal content (mg/kg)

表 3. 重金属含量(mg/kg)

监测指标	1 号水处理站沉淀池 1#池(1#)	1 号水处理站二级储水池(2#)	5 号水处理站加药泥块(3#)	先导水处理站 1# 布水槽(4#)	先导水处理站成品泥 1#(5#)	先导水处理站成品泥 2#(6#)
Cd	13.3	86.67	42.06	25.16	34.56	54.38
Hg	0.521	0.377	0.548	0.088	2.79	2.53
Pb	68.38	472.54	238.23	128.03	219.35	279.38
Cr	443.23	349.88	687.74	828.17	318.54	633.23
As	7.91	33.53	33.05	11.31	12.36	19.49
Ni	13.57	79.73	36.51	7.15	30.36	41.01
Zn	144.97	1055.34	149.15	136.62	222.25	193.72
Cu	30.77	25.93	235.26	42.5	63.77	81.62

3.2. 重金属生态风险分析方法

本研究选择 GB 4284-2018《农用污泥污染物控制标准》A 级标准来开展潜在生态风险评价研究工作。采用公式(1)计算单因子指数, 具体结果见表 4。从表中可以得出重金属 Cd 在各个采样点均达到了重度污染; 重金属 Hg 在各个采样点其污染处于警戒限或安全水平; 其余重金属在 1#~6# 采样点污染水平均在轻度污染及以下水平。总体来说, 除重金属 Cd 外, 其余重金属的污染程度较低。

Table 4. P_i calculation results

表 4. P_i 计算结果

监测指标	1 号水处理站沉淀池 1#池(1#)	1 号水处理站二级储水池(2#)	5 号水处理站加药泥块(3#)	先导水处理站 1# 布水槽(4#)	先导水处理站成品泥 1#(5#)	先导水处理站成品泥 2#(6#)
Cd	4.43	28.89	14.02	8.39	11.52	18.13
Hg	0.17	0.13	0.18	0.03	0.93	0.84
Pb	0.23	1.58	0.79	0.43	0.73	0.93
Cr	0.89	0.70	1.38	1.66	0.64	1.27
As	0.26	1.12	1.10	0.38	0.41	0.65
Ni	0.14	0.80	0.37	0.07	0.30	0.41
Zn	0.12	0.88	0.12	0.11	0.19	0.16
Cu	0.06	0.05	0.47	0.09	0.13	0.16

4. 结论

该污水处理厂八种重金属 Cd、Hg、Pb、Cr、As、Ni、Zn 及 Cu 均可以检出, 其中在各个采样点重金属 Cd 含量均超标; Hg 和 Ni 含量均在标准值以下; 其余重金属在个别采样点其含量超过标准值。利用单因子污染指数法评价了其生态环境风险, 结果显示, 在各个采样点重金属 Cd 的单因子指数最高且达到

了重污染水平, 其余重金属在各个采样点其污染水平在轻度污染及以下水平。因此, 该污泥不适宜应用于农田土壤, 在处理过程中更适合卫生填埋及焚烧处理。

参考文献

- [1] 王磊. 我国重点流域城市污水处理厂污泥产率调研[J]. 中国给水排水, 2018, 34(14): 23-27.
- [2] 高健. 城市污泥在农用地整治中的应用潜力研究[J]. 南方农业, 2019, 13(30): 173-174.
- [3] 刘学军, 朱海瀛, 杨莎莎. 武汉市污泥处理处置现状研究及建议分析[J]. 工业安全与环保, 2020, 46(6): 93-96.
- [4] 易进翔, 郑振, 李磊, 闫坤, 李明东, 薛凯喜. 填埋方式对填埋体的强度及稳定性研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2021, 29(2): 438-449.
- [5] 孙昱, 彭祚登, 熊建军, 贾清棋, 崔超, 张晓娟, 李海洋, 马富亮, 杨文彬, 姚海. 高级厌氧消化制污泥有机肥对油松和榆树林木生长及养分积累的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(10): 55-63.
- [6] 潘振, 梁志超, 田冬梅, 蒋婷, 夏兴良. 广西城市污水处理厂污泥产生及处置现状分析[J]. 能源环境保护, 2020, 34(2): 105-108.
- [7] 方宇媛, 韩光磊, 许旻, 潘龙. 城镇污水处理厂污泥重金属污染及生态风险分析[J]. 能源环境保护, 2021, 35(3): 71-74.
- [8] 林敏, 姚建国, 马贞依, 郁志杰, 詹明秀, 丁锦建. 杭州市政污泥中重金属污染及形态特征[J]. 环境科学与技术, 2020, 43(11): 54-58.