

王 京,冉 全,范百龄,等. 生物沥浸对城市污泥中重金属去除研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(24):363–365.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.24.093

生物沥浸对城市污泥中重金属去除研究

王 京¹,冉 全¹,范百龄²,张明赞¹,王 初³

(1. 贵州工业职业技术学院,贵州贵阳 550008; 2. 贵州民族大学,贵州贵阳 550025; 3. 上海师范大学,上海 200234)

摘要:重金属是污泥农用的主要障碍,将氧化硫硫杆菌作为去除重金属的功能微生物,对贵州省贵阳市 7 个污水处理厂的污泥样品分别进行 15 d 的生物沥浸处理,对整个生物系统中的 pH 值、污泥中所含的 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 等重金属物质的去除效果以及所含有的有机质、全氮、全磷、全钾等营养物质含量的损失率进行分析。结果表明,体系中 pH 值在沥浸后 160 h 开始下降;pH 值的下降增强了重金属物质的迁移,有利于重金属物质的去除,也有利于除去污泥中的病菌,同时体系中 S^0 的生物转化率缓慢提高,生物沥浸结束后,样品中 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 的去除率分别为 45.31%~65.11%、58.57%~78.67%、64.28%~84.41%、85.78%~91.64%、21.20%~61.87%,而污泥有机质、全氮、全磷、全钾的含量平均损失率分别为 8.63%、7.02%、40.14%、12.78%,污泥剩余养分含量和重金属含量满足 CJ/T 309—2009《城镇污水处理厂污泥处置 农用地泥质》标准的标准值。

关键词:氧化硫硫杆菌;生活污泥;重金属;营养物质;损失率

中图分类号:X703

文献标志码:A

文章编号:1002–1302(2018)24–0363–03

截至 2015 年,我国污水处理厂产生了超过 2 300 万 t 污泥,城市污泥属于污水处理的产物,若处理不当将会造成环境的二次污染,污泥含有丰富的有机质和氮、磷、钾等微量营养元素,可以作为化肥使用^[1],但其中含有的难降解盐类、重金属和致病菌,尤其是重金属物质因其毒性、持久性和生物富集性而引起了人们的广泛关注,已成为污泥农用最关键的问题之一^[2]。微生物沥浸法作为一种环保、高效、低成本、工程应用性强、发展潜力大的城市污泥重金属处理方法,受到越来越广泛的青睐^[3]。微生物沥浸作为一种低成本,绿色环保的重金属处理技术,能够有效去除城市污泥中的重金属物质。Barakat 通过对意大利安科纳港采集的沉积物作重金属淋滤试验发现,Cd、Zn、Cu 的去除率在 90% 以上^[4];邹塞等发现,微生物沥浸完成后 N、P 的养分保持率分别为 85%、31%,污泥中含有的肥效适合土地利用^[5]。本研究对污泥进行生物沥浸处理,分析污泥中重金属物质的去除效果和相关营养物质的损失情况,以期提高生活污泥农用的安全性、可靠性。

1 测试方法

1.1 样品采集与处理

污泥样品于 2016 年 2—5 月采集于贵州省金阳污水处理厂、新庄污水处理厂、小河污水处理厂、金百污水处理厂、白云区污水处理厂、青山污水处理厂、花溪污水处理厂等 7 个污水处理厂。按照 CJ/T 221—2005《城市污水处理厂污泥检验方法》测定污泥基本性质,所有样品为污泥传输带上的新鲜样

品,每隔 5 min 采集 1 次,多次混合,每个采样点重复采样 3 次,样品置于样品袋内密闭,带回实验室自然风干,研钵磨细后分别过 30 目、100 目尼龙筛,用于后续试验(表 1)。

1.2 菌种和培养

笔者在生物沥浸试验中所使用的菌种为嗜酸氧化硫硫杆菌,购于上海复祥生物科技有限公司。微生物培养所用培养基为牛肉膏蛋白胨培养基。所有试验于 2016 年 5 月至 2017 年 3 月在贵州工业职业技术学院环境监测实验室进行。

1.3 试验测试

将已过 100 目筛的 5 g 污泥粉末置于 250 mL 三角瓶中以及 150 mL 去离子水以及 5 mL 氧化硫硫杆菌液体(菌密度为 10^8 个/mL),并加入 1 g S^0 作为能源物质,将 7 层纱布置于瓶口处封闭后,置于 25 ℃ 恒温摇床中振荡培养,每隔 20 h 吸取 1 mL 上层清液,用去离子水定容到 25 mL 后测定溶液中的 SO_4^{2-} 含量,每隔 20 h 测定 1 次 pH 值,沥浸后进行固液分离,固体物质在 50 ℃ 干燥箱中烘干,用 100 目尼龙筛后进行重金属、营养物质的含量测试。

1.4 分析与测试方法

pH 值的测定采用 pH 计,沥浸后体系中 SO_4^{2-} 含量采用分光光度计法测定;样品污泥中的磷含量采用钼酸铵分光光度法测定;总氮含量采用紫外分光光度法测定;钾含量使用 HF-HClO₄ 法测定;Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 含量均采用 HNO₃+HCl+HF 消煮,原子吸收光度法测定。

本研究所有数据均采用 Excle 2010 和 SPSS 18 软件进行处理,图表中数据均用平均值表示。

2 结果与分析

2.1 污泥生物沥浸后体系中 pH 值的变化

李桃等认为,pH 值是污泥生物沥浸中生物生长的重要因素,pH 值的变化是生物活性和生物沥浸效果的重要指标,通常情况下,体系的 pH 值越低微生物的活性越好^[6]。

收稿日期:2017–08–09

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(编号:2013ZX07310);贵州省科技厅基金[编号:黔科合 LH 字(2015)7173]。

作者简介:王 京(1978—),男,河南濮阳人,硕士,副教授,主要从事污染防治研究。E-mail:25769562@qq.com。

表 1 各污水厂原始污泥基本性质(以干质量计)

采样点	pH 值	有机质含量 (%)	N + P ₂ O ₅ + K ₂ O ₅ 含量 (%)	Cu 含量 (mg/kg)	Zn 含量 (mg/kg)	Cd 含量 (mg/kg)	Pb 含量 (mg/kg)	Cr 含量 (mg/kg)	Ni 含量 (mg/kg)
金阳污水处理厂	7.67	63.12	13.12	78.54	356.18	0.78	78.91	263.16	111.32
新庄污水处理厂	6.74	56.32	16.32	83.32	378.06	0.99	89.11	311.04	209.65
小河污水处理厂	7.03	66.02	9.02	82.21	489.31	1.32	65.32	275.13	137.92
金百污水处理厂	7.34	62.31	10.31	77.98	445.23	0.54	71.02	198.54	178.36
白云污水处理厂	6.79	40.02	9.02	69.65	509.02	0.78	85.34	262.83	98.01
青山污水处理厂	6.85	51.31	11.31	90.12	364.57	0.91	74.34	259.11	214.67
花溪污水处理厂	6.92	49.93	9.93	73.58	547.32	1.16	67.65	304.61	313.71

由图 1 可知,在初始的 20 h 内,由于氧化硫硫杆菌接种液的加入,体系 pH 值开始逐步下降,而从 20 h 起逐步回升,在前 160 h 内各体系 pH 值基本保持在 6.53 ~ 7.73 之间,这与李桃等的研究结果相似,说明在沥浸初期,微生物活性不强,过程缓慢^[7]。从 160 ~ 280 h 体系 pH 值下降趋势明显,之后变化趋缓。经过 340 h 的沥浸,7 种样品中 6 个污泥样品 pH 值均较低在 1.13 ~ 2.38 之间,pH 值较低,只有金阳污水

处理厂污泥经沥浸后 pH 值为 2.98,该污泥 pH 值较高主要是由于小分子有机物对沥浸过程中产生的小分子物质的影响^[8]。新庄、白云、青山、花溪等 4 个污水处理厂的污泥 pH 值降低到 1.13 ~ 1.87,而金阳污水处理厂由于初始污泥的 pH 值较高,沥浸结束后 pH 值偏高。微生物沥浸过程中,pH 值最终会降到 2.00 以上,这能起到杀菌的作用,因为在该条件下大部分病原体都无法生存。

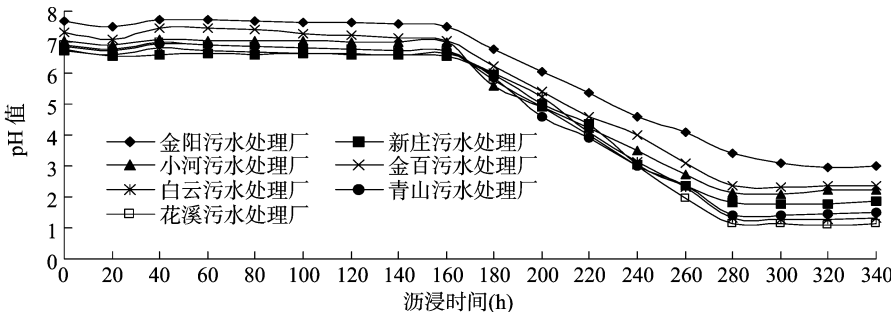


图 1 生物沥浸过程污泥 pH 值变化

2.2 污泥沥浸后各营养物质变化

污泥经生物沥浸 340 h 后,污泥中的各营养物质变化情况见图 2、图 3,经长时间沥浸后,污泥中各营养物质中全磷的含量平均损失率较高,达 40.14%,而有机质、全氮、全钾的含量平均损失率分别为 8.63%、7.02%、12.78%。各污水处理厂污泥中全氮、全磷含量在沥浸前普遍较高,而全钾含量较低,全氮含量变化范围为 4.54% ~ 6.85%,平均为 5.41%;全磷含量变化范围为 2.87% ~ 3.97%,平均为 3.23%;全钾含量变化范围为 1.09% ~ 1.85%,平均为 1.45%。贵阳市相关污水厂污泥营养价值相对较高,有利用的潜在价值。沥浸后污泥的有机质、全氮、全磷、全钾的含量分别为 33.21% ~ 62.34%、4.21% ~ 6.42%、1.54% ~ 2.78%、0.93% ~ 1.63%,养分总量(N + P₂O₅ + K₂O)含量在 7.29% ~ 10.83%,平均为 8.23%,全部污泥有机质和总养分含量都满足农用泥质标准(CJ/T 309—2009《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》)的限定值(有机质含量 > 20%,氮、磷、钾含量之和 > 3%),因此,沥浸后的污泥养分含量虽然略有降低,但仍然具有较高农用价值。

2.3 S⁰ 氧化率在污泥沥浸过程中的变化

李超等认为,S⁰ 的氧化率不但可以用于评价 S⁰ 在沥浸过程中作为能源物质被微生物利用的效率,也是评价沥浸后去除污泥中重金属物质的重要指标^[9]。由图 4 可知,在沥浸初期,S⁰ 的生物转化率较低,沥浸到 140 h,S⁰ 转化率开始缓慢升高,体系 S⁰ 的转化率整体在 280 h 达到最高值。全部污泥

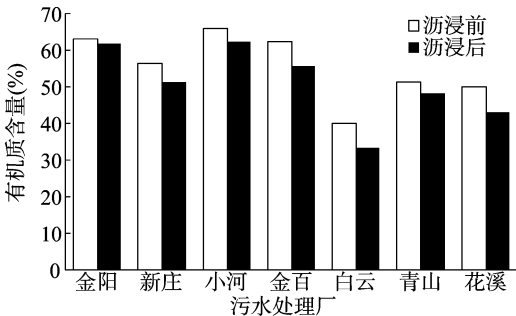


图 2 生物沥浸过程污泥有机质含量变化

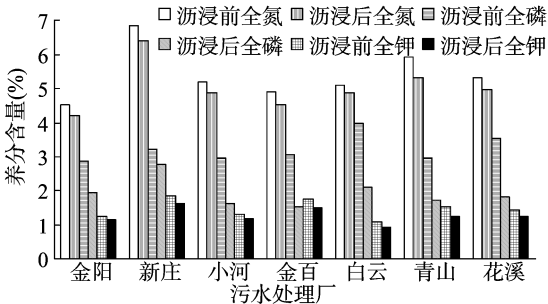
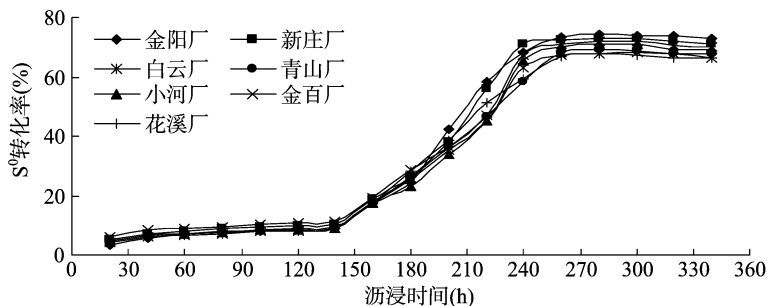


图 3 生物沥浸过程全氮、全磷、全钾含量变化

沥浸体系中 S⁰ 的转化率均呈现初期缓慢增长、中期增长加快、后期维持稳定的趋势,且最终 S⁰ 的转化率均在 60% 以上,说明氧化硫硫化杆菌的生命活动较活跃。

图4 生物沥浸过程中 S^0 转化率变化

2.4 污泥中 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 的去除效果

由图 5 可知,生物沥浸过程中 Zn 的去除率最高,在 85.78%~91.64% 之间,平均为 89.06%,而其他重金属物质去除率相对较低;其中 Cu 的去除率整体最低,在 21.20%~61.78% 之间,平均为 43.17%;Cd 的去除率为 58.57%~78.67%,平均为 70.39%;Cr 的去除率为 64.28%~84.41%,平均为 75.22%;Pb 的去除率为 45.31%~65.11%,平均为 55.35%。重金属平均去除率由高到低依次为 $Zn > Cr > Cd > Pb > Cu$ 。谢琴等认为,污泥中 Zn 的主要存在形态是不稳定的可交换态和碳酸盐结合态,在酸性条件下 Zn^{2+} 很容易浸提到液相中去^[10];康得军等的试验结果也说明,污泥中 Cr 和 Cu 主要是以有机结合态存在,Pb 主要以还原态存在,而 Zn 主要以不稳定状态存在^[11]。与其他重金属相比,Zn 在可交换态中所占的比例最高,所以去除率高于其他重金属。

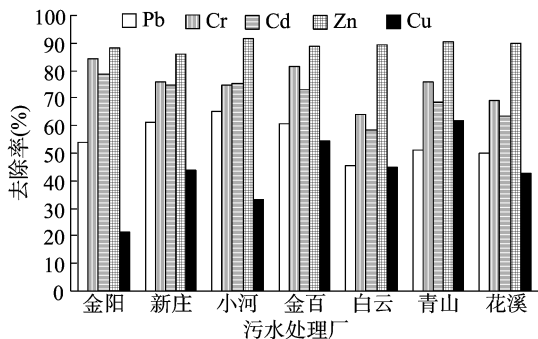


图5 生物沥浸过程重金属 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 的去除效果

李超等采用 Fe^{2+} 与 S^0 作为能源物质,随着体系系统中 Fe^{2+} 与 S^0 的氧化,污泥中氧化还原电位快速升高,导致 Cu 的去除率下降^[9]。李艳霞等采用氧化硫硫杆菌与氧化亚铁硫杆菌复合菌株对污泥中重金属进行溶出试验,混合菌种对重金属的淋滤效果要高 10%^[12],可见复合菌株对 Cu 的去除效果明显高于单一微生物氧化硫硫杆菌^[13-14]。

由图 5 可知,小河污水处理厂污泥中 Pb、Zn 去除率最高,分别为 65.11%、91.64%,金阳污水处理厂污泥中 Cr、Cd 去除率最高,分别达到 84.41%、78.67%,青山污水处理厂污泥中 Cu 的去除率最高,达 61.78%。可见,不同污水处理厂的污泥采用生物沥浸技术去除重金属的效果也各不一样。

3 结束语

本研究以贵州省贵阳市 7 个污水处理厂污泥为试样,用氧化硫硫杆菌作功能微生物,以 S^0 为能源物质进行污泥重金属去除的沥浸分析,污泥样品中 Pb、Cd、Cr、Zn、Cu 的去除率

分别为 45.31%~65.11%、58.57%~78.67%、64.28%~84.41%、85.78%~91.64%、21.20%~61.78%;而污泥有机质、全氮、全磷、全钾等含量平均损失率分别为 8.63%、7.02%、40.74%、12.78%。因此,生物沥浸法可去除污泥中的大部分重金属物质,而污泥剩余养分含量满足 CJ/T 309—2009《城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质》,从而确保城市污泥在农利用过程中的安全性和有效性。

参考文献:

- [1] 豆艳霞,王 怡,陈 斌,等. 硫杆菌淋滤对剩余污泥中重金属及养分的影响[J]. 中国给水排水,2014,30(21):27-31.
- [2] 陈丽璇,陈 菲,蔡晓东,等. 底物种类和浓度对污泥重金属生物淋滤效果的影响[J]. 亚热带植物科学,2013,42(4):337-341.
- [3] 康得军,匡 帅,唐 虹,等. 微生物淋滤技术在去除城市污泥重金属中的应用[J]. 工业用水与废水,2016,47(3):11-15.
- [4] Barakat M A. New trends in removing heavy metals from industrial wastetater[J]. Arabian Journal of Chemistry,2011,4(4):361-377.
- [5] 邹 塞,张盼月,曾光明,等. 硫粉投加量与污泥含固率之比对生物淋滤过程的影响[J]. 环境科学学报,2008,28(3):510-515.
- [6] 李 桃,李 伟,李筱梅,等. 山西省城市污泥农用潜力与安全施用[J]. 环境工程学报,2015,9(7):3455-3460.
- [7] 李 桃,周 俊,李 伟,等. 生物沥浸对自然干化污泥重金属去除效果研究[J]. 环境科学学报,2016,36(2):569-575.
- [8] Yu R, Zhang S W, Chen Z K, et al. Isolation and application of predatory bdellovibrio - and - like organisms for municipal waste sludge biolysis and dewaterability enhancement [J]. Frontiers of Environmental Science and Engineering,2017,11(1):10.
- [9] 李 超,周立祥,王世梅. 复合硫杆菌生物浸出污泥中重金属的效果及与 pH 和 ORP 的关系[J]. 环境科学学报,2008,28(6):1155-1160.
- [10] 谢 琴,伍健东,胡 芳. 生物淋滤法去除城市剩余污泥中重金属的实验研究[J]. 工业安全与环保,2013,39(1):77-79.
- [11] 康得军,匡 帅,唐 虹,等. 微生物淋滤技术在去除城市污泥重金属中的应用[J]. 工业用水与废水,2016,47(3):11-15.
- [12] 李艳霞,陈同斌,罗 维,等. 中国城市污泥有机质及养分含量与土地利用[J]. 生态学报,2003,23(11):3464-2474.
- [13] Wang Q, Tang M L, Tian Q, et al. Main pathways in primary sludge disintegration by sonication and enhancement of sonication [J]. Journal of Donghua University,2017(1):21-26.
- [14] Yin F B, Li Z F, Saino M, et al. Performance of alkaline pretreatment on pathogens inactivation and sludge solubilization[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017,41(2):34-41.