

重金属 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对活性污泥系统处理能力的复合影响

曾桂华 (长沙环境保护职业技术学院,湖南长沙 410004)

摘要 [目的]研究重金属 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对活性污泥系统处理能力的复合影响。[方法]以污水处理厂污泥回流池中的絮状活性污泥为材料,使用人工配制废水,加入不同浓度的 Hg^{2+} + Cd^{2+} 曝气培养 20 h 后,每隔 5 h 对出水理化指标和生物指标进行测定。[结果]重金属 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 的复合影响表现在 MLSS 和 COD 去除率的下降。随着试验组重金属浓度增加和试验时间的延长, Hg^{2+} + Cd^{2+} 各试验组出水的 COD 和 MLSS 等均有显著影响。[结论] Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 这两种重金属降低活性污泥的活性及其污水处理能力。
关键词 活性污泥;重金属;COD 去除率;MLSS;复合影响
中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517 - 6611(2013)10 - 04542 - 02

Composite Effect of the Heavy Metal Ions Hg^{2+} and Cd^{2+} on Treatment Capacity of the Activated Sludge System
ZENG Gui-hua (Changsha Environmental Protection Vocational and Technical College, Changsha, Hunan 410004)
Abstract [Objective] The research aimed to study composite effect of the heavy metal ions Hg^{2+} and Cd^{2+} on treatment capacity of the activated sludge system. [Method] Flocculent activated sludge in return sludge pool of the sewage treatment plant as material, Hg^{2+} + Cd^{2+} at different concentration combinations were added into artificial wastewater. After conducted aeration culture for 20 h, physiochemical and biological indicators of the effluent were measured. [Result] Composite effect of the heavy metal ions Hg^{2+} and Cd^{2+} showed that both MLSS and removal rate of the COD declined. As increase of the heavy metal concentration and prolonging of the test time, COD and MLSS in effluent of each test group were both affected significantly. [Conclusion] Hg^{2+} + Cd^{2+} made that activity of the activated sludge and its treatment capacity on sewage both declined.
Key words Activated sludge; Heavy metal; Removal rate of the COD; MLSS; Composite effect

目前的污水处理行业中,活性污泥法具有成本低、见效快、出水稳定等特点,在大中型城市污水处理厂广泛应用。活性污泥法中微生物是有机污染物的主要分解者,然而,当废水中重金属离子含量较高时,往往会使活性污泥的处理效率大大下降,若污水处理厂来不及调整,就会使大量未处理充分的污水排入环境中,造成严重的污染问题^[1]。因此,考察重金属离子对活性污泥系统处理废水能力的影响对于污水处理工作具有重要的指导意义。重金属 Hg、Cd 广泛存在于自然环境中,以 Hg 为原料的工业(包括氯碱工业、电子工业、塑料工业、仪表工业、含 Hg 农药工业等)生产过程中产生的含 Hg 废水、废气、废渣将对环境造成严重影响。Cd 广泛存在于自然界中,Cd 可用于制造体积小和容量大的电池,Cd 化合物可用于杀菌剂、颜料、油漆等制造业。这两种重金属对活性污泥的影响极大。重金属对污泥毒性的影响因子有很多,一般来说,重金属对生物处理的毒性取决于两个因素,即重金属的浓度和价态^[2]。由于根据单一污染物制定的有关环境容量和环境评价标志无法真实地反映实际情况,因此复合污染的研究已引起国内外科技工作者的高度重视,并成为当前环境科学领域的研究热点。到目前为止,在污水处理过程中的监测仍然以物化指标为主,但重金属对活性污泥的影响机制较为复杂,迄今为止尚无明确重金属对活性污泥的具体作用机制^[3-5]。重金属对活性污泥水处理系统的影响是不容忽视的,建立起快速有效的监测机制是十分必要的。各国学者在重金属离子对活性污泥活性影响方面做了大量研究工作^[6-7]。该试验选取 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 2 种重金属离子作为研究对象,研究其对活性污泥处理污水运转效能的影

响,为重金属对活性污泥的影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器

1.1.1 材料。接种污泥取自长沙市生活污水处理厂污泥回流池的活性污泥。①重金属离子:姜堰市环球试剂厂提供,具体规格如下:二氯化汞(Mercury chloride,99.5%),氯化镉(Cadmium chloride,99.5%)。②试验用人工合成污水配方^[6]:可溶性淀粉 0.1 g/L,葡萄糖 0.14 g/L,蔗糖 0.1 g/L, FeSO_4 0.05 g/L, NH_4HCO_3 0.1 g/L, CaCl_2 0.015 g/L,纯碱 0.2 g/L, KH_2PO_4 0.02 g/L, MgSO_4 0.02 g/L,尿素 0.025 g/L。③ 0.2 mol/L 重铬酸钾标准溶液。④0.1 mol/L 硫酸亚铁铵标准滴定溶液。⑤硫酸银 - 硫酸试剂。⑥1,10 - 邻菲罗啉指示剂溶液。

1.1.2 仪器。消解仪,上海嘉定封浜模型厂可生化性试验装置(曝气设备),分析天平,5 个 100 ml 量筒,5 个锥形瓶,烘箱,玻璃棒,橡胶手套,烧杯,5 个试剂瓶,5 个漏斗,酸式滴定管,三角架,试管架,5 ml 移液管 3 个,洗耳球,洗瓶,定量滤纸,1 000 ml 容量瓶等。

1.2 试验过程 该试验采用实验室规模的分批连续方式培养,配制人工合成废水 10 L,分装入 5 个曝气设备中,每个 2 L,每组设置 3 个平行。在曝气设备中接种活性污泥,同时均匀分配各个曝气设备中的活性污泥,使得初始活性污泥浓度约为 2 200 mg/L(接种污泥浓度在试验前测定为 14.57 g/L,即在每个塑料反应容器中加入 350 ml 活性污泥)。活性污泥处理过程的曝气设备的作用是使氧气、活性污泥、营养物质三者充分混合,使污泥处于悬浮状态,促使氧气从气相转移到液相,从液相转移到活性污泥上,保证微生物有足够的氧进行物质代谢。试验进行前,要对曝气设备中合成污水的各项指标(化学需氧量 COD、混合液悬浮固体浓度 MLSS 等)

作者简介 曾桂华(1979 -),男,湖南武冈人,讲师,工程师,硕士,从事环境污染治理、环境监测与评价研究,E-mail: guihuazeng@163.com
收稿日期 2013-03-12

进行测定。试验周期为 80 h,每隔 5 h 进行一次曝气池中合成污水的各项指标的测定。试验过程中溶氧浓度 2 mg/L,温度维持在 30 ℃ 左右,pH 控制在 7.2 左右。

活性污泥是人工培养的生物絮凝体,它是由好氧微生物及其吸附的有机物组成的。活性污泥具有吸附和分解废水中有机物质(也有些可利用无机物质)的能力,显示出生物化学活性。在生物处理废水的设备运转管理中,除用显微镜观察外,MLSS 和 COD 是经常要测定的,这 2 个指标反映了污泥的活性,它们与剩余污泥排放量及处理效果等有密切关系。MLSS、COD 测定方法见《水和废水监测分析方法》等手册^[8-11]。在人工合成污水中添加重金属离子, $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 参考浓度为 0.29 + 18.30 mg/kg,试验添加浓度分为 5 组:浓度 1 为 0 + 0 mg/kg,浓度 2 为 0.30 + 15.00 mg/kg,浓度 3 为 0.40 + 20.00 mg/kg,浓度 4 为 0.50 + 25.00 mg/kg,浓度 5 为 0.60 + 30.00 mg/kg。参考浓度为长沙市生活污水厂的曝气池进水重金属离子浓度测定值(2012 年 5 月 10 日),试验添加浓度指在人工合成污水中的重金属离子添加浓度。

2 结果与分析

2.1 重金属 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 对污水 COD 的影响 由图 1 可知,在不同浓度条件下,2 种重金属复合影响可使污水系统的 COD 值呈现递增趋势,而且随着重金属浓度的增加,COD 值依次增加。并且随着时间的延长,COD 值也依次增加,而没有加重金属的对照组则随着时间的延长,COD 值呈现递减趋势。由此说明,重金属 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 对活性污泥处理污水能力存在明显的负面影响,与国外相关研究类似^[12]。当 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 在浓度 2 时,停留 55 h 时,出水 COD 浓度为 106.67 mg/L,已经超出了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)二级排放标准。

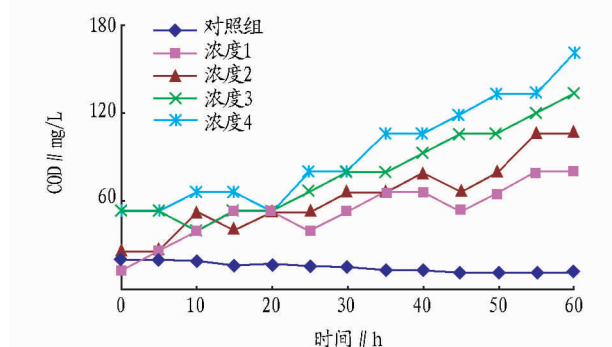


图 1 添加 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对活性污泥系统出水中 COD 的影响

由图 2 可知,在不同浓度条件下,2 种重金属复合影响可使污水系统的 COD 去除率呈现递减趋势,而且随着重金属浓度的增加,COD 去除率依次减少。并且随着时间的延长,COD 去除率也依次减少,而没有加重金属的对照组则随着时间的延长,COD 去除率呈现递增趋势^[13-14]。由此说明,重金属 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 对活性污泥处理污水能力存在明显的抑制作用,建议在今后对污水处理厂进水的各项指标测定中应加上重金属离子浓度的检测,以保证活性污泥系统的稳定运行。

2.2 重金属 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 对 MLSS 的影响 由图 3 可知,

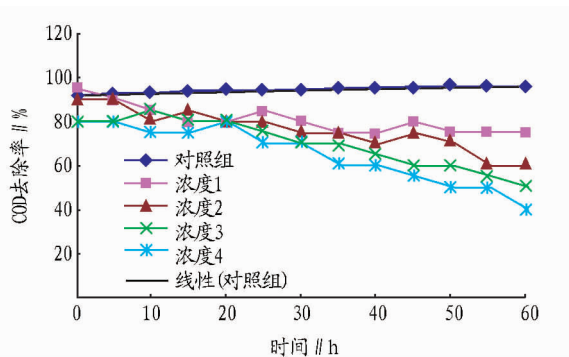


图 2 添加 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对活性污泥系统中 COD 去除率的影响 在添加重金属 $\text{Hg}^{2+} + \text{Cd}^{2+}$ 的条件下,污水系统的污泥浓度 MLSS 随着重金属浓度的增加呈现依次减少的趋势。没有加重金属的对照组污泥浓度 MLSS 每个时间段测量的结果均比添加重金属的大。由此说明,重金属 Hg^{2+} 对污泥系统的污泥活性起着明显的抑制作用,它的存在导致了污泥活性失活。重金属离子对活性污泥处理污水的影响通过肉眼观察也可看出,在试验末期,活性污泥逐渐失去絮凝性,颜色转为土黄色,说明活性污泥中的生物在此时已经失去活性,进而影响其正常处理污水的能力^[15-16]。

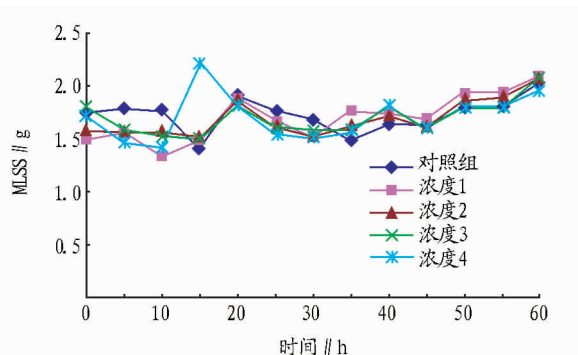


图 3 添加 Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对活性污泥系统中 MLSS 的影响

3 结论与讨论

重金属离子在低浓度时是微生物的生命过程中所必须的,但是大多数重金属离子对活性污泥微生物有毒,特别是当离子浓度较高时,毒性更大。该试验中 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 两种重金属离子在各种复合浓度下都对活性污泥的微生物产生影响。重金属离子可以在细胞内酶的合成阶段、反应阶段或其他相关部分对酶的活性产生抑制作用,较高浓度会导致细胞死亡,从而降低了活性污泥分解有机物的能力。 Hg^{2+} 、 Cd^{2+} 复合作用对活性污泥中的 MLSS 具有抑制作用,当 Hg^{2+} 浓度为 0.30 mg/L、 Cd^{2+} 浓度为 15.00 mg/L,停留 55 h 时,出水 COD 浓度为 106.67 mg/L,已经超出了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)二级排放标准。建议今后对污水处理厂进水实施重金属项目检测,以确保活性污泥系统的稳定运行。

参考文献

- [1] 赵庆祥,林结,徐永伟. 重金属离子对生物污泥活性的抑制[J]. 上海环境科学,1993(2):38-40.

到气候变化的影响。植被面积变化的绝对量最大,盐碱地面积变化的绝对量最小。

(2)焉耆盆地在 1990、2000 与 2011 年生态系统服务价值分别为 952 881、1 015 236 与 1 012 946 万元,生态服务价值增加 6.30%,达 60 065 万元。研究区内水体、植被与耕地合计生态服务价值约占研究区总生态服务价值的 80.00% 以上。耕地生态服务价值变动最大,其变化率高达 85.12%,湿地生态服务价值的变化最小,变化率为 0.01%。

(3)研究区各生态服务功能对区域总生态服务价值贡献率由高到低依次为废物处理、水源涵养、气候调节、娱乐休闲、生物多样性保护、土壤形成、食物生产、气体调节和原材料。废物处理与水源涵养为研究区内生态服务价值结构中所占比例最大的 2 个生态服务功能类型。气候调节、气体调节、娱乐休闲、水源涵养与生物多样性保护服务功能价值比例减少;废物处理、原材料与食物生产服务功能价值比例增加。研究区不同年份不同土地利用类型生态服务价值对生态服务功能价值指数的敏感性指数的变动小,均 < 1,表明研究区内生态服务价值对生态服务功能是缺乏弹性的,研究结果是可信的。我国陆地生态系统单位面积生态服务价值系数适合研究区土地利用变化对区域生态服务价值的影响。

(4)焉耆盆地土地利用变化使生态系统服务功能发生改变,生态系统服务价值受到影响,最终导致整个生态系统失去原有的平衡。因此,对于焉耆盆地而言,虽然生态服务总价值趋势是增加的,但是近几年来湖水水位的不断减少引起该区域生态系统有不同程度的退化,因此区域发展规划必须把湖泊、湿地生态环境保护放在重要位置。要实现该区域经济社会和可持续发展的目标,就必须维持生态系统服务功能的完整性和稳定性。因此,有步骤地实施湖泊、湿地维护工程,加强湖泊、湿地与植被保护,有规划性地开垦,提高土地利用水平,恢复和调节绿洲生态系统服务功能的有效途径是保护绿洲稳定性与绿洲生态安全,实现可持续发展的重要举措。

参考文献

[1] COSTANZA R,D'ARGE R,DE GROOT R,et al. The value of the world's e-

cosystem services and natural capital[J]. *Nature*,1997,387:253-259.

[2] 麦提吐尔逊·艾则孜,海米提·依米提,迪拉娜·尼加提,等. 昆仑山北麓克里雅绿洲生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. *地理科学*,2012,32(9):1148-1154.

[3] 刘庆,李伟,陆兆华. 基于遥感与 GIS 的黄河三角洲绿色空间生态服务价值评估[J]. *生态环境学报*,2010,19(8):1838-1843.

[4] 赵军,杨凯. 生态系统服务价值评估研究进展[J]. *生态学报*,2007,27(1):347-356.

[5] 张华,武晶,孙才志,等. 辽宁省湿地生态系统服务功能价值测评[J]. *资源科学*,2008,30(2):267-273.

[6] 马倩,孙虎,咎梅. 新疆艾比湖生态脆弱区生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. *地域研究与开发*,2011,30(4):112-116.

[7] 李偲,韩桂红,海米提·依米提,等. 土地利用变化对喀纳斯自然保护区生态系统服务价值的影响[J]. *地域研究与开发*,2010,30(3):123-127.

[8] MAMATTURUN E,HAMID Y,ANWAR M,et al. Oasis land-use change and its effects on the oasis eco-environment in Keriya Oasis,China[J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*,2010,17(3):244-252.

[9] 王水献,吴彬,杨鹏年,等. 焉耆盆地绿洲灌区生态安全下的地下水埋深合理界定[J]. *资源科学*,2011,33(3):422-430.

[10] 张俊,周成虎,李建新. 新疆焉耆盆地绿洲景观的空间格局及其变化[J]. *地理研究*,2006,25(2):350-359.

[11] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. *自然资源学报*,2003,18(2):189-195.

[12] 王娟,崔保山,卢远,等. 生态系统服务价值在土地利用规划中的应用[J]. *水土保持学报*,2006,20(1):160-180.

[13] LI R Q,DONG M,CUI J Y,et al. Quantification of the impact of land-use changes on ecosystem services: a case study in Pingbian County, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*,2007,128:503-510.

[14] 栗晓玲,康绍忠,佟玲. 内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用——以甘肃河西走廊石羊河流域为例[J]. *生态学报*,2006,26(6):2011-2019.

[15] LI T H,LI W K,QIAN Z H. Variations in ecosystem service value in response to land-use changes in Shenzhen[J]. *Ecological Economics*,2010,69:1427-1435.

[16] 张俊,周成虎,李建新. 新疆焉耆盆地近 40 年土地利用与土地覆被演化[J]. *资源科学*,2004,26(6):30-37.

[17] 尹业彪,李霞,郭玉川,等. 焉耆盆地 44a 来景观格局变化分析[J]. *新疆农业科学*,2010,47(7):1450-1455.

[18] 王润,孙占东,高前兆. 2002 年前后博斯腾湖水位变化及其对中亚气候变化的响应[J]. *冰川冻土*,2006,26(3):324-329.

[19] 邓倩婷,胡月明,张俊平,等. 土地利用变化及生态系统服务价值测算与分析[J]. *安徽农业科学*,2011,39(12):7317-7318,7324.

[20] FENG L. Valuation of Ecosystem Services: Research Progress and Prospects[J]. *Asian Agricultural Research*,2012,4(10):75-79.

[21] 吴云景,吴立潮,郑瑜,等. 信宜市土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *湖南农业科学*,2011(9):56-60.

(上接第 4543 页)

[2] 李洪亮,陈玉成. 污水生物处理中重金属的毒理学研究进展[J]. *微量元素与健康研究*,2006,23(1):49-52.

[3] CHUA H. Effect of trace chromium on organic absorption capacity and organic removal inactivated sludge[J]. *Science of Total Environment*,1998,214(1/3):239-245.

[4] 蒋成爱,吴启堂,吴顺辉. 活性污泥吸附重金属的研究进展[J]. *土壤与环境*,2001,4(4):331-334.

[5] POOLE R K,GADD G M. Metals: Microbe interaction[M]. Oxford: IRL Press,1989.

[6] CHANG S Y,HUANG C,LIU Y C. Effects of Cd and Cu on a biofilm system[J]. *Environ Eng*,1986,112:94-104.

[7] DILCK F,GOKEAY C F,YETIS U. Effects of Cu on a chemostat containing activated sludge[J]. *Environ Technol*,1991,12:1007-1016.

[8] 国家环保局水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[S]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[9] 奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社,

2004.

[10] 朱旭芳. 现代微生物学实验技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2011:287-290.

[11] 陈泽堂. 水污染控制工程实验化学[M]. 北京:化学工业出版社,2009:67-69.

[12] NICOLAU A,MARTINS M,MOTA M. Effect of copper in the protistan community of activated sludge[J]. *Chemosphere*,2005,58(5):605-614.

[13] STASINAKIS A S,THOMAIDIS N S,MAMAIS D. Effect of chromium (VI) addition on the activated sludge[J]. *Water Research*,2003,37(9):2140-2148.

[14] 谢冰. 重金属对活性污泥微生物的影响[J]. *环境保护*,2004(2):13-16.

[15] ONG S A,LIM P E,SENG C E. Effects of Cu (II) and Cd (II) on the performance of sequencing batch reactor treatment system[J]. *Process Biochemistry*,2005,40(1):453-460.

[16] 霍培书,管越强,周可新,等. 重金属离子对活性污泥处理污水的影响[J]. *环境工程学报*,2010,4(10):2173-2178.