

· 综 述 ·

活性污泥工艺中污水毒性研究的现状

黄满红, 李咏梅, 顾国维

(同济大学环境工程学院国家污染控制与资源化重点实验室, 上海 200092)

摘要: 活性污泥法是污水处理中应用最为广泛的技术之一, 但目前国内外活性污泥工艺中污水毒性研究还很少。本文从目前活性污泥的工艺选择和污水回用的现状出发, 对活性污泥工艺中污水毒性测试方法以及毒性研究的现状进行了综述, 并对现存问题给出了分析和建议。

关键词: 污水毒性; 活性污泥工艺

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1001-3644(2004)02-0011-03

Review of the Studies on Wastewater Toxicity in Activated Sludge Process

HUANG Man-hong, LI Yong-mei, GU Guo-wei

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse,

School of Environmental Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Although the activated sludge process is one of the widely used technologies in wastewater treatment, the research on the wastewater toxicity in the process is scarcely any. Based on the choice of the process and the reuse of wastewater, the paper summarizes the bioassay methods of wastewater toxicity and reviews the studies on wastewater toxicity in activated sludge process, analyses the existing problems and gives some suggestions.

Key words: Wastewater toxicity; activated sludge process

1 引言

在当前的污水处理技术领域, 活性污泥法是应用最为广泛的技术之一。近几十年来, 在对其生物反应和净化机理进行深入研究探讨的基础上, 活性污泥法在生物学、反应动力学的理论以及工艺方面都得到了长足的发展, 出现了多种能够适应各种条件的工艺流程供人们进行工艺选择。但是很少有以污水毒性削减为目标进行优化选择工艺, 并从毒性控制这一角度来对污水处理技术进行评估的研究。

随着污水回用课题的发展, 人们日益认识到污水回用的首要条件是无害化。因为无论是污水回用于渔业还是农业、工业, 即使是很低浓度的毒性物质, 在水体和生物体中富集后, 也可能使受纳水体中的鱼有异味, 甚至可能在进入下游城市的给水处理厂时与投加的氯消毒剂形成一些对饮用水者有长期生理影响的

化合物^[1]。所以为了回用安全, 减少其对环境可能产生的潜在危害, 实现城市污水的无害化和资源化, 必须对活性污泥工艺污水处理前后的毒性进行研究。国内外活性污泥工艺污水处理的毒性研究有两类: 一是为各自目的分别研究活性污泥污水处理系统中进水和出水的毒性, 二是对活性污泥工艺过程的毒物进行追踪和对工艺的毒性削减进行研究。

2 废水毒性测定方法的研究

在废水毒性测试方法确定后, 才有可能对污水毒性进行可靠的分析。目前欧、美各国的主要注意力仍旧放在测定新化学品的毒性方面, 在污水方面的工作尚在尝试阶段, 且往往把重点放在污水中单一化学物质的毒性方面。在污水方面的工作尚在尝试阶段, 所以对活性污泥工艺中污水毒性的研究侧重点仍在于考察各种毒性测试方法的灵敏性、准确性、可靠性以及适用性。

目前对废水毒性的测定主要有两类方法, 一类是理化方法, 另一类是生物学方法^[1]。传统的化学物理分析方法能定量分析污染物中主要成分的含量, 但是

收稿日期: 2003-05-26

基金项目: 本项目为“十五”863 计划资源环境技术领域资助项目(项目编号: 2002AA649170)

作者简介: 黄满红(1978-), 女, 湖南双峰人, 2004 级同济大学环境科学与工程学院在读博士研究生。研究方向为水污染控制。

不能直接和全面地反映各种有毒物质对环境的综合影响。生物测试能够弥补理化检测方法的不足,因此在水污染研究中,它已经成为监测和评价水体环境的重要手段之一。近年来,研究者们提出了多种生物毒性测试方法来监测水中毒性物质对水生生物的毒性,这些方法可归纳为利用细菌和利用水生动植物来监测废水毒性两大类。

用细菌来评价废水毒性是基于毒性效应对细菌的某些可见特性的作用。如细胞生长、运动性、呼吸速率和生物发光、酶活性变化、ATP 水平、微热量等的变化。细菌用来做毒性评价有以下优点^[4]:生物机体小、种群数量大、生长繁殖快、保存简单方便、试验费用低、对环境变化的反应快、生长条件便利,并且同高等动物有着类似的物理化学特性和酶作用过程等特点,因此特别适合于生物毒性试验;最常用于水体毒性实验的有基于生物发光的 Microtox 法评价、用来评价废水对活性污泥的毒性作用的呼吸抑制速率实验、用于评价废水对活性污泥毒性的脱氢酶活性法。

水生动植物毒性实验是水毒理学的一个重要组成部分,这其中包括传统的鱼类和大型蚤和藻类急、慢性实验,也包括近年来发展起来的斑马鱼胚胎发育技术毒性检测方法。鱼类毒性实验是监测工业废水污染物综合毒性的一种简便易行的方法。目前国际通用的急性毒性实验标准用鱼是斑马鱼,国内常用于毒性测试的鱼还有青、草、鲢、鳙四大家鱼以及鳊鱼、金鱼、呆头鱼。水蚤类是淡水生物的重要类群,对许多毒物很敏感,而且由于蚤类取材容易,试验方法简便,世代周期短,实验室易培养,产仔量多,是一类很好的试验生物,且实验项目使用的参数在个体间相对恒定,可以为实验结果统计学处理提供方便,因此常被选定为毒性测试生物。藻类是一种原植体植物,是水体中的初级生产力。如果某种有害的化学物质进入水体,藻类的生命活动将会受到影响,生物量也会发生改变。通过测定藻类的生物量,可评价有害物质对藻类生长的作用,反映对水体中初级生产营养级的影响以及对整个水生生态系统的可能的综合环境效应。

尽管有大量的废水毒性评价方法,但是很少有生产规模的毒性监测设备和结果数据。最主要的原因就是大部分现存方法都是间歇式实验,用于连续的污水毒性监测有一定困难。因此在研究污水处理工艺的污水毒性时,选择合适的测试方法至关重要。

3 活性污泥工艺中污水毒性的研究

3.1 进水的毒性预警设置和保护措施

在测试方法确定后,对进水毒性的研究就集中在进水的毒性预警设置和保护措施上。在工业和农业生产中,有时会产生大量的高毒物浓度的废水,这类废水有时会毫无预警的进入活性污泥处理系统中,尤其是工业废水处理系统中。有毒废液的冲击常会导致废水处理系统的活性污泥失活或活性下降,而更换一池活性污泥耗资很大,造成严重的经济损失和新的环境污染。例如巴西^[3]一家生物污水处理厂受到毒物冲击后有将近 6 个月处理效率受损。如果能在活性污泥工艺中设置预警设置,对进水毒性进行筛选和监测,不仅可以降低或消除这种干扰,而且有利于对活性污泥工艺毒性削减的研究。

Shijin Ren^[4]等在田纳西州的诺克斯维城市污水处理厂利用 SHKI 发光菌对该厂进水进行了毒性筛选,该系统每分钟记录一次毒性数据,运行期间系统能够反映进水毒性的最值,数据还表明,BOD 的去除一直很稳定,但是进水的毒性随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的增大而增大。

最大呼吸速率能反映污泥状态,对某个具体的污水处理厂来说,在通常的运行情况下,最大呼吸速率保持恒定。当足够高浓度的毒物进入曝气池后,最大呼吸速率和工艺处理效率都会降低。Chang - Won Kim^[5]等在韩国建立了一个基于最大呼吸速率变化的进水毒性检测系统,该中试在一家以石油化工废水为主的工业废水处理厂中进行。该系统在低 pH 值和有 Co^{2+} 浓度抑制时,反应灵敏,在进水处取样就能够使废水在到达曝气池之前检测到,而不会对系统造成破坏。

以上对进水毒性的监测都是建立在生物传感检测的基础上的,整套装置的制造成本和技术条件都有待改善,而且都把着眼点放在监测污水的毒性上,而不是在如何控制和处理进水毒性上。J. Ko^[6]等比较和评估了在标准状况下 4 种不同的毒性控制方法,并为这些对策应用于遭遇毒物冲击的活性污泥污水处理厂中提供了可行的依据。

3.2 出水的毒性研究

一般的活性污泥工艺都是二级处理,经过处理后,所有溶解性的可生物降解的有机物基本上能去除但是非生物难降解性有机物一般不能去除,这些有机物有的有毒,它们可能在水体和生物体中富集,或使二级出水呈现颜色,不能做多方面的回用^[1]。对活性污泥工艺处理污水的出水毒性进行研究,主要考察其对所排放的水体所造成的影响或者作为能否回用的判据。

D. Bernet^[7]等分别用驯养和野生的红鲮鱼的血浆组织进行了组织病理学上血浆化学参数的研究,评价了瑞士一个活性污泥污水处理厂的出水对鱼类的影响。

王丽萍^[8]等进行了污水处理厂出水对鱼类影响的毒性试验研究,观察徐州污水厂处理后出水对鱼的生存状况的影响。从而考察污水厂出水外排到奎河、黄河水体后,对黄河两岸水库及鱼塘的渔业生产可能带来的影响,考察城市污水厂出水资源化作为农用灌溉和渔业用水的安全性和可行性。实验选取鲤鱼、鲫鱼为试验生物,观察了不同污水体积浓度下鱼的死亡率和生长情况。并对观察结果进行了理论分析。结果表明:鲤鱼对水质毒性敏感性高于鲫鱼,出水对养鱼的毒性主要是水中的游离氨引起的。在 25 %污水体积浓度下养鱼是安全的,其安全浓度上限值在 25 % ~ 40 % 之间。将出水适量引入养鱼水体既可改善鱼类的摄食条件,又可改善水体的氧气条件,对水产养殖是有益的。

胡国臣^[9]等通过研究二级出水对脱氢酶活性的影响和对大型蚤的致死作用,对天津纪庄子污水处理厂的二级出水的综合毒性进行了研究,认为其综合毒性较小,可以达到一定的回用目的。

3.3 毒物追踪和毒性削减研究

城镇污水处理厂进水组分异常复杂,含多种工业废水和生活污水,尽管经混合处理后一般都能达到排放要求,但对可能存在的关键毒物及其去除效果却很少研究。对活性污泥工艺整个过程进行毒物追踪,是试图从对污水组成成份进行量的分析后鉴别出导致进出水生态毒性差别的关键污染物,判断处理系统对关键毒物的去除效果,为污水处理厂进水毒性的鉴别评价和去除提供依据,从源上控制污水的毒性;而毒性削减的研究,可以对污水处理技术进行评估、并进行毒性控制,但是这方面的研究目前国内外比较少,以污水毒性削减为目标进行优化选择工艺的研究还处于空白状态。

在对以活性污泥法为主体的城市污水二级处理过程进行了包括达标排放、微污染和急性毒性指标在内的效果评价后,马梅等^[10]指出以常规指标判断,二级活性污泥法处理出水满足国家达标排放的要求,但是处理过程对有机微污染和急性毒性的去除效果却十分有限。

程静等^[11]对生活与工业污水混合处理系统中关键毒物追踪,以常州市城北污水处理厂的进水、传统活性污泥处理系统的出水和 A²O 出水为研究对象,对进

水和出水进行 *Daphnia magna* 急性毒性实验,结果表明进水对 *Daphnia magna* 具有 24 小时急性毒性,经过传统和 A²O 活性污泥处理工艺的两股出水都已经出水已不显示 24h 急性毒性;采用毒性鉴别评价 (TIE) 程序对进水进行了监测和分析,发现曝气可去除废水毒性, C₁₈ 固相提取亦可去除废水毒性,并因此判断进水中存在的主要毒物为挥发性非极性有机化合物。进出水的 GC/MS 图谱显示,处理前后有机物浓度大量降低,关键毒物基本去除。

已有大量数据表明城市污水处理厂的出水具有致突变性。J. U. Doerger^[12]等用鼠伤寒沙门氏菌 TA98 菌株对辛辛那提的一家城市污水处理厂的进水和出水和 4 家进入该厂处理的工业废水进行了致突变实验,结果发现致突变物在常规的处理工艺中难于降解,有 2/3 的致突变性不能去除;而且研究还表明在接纳大量工业废水的城市污水处理厂中 Ames 致突变性比主要接纳城市污水的处理厂废水的致突变性高 100 多倍。

LATIF MUNA 等^[13]用大型蚤急性实验和三种经济的微生物测试法对 9 个含有大量工业废水的城市污水厂的进水进行实验后发现基本上所有的进水显示高度毒性,但出水都不显示任何急性毒性,所有工艺都显示出很好的毒性削减效率。钟才高等^[14]用混合细菌做指示生物,发现混合细菌的总脱氢酶活性的抑制率 (%) 随工业废水中重金属的浓度的增加而增加。并建立了两者之间的回归方程。然后用这一方程评价了长沙市 8 家工厂工业废水的综合毒性和一家工厂废水处理装置对废水综合毒性的去除效果,建立了富含重金属工业废水综合毒性的评价方法。

4 结语和建议

4.1 目前,无论是为各自目的分别研究活性污泥污水处理系统中进水和出水的毒性,还是对该工艺过程的毒物进行追踪和毒性削减的研究都处于起步阶段,有待于进一步的研究。

4.2 很少有以污水毒性削减为目标进行优化选择工艺,并从毒性控制这一角度来对污水处理技术进行评估的,主要原因在于没有建立相关的评价体系。

参考文献:

- [1] 戴树桂,游道新,胡国臣,等. 回用水中优先毒性有机物和综合毒性水质指标的研究[A]. 国家“七五”科技公关环境保护项目论文集: 水污染防治及城市污水资源化技术[C]. 北京: 科学出版社, 1993.

94%，电絮凝能中和废水的 pH。

3.5 经济效益分析

采用混凝法为主的工艺处理餐饮废水，工程占地面积小，投资少，受气温影响小，药剂费为 0.13 ~ 0.15 元/m³（废水），这对于寸土寸金的大中城市餐饮业处理餐饮废水较为有利。

采用电化学法处理餐饮废水，当进水 COD 为 1000 mg/L，出水 COD 为 200 mg/L 左右时，极板损耗和电耗处理成本约为 0.5 元/m³（废水），它不需要化学药剂和投药设备，对电价低廉的地方适用。

对目前城市污水管网还未接入的旅游度假区、风景区，可利用地域广阔的优势，先除油脂，再进行生化处理（如人工湿地），可使废水达到排放标准，此时处理费用最低。

4 展 望

根据目前国内外餐饮废水治理方法的现状，考虑到我国环保部门对餐饮废水的治理要求，餐饮废水的治理技术将向以下几个方面发展：

4.1 开发餐饮废水一体化处理设备，集除油、降有机物、除悬浮物于一体，既节约用地又节省投资。

4.2 加强开发无毒、高效、适用范围广、价廉的多功能混凝剂，或用已有药剂复配出性能优越的净水剂。

4.3 加强经济、适用的餐饮废水处理工艺的研究，以降低处理成本，最大限度地降低外排废水中的有害物浓度。

参考文献：

- [1] 董晓丹,王晨煜,王恩德.一种新型复合混凝剂处理餐饮废水的实验研究[J].安全与环境学报,2001,1(6):35-38.
- [2] 罗国蔚,林世光,彭金海.工业废水处理技术研究与应[M].广州:华南理工大学出版社,1992.14.
- [3] 张自杰,林荣忱,金儒霖.排水工程[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.623-625.
- [4] 刘 蓉,张大年.粗粒化法处理乳化食用油脂废水的研究[J].上海环境科学,2001,20(7):331-334.
- [5] 王乃之,苏永渤,张绍军.餐饮废水治理方法的研究[J].环境保护科学,2000,26(99):11-13.
- [6] 尹艳华,赵 毅,王年军,等.絮凝法处理餐饮废水[J].工业用水与废水,2002,33(4):46-47.
- [7] 于金莲,高运川. SBR 法处理餐饮废水的工艺实验研究[J].上海环境科学,1999,18(4):167-169.
- [8] 范立梅.餐饮废水生物处理试验[J].环境污染与防治,2000,22(2):18-20.
- [9] 范立梅.生物膜反应器连续处理餐饮废水[J].环境污染与防治,1999,21(3):12-14.
- [10] 宁 平,王 宏,周 旭.餐饮废水膜—生物反应器[J].膜科学与技术,2002,22(1):36-38.
- [11] 何 毅,陈英文,胡永红,等.膜—好氧组合工艺处理餐饮废水的研究[J].南京工业学报,2002,24(1):90-93.
- [12] Xueming Chen, Guohua Chen, Polock Yue. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation[J]. Separation and Purification Technology, 2000, 19:65-76.
- [13] Jun Nakajima, Yoko Fujimura and Yuhei Inamori. Performance Evaluation of On-site Treatment Facilities for Wastewater from Households, Hotels and Restaurants[J]. Wat. Sci. Tech, 1999, 39(8):85-92.

(上接第 13 页)

- [2] 孔繁翔主编.环境生物学[M].北京:高等教育出版社,2000.96-110.
- [3] Grau P, Da-Rin B P. Management of toxicity effects in a large wastewater treatment plant[J]. Wat. Sci. Tech., 2000, 36(2~3):1-8.
- [4] Shijin Ren, Paul D Frymier. Continuous toxicity of biological wastewater treatment system influent using a bioluminescent reporter bacterium, water environment federation [A]. 74th Annual Conference & Exposition[C]. Atlanta, Georgia, U. S. A., 2001. 540-555.
- [5] Chang-won kim, Byung-Goon Kim, Tae-Ho Lee, et al. Continuous and early detection of toxicity in industrial wastewater using an online respiration meter[J]. Wat. Sci. Tech., 1994, 30(3):11-19.
- [6] J Ko, H Woo, J B Coop, et al. Evaluation of several respirometry-based activated sludge toxicity control strategies[J]. Wat. Sci. Tech., 2002, 45(4~5):143-150.
- [7] D Bernet, H Schmidt, T Wahlen, et al. Effluent from a sewage treatment works causes changes in serum chemistry of brown trout[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2001, 48:140-147.
- [8] 王丽萍,等.污水处理厂出水对鱼类影响的实验研究[J].中国矿业大学学报,2002,3(3):310-313.
- [9] 国家环境保护总局编.水污染防治及城市污水资源化技术[M].北京:科学出版社,1993.720-728.
- [10] 马 梅,等.城市污水生物处理过程中有毒有机污染物浓度及毒性变化规律[J].工业水处理,1999,19(6):9-12.
- [11] 程 静,金洪钧,沈 毅,等.毒性鉴别评价方法对城镇污水处理厂去除水中有毒物质的分析实例[J].环境化学,2001,20(5):490-495.
- [12] J U Doerger, R A Meier, R A Dobbs, et al. Toxicity reduction evaluation at a municipal wastewater treatment plant using mutagenicity as an endpoint [J]. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 1992, 22:384-388.
- [13] Latif Muna, Persoone Guido, Janssen Colin. Toxicity evaluations of wastewaters in Austria with conventional and cost-effective bioassays [J]. Ecotoxicology and environmental safety, 1995, 32:139-146.
- [14] 钟才高,等.用混合细菌作指示生物评价工业废水综合毒性的实验研究[J].中国公共卫生学报,1995,14(2):125-128.