

生物预处理中的微型动物分布与控制

陈洪斌^{1,2}, 梅翔³, 何群彪^{1,2}, 周增炎¹, 高廷耀^{1,2}

(1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 城市污染控制国家工程研究中心, 上海 200092; 3. 南京林业大学化学工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 微污染源水的生物预处理已有应用实例, 弄清生物膜上的微型动物状况对于工程设计和运行十分必要。研究表明, 生物预处理工艺中的微型动物种类和数量均沿水流方向逐渐减少, 与污水生物处理中的微型动物分布差异较大。根据处理池内微型动物种类和数量的沿程变化规律来判断运行效果是较好的方式。苔藓虫是微污染源水生物预处理工艺中特有的微型动物种类, 当它在生物膜上正常生长时有助于提高生物净化效果; 当其暴发性生长并对运行影响较大时, 可利用强制水力冲洗的办法将其清除。采用悬浮填料代替固定式捆绑填料, 可以避免苔藓虫或椎实螺的大量生长。

关键词: 微污染源水; 生物预处理; 微型动物; 苔藓虫

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2005)05-0006-04

Distribution and Control of Microzoons in Bio-pretreatment Process

CHEN Hong-bin^{1,2}, MEI Xiang³, HE Qun-biao^{1,2}, ZHOU Zeng-yan¹,
GAO Ting-yao^{1,2}

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. National Engineering Research Center for Urban Pollution Control, Shanghai 200092, China; 3. School of Chemical Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Biological pretreatment of micropolluted source water has been applied in practice, and it is necessary to make clear the activity of microzoons growing on biofilm for the design and operation of the bio-pretreatment project. The study shows that the categories and numbers of microzoons are reduced gradually downwards the bio-pretreatment pond, and are different from that in biological wastewater treatment. The varying tendencies of the categories and numbers can be used as one of the indicators for evaluating the running effect. Bryozoan appears specifically in polluted raw water bio-pretreatment process, and it is helpful to improving bio-purification effect when growing normally. Pressed water rinsing can rid it from packing, when it is out-breaking growing and threatens the running effect. Suspended carrier is a good alternative to replace fixed elastic packing to avoid its abnormal growing.

Key words: micropolluted raw water; bio-pretreatment; microzoons; Bryozoan

目前微污染源水的生物预处理主要采用生物接触氧化法, 但有关生物膜状况尤其是微型动物异常

基金项目: 上海市 2003 年度科技启明星项目 (03QF14055); 上海市 2005 年度优秀青年教师后备人选计划

生长控制措施的研究还很少^[1,2]。笔者根据对中试装置连续一年多的运行测试结果,探讨了微型动物在微污染源水生物预处理中的作用,并提出了控制微型动物过量生长的工程措施。

1 材料与方法

中试装置位于东莞某供水渠的支渠。源水水质:COD_{Mn}为 3 25 ~ 5 18 mg/L, NH₃ - N 为 2 55 ~ 4 15 mg/L, BOD₅ 为 2 82 ~ 5 42 mg/L, Fe 为 0 22 ~ 1 06 mg/L,藻类为 10⁶ ~ 10⁸ 个 /L,水温为 14 5 ~ 30 6 。

中试装置为钢混结构,共两条廊道(A和B),尺寸均为 20 0 m ×1 0 m ×4 3 m,其池体型式、布置等见文献[3]。试验所在地的源水生物预处理工程于 1999 年建成投产,采用穿孔管曝气,填料为捆绑式 YDT 弹性立体填料,工程状况见文献[4]。

水质分析方法见文献[5],在装置的不同区段放置填料,定期取样分析水质指标并镜检微型动物的生长状况,其分类方法参见文献[6]。

2 结果与讨论

2 1 微型动物的种类和数量

生物处理池经三至四周的填料挂膜后生物相趋于稳定,成熟生物膜呈褐色至深褐色,厚度为 0 02 ~ 1 0 mm,膜上的微型动物种类和数量都十分丰富。

微型动物的种类

原生动物。生物膜上的原生动物主要营固着或附着生活,主要有:纤毛虫类,它是生物膜上种类和数量最多的原生动物,且都属于清水型;鞭毛虫类,种类和数量与进水水质和气候条件有关,常见种有尖尾扁眼虫、圆形扁眼虫、绿眼虫等;肉足虫类,该类原生动物受源水污染程度的影响较大,主要有变形虫、有壳根足虫、放射太阳虫等;吸管虫类。

后生动物。生物膜上常见的有 7 个门的后生动物,如腔肠动物门的水螅;扁形动物门的涡虫;线形动物门的线虫、旋轮虫、金鱼藻沼轮虫、臂尾轮虫、长足轮虫、长柄巨冠轮虫等;环节动物门的颤体虫、杆吻虫、尾盘蚓、毛腹虫、仙女虫等;外肛动物门的羽苔虫;软体动物门的椎实螺等;节肢动物门的水蚤等。其绝大多数个体的长度 < 1 mm,软体动物门的椎实螺可达到 6 mm 以上。营固着或附着生活的常见种有:金鱼藻沼轮虫、长柄巨冠轮虫和苔藓虫。

微型动物的数量

当生物预处理装置运行稳定后,对池前段(5 m

处)生物膜上微型动物的种类和数量进行了检测。结果表明,固着生长的原生动物数量最多,游泳型原生动物的数量少,而且都在生物膜附近活动;后生动物以轮虫和环节动物为主;长期运行时,苔藓虫逐渐形成群体,数量可达几百个。当进水条件相同时,冬季生物膜上的动物种类与数量同夏季的基本相似,即水温对池前中段生物膜上微型动物种类与数量的影响较小。

调查发现,如源水水质不同则生物膜上微型动物的种类和数量也有所差异,例如:预处理深圳大涌水厂源水(污染物浓度较低)中试装置填料上的微型动物数量稀少,而预处理珠江源水(COD_{Mn}为 6 ~ 10 mg/L)时微型动物几乎覆盖了纤维丝表面。

2 2 微型动物在池内的分布

稳定运行时

生物处理池正常运行时的进水 NH₃ - N 和 COD_{Mn} 平均值分别为 2 74 mg/L 和 4 20 mg/L,去除率分别为 84 7%和 20 7%,生物处理池沿程的微型动物种类和数量均呈现递减的趋势。在池前段微型动物种类丰富,原生动物达 26 种,后生动物有 15 种,固着生长的微型动物多以群体方式出现;在池的出水端,生物膜上的原生动物种类少并稀疏地以个体出现,且罕见变形虫类原生动物,后生动物仅 3 ~ 4 种,金鱼藻沼轮虫属优势动物,旋轮虫偶尔出现。可见,生物膜上的微型动物种类与数量呈典型的倒金字塔形状,与污水处理中的生物相变化不尽相同(处理污水的生物膜工艺的生物膜量、膜厚度和微型动物数量均沿水流方向减少,但膜上的微型动物种类沿水流方向逐渐增多)。

运行不稳定时

当生物处理池运行不稳定时其去除 NH₃ - N 的效果变差,结果见表 1。

表 1 运行不稳定时沿程 NH₃ - N 去除效果的变化

Tab 1 Removal efficiency change of NH₃ - N downwards bio-treatment pond when running unstable

项 目	进水端	前段 (5 m 处)	中段 (10 m 处)	后段 (15 m 处)	出水端 (20 m 处)
NH ₃ - N / (mg · L ⁻¹)	2 98	2 35	1 94	1 34	1 04
去除率 / %		21 1	13 8	20 1	10 1

研究表明,当生物处理池对 NH₃ - N 去除率低且各段的去除量相近时,出水端的动物种群结构与池中后段的相近,例如种类较多,纤毛虫类原生动物出现

群体,环节动物和轮虫活跃地生活于生物膜上等。

2.3 沿程分布对处理效果的指示作用

运行表明,预处理过程中微型动物的生理活性处于良好状态,无法通过其生理活性的改变来指示处理效果的变化;除污效率发生改变时没有出现特异性的指示性动物种。而处理池沿程生物膜上的动物分布规律与处理效果联系紧密,可以用来指示微污染源水生物预处理的效果。具体为:当生物处理池沿程生物膜上动物的种类和数量呈典型的倒金字塔结构,池末端的原生动物仅出现固着生长的钟虫、累枝虫、鞘居虫、盖虫等且十分稀疏,后动物仅有固着型的金鱼藻沼轮虫等稀少出现时,表明生物处理池的运行状况较好。当沿程动物的分布规律较差、池末端的微型动物种类和数量与池中后段相似时,说明处理效果变差,应及时调整工况参数。

在应用沿程微型动物分布规律指示微污染源水生物预处理效果时,应注意:指示作用仅适用于放置固定式纤维状填料(如 YDT 填料、TA 填料)的处理池,而且反映的是一段时间内的平均去除效果变化,对由短时冲击负荷引起的变化则指示不灵敏;当生物处理池对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率 $>75\%$ 但去除作用主要发生在处理池的中后段时(见表 2),处理池的沿程微型动物分布也是混乱而无规律的。这种现象可能是由于曝气不均匀或前段积泥过多所致,也需在运行中及时调整工况。

表 2 中试装置以中后段为主去除 $\text{NH}_3\text{-N}$

Tab 2 $\text{NH}_3\text{-N}$ removal in middle and back part of pilot bio-treatment pond

项 目	进水端	前段	中段	后段	出水端
$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	3.87	3.20	1.98	1.73	0.62
累计去除率 /%		17.3	45.8	55.3	84.0

2.4 苔藓虫的大量生长与控制

淡水苔藓虫一般生活在小溪流或潮湿地区,在微污染源水生物预处理构筑物中生长的苔藓虫属于羽苔虫。试验表明,苔藓虫一般在填料挂膜中期开始出现,其食物为水中的游离细菌、藻类、游泳的微小动物、脱落的生物膜、有机碎粒等。正常生长时的苔藓虫一般分散于池内前中段填料上的某些部位,长期运行时在池末端的填料上也能发现零星生长的个体。苔藓虫生长正常时对水质净化有促进作用,如滤食有机颗粒、澄清水质等^[7]。

暴发性生长对处理池运行的影响

中试装置的廊道 A 模拟工程的实际运行状况(流速:0.0813 m/s,水量:1112.2 m³/h, HRT:4.1 min),运行 1 个月出现了苔藓虫暴发性生长的现象,此时绝大多数纤维丝上都生长了苔藓虫群体,整个填料被包裹成一个淡色柱状体,整根填料的质量比正常时增加了一倍以上。镜检发现:当填料上大量生长苔藓虫后生物膜厚度可达 2 mm 以上,膜上的微型动物组成也发生了显著改变。

当廊道 A 的苔藓虫暴发性生长稳定后,分析了不同工况下的污染物去除效果,并与廊道 B(苔藓虫正常生长)的除污效果作了比较。结果表明,在苔藓虫旺盛生长初期生物膜处于不稳定状态,测得进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均为 3.37 mg/L,出水为 3.53 mg/L,对其去除率为 5.36%;当苔藓虫的暴发性生长稳定后对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率为 16.6%,对 COD_{Mn} 的平均去除率为 3.67%。在廊道 A 更换新的 YDT 弹性立体填料并于同样的工况下运行 1 个月,再次出现了苔藓虫的大量生长现象。当苔藓虫的生长趋于稳定后进行了连续两周的分析测定,结果表明对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率为 2.41%~32.7%(平均为 10.6%),对 COD_{Mn} 的平均去除率为 3.47%。可见,当苔藓虫大量生长并趋于稳定后,反而会使去除率略有增加。

在廊道 A 的苔藓虫大量生长趋于稳定后将 HRT 延长至 60 min,此时对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 和藻类的去除效果见表 3。

表 3 两个廊道的除污染效果对比

Tab 3 Comparison of main pollutants between two ponds with and without bryozoans out-breaking growing on packings

项目	$\text{NH}_3\text{-N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		藻类 / (10^6 个 $\cdot\text{L}^{-1}$)	
	廊道 A	廊道 B	廊道 A	廊道 B	廊道 A	廊道 B
进水	2.76	3.58	5.88	5.26	26.9	22.4
出水	0.57	1.13	4.40	4.05	6.80	9.7
注:廊道 B 内填料上的苔藓虫正常生长;两个廊道的填料形式、曝气方式、气水比和 HRT 均相同。						

从表 3 可知,廊道 A 对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD_{Mn} 和藻类的去除率略高于廊道 B,经分析原因为:苔藓虫所形成的分支群体结构在填料上纵横交错,客观上增大了填料的比表面积;微生物重新在坏死的苔藓虫管状骨骼表面形成生物膜;环节动物和涡虫在苔藓虫群体内部穿梭,使水流进入群体内部;大量苔藓虫对藻类的滤食提高了对藻类的去除率。

考虑到苔藓虫大量生长后会使得填料质量增加一倍左右,并降低了填料层的空隙率(导致沿程水头损失增加),如生产中采用捆绑式固定填料,则在工程设计时应应对预处理池前段填料支架的承载力加倍,而且填料层的布置形式应考虑不同水层的混合和水头损失。

苔藓虫暴发性生长的原因及控制措施

经分析认为,苔藓虫的暴发性生长不仅与水质和环境因素有关,而且与捆绑式固定填料的结构有关。捆绑式固定填料的结构形式为苔藓虫在整根填料上的蔓延生长提供了可能;供水渠道内原有的一些苔藓虫和休眠体在生物处理池启动时随水进入池内;大流量运行时进入生物处理池的有机物、藻类、细菌和原生动物数量很多,为苔藓虫提供了丰富的食物;池内较高的溶解氧($>5.0\text{ mg/L}$)、pH 近中性及 20 以上的水温皆有利于其生长,因此苔藓虫出现了过量生长的现象。

试验表明,使用加压力水枪冲洗能将苔藓虫及其残骸清除。该法快速、简便,在工程上可作为应急措施使用。当采用直径为 5 cm 或 10 cm 的悬浮填料作为生物预处理工艺的载体时,由于载体彼此分散且处于流化状态,能够避免苔藓虫大量生长的影响,也可以避免椎实螺等软体动物在填料上过度生长。

苔藓虫在填料上大量生长并稳定后,源水的生物预处理效果并未下降,如果此时生物处理池的沿程水阻增加较小,那么可不进行冲洗或适度控制其生长。某源水生物预处理工程投产 5 年来,苔藓虫的大量生长区段仅限于池前 50 m 内,对运行几乎没有影响,因此一直没有进行强制水力冲洗。

3 结论

微污染源水生物预处理生物膜上的微型动物绝大多数属清水型动物,以固着或附着生活为主。苔藓虫是源水生物预处理工艺中特有的一种后生动物,易于在生物膜上形成优势种群;椎实螺在生物膜上爬行生活,以其他微型动物或生物膜为食。这两种动物都是在预处理中首次被发现。

生物处理池运行状况良好时,池内微型动

物的种类和数量均沿程逐渐降低,呈典型的倒金字塔结构;而当处理池运行状况较差时微型动物的沿程分布规律较差。因此,可利用微型动物沿程分布判断生物处理池的运行状况。

当苔藓虫正常生长时主要出现于池前半段的填料上,对微污染源水的净化有促进作用;当其暴发性生长时会使得填料的质量增加一倍以上,并改变了生物膜结构,当大量生长趋于稳定后,处理池对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 COD_{Mn} 、藻类等的去除率有所增加,但会导致处理池的沿程水头损失增加,其死亡残体不易脱落,对处理池的长期运行存在影响。强制水力冲洗可作为工程上的控制措施,在设计时应应对填料支架和填料层的布置作充分考虑;如以悬浮填料作为源水生物预处理的微生物载体,则可避免苔藓虫的大量生长。

参考文献:

- [1] 李怀正,傅威,白月华,等. 生物接触氧化预处理源水的设计参数[J]. 中国给水排水, 2001, 17(2): 43 - 45
- [2] 陈洪斌,梅翔,高廷耀. 源水生物预处理软体动物的大量生长与控制[J]. 给水排水, 2000, 26(7): 6 - 9
- [3] 陈洪斌,梅翔. 受污染源水的生物预处理中试研究[J]. 同济大学学报, 2001, 29(10): 1240 - 1245
- [4] 李迎春,肖毅,孙国胜. 东深供水工程的生物处理设计与运行[J]. 中国给水排水, 2002, 18(5): 68 - 71
- [5] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1989
- [6] 任淑仙. 无脊椎动物学[M]. 北京:北京大学出版社, 1989
- [7] Richelie E, Moureau Z. Bacterial feeding by the freshwater bryozoan flumatella[J]. Fungosa Hydrobiol, 1994, 291(3): 193 - 199

作者简介:陈洪斌(1970 -), 男, 四川渠县人, 博士、副研究员, 研究方向为水污染控制理论与技术开发。

电话:(021) 65980872

E-mail: bhctxc@mail.tongji.edu.cn

收稿日期: 2004 - 12 - 17

尊重知识,尊重人才,实施科教兴国战略