动物科学

DOI :10. 3969/J. ISSN. 1672-6693. 2009. 04. 006

药厂污水处理池微型生物群落与水质净化监测*

施心路[1,2], 陈 红[3], 韩宏蕾[1,2], 白 昕[2], 赵琪琤[2], 黄小娜[1]
(1. 杭州师范大学 杭州市动物科学与技术重点实验室, 杭州 310036 ;2. 哈尔滨市环境监测中心站,哈尔滨 150076 ;
3. 天津环境保护科学研究院, 天津 300191)

摘要 :2005—2006 年,对哈尔滨哈药总厂污水处理厂各处理池中的微型生物群落动态与水质净化效能之间的相互关系进行了研究。结果表明,在该处理系统中,共发现微型生物 48 种,其中出现量大的种类有有肋楯纤虫(*Aspidisca costata*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)和广缘小环藻 (*Cyclotella stelligera*) ;红眼旋轮虫(*Philodina erythrophthalma*)和懒轮虫(*Rotaria tardigrada*)也是经常出现在该水处理系统中的种类,但数量不多 ;采样点距排污口越远,水质则越有明显改善,微型生物群落的种类数目和群落密度明显增加,群落多样性指数也随之上升。实验证明,利用微型生物的群落组成和变化规律快速检测污水处理厂水质处理结果的方法切实可行。

关键词 :污水处理 ;微型生物 ;原生动物 ;水质净化
中图分类号 :X832 文献标识码 :A 文章编号 :1672-6693(2009)04-0027-05

随着环境保护意识的不断增强,人们逐渐认识到单纯依赖理化指标对水质进行监测并不全面,有时仅仅依据常规的理化指标所得出的水质结果往往会导致人们对水质真实情况的错误判断。因此,生物监测方法越来越受到人们的重视。微型生物在水体生态系统的结构和功能中起着非常重要的调控作用,通过掌握水体中微型生物的群落组成和变化规律可以对某一水体环境系统进行监测,从而了解水体生态系统质量的现状[1-2]。目前,利用原生动物的群落组成,变化规律及功能参数对水质的现状和污染程度进行评价的生物监测方法已经取得了很大的进展[3-7]。

现今污水处理的主要方法之一是活性污泥法。活性污泥是由细菌、原生动物、后生动物、藻类等微型生物和氢氧化物组成的胶泥絮状结构物。微型生物的种类和数量可以直接反映出环境因子的变化状况,因而具有污水处理效果的指示作用。在水中诸多因子相互作用的过程中,微型生物在净化水质中起主要作用。一方面,微型生物中的动物(轮虫及原生动物等)是活性污泥系统中最主要捕食者,它们通过捕食活性污泥中的细菌及其它有机碎屑等物质来防止其生态系统的老化,从而增强污水净化效能[6-8] ;另一方面,微型生物受活性污泥系统中的理化因子影响,其群落的变化也可以动态而客观地反映出处理池这一半封闭系统中的水质状况。因此,微型生物被广泛用作活性污泥形成过程或净化效果的指示生物[9-13]。本研究调查了哈尔滨制药总厂污水处理厂中微型生物群落特征周年季节变化,并对该污水处理厂的运转效果进行了连续监测,旨在为进一步提高医药废水处理系统的效能提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象及采样点设置

哈尔滨制药总厂位于哈尔滨市的西南部,为我国抗生素的重点生产基地。该厂为使排放的污水能够全部达到排放标准,根据其污水特点(水量大、峰值高、高 SO_4^{2-} 浓度、低 pH 值、高悬浮物浓度等)建成污水处理厂 1 座。处理的主要工艺为厌氧水解 + 气浮 + 好氧处理,污水处理量 2×10^7 kg/d。本研究以好氧工艺池为研究对象。采样点设置为格栅集水井、曝气池进口、曝气池出口和二沉池 4 个样点(图 1 中以数字将其编号)。格栅集水井主要作用是有效去除污水中的较大悬浮物,保证后续处理稳定运行 ;曝气池中则投加填料,使曝气池内形成复合微生物群体,提高曝气池的综合处理能力 ;二沉池可保证

* 收稿日期 :2009-03-02 修回日期 :2009-05-06
资助项目 :国家自然科学基金(No. 30670222) ;淡水生态与生物技术国家开放实验室基金(No. 2009BF11) ;海水养殖教育部重点实验室基金(No. 2006023)
作者简介 :施心路,男,教授,博士,研究方向为水生生物学。

污泥沉降以达到排放标准。

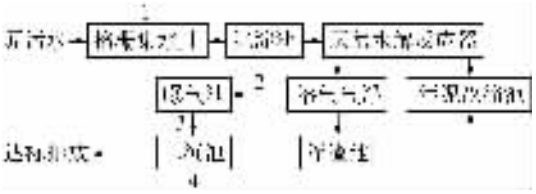

图1 各采样点分布示意图

Fig. 1 Skeech map of four sampling sites

1.2 采样方法、物种鉴定及计数

自2005年5月至2006年4月,利用PFU(聚氨酯泡沫塑料块,Polyurethane foam unit)法和直接采水法进行样品采集,每月采样2次。PFU法采集按照文献[11-14]进行。

采集后的PFU用食品塑料袋带回实验室,将PFU中的水液挤出,置于烧杯中。待水液沉淀后,用细吸管从杯底吸取渣滓(此部分含生物种类较多),在显微镜下进行活体微型生物种类的鉴定。共检查3片,分别在高、中、低倍镜下进行定性观察。然后摇匀PFU挤出液,吸取0.1 mL水样于计数框中,在显微镜10×20的放大倍数下全片计数。微型生物数量过多时,以适当比例稀释挤出液;气温较高时,加少量甘油封片以防气泡产生影响计数结果。每个水样计数3片,取平均值。然后换算成单位体积中的个体数量,其换算公式为

$$N = (V_s \times n)/(V \times V_a)$$

其中N—1 L水中原生动物的个体数;V—采样体积(L);V_s—沉淀体积(mL);V_a—计算体积(mL);n—计算时所得的个体数。

种类鉴定以活体观察和蛋白银染色相结合的方法进行,原生动物种类鉴定分别依据文献[14-15],分类系统分别参见文献[16-20]。

1.3 PFU原生动物群落的生物多样性指数计算

多样性指数d按Margalef多样性指数公式计算

$$d = (S-1)/\ln N$$

式中S—种类数;N—PFU微型生物群落的生物密度[11-13]。

1.4 水质理化指标测定

采样点水质理化指标的测定由哈尔滨市环境监测站测提供,主要指标有总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD)、生物耗氧量(BOD_5)水温(T)、悬浮物(SS)和pH值等。

1.5 数据分析

环境因子和微型生物群落结构及数据的处理和分析主要采用EXCEL2000和SPSS11.0进行。

2 结果与讨论

2.1 水质理化指标的变化

水质测试数据表明,哈药总厂所排的原污水具有高SO_4^{2-}、低pH、高悬浮物浓度等特点,其中COD约为5 000 mg/L,pH在5左右,铵态氮(NH_4-N)浓度约为127.5 mg/L。污水经过净化后,出水水质有明显提高,其中COD不高于300 mg/L,pH在6~9之间,NH_4-N浓度不高于50 mg/L(表1)。

表1 进出水水质主要理化指标

Tab. 1 Mean values of chemical and physical parameters for water of input and output

水质参数	COD /(mg·L^{-1})	BOD_5 /(mg·L^{-1})	SS /(mg·L^{-1})	SO_4^{2-} /(mg·L^{-1})	NH_4-N /(mg·L^{-1})	pH
综合污水	≈5 000	2 562.5	450	3 750	≈127.5	≈5
出水水质	≤300	100	150	-	≤50	7.4

2.2 微型生物的种类组成

2005年4月—2006年5月进行为期1 a的采样,共检出微型生物48种(表2),隶属40属,其中鞭毛虫8种,肉足虫5种,纤毛虫25种,后生动物2种,藻类8种。各采样点微型生物群落种类数的变化见表2。经常大量出现的微型生物有有肋楯纤虫(*Aspidisca costata*)、小球藻(*Chlorella* sp.)和广缘小环藻(*Cyclotella stelligera*)。轮虫(*rotifers*)也经常出现,但数量不多。2005年7月和8月出现有肋楯纤虫的密度高峰是因降雨引起的温度降低所致。这与陈声贵等[4]认为"楯纤虫爬行在活性污泥表面,几个密度高峰均出现在水温波动剧烈的时段,对水温的变化表现出较高的耐受性"相对应。由于各采样点的环境差异极大,故各采样点的PFU微型生物群落的种类数分布差异也很大。随着采样点距排污口的距离延长,微型生物群落的种类数也随之增加。二沉池和曝气池出口中的种类数也较多,最高峰都是22种,只是出现的高峰分别为2005年5月份和2006年3月份而已(图2)。

原生动物种类中,植物性鞭毛虫多,动物性鞭毛虫少;纤毛虫最多,肉足虫少。组成该活性污泥生物群落的主要类群是固着类纤毛虫中的缘毛目纤毛虫,它主要包括褶累枝虫、沟钟虫。这些缘毛目的种类都固定在絮状物上,并随污泥而翻动,其中还夹杂

表 2　各采样点 PFU 微型生物群落种类组成及数量

Tab. 2　The variation in species number of PFU microbial communities in different sampling sites

采样点编号	鞭毛虫	肉足虫	纤毛虫	藻类	后生动物
1	0	0	0	8	1
2	5	4	11	5	2
3	8	5	21	5	2
4	4	5	25	5	2

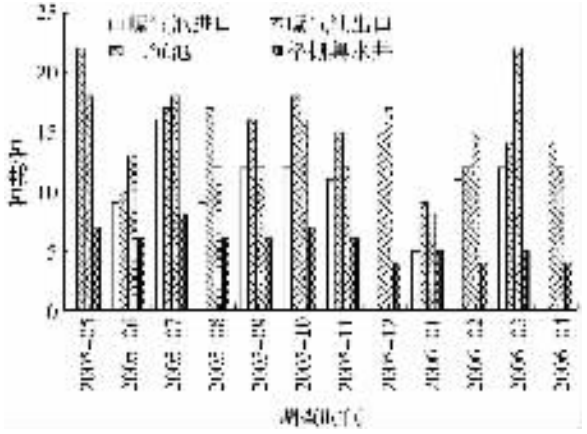

图 2　各采样点微型生物种类数的周年变化

Fig. 2　Annual variation of microorganism species number in four sampling sites

一些爬行的纤毛虫如游仆虫、卑怯管叶虫等,说明污泥是优质而成熟的活性污泥。着生的缘毛目多时,处理效果良好,出水 COD 和浊度低[6]。2005 年 5 月份处理效果好,沟钟虫达到 30 个/mL。各个采样点种类组成的变化与各点的水质状况密切相关。样点曝气池出口和二沉池为处理后的水体,水体质量好,理化指标也趋于正常,水体趋于清洁,所以池内的生物种类较多,而样点格栅集水井接近排污口,此池水质具有 SO_4^{2-} 高,pH 低等特点,所以微型生物的种类数特别少,基本上只有 3 ~ 4 种。样点曝气池进口是污水经过一次初沉处理,水质有所改进,但各项理化指标仍不合格,但微型生物种类数较格栅集水井多一些,一般有 10 ~ 11 种。

从表 2 可见,微型生物可直接指示出污水厂的出水水质。在样点 1 只有一些藻类出现,此处污水中具有高浓度的 SO_4^{2-},所以原生动物不易生存。样点 2 到样点 3 纤毛虫种类增加,在样点 2 中鞭毛虫种类最多。污水厂运行稳定时,曝气池中的纤毛虫尤其是缘毛类纤毛虫占优势,则此时的出水水质好,但鞭毛虫和肉足虫占优势时,出水水质一般较差。这与杨明宪所得结论相符[7]。轮虫是活性污泥中最常见的后生动物,全年均可见于活性污泥各系统中。处理厂各系统记录到的轮虫有懒轮虫(*Rotoria tardigrada*)、红眼旋轮虫(*Philodina erythrophthalma*),其中红眼旋轮虫最为常见。当轮虫类占优势时,水质良好。另外,由表 3 可见,微型生物的群落种类和系统出水 *TP* 值呈显著负相关,这可以反映出处理系统的除磷效果。

表 3　二沉池理化因子与生物因子之间的相关性

Tab. 3　The correlation between biological and phys-chemical parameters at smpling sites 4

	d	种类	*TN*	*TP*	COD	pH
d	1					
种类	0.214	1				
TN	0.180	−0.307	1			
TP	0.010	−0.584 *	0.512	1		
COD	−0.738 *	−0.167	−0.411	−0.258	1	
pH	0.065	−0.050	−0.415	0.178	0.144	1

注:上标 * 表示相关性有显著性差异($p < 0.05$)

2.3 微型生物的个体丰度变化

水体中微型生物的个体丰度的高低往往被作为判断水体富营养化程度的一个重要指标。普遍认为在受有机污染较严重的水体,耐污种类形成优势种群而具有很高的个体丰度。本研究从个体丰度上看,微型生物在各样点的个体数量也存在较大的差距。明显可见曝气池出口个体丰度周年变化基本上处于最高值。其中 2006 年 2 月份有最大值 9 760 个/mL。4 个采样点的平均个体丰度分别为 1 981、3 326、5 188、3 532 个/mL(图 3)。

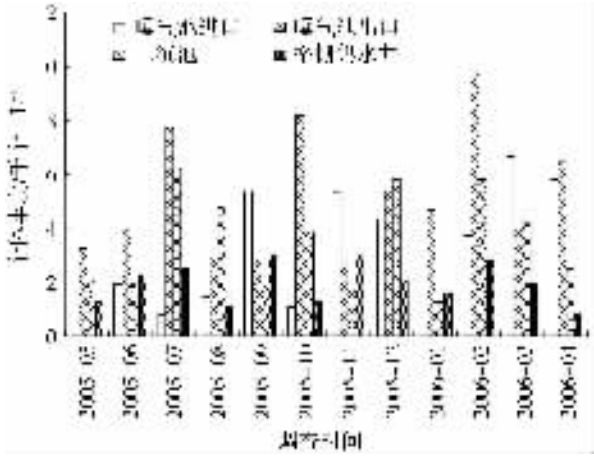

图 3　各样点的个体丰度周年变化

Fig. 3　Annual vaviation of individual abundance in four sampling sites

2.4 微型生物的多样性指数

生物多样性指数是群落生态学研究中的一项重要内容,它不仅可以用来说明群落的自身结构特点,而且也是应用生物学指标评价环境的一个重要参数。各采样点 PFU 微型生物群落的生物多样性指数变化见图4。其中格栅集水井、曝气池进口、曝气池出口、二沉池的微型生物群落的多样性指数依次呈递增趋势,即格栅集水井的 d 值始终处于非常低的水平,在采样点二沉池则 d 值最高(其最大 d 值为2.52)。本处理池地处中国的北方地区,具一定的气候特点,由图4可见,2006年1、2月各个处理池多样性指数均偏低。推流出水和二沉池在1月份多样性指数均达最低,分别为0.95、0.97。

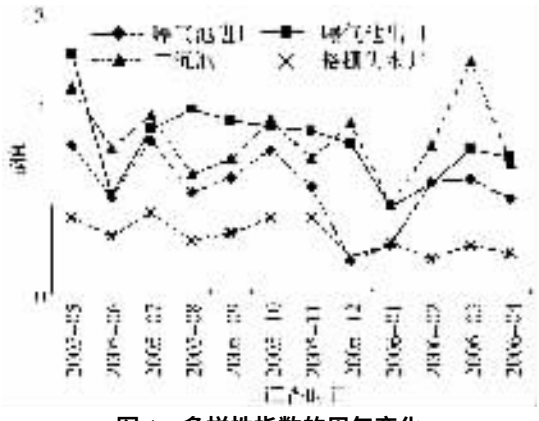

图4 多样性指数的周年变化

Fig. 4 Annual variation of diversity index in four sampling sites

Margalef 多样性指数 d 值在评价水体的生物学监测方面应用较多,它可以较客观地反映出水体污染程度及其变化趋势,由表3可见多样性指数和 COD 呈显著负相关,即污染越严重,COD 越高,d 值越低;反之亦然[11-13,20]。多样性指数也是群落演替的一个重要指标,某一群落种类多样性指数高,表明该群落结构复杂,稳定性好,而当生物生存环境受到胁迫时,敏感种类大量消失,多样性指数明显下降[4,11-13]。因此群落多样性的变化是生物生存环境发生变化的重要标志。此次调查中发现4个采样点中微型生物群落多样性指数的数值呈波浪式变化。格栅集水井严重污染平均 d 值为0.64,二沉池可达到2.52,达到排放标准。可见,随着采样点距排污口的距离延长,群落多样性指数随之上升。

3 结论

从 PFU 微型生物群落的结构分析,在各处理系统中,随着采样点距排污口的距离延伸,PFU 微型生物群落的结构发生明显变化[4]。从群落中只有藻类出现到出现肉足虫,纤毛虫也从无到有,从少到多。在此群落演替过程中伴随着群落多样性的增加,这现象表明污水厂活性污泥中微型生物种类出现的变化是有一定规律的。如果各系统中某些不常见种类突然发生密度急剧上升现象,就应该及时检查运行状况或者进水水质是否出现问题[2,5]。

理论上在进水水质、污水处理工艺和运行参数值固定的情况下,每个污水处理系统对应着一种特有的生物群落结构,这种结构对污水的处理效果最好。通过广泛地观察和分析微型生物群落和出水的水质,可以找出这种群落结构[4]。污水处理厂的目标之一就是调整各种运行参数值,保持这种生物群落结构的优势状态,从而获得最佳的出水水质。因此,镜检活性污泥系统中的原生动物,藻类和后生动物是监测污水处理厂运行状况的一种简易快速的方法和手段。

通过对哈尔滨制药总厂污水处理厂各系统的微型生物群落的分析表明,微型生物种群动态规律与污水处理效果关系密切,活性污泥的运转效能良好,各种主要污染物得到有效净化。利用微型生物群落监测方法对处理水体进行适时生物监测既可以降低生产成本,同时也可以大大提高检测人员的工作效率。

参考文献:

[1] 徐润林,孙逸湘,阳承胜,等. 铅锌尾矿废水处理系统中 PFU 原生动物群落变化特征及其与水质净化的关系[J]. 应用与环境生物学报,1999,5(4):357-361.

[2] 许木启. 利用 PFU 原生动物群落监测北京排污河净化效能的研究[J]. 生态学报,1991,11(1):80-85.

[3] 谭晓丽,施心路,刘桂杰,等. 哈尔滨人工湖泊中原生动物群落变化规律的研究[J]. 生态学报,2005,25(10):2650-2657.

[4] 陈声贵,许木启,曹宏,等. 活性污泥微型动物种群动态与水质净化效能的关系[J]. 动物学报,2003,49(6):775-786.

[5] 陈建,沈韫芬. PFU 微型生物群落水质鉴别及群落参数变化[J]. 环境科学学报,2000,20(2):156-162.

[6] 谢宗平,马国泰. 张掖地区造纸厂废水灌溉区域微型生物调查研究[J]. 中国环境监测,2001,17(2):42-45.

[7] 杨明宪,用微型生物对制药废水处理效果的监测[J]. 环境保护科学,1995,72:30-34.

[8] 陈声贵,许木启,杨向平. 原生动物在活性污泥中的作用[J]. 生态学杂志,2002,21(3):47-51.
[9] 沈韫芬. 微型生物在污水处理中的原理作用和应用[J]. 生物学通报,1999,34(7):1-4.
[10] 许木启,曹宏. PFU 原生动物群落生物监测的生态学原理与应用[J]. 生态学报,2004,24(7):1540-1548.
[11] 许木启,朱江,曹宏. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质量关系研究[J]. 生态学报,2001,21(7):1114-1120.
[12] 许木启,王子健. 利用浮游动物群落结构与功能特征监测乐安江—鄱阳湖口重金属污染[J]. 应用与环境生物学报,1996,2(2):169-174.
[13] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河—白洋淀水体的自净效果[J]. 水生生物学报,1996,20(3):212- 220.
[14] 沈韫芬,章宗涉,龚循矩. 微型生物监测新技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1990.
[15] Kahl A. Urtiere oder protozoa I:Wimpertiere oder Ciliata (Infusoria),4. Peritricha und Chonotricha[M]//Dahl F. Die Tierwelt Deutschlands. Jena:G. Fischer,1935,30:651-886.
[16] 宋微波. 海水养殖中的危害性原生动物[M]. 北京:科学出版社,2003.
[17] 施心路. 下毛目纤毛虫的系统修订 II. 尾柱亚目(纤毛动物门)[J]. 动物分类学报,1999,24(4):361-371.
[18] 施心路. 下毛目纤毛虫的系统修订 III. 散毛亚目,游仆亚目(纤毛动物门)[J]. 动物分类学报,2000,25(1):9-25.
[19] Kreutz M,Foissner W. The sphagnum ponds of simmelried in Germany:A biodiversity hot-spot for microscopic organisms[J]. Protozoological Monographs,2006,3:1-267.
[20] 许木启,翟家骥,邵永怡. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京通惠河水质[J]. 动物学杂志,1998,33(4):1-7.

The Microbial Community and Water Purification Monitoring in Sewage Treatment Pools of a Medical Plant

SHI Xin-lu[1,2], *CHEN Hong*[3], *HAN Hong-lei*[1,2], *BAI Xin*[2], *ZHAO Qi-zheng*[2], *HUANG Xiao-na*[1]

(1. Hangzhou Key Laboratory for Animal Science and Technology, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036;
2. Harbin Environmental Monitoring Central Station, Harbin 150076;
3. Tianjin Academy of Environmental Science, Tianjin 300191, China)

Abstract: Biological monitoring calls more and more people's attention. The microbial plays a very important role in the water ecosystems' structure and function. We can monitoring the water enviroment through handing the community composition and changement of the microbial in the water, in order to understand the water quality status of ecosystems . In this paper the relationship between the microbial community dynamics and the efficiency of water purification were studied by polyurethane foam unit method in a sewage treatment plant in Harbin from May of 2005 to April of 2006. During the investigation, 48 microorganist species were identified, of which *Aspidisca costata*, *Chlorella* sp. and *Cyclotella stelligera* were the most abundant forms. Rotifers often occur but in low abundance. The results show that species number and sensity of protozoan community, as well as the diversity index obviously increases with the extending of the distance between sampling sites and pollutant outlet due to the improvement of water quality. Experiment also confirmed that microbial community could be applicable for rapid monitoring of the variation of water quality in medicine-wastewater treatment system.

Key words: sewage treatment; microorganism; protozoa; water purification

(责任编辑 方 兴)