

污水再生处理系统中病原虫与粪大肠菌的相关关系

谢 兴^{1,2}, 张 彤^{1,2}, 胡洪营^{1,2}, 宗祖胜^{1,2}

(1. 清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084; 2 清华大学 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084)

摘 要: 系统地研究了北京市某城市污水再生处理系统中隐孢子虫、贾第鞭毛虫 (以下简称“两虫”)和粪大肠菌的浓度变化,考察了它们的浓度水平以及去除率之间的相关关系。结果表明,在污水再生处理系统中,粪大肠菌的浓度高于两虫,大约是两虫浓度的 10 000 倍。污水再生处理系统对两虫的去除率低于对粪大肠菌的去除率。从整个污水再生处理系统来看,两虫与粪大肠菌呈正相关关系:浓度的相关系数分别为 0.91 和 0.95,累计去除率的相关系数分别为 0.96 和 0.97。但是在各工艺单元内,两虫与粪大肠菌的浓度、累计去除率和单元去除率间的相关系数都在 0.03~0.72 之间,相关性并不显著。可见,为了保障污水再生利用的安全性,对两虫进行直接检测是十分必要的。

关键词: 污水再生利用; 隐孢子虫; 贾第鞭毛虫; 粪大肠菌; 相关性

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2008)13-0034-04

Correlation between Pathogenic Protozoan and Fecal Coliform in Sewage Reclamation Treatment System

XIE Xing^{1,2}, ZHANG Tong^{1,2}, HU Hong-ying^{1,2}, ZONG Zu-sheng^{1,2}

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2 State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The concentrations of pathogenic protozoans (*Cryptosporidium* and *Giardia*) and fecal coliform in an urban sewage reclamation treatment system in Beijing were studied. The correlation between initial concentrations and removal efficiencies of the protozoans and fecal coliform was investigated. The results show that the concentration of fecal coliform in the sewage reclamation system is 10 000 times higher than that of the protozoans. The removal efficiencies of the protozoans are lower as well. Moreover, a linear correlation exists between the protozoans and fecal coliform in the total sewage reclamation treatment system. The correlation coefficients of concentration are 0.91 and 0.95, and the correlation coefficients of accumulative removal efficiencies are 0.96 and 0.97, respectively. However, this correlation is not significant in each treatment unit, as the correlation coefficients are all between 0.03 and 0.72. It is necessary to detect *Cryptosporidium* and *Giardia* for the safety of sewage reclamation and reuse.

Key words: sewage reclamation and reuse; *Cryptosporidium*; *Giardia*; fecal coliform; correlation

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (20477021); 国家自然科学基金—JST重大国际合作项目 (20521140076)

有效保障再生水的水质安全是推广城市污水再生利用的重要前提。隐孢子虫和贾第鞭毛虫(以下简称“两虫”)是两种严重危害水质安全的病原性原生动物,但其检测较昂贵且过程复杂^[1]。为了更有效地对污水再生处理工艺过程进行监控,各国研究者在对两虫的直接检测方法进行完善的同时,试图通过考察其他水质指标与两虫的相关关系来寻找有效的替代指标,间接反映两虫在水中的存在水平。粪大肠菌能较好地反映水体受粪便污染的状况,是目前国内外标准法规中最常用的微生物指标^[2]。笔者通过分析北京市某城市污水再生处理系统各单元的出水水质,研究了两虫和粪大肠菌浓度水平以及去除效果之间的相关关系。

1 材料与方法

1.1 水样

水样取自北京市某城市污水再生处理系统,包括进水(即原水)、初沉池出水、二沉池出水、絮凝沉淀池出水和砂滤池出水。试验时间为 2005 年 8 月—2006 年 8 月,水样取回后置于暗处(4)保存,所有测定在 48 h 内完成。

1.2 分析方法

隐孢子虫和贾第鞭毛虫采用文献[3]中的方法测定;粪大肠菌采用平板计数法测定(M-TEC培养基):在平板中加入 1 mL 梯度稀释水样和 10 mL 左右的培养基,于 45 下培养 24 h 后计黄色菌落数,用单位体积水样的菌落形成单位(CFU/L)表示^[4]。

2 结果与讨论

2.1 浓度及相关关系

污水再生处理系统各单元出水的两虫和粪大肠菌浓度水平及其相关关系如图 1 所示。

由图 1 可见,污水再生处理系统各单元出水中的粪大肠菌浓度均高于两虫,大约是两虫浓度的 10 000 倍。两虫和粪大肠菌浓度的变化趋势基本一致,具有较好的相关性,线性相关系数分别为 0.91 和 0.95。所以,当水样中的粪大肠菌浓度升高时,可以初步判断两虫浓度也会上升。

考察各单元出水中两虫与粪大肠菌浓度的相关性,结果如表 1 所示。由表 1 可知,各单元出水中的两虫和粪大肠菌浓度的相关性不显著,相关系数在 0.07~0.65 之间。由图 1(b)也可以看出,在相同的粪大肠菌浓度水平下,两虫的浓度可能存在较大的波动。如二沉池出水中的粪大肠菌浓度在 $6 \times$

10^4 CFU/L 左右时,两虫的浓度在 2~20 个/L 之间。这说明,当处理工艺的某个单元出现问题时,只检测粪大肠菌并不能有效保障再生水的水质安全。这与目前大多数研究者的结论相似^[5-7]。

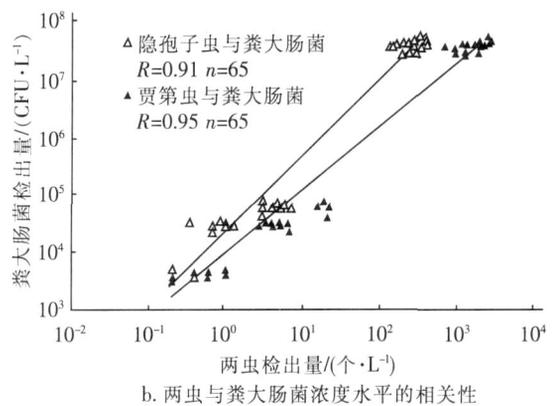
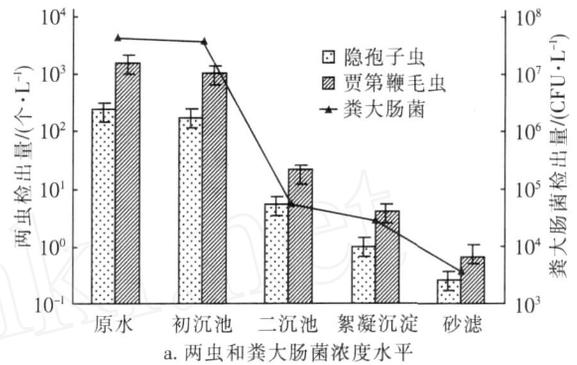


图 1 各单元出水的两虫和粪大肠菌浓度水平及其相关性
Fig 1 Concentrations of *Cryptosporidium*, *Giardia* and fecal coliform in wastewater treatment and reclamation process and their correlation

表 1 各单元出水中两虫和粪大肠菌的线性相关系数
Tab 1 Linear correlation coefficient between *Cryptosporidium*, *Giardia* and fecal coliform in wastewater treatment and reclamation process

项 目	原水	初沉池	二沉池	絮凝沉淀	砂滤	
检出量	隐—粪	0.15	0.20	0.07	0.11	0.59
	贾—粪	0.52	0.58	0.11	0.65	0.09
累计去除率	隐—粪		0.09	0.20	0.05	0.26
	贾—粪		0.15	0.32	0.25	0.05
去除率	隐—粪		0.09	0.18	0.03	0.72
	贾—粪		0.15	0.27	0.35	0.11

注:各单元的水样数均为 13 个;隐、粪、贾分别代表隐孢子虫、粪大肠菌和贾第鞭毛虫。

2.2 去除率及相关关系

城市污水再生处理系统对两虫和粪大肠菌的累计去除率及其相关关系如图 2 所示。

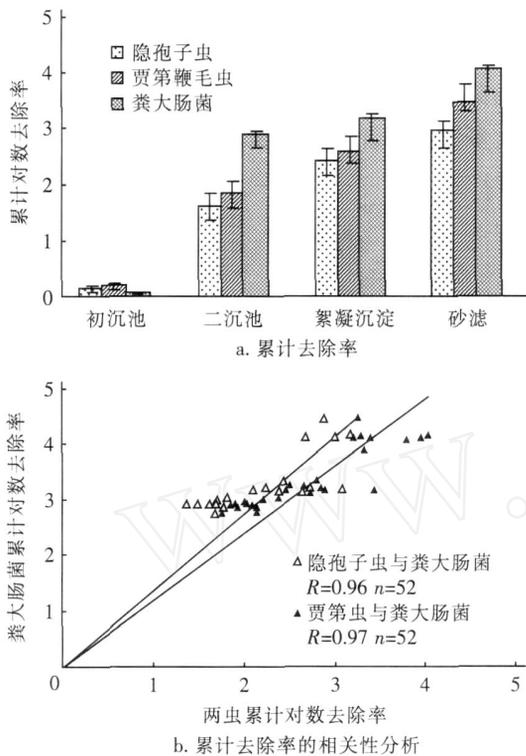


图 2 污水再生处理系统对两虫和粪大肠菌的累计去除率及其相关性

Fig 2 Accumulative removal efficiencies of *Cryptosporidium*, *Giardia* and fecal coliform in wastewater treatment and reclamation process and their correlation

由图 2 (a)可见,污水再生处理系统对隐孢子虫、贾第鞭毛虫和粪大肠菌的去除率分别为 2.98-lg、3.46-lg 和 4.11-lg,对两虫的去除率低于对粪大肠菌的去除率。因此,只保证对粪大肠菌的去除率并不能保证对两虫的有效去除。

考察污水再生处理系统各单元对两虫和粪大肠菌的去除率,结果如图 3 所示。

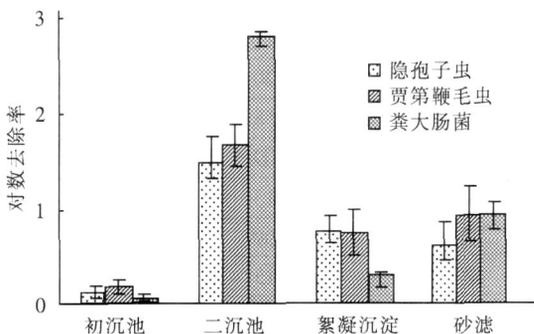


图 3 各单元对两虫和粪大肠菌的去除率

Fig 3 Removal efficiency of *Cryptosporidium*, *Giardia* and fecal coliform in each treatment unit

由图 3 可见,污水一级处理对隐孢子虫、贾第鞭毛虫和粪大肠菌的去除效果均不理想,去除率分别为 0.13-lg、0.18-lg 和 0.06-lg。污水一级处理主要是简单的物理作用,微生物的沉降是污水中微生物浓度降低的主要原因,而且粒径越大的颗粒物越容易沉降。在本研究中,污水一级处理对两虫和粪大肠菌的去除率从大到小依次为贾第鞭毛虫、隐孢子虫、粪大肠菌,这与它们粒径大小的关系一致。

污水二级处理对粪大肠菌的去除率 (2.81-lg) 明显高于对两虫的 (分别为 1.50-lg 和 1.67-lg),可能的原因是粪大肠菌对环境的耐受能力不如两虫,且二级处理时间较长又增大了这一差距。絮凝沉淀过程对两虫和粪大肠菌的去除率分别为 0.78-lg、0.76-lg 和 0.31-lg。对粪大肠菌的去除率低于对两虫的去除率,这可能也跟其粒径较小有关。砂滤对三种微生物的去除率没有显著差异。

从整个污水再生处理系统来看,对两虫与粪大肠菌的累计去除率呈正相关关系,但在各单元内,累计去除率和单元去除率的相关性均不显著。这表明,对粪大肠菌的去除率不能准确地反映对两虫的去除率。因此,只保证污水再生处理系统对粪大肠菌的去除率并不能有效保障再生水的水质安全。

3 结论

污水再生处理系统中的粪大肠菌浓度高于两虫,大约是两虫浓度的 10 000 倍左右。污水再生处理系统对两虫的去除率低于对粪大肠菌的去除率。

从整个污水再生处理系统来看,两虫与粪大肠菌呈正相关关系:浓度的相关系数分别为 0.91 和 0.95,累计去除率的相关系数分别为 0.96 和 0.97。因此,可将粪大肠菌检出量升高作为两虫浓度上升的预警标志。

在各工艺单元内,两虫与粪大肠菌的检出量、去除率和累计去除率间的相关系数都在 0.03 ~ 0.72 之间,相关性不显著。为了保障污水再生利用的安全性,对两虫的直接检测十分必要。

参考文献:

[1] Antenucci J P, Brookes J D, Hipsey M R. A simple model for quantifying *Cryptosporidium* transport, dilution, and potential risk in reservoirs[J]. JAWWA, 2005, 97 (1): 86 - 93.

(下转第 41 页)

别为 0.3、0.4、0.6的条件下,A₂N工艺对 COD、氮及磷的去除率均较高,对 COD的平均去除率分别为 92.5%、90.3%和 91.6%,对总氮的平均去除率分别为 87.1%、90%和 84.9%,对磷的平均去除率分别为 99.5%、99.6%和 99.0%;出水 COD平均浓度分别为 20.3、28.4和 25.3 mg/L,出水总氮平均浓度分别为 6.75、5.43和 6.95 mg/L,出水磷平均浓度分别为 0.02、0.02和 0.05 mg/L。可见,A₂N反硝化除磷系统是一种很有发展前途的污水处理新工艺。

污泥回流比对去除 COD和磷的影响不大,而对氨氮、硝态氮及总氮的去除效果有很大影响。当超越污泥回流比和回流污泥回流比均为 0.4时,A₂N系统的处理效果最好,对 COD和磷的去除效果均较佳,并且在保证氨氮和硝态氮同时达标的情况下使出水总氮浓度最低。

超越污泥流量的控制至关重要,它决定着进入缺氧池的氨氮量,进而影响出水氨氮浓度。所以,在保证缺氧池有足够污泥的前提下,应尽可能减少超越污泥流量,以降低出水氨氮浓度。

参考文献:

- [1] 华光辉,张波. 城市污水生物除磷脱氮工艺中的矛盾关系及对策[J]. 给水排水,2002,26(12):1-4.
- [2] Kuba T, van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by
- [2] 张薛,胡洪营,李梅. 再生水中病原指示微生物的浓度水平研究[J]. 中国给水排水,2006,22(5):26-29.
- [3] 张彤,胡洪营,宗祖胜. 污水再生处理系统中隐孢子虫和贾第鞭毛虫检测方法的优化[J]. 环境科学,2006,27(12):2547-2552.
- [4] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] Homan A, Rinhanen-Finne R, Maunula L, et al. *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and indicator organisms in surface water in Southwestern Finland, 2000-2001[J]. Appl Environ Microbiol, 2004, 70(1): 87-95.
- [6] Harwood V J, Levine A D, Scott T M, et al. Validity of the

integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in a two-sludge system [J]. Water Res, 1996, 30(7): 1702-1710.

- [3] Som R, Bortone G, Saltarelli R, et al. Phosphate uptake under anoxic conditions and fixed-film nitrification in nutrient removal activated sludge system [J]. Water Sci Technol, 1996, 30(7): 1573-1584.
- [4] Bortone G, Saltarelli R, Alonso V, et al. Biological anoxic phosphate removal — The DEPHANOX process [J]. Water Sci Technol, 1996, 34(1-2): 119-128.
- [5] Bortone G, Marsili S, Tilche A, et al. Anoxic phosphate uptake in the DEPHANOX process [J]. Water Sci Technol, 1999, 40(4-5): 177-185.
- [6] Wachmeister A, Kuba T, van Loosdrecht M C M, et al. A sludge characterization assay for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge [J]. Water Res, 1997, 31(3): 471-478.
- [7] 田淑媛,王景峰,杨睿,等. 厌氧下的 PHB和聚磷酸盐及其生化机理研究[J]. 中国给水排水,2000,16(7):5-7.

作者简介:杨庆娟(1983-),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为水污染控制及水环境恢复。

电话:(010)67392627 13488676593

E-mail: yqj@emails.bjut.edu.cn

收稿日期:2008-01-31

(上接第 36页)

- [2] 张薛,胡洪营,李梅. 再生水中病原指示微生物的浓度水平研究[J]. 中国给水排水,2006,22(5):26-29.
- [3] 张彤,胡洪营,宗祖胜. 污水再生处理系统中隐孢子虫和贾第鞭毛虫检测方法的优化[J]. 环境科学,2006,27(12):2547-2552.
- [4] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [5] Homan A, Rinhanen-Finne R, Maunula L, et al. *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and indicator organisms in surface water in Southwestern Finland, 2000-2001[J]. Appl Environ Microbiol, 2004, 70(1): 87-95.
- [6] Harwood V J, Levine A D, Scott T M, et al. Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection [J]. Appl Environ Microbiol, 2005, 71(6): 3163-3170.
- [7] Birks R, Colbourne J, Hills S, et al. Microbiological water quality in a large in-building, water recycling facility [J]. Water Sci Technol, 2004, 50(2): 165-172.

作者简介:谢兴(1984-),男,硕士研究生,福建上杭人,主要研究方向为污水再生利用的安全性。

E-mail: xiex02@mails.tsinghua.edu.cn

通讯作者:胡洪营

收稿日期:2008-01-28