

活性污泥系统原生动物多样性动态及其与运转效能的关系*

周可新^{1, 2} 许木启^{2*} 曹宏² 刘标¹

(¹国家环保总局南京环境科学研究所 南京 210042; ²中国科学院动物研究所 北京 100080)

摘要 研究了保定鲁岗污水处理厂活性污泥系统原生动物多样性动态及其与理化参数的关系。结果表明,为附着型纤毛虫的香农-威纳多样性指数最高,平均为 2.25。自由游泳型纤毛虫的多样性指数最低,平均为 0.27。各类群原生动物多样性指数与理化参数间相关分析的结果表明,匍匐型纤毛虫多样性指数对出水 BOD₅ 的指示效果最好,附着型纤毛虫多样性指数高则表明出水 P 浓度高,肉食型纤毛虫多样性值对出水氨氮及 SVI 具有较强的指示作用,有壳肉足虫多样性值对 SVI 的指示效果较好,裸肉足虫多样性值对出水氨氮浓度具有较好的指示作用。图 1 表 2 参 12

关键词 原生动物; 活性污泥; 多样性; 理化参数

CLC X703

Dynamics of Protozoa Diversity and Their Relationship with Performance of Activated Sludge System*

ZHOU Kexin^{1, 2}, XU Muqi^{2*}, CAO Hong² & LIU Biao¹

(¹Nanjing Institute of Environmental Sciences, State Environmental Protection Administration, Nanjing 210042, China)

(²Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract The dynamics of protozoa diversity and their relationship with the physico-chemical and operational parameters of the Lugang Sewage Treatment Plant of Baoding were analyzed. The Shannon-Weaver diversity index of attached ciliates was the highest with the average value 2.25, while the diversity index of free-swimming ciliates was the lowest with the average value 0.27. The relationship was analyzed between the diversity index of each protozoa group and physico-chemical parameters. The diversity index of crawling ciliates can indicate effluent BOD₅ well. High diversity index of attached ciliates represents high effluent P concentration. The diversity index of carnivorous ciliates has a good indicative value of effluent NH₄-N and SVI. The diversity index of testate amoebae indicates SVI well and diversity index of naked amoebae has a good indicative value of effluent NH₄-N. Fig 1, Tab 2, Ref 12

Keywords protozoa; activated sludge; diversity; physico-chemical parameter

CLC X703

物种多样性是指在物种水平上的生物多样性,反映群落或生境中物种的丰富度、变化程度和均匀度,可定量表征群落和生态系统的特征^[1]。运转正常的活性污泥生物群落的多样性通常较高,即群落由不同类群的生物组成,每个类群有多个种,且没有哪个类群或种在数量上占据绝对优势。若某个类群或种的数量过多,则表明存在限制因子,它们抑制了其它种类的生长,而对其耐受力强的种类则大量生长,即处于一种营养不均衡的状态。常见的限制因子包括有毒物质的大量排入、污泥负荷过低或过高、污泥回流不足以及曝气不足等。

Sakado 等^[2]研究发现,纤毛虫的多样性指数与污泥的有机负荷呈负相关。依据与有机负荷的关系将纤毛虫分为 4 类,其中曲柄盖虫主要生活在高有机负荷的污泥中, F/M 为 0.3 ~ 0.4 kg (BOD₅) / kg (MLVSS); 小口钟虫、有助柄纤虫和固着足吸管虫主要生活在 F/M 为 0.2 ~ 0.3 kg (BOD₅) / kg (MLVSS) 的污泥中; 游仆虫、褶累枝虫、钩刺斜管虫、沟钟虫、薄漫游虫及海洋尾丝虫等主要生活在 F/M 为 0.1 ~ 0.2 kg (BOD₅) / kg (MLVSS) 的污泥中; 而珍珠映毛虫、小轮毛虫、螭状独缩虫、表壳虫、匣壳虫及结节壳吸管虫主要生活在 F/M 为 0.03 ~ 0.1 kg (BOD₅) / kg (MLVSS) 的污泥中。陈声贵等^[3]研究了北京高碑店污水厂活性污泥动物群落结构与污水厂的运行效能间的关系,计算出各种类群的动物多样性值,并将它们与各种水质参数进行了相关分析。

Curd^[4]首先依据运动行为的特点将活性污泥中的原生动物分为 3 个类群:自由游泳型 (Free-swimming forms)、匍匐型 (Crawling forms)、附着型 (Attached forms)。Madoni^[5]将活性污泥中的纤毛虫分为自由游泳型 (Free-swimming)、匍匐型

收稿日期: 2007-01-23 接受日期: 2007-05-11

* 国家重点基础研究发展计划 (973 计划, 2006CB403306)、国家环境保护总局南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (87011) 和江苏省自然科学基金 (BK2006501) 资助。Supported by the National Basic Research Program of China (973 Program), the Central-level Nonprofit Research Institutes for Basic Research Operating Expenses of NIES, SEPA, and the Natural Science Foundation of Jiangsu China

* * 通讯作者, Corresponding author (E-mail: xumq@panda.izs.ac.cn)

(Crawling)、附着型 (Attached) 及肉食型 (Carnivorous) 等 4 个类群, 前 3 类属于菌食性纤毛虫。Martin-Cereceda 等^[6] 则将活性污泥中的纤毛虫分为附着型 (Attached)、匍匐型 (Crawling)、游泳型 (Swimming) 及游泳-匍匐型 (Swimming-crawling) 等 4 个类群, 其中附着型和匍匐型两个类群的纤毛虫与活性污泥絮体关系紧密, 称为 Fbc-associated ciliates, 游泳型纤毛虫与活性污泥絮体没什么关系, 称为 Non fbc-associated ciliates 而游泳-匍匐型纤毛虫与活性污泥絮体有一定的关系, 但不如附着型和匍匐型那样紧密, 称为 Temporarily floc-associated ciliates 本文依据的是 Madoni^[5] 的分类方法。

从 2002 年 7 月至 2003 年 7 月, 我们对保定鲁岗污水处理厂活性污泥系统原生动物群落做了为期 1 a 的研究, 分析了其香农-威纳多样性指数 (Shannon-Weaver diversity index) 对活性污泥系统运转效能的指示作用。

1 材料和方法

1.1 研究对象概况

本项工作的实地研究选在河北省保定市鲁岗污水处理厂, 这个污水处理厂的建成对保护华北明珠——白洋淀的水质具有重要作用。

1.2 物种鉴定及计数

从 2002 年 7 月 16 日至 2003 年 7 月 15 日在保定市鲁岗污水处理厂曝气池末端每周采一次活性污泥混合液, 共采集了 50 个水样, 其中第 12 周、25 周和 30 周末采样。

物种鉴定及计数分为两个步骤。一是鉴定除小型鞭毛虫外的其它原生动物的种类并测定它们的密度。用微量移液管吸取 25 μ L 摇匀后的活性污泥混合液滴在载玻片上, 用盖玻片盖好

后, 置于光学显微镜下鉴定物种并计数。观察完一个视野后再移动到另一个视野, 直至计数完为止。死亡的个体不计数, 对于累枝虫 (Epistylidae)、盖虫 (Operculariidae) 及聚缩虫 (Zoothamnidae) 等群体性原生动物, 对群体内的个体分别计数。重复上述步骤 3 次, 取平均值。鉴定物种时用高倍镜 (400 倍), 计数时用低倍镜。鉴定原生动物时参照《微生物监测新技术》^[7]、《Protozoology》^[8]、《Free-Living Freshwater Protozoa》^[9] 及《Identification and ecology of limnetic plankton ciliates》^[10] 等检索书和图谱。

1.3 水质的理化分析

测定了鲁岗污水处理厂出水的五日生化需氧量 (BOD₅)、固体悬浮物 (SS)、氨氮、总磷 (TP) 等, 测定了曝气池混合液的污泥体积指数 (SVI)。测定方法依据《美国水和废水检测标准》^[11]。

1.4 数据分析

计算了各类群原生动物的香农-威纳多样性指数: $H = -\sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$, 其中, H = 群落的多样性指数, S = 种数, P_i = 样品中属于第 i 种的个体的比。数据处理采用 SPSS 11.5 版统计软件包, 数据在分析前需经转换 $x' = \ln(x + 1)$, 以满足分析所需的条件。

2 结果

鲁岗污水处理厂匍匐型和附着型纤毛虫、自由游泳型和肉食型纤毛虫及有壳肉足虫和裸肉足虫香农-威纳多样性指数的周年变化见图 1。6 类原生动物多样性指数相关分析的结果见表 1。

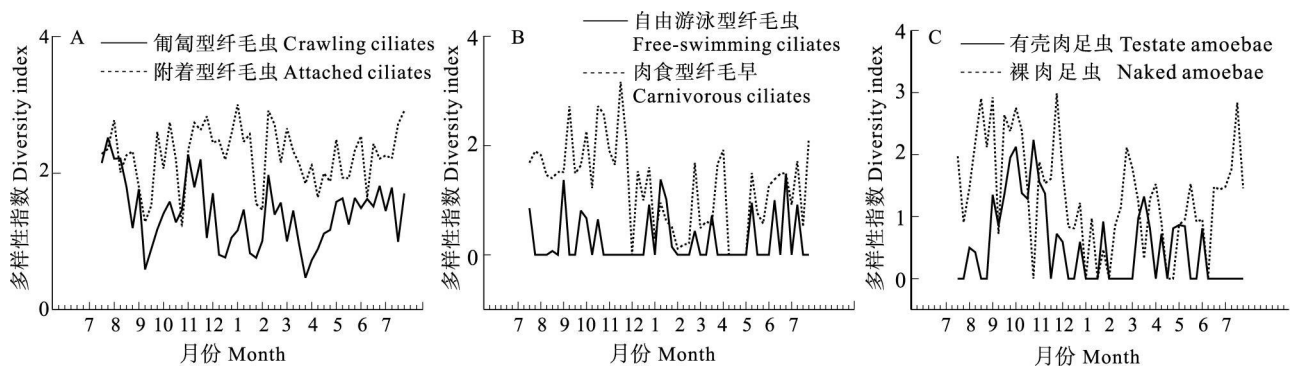


图 1 匍匐型和附着型纤毛虫 (A)、自由游泳型和肉食型纤毛虫 (B) 以及有壳肉足虫和裸肉足虫 (C) 香农-威纳多样性指数的周年变化
Fig 1 Annual variations in the Shannon-Weaver diversity indexes of crawling and attached ciliates (A), free-swimming and carnivorous ciliates (B), and testate amoebae and naked amoebae (C)

表 1 6 类原生动物香农-威纳多样性指数相关分析

Table 1 Correlation analysis of the Shannon-Weaver diversity indexes of six protozoan groups

	匍匐型纤毛虫 Crawling ciliates	附着型纤毛虫 Attached ciliates	自由游泳型纤毛虫 Free-swimming ciliates	肉食型纤毛虫 Carnivorous ciliates	有壳肉足虫 Testate amoebae	裸肉足虫 Naked amoebae
匍匐型纤毛虫 Crawling ciliates	1	0.296 ^a	0.103	0.231	-0.057	0.230
附着型纤毛虫 Attached ciliates	0.296 ^a	1	-0.085	-0.080	-0.279 ^d	0.243
自由游泳型纤毛虫 Free-swimming ciliates	0.103	-0.085	1	0.154	0.074	0.043
肉食型纤毛虫 Carnivorous ciliates	0.231	-0.080	0.154	1	0.275	0.356 ^e
有壳肉足虫 Testate amoebae	-0.057	-0.279 ^d	0.074	0.275	1	0.174
裸肉足虫 Naked amoebae	0.230	0.243	0.043	0.356 ^e	0.174	1

* $P < 0.05$

由图 1 可见, 附着型纤毛虫的多样性指数最高, 平均为 2.25, 自由游泳型纤毛虫的多样性指数最低, 平均为 0.27, 肉食型纤毛虫在 2002 年 7 月至 11 月多样性指数较高, 此后则维持在较低水平. 而有壳肉足虫和裸肉足虫的多样性指数波动较剧烈.

表 2 各类群原生动物多样性指数与理化参数间的相关分析

Table 2 Correlation analysis of the biodiversity index of each protozoa group and physico-chemical parameters

	BOD ₅ 出水 Effluent BOD ₅	P出水 Effluent P	氨氮出水 Effluent NH ₄ -N	SVI	SS出水 Effluent SS
匍匐型纤毛虫 Crawling ciliates	-0.404*	0.184	-0.142	-0.278	-0.256
附着型纤毛虫 Attached ciliates	-0.012	0.386*	-0.097	0.124	-0.212
自由游泳型纤毛虫 Free-swimming ciliates	0.025	0.113	-0.045	-0.017	-0.013
肉食型纤毛虫 Carnivorous ciliates	-0.262	0.020	-0.394*	-0.571**	-0.167
有壳肉足虫 Testate amoebae	0.237	-0.092	-0.244	-0.520*	0.104
裸肉足虫 Naked amoebae	-0.205	0.199	-0.474*	-0.218	-0.287*

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

由表 2 可见, 鲁港污水处理厂匍匐型纤毛虫的多样性指数与出水 BOD₅ 呈非常显著的负相关; 附着型纤毛虫的多样性指数与出水 P 浓度呈非常显著的正相关; 肉食型纤毛虫的多样性指数与出水氨氮浓度呈非常显著的负相关, 与 SVI 值的负相关性也非常显著; 有壳肉足虫的多样性指数与 SVI 值的负相关性非常显著; 裸肉足虫的多样性指数与出水氨氮浓度的负相关性非常显著, 与出水 SS 浓度显著负相关.

3 讨论

活性污泥对污水的净化是由生物来完成的, 只有生物群落保持稳定优良的结构, 活性污泥才能长期、稳定、高效地运行, 发挥出最大的效能. 活性污泥生物群落结构的影响因素十分复杂, 同时, 微生物群落的演替方向缺乏可预见性, 在实际工业化规模运行中, 必须对系统的特性进行快速、准确的预测和评估, 否则将造成巨大的经济损失. 由于原生动物与细菌之间存在相互依赖的功能关系, 通过观察原生动物的种类组成和生长状态, 就能直接或间接地评价废水处理效果, 起到了指示生物的作用. 不少学者试图用原生动物作为活性污泥性能或出水质量的指示生物^[12-14], 而用原生动物多样性指数指示活性污泥效能的研究国内外尚不多, 国内仅陈声贵等 (2003) 研究了高碑店污水厂活性污泥动物群落结构与污水厂的运行效能间的关系, 结果表明固着类纤毛虫的多样性值与出水的总氮呈正相关, 爬行类纤毛虫的多样性值对污水处理厂中的总磷和总氮的变化具有较强的指示作用, 爬行类纤毛虫的多样性值对出水的硝态氮指示效果最强.

由表 2 的各类群原生动物多样性指数与理化参数间相关分析的结果可见, 匍匐型纤毛虫多样性指数对出水 BOD₅ 的指示效果最好, 附着型纤毛虫多样性指数高则表明出水 P 浓度高, 肉食型纤毛虫多样性值对出水氨氮及 SVI 具有较强的指示作用, 有壳肉足虫多样性值对 SVI 的指示效果最好, 裸肉足虫多样性值对出水氨氮的浓度具有较高的指示作用.

由以上分析可见, 一些原生动物多样性指数在不同的污水处理厂中指示的水质不同, 表明它们与水质间不一定存在实质的关联, 而很可能是某些间接的因素 (如进水特征、处理工艺等) 使它们与水质参数表现出了正相关或者负相关, 这类相关关系可能仅适用于某一特定的污水厂. 可能某些活性污泥原生动物多样性指数在不同的污水处理厂中指示的水质相同, 即它

由表 1 可见, 附着型纤毛虫与匍匐型纤毛虫的多样性指数呈显著正相关, 与有壳肉足虫的多样性指数呈显著负相关. 肉食型纤毛虫与裸肉足虫的多样性指数呈显著正相关.

鲁岗污水处理厂各类群原生动物的香农-威纳多样性指数与理化参数间相关分析的结果见表 2

们之间存在某种直接的关联, 当然这种关联性的适用范围更广, 但若想得出此类结论, 还需对更多的污水处理厂做研究.

References

- Chen TG (陈廷贵), Zhang JT (张金屯). Plant species diversity of Shenyigou in Guandi Mountain (Shanxi China) I: Richness, evenness and diversity indexes. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2000, 6: 406~411
- Salvado H, Gracia MP. Determination of organic loading rate of activated sludge plants based on protozoan analysis. *Water Res*, 1993, 27 (5): 891~895
- Chen SG (陈声贵), Xu MQ (许木启), Cao H (曹宏), Zhou KX (周可新), Xu J (徐军), Yang XP (杨向平), Gan YP (甘一萍), Jai JJ (翟家骥), Liu WY (刘伟岩), Shao YY (邵永怡). Relationship between the dynamics of mixed liquor fauna and the efficiency of wastewater purification. *Acta Zool Sin* (动物学报), 2003, 49 (6): 775~786
- Cudts CR. Computer simulations of microbial population dynamics in the activated sludge process. *Water Res*, 1971, 5: 1049~1066
- Madoni P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plant based on the microfauna analysis. *Water Res*, 1994, 28 (1): 67~75
- Martin-Cereceda M, Semano S, Guinea A. A comparative study of ciliated protozoa communities in activated sludge plants. *FEMSM Microbiol Ecol*, 1996, 21: 267~276
- Shen YF (沈蕴芬), Zhang ZS (章宗涉). Modern Bimonitoring Techniques Using Freshwater Microbiota. Beijing: China Architecture & Building Press (中国建筑工业出版社), 1990
- Kudo RR. Protozoology. Springfield, Illinois, U.S.A: Charles C Thomas Publisher, 1966
- Patterson DJ. Free-living Freshwater Protozoa. London: Manson Publishing Ltd, 1996
- Foissner W, Berger H, Schaumburg J. Identification and Ecology of Lentic Plankton Ciliates. Munich: Bavarian State Office for Water Management, 1999
- AHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1989
- Shahwan SM, Horan NJ. The use of protozoa to indicate changes in the performance of activated sludge plants. *Water Res*, 1991, 25 (6): 633~638
- Zhou KX, Xu MQ, Dai JY, Cao H. Microfauna communities and operational monitoring of an activated sludge plant in China. *Eur J Protistol*, 2006, 42: 291~295
- Yang ZH (杨朝晖), Zeng GM (曾光明), Chen J (陈军), Gao F (高峰), Xie GX (谢更新). Disposal technology of garbage leachate and the main protozoa in its activated sludge. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2004, 10 (2): 166~169