

利用 PFU 原生动物群落多样性快速 监测北京通惠河水质*

许木启

翟家骥 邵永怡

(中国科学院动物研究所 北京 100080) (北京市高碑店污水处理厂 北京 100022)

摘要 本文报道了北京通惠河原生动物群落多样性特征与水质的相互关系。其中 PFU 原生动物 1 天的群集速度(功能参数)较好地反映了 5 个采样站(1 个设在较干净水体温榆河作为对照站)水质的变化趋势。各站原生动物群落的结构参数(种类组成、个体丰度、生物量和多样性指数)的差异同样与水质关系密切。通过与 80 年代中期作者利用 PFU 原生动物监测通惠河污染现状和自净效能的研究资料进行比较,表明该河流水质目前得到明显的改善。

关键词 原生动物 PFU 方法 水质

1 前言

微型生物在研究生态和环境质量控制和管理方面的重要性越来越受到广泛的关注^[1~10]。原生动物组成了自然水域重要生态类群,它们所形成的复杂的种类聚合体组成了水生生态系统中完整的生态单元,显示了整个水生生态系统结构与功能的许多特征^[5,7,8]。一方面,原生动物群落的变化在很大程度上可以影响到水生食物网的组成,因此也直接或间接地影响较高等水生生物的分布和丰度。另一方面,作为单细胞的原生动物对其生存环境条件的变化十分敏感,许多原生动物种类正在越来越多的被认为是水体污染的指示生物而为人们广泛采用^[3,4,6~9]。

近些年来,许多学者利用 PFU(Polyurethane Foam Unit-聚氨酯泡沫塑料块)人工基质方法研究原生动物结构与功能的变化,监测评价河流、湖泊的水质,并取得了令人满意的结果^[1~10]。与传统的生物监测方法比较,PFU 方法显示了快速、准确和简便易行等诸多优点。说它是快速的,因为通过 1 天的试验结果就能够预测预报受纳系统环境质量的状态及其变化过程;说它是准确的,因为它反映了生物组建最高级——群落级水平上对环境压迫的生态效应

水平;操作简单及价格便宜也体现了 PFU 方法的另一特点^[2,4,5,7]。

我们利用 PFU 原生动物 1 天的群集速度(功能参数)及其群落结构的有关参数(种类组成、个体丰度、生物量和多样性指数),结合水质分析资料,综合评价北京高碑店污水处理厂(日处理污水 50 万吨)2 级污水处理排放对通惠河水环境质量影响的效果,为通惠河水质改善和综合治理提供科学依据。

2 材料与方法

位于北京东郊的通惠河是元朝时期挖掘的一条人工河道,全长 21.5km。流域面积 170km²,目前是北京一条主要的排污河道。自本世纪 60 年代以来,随着北京工农业生产和城市建设的迅猛发展及人口的快速增长,污水排放量逐年增加。其中集中于东郊的化工,制药,电镀,造纸,焦化和印染等工厂排出的大量工业废水和沿河居民生活污水经明沟,暗渠或管道等途径排入通惠河,向东流经通县北关闸后汇

* 此项研究工作为国家自然科学基金重点项目的部分内容(项目批准号 39730070);

第一作者介绍:许木启,男,47 岁,副研,博士;

收稿日期:1997-02-26,修回日期:1998-02-16

入北运河和北京排污河,再经永定新河注入渤海湾。1993年,北京市政府在高碑店建成了日处理污水50万吨的我国最大污水处理厂,这对于改善通惠河水质和提高沿河两岸人民的健康水平发挥了重要作用。

2.1 采样站设备 试验期间共设5个采样站。其中在高碑店污水处理厂出口上游的污水河段高碑店闸设1采样站,另外在通县北关闸附近另一条较干净的水体温榆河设对照采样站。各采样站的分布见图1。

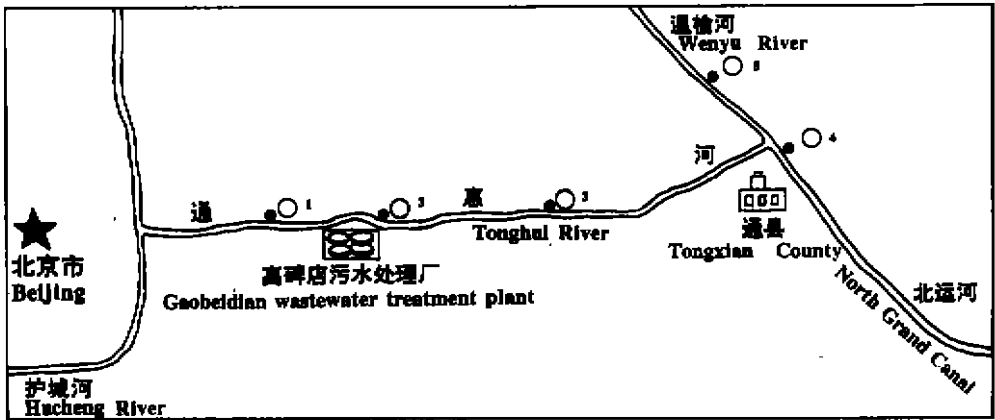


图1 通惠河—温榆河 PFU 原生动动物采样站示意图

Fig.1 Map of Tonghui River—Wenyu River showing protozoan sampling sites.

1. 高碑店闸 Gaobeidian 2. 西出口 Xichukou 3. 双桥 Shuangqiao 4. 东关 Dongguan 5. 温榆河 Wenyu River

2.2 PFU 样品的挂放与采集 试验所采用的 PFU 人工基质其规格为 5cm 厚度,孔径为 100~150 μ m。使用时将其制作成 5.5cm \times 6.5cm \times 9.5cm 的小块。在各采样站水下约 20cm 处悬挂 2 块 PFU,24 小时后采集样品。样品用食品塑料袋包装携带回实验室在显微镜下进行活体种类观察鉴定。

2.3 定量样品采集与计算 由于河流较浅,各站定量样品取表层 1 升水样,现场用鲁哥试液固定。样品在实验室沉淀 40 小时浓缩定容至 30ml,然后用定量吸管吸取 0.1ml 注入 0.1ml 的计数框中,在 10 \times 20 的放大倍数下计数 3 次样品,取其平均值。然后按下列公式换算成单位体积中的个体数量:

$$N = (Vs \times n) / (V \times Va)$$

式中 N 为 1 升水中原生动物的个体数(个/L); V 为采样体积(L); Vs 为沉淀体积(ml); Va 为计算体积(ml); n 为计算数所得的个体数。

生物量的计算根据体积法,把生物体当作一个近似几何图形,并由求积公式估算出生物体积,并假定比重为 1,获得生物量。

2.4 多样性指数计算

多样性指数 d 值按 Margalef 多样性指数公式:

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

式中 d 为多样性指数; S 为种类数; N 为个体数。 d 值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏,由此可反映水质的优劣程度。

2.5 水体中理化指标分析 为了与生物资料进行比较,本文利用了高碑店污水处理厂化验科提供的 1995~1996 年 10 次对通惠河—温榆河理化分析参数平均值,其测定方法与传统方法相同。

3 结果与分析

3.1 5 个采样站理化指标变化 通惠河—温榆河 5 个采样站水体中污染物浓度及其它理化指标的变化见表 1。从表 1 可以看出,5 个采样站的 pH 值差异不大,均在 7.74~8.06 之间波动。与其它 4 个采样站比较,温榆河对照采样站具有最高的溶解氧分布和较低的污染物浓度。原污水排放河段高碑店闸采样站水质黑

臭,溶解氧仅为 1.51mg/L,各种污染物浓度均明显高于其他采样站,从污水处理厂西出水口,

双桥至下游的通县东关 3 个采样站,溶解氧增高,污染物得到有效的净化,浓度下降显著(表 1)。

表 1 通惠河—温榆河水质理化指标(mg/L)

Table 1 Mean values of chemical and physical data for Tonghui River—Wenyu River(mg/L) during 1995~1996.

指标 Index	高碑店闸 Gaobeidian	西出口 Xichukou	双桥 Shuangqiao	东关 Dongguan	温榆河 Wenyu River
水温(℃)	17	17	17	17	13
pH	8.03	7.83	7.81	7.74	8.06
溶解氧(DO)	1.51	6.83	4.54	3.88	5.27
化学耗氧量(COD _{Cr})	94.34	72.49	67.28	32.30	25.53
生物耗氧量(BOD ₅)	32.57	21.72	20.24	16.55	12.37
总磷(TP)	4.65	4.46	4.21	2.41	2.48
总氮(TN)	37.99	79.45	36.40	21.06	26.60
固体悬浮物(SS)	80.2	12.9	35.0	28.0	10.0

* 表中数据为 1995~1996 年 9 月 10 次测试的平均值

3.2 各采样站原生动物种类组成 1 天 PFU 原生动物实验,在通惠河—温榆河 5 个采样站共发现 39 种(属)原生动物,其中植物性鞭毛虫 13 种,动物性鞭毛虫 3 种,纤毛虫 17 种,肉足虫 6 种。种类在各采样站的分布见表 2。这里必须指出的是,随着 PFU 挂放水体时间的延长,一些新的种类记录将会被发现。

3.3 PFU 群集速度 通惠河—温榆河 5 个采样站 PFU 原生动物 1 天的群集速度是与河流水质密切相关联的(图 2)。污水处理厂西出口上游未经处理河段高碑店闸采样站,水质恶化,水呈褐黑色,异味刺鼻。PFU 原生动物群集速度十分缓慢,仅发现 3 种,均为高度耐污染种类,如波豆虫、滴虫和眼虫。在显微镜下活体观察时,眼虫不但形态异常,而且活动也不敏捷,处于半垂死状态,表明该采样站污染压迫严重,不利于原生动物的生存。一般来说,严重的环

境压迫,无论是重金属或极端的有机污染引起的,通常对水生生物的影响结果为减少种类数目和增加耐污染种类的密度^[4,9,10]。

通惠河流至西出口和双桥河段后,由于高碑店污水处理厂(日处理 50 万吨,二级处理标准)处理后的废水排入通惠河,改善了河流水质,加速了河流自然净化进程,从而减轻了污染压迫。最明显的特征是 PFU 原生动物的群集速度加快,其中西出口采样站 1 天群集了 21 种,双桥站群集了 19 种,特别是双桥站,与 80 年代比较,原生动物种类增加很多。1984 年 8 月,双桥采样站 1 天的 PFU 原生动物仅群集了 2 种,浸泡 PFU 第 14 天后的 PFU 也仅总共发现了 5 种原生动物,与目前 1 天就群集的 19 种相比差距显著,表明双桥河段污染程度减轻,故原生动物种类增加,PFU 群集速度加快^[1]。

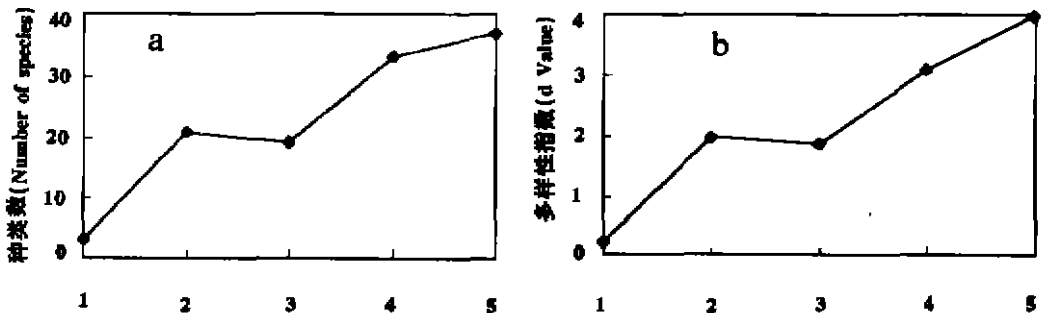


图 2 通惠河—温榆河各采样站 PFU 原生动物 1 天群集速度(a)及 d 值变化(b)

Fig. 2 Colonization curves of protozoa on PFU and d value's variations in 5 sampling sites in Tonghui River—Wenyu River

1. 高碑店闸 Gaobeidian 2. 西出口 Xichukou 3. 双桥 Shuangqiao 4. 东关 Dongguan 5. 温榆河 Wenyu River

表 2 北京通惠河—温榆河 PFU 原生动物在各采样站的分布*

Table 2 Taxonomic composition and total numbers of species of protozoa in Tonghui River—Wenyu River

种类名录 Name of species	高碑店闸 Gaobeidian	西出口 Xichukou	双桥 Shuangqiao	东关 Dongguan	温榆河 Wenyu River
鞭毛虫					
波豆虫 <i>Bodo</i> sp ₁ sp ₂	+	+	+	+	+
滴虫 <i>Monas</i> spp	+	+	+	+	+
眼虫 <i>Euglena</i> spp	+	+	+	+	+
梨形扁裸藻 <i>Phacus pyrum</i>			+	+	+
圆形扁裸藻 <i>P. orbicularis</i>			+	+	+
小球衣藻 <i>Chlamydomonas microspiraera</i>		+	+		+
尖尾蓝隐藻 <i>Chroomomas acuta</i>			+	+	
实球藻 <i>Pandorina morum</i>			+	+	+
黄群藻 <i>Synura</i> spp		+		+	+
三角袋鞭藻 <i>Peranema trichophorum</i>		+		+	+
葡萄异鞭藻 <i>Anisonema acinus</i>			+	+	+
聚屋滴虫 <i>Oikomonas socialis</i>		+		+	+
单鞭金藻 <i>Chromullina</i> spp					+
卵形单领鞭虫 <i>Codosiga ovata</i>					+
多甲藻 <i>Peridinium</i> spp					+
梨形四鞭虫 <i>Tetramitus pyriformis</i>			+	+	+
纤毛虫					
沟刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinata</i>		+	+	+	+
帽帽斜管虫 <i>C. ullulus</i>		+			+
梨形四膜虫 <i>Tetrahymena pyriformis</i>		+		+	+
有助盾纤虫 <i>Aspidisca costata</i>		+		+	+
阔口游仆虫 <i>Euploes eurystomus</i>		+	+	+	+
近亲游仆虫 <i>E. affinis</i>				+	+
珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i>		+	+	+	+
龙骨漫游虫 <i>Litonotus carinatus</i>		+	+	+	+
小口钟虫 <i>Vorticella microstoma</i>		+		+	+
杯钟虫 <i>V. cupifera</i>		+	+	+	
瓜形膜袋虫 <i>Cyclidium citrullus</i>		+		+	+
大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i>				+	+
湖景枝虫 <i>Epistylis lacustris</i>			+	+	+
太阳虫吸管虫 <i>Sphaerophrys soliformis</i>				+	+
多核草履虫 <i>Paramecium multimicronucleatum</i>			+	+	+
毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i>		+		+	+
背状棘尾虫 <i>Stylonychia notophora</i>		+		+	+
肉足虫					
变形虫 <i>Amoeba</i> spp		+	+	+	+
放射太阳虫 <i>Actinophrys sol</i>		+	+	+	+
砂壳虫 <i>Diffugia</i> spp				+	+
表壳虫 <i>Arcella</i> spp					+
匣壳虫 <i>Centropyxus</i> spp				+	+
刺日虫 <i>Raphidiophrys</i> spp				+	+

* 为 PFU 浸泡 1 天时间的种类

至通县东关采样站后, PFU 原生动物的群集速度继续上升, 浸泡 1 天后 PFU 发现 33 种原生动物, 其群集曲线高于通惠河其它 3 个采

样站。1984 年 8 月, 作者在通惠河下流末端与北运河汇合处的榆林河段进行 PFU 群集试验, 结果第 1 天后群集了 9 种, 第 14 天后群集了

21种,其群集速度显然低于目前通县东关采样站,表明通惠河水水质状况得到明显的改善^[1]。

对照采样站温榆河的 PFU 原生动动物群集速度高于通惠河 4 个采样站的群集速度,PFU 浸泡 1 天后发现原生动物 37 种。另外,从种类组成结构特征来看,该采样站除了为数较多的广布型种类分布外,还可以发现一些分布在较干净水体的种类,如单鞭金藻、匣壳虫、砂壳虫、表壳虫等(表 1)。以上这些特征均指示出温榆河水水质优于通惠河水水质,这种趋势与水质分析资料所反映的结果较为一致。

3.4 各采样站 d 值变化 通惠河—温榆河 5 个采样站原生动物的多样性指数 d 值的变化同样较好地指示了各河段的不同水质状况(图 2-

b)。高碑店闸由于水质污染严重,d 值很低,仅为 0.26。普遍认为,在严重污染压迫环境条件下,通常会导致水生群落多样性下降。西出口和双桥两个采样站 d 值上升至 1.97 和 1.84,明显高于上游高碑店闸采样站的 d 值。至通县东关河段 d 值升高至 3.07,指示出其水质在很大程度上得到净化。与通惠河 4 个采样站比较,对照采样站温榆河的多样性指数 d 值是最高的,为 3.93,表明该河流的水质优于通惠河的水质。

3.5 个体数量和生物量的变化 通惠河各采样站原生动物的个体数量和生物量的分布密切涉及到不同河段的水体质量(图 3)。高碑店闸个体数量为 2 000 个/L,生物量为 0.31mg/L,

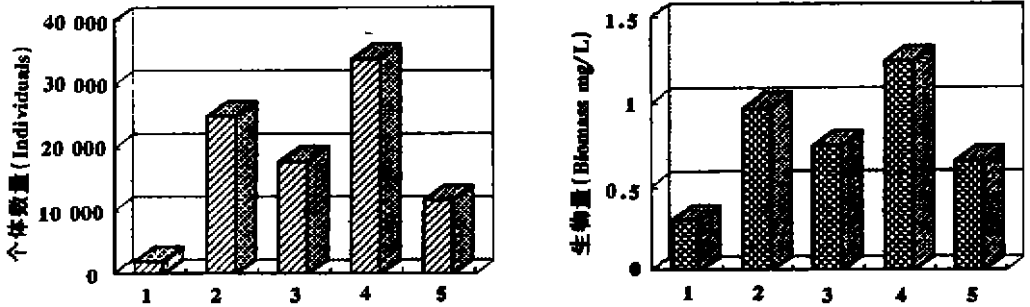


图 3 通惠河—温榆河各采样站原生动物个体数量和生物量变化

Fig. 3 Variations of individual number and biomass of protozoa in Tonghui River—Wenyu River.

1. 高碑店闸 Gaobeidian 2. 西出口 Xichukou 3. 双桥 Shuangqiao 4. 东关 Dongguan 5. 温榆河 Wenyu River

均是 5 个采样站最低的。分析这种原因,主要是该河段污染物浓度高,毒性大,抑制了原生动物的生长繁殖,从而导致了个体数量和生物量均低的结果。不论从活体样品观察,还是从固定样品计数,该站的优势种群主要为高度耐有机污染的眼虫,较少发现纤毛虫种类的个体。通惠河其它 3 个采样站,从西出口、双桥到通县东关,原生动物个体数量和生物量大幅度上升,其中东关站上升最多,个体数量为 34 000/L,生物量达 1.23mg/L,大大高于上游高碑店闸的个体数量。分析这种原因,很可能是由于污水经高碑店污水处理厂生化处理后,毒物浓度下降,毒性降低,抑制作用减轻。另一方面,有些污染物经生物降解(特别是微生物作用)后,转

换成生物如藻类可利用的营养物质如氮、磷等。高密度的细菌和藻类又为大型原生动物纤毛虫类提供了饵料来源,有利于其生长繁殖,从而增加了个体丰度和生物量,这是富营养型水体的基本特征。至于对照采样站温榆河的原生动物个体数和生物量又为何低于东关采样站许多呢?分析其中主要因素是温榆河水水质较为干净。许多研究报道认为,在健康的河流中,生物群落由许多不同的种类组成,而大多数种类具有相对少的个体数量^[1-10]。从定性的活体观察到定量的实际计数过程中,通惠河下游 3 个采样站特别是东关站,纤毛虫类的钟虫、累枝虫、斜管虫、珍珠映毛虫等种类的密度很高,均为优势种群,相比较而言,温榆河采样站以上这

些种类的密度下降许多,优势种各个体数量所占的比例降低。另外,采样时发现,温榆河河面上覆盖了一层水浮莲和其它漂浮植物,这可能是影响水表层原生动物生长繁殖的重要因素。

4 结论与建议

4.1 研究结果初步表明 北京通惠河 4 个采样站 PFU 原生动物的群集速度及其群落结构的其它参数(种类组成特征、个体数量、生物量和多样性指数 d 值)与不同河段的水质状况关系密切。上游原污水河段与下游经污水处理厂处理过的排放河段,原生动物的各项监测指标均存在十分明显差异,这种结果与理、化分析资料所反映的趋势基本相一致。通过以上原生动物群落参数的系统分析及与 80 年代初 PFU 方法对通惠河水质评价资料比较,表明通惠河目前水质已得到显著改善。高碑店污水处理厂的运行对改善通惠河水质、促进河流净化效能方面发挥了非常重要的作用。

4.2 通过原生动物群落结构与功能参数的综合分析和比较,目前温榆河的水质优于通惠河的水质。因此,继续强化和提高通惠河污水处理能力,结合采取清淤、污水污泥综合利用等措施,以促进河流水相和陆相环境质量进一步改善和加速河流水生生态系统的恢复进程。

4.3 通过此项研究,进一步证实了 PFU 方法在监测河流水质应用方面,显示了快速准确和简便易行等诸多优点。今后应在结合其它水生生物(微生物、藻类、浮游动物、底栖动物、鱼类、高等水生植物)和理化监测资料的基础上,增加

PFU 方法的监测频次,以更加全面、系统和及时地评价通惠河水质的变化趋势。

致谢 野外采集工作得到陈敏师傅、魏春竹和余昌义先生的帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 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.生态学报,1991,11(1):80~85.
- 2 许木启.1991.利用 PFU 法快速监测天津汉沽污水库净化效能的研究.环境科学学报,11(4):398~403.
- 3 许木启.利用 PFU 方法快速监测府河——白洋淀水系净化效能.见章 申等主编.白洋淀区域水污染控制研究(第一集),北京:科学出版社,1995.212~219.
- 4 沈福芬,龚循矩,顾曼如.用 PFU 原生动物群落进行生物监测的研究.水生生物学报,1985,9(4):299~308.
- 5 沈福芬,章宗涉等.微型生物监测新技术.北京:中国建筑工业出版社,1990.
- 6 Bick, H. Ciliated protozoa; an illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology. World Health Organisation, Geneva, 1972. 198.
- 7 Cairns, J. Jr., G. R. Lanza, B. C. Parker. Pollution related to structural and functional changes in aquatic communities with emphasis on freshwater algal and protozoa. Proc. Acad. Nat. Sci. Phila., 1972, 124: 79~127.
- 8 Cairns, J. Jr. Factors affecting the number of species in freshwater protozoan communities. The structure and function of freshwater microbial communities. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1971, 219~247.
- 9 Henebry, M. S., J. Jr. Cairns. Monitoring of stream pollution using protozoan on artificial substrates. Trans-Am. Micro. Soc., 1980, 99(2): 151~160.
- 10 Small, E. B. A study of ciliate protozoa from a small polluted stream. In Eastcentral. Illinois Amer. Zool., 1973, 13: 225~230.

WATER QUALITY IN BEIJING TONGHUI RIVER, USING PFU PROTOZOAN COMMUNITIES AS INDICATORS

XU Muqi

(Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

ZHAI Jiaji SHAO Yongyi

(Beijing Gaobeidian Wastewater Treatment Plant Beijing 100022)

ABSTRACT This paper deals with the relationship between community diversity of protozoa and water quality in Tonghui River. The PFU protozoan colonization rates during a day reflects water

quality's changes in five sampling sites—four in Tonghui River, one in Wenyu River as a control site. Protozoan community parameters (species composition, individual abundance, biomass and diversity index) in five sites is strongly related to pollution situation. Present research on PFU protozoan monitoring shows that water quality in Tonghui River has greatly been improved in comparison with 1980's data for PFU protozoan community's assessment conducted by author.

KEY WORDS Protozoa PFU method Water quality