

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*

许木启

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

提 要

本文报道了1993年5月、7月和10月在府河—白洋淀六个采样站浮游动物生态学特征及其与水质相互关系的调查研究结果。利用浮游动物群落结构的综合指标(种类组成差异, 种类数目变化, 个体数量变动, 生物量分布, 多样性指数d值的增减)和功能参数(PFU原生动物的群集速度)评价了府河—白洋淀水体的污染程度和自净效能。按照Margalef多样性指数d值的变化范围, 把府河—白洋淀六个采样站的水质划分成不同的次序和等级。文中就如何控制污染, 提高府河的自净效果, 改善白洋淀的水质提出了具体措施和建议。

关键词 浮游动物, 水质, 自净。

浮游动物在淡水生态系统中起着重要的作用。一方面它们组成了天然水域食物链中一个十分重要环节, 其种类和数量的变化直接或间接影响到其它较高等水生生物的分布和丰度。另一方面, 浮游动物与水体质量关系密切, 其中不少种类对环境变化比较敏感, 有些种类本身能积累和代谢一定量的污染物质, 在某种程度上发挥了“水质净化器”的作用。因此应用浮游动物群落结构与功能的变化监测和评价河流、湖泊的污染状况和自净效能, 目前国内外应用较为广泛并建立了诸多研究方法^[1-18]。

府河全长62km, 原是保定市主要地表水源和白洋淀区重要源头之一。50年代, 府河常年流水, 水量丰富, 水质清澈, 水生动植物繁茂, 是白洋淀经济鱼类的产卵场所。自60年代以来, 由于保定地区的工业迅速发展, 工业废水和生活污水排放逐年增加。污水通过府河直接排入白洋淀, 对淀区的部分水域构成严重威胁, 时有污染事故发生。1975年白洋淀实施污染治理工程, 修建了唐河污水库, 大部分的工业废水通过引污干渠进入唐河污水库, 大大减轻了府河的污染负荷。但是保定市大部分生活污水和小部分工业废水仍通过府河进入白洋淀。水质分析资料表明, 府河具有较强的自净功能, 特别是在进入淀区的王家寨、枣林庄两个段面, 水质净化尤为明显(表1)。

* 本项研究工作得到中国科学院留学择优支持经费资助, 亦为中国科学院“八五”重点基金项目中的部分内容。
野外样品采集得到黄玉瑶、赵忠宪、朱江同志帮助, 在此一并致谢。
1994年8月18日收到; 1995年12月7日修回。

表1 府河—白洋淀各采样段面几种主要水质分析参数(1993)

Tab.1 Parameters of water quality in Fuhe Stream-Baiyangdian Lake (unit:ppm)

采样站 Station 项目 Items	望亭	安州	东向阳	漾堤口	王家寨	枣林庄
石油 Oil	0.94	0.41	0.24	0.18	0.18	0.05
溶解氧 DO	0	0.4	3.4	3.8	4.8	5.6
化学耗氧量 COD _{Cr}	200	200	45.0	46.4	57.4	40.0
总磷 T-P	1.14	1.75	0.29	0.45	0.087	0.013
氨氮 NH ₄ -N	19.6	19.8	1.54	1.87	0.64	0.36

作者分别于1993年5月、7月和10月对府河—白洋淀浮游动物的生态学特征及其与水体质量的相互关系进行了比较全面的调查研究,其主要目的是试图首次利用浮游动物群落结构综合指标(种类组成特征分析,数量和生物量分布状况,多样性指数d值变化)和功能参数(PFU原生动物的24h的群集速度)监测和评价府河—白洋淀的污染程度和自然净化效能,以此为整个白洋淀污染控制和综合治理、使白洋淀水生态系统结构与功能的恢复和重建提供生态和生物学方面的依据。

1 材料与方法

1.1 采样站的设置 调查期间,在府河的上游设望亭、安州两个采样站(1,2站);中游设东向阳和漾堤口两个站(3,4站);在下游设王家寨和枣林庄两站(5,6站),其中后三个采样站的河道已延伸至白洋淀淀区(图1)

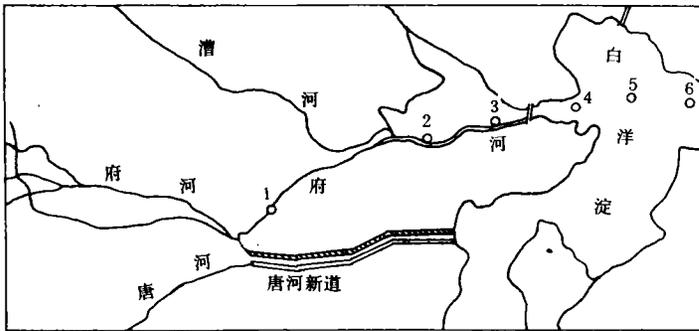


图1 府河—白洋淀浮游动物采样站分布图

Fig.1 Sketch of sampling stations in Fuhe Stream-Baiyangdian Lake

1 望亭; 2 安州; 3 东向阳; 4 漾堤口; 5 王家寨; 6 枣林庄

1.2 样品采集与处理 枝角类、桡足类和轮虫的定性样品用25号浮游生物网按常规方法采样。原生动物的群集利用PFU(Polyurethane Foam unit-聚氨酯泡沫塑料块)方法。实验所采用的PFU人工基质其规格为5cm厚,孔径约为100—150 μ m。使用时将其制作成5 \times 6.5 \times 7.5mm的小块在各采样站水下约40cm处悬挂4块PFU。随后24h后

采集样品。样品用食品塑料袋包装携带回驻地进行活体观察鉴定。

定量样品甲壳动物取 10L 水浓缩成 50ml; 轮虫取 1L 水样然后沉淀 24h, 经虹吸获得 30ml 定量样品。

1.3 数量计数和生物量计算 甲壳动物在解剖镜下全部计数。在种群密度很高时, 用小样 (Subsample) 的方法抽样计数。其具体步骤是: 把采得的样品倒入有刻度的容量为 100ml 的烧杯中, 经充分摇匀后用宽口吸管吸取 5ml, 注入浮游动物计数框中, 计数 3 片取其平均值, 后乘以稀释的倍数以获得单位体积中的数量。轮虫的计数具体步骤是: 吸取 1ml 样品注入 1ml 计数框中在 10×10 的放大倍数下计数轮虫, 再按计算公式换算成单位体积中的轮虫个体数^[19-21]。生物量的计算, 轮虫根据体积法计算获得生物量, 甲壳动物根据体长-体重回归方程, 由体长求得体重。

1.4 多样性指数的计算 多样性指数 d 值的计算按照 Margalef 多样性公式:

$$D = \frac{S - 1}{\log_e N} \quad [23]$$

这里 D = 多样性指数; S = 种类数; N = 个体数。 d 值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏, 因此可指示水质的优劣程度。此外, 经应用 Shannon-Weaner 多样性指数 (H') 公式验算, 亦获得相同趋势。

2 结果与分析

2.1 种类组成和分布特征

通过 5 月、7 月和 10 月三次采样调查, 府河—白洋淀共鉴定出浮游动物 129 种。其中枝角类 24 种, 桡足类 16 类, 轮虫 26 种, 原生动物 63 种。

府河不同采样站浮游动物种类组成与分布特征的差异是十分明显的, 这种差异主要与水质的变化密切相关。望亭、安州两个采样站由于靠近污染源, 水质很差, 溶解氧分别为 0 和 0.4mg/L 。从浮游动物种类组成特征来分析, 这两个采样站的浮游动物主要是些高度耐污种类, 如裸腹蚤、温剑水蚤、臂尾轮虫、三肢轮虫、裂足轮虫和龟甲轮虫等。原生动物则大部分为一些鞭毛虫种类, 如波豆虫、滴虫、眼虫、隐藻等, 在显微镜活体观察过程中可以看到这些微型生物具有很高的个体数量 (相对密度), 表明该两站的水体污染较为严重。河流延伸至东向阳、漾堤口两个采样站后, 水质有所改善, 水体由黑色变成浅褐色和深绿色。浮游动物种类结构也发生相应变化。甲壳动物和轮虫除仍以耐污型种类为主外, 一些广布型种类出现较多。原生动物许多主要以捕食细菌和藻类的纤毛虫种类出现, 活体观察时, 它们具有相对较高的种群密度。一般来说, 在有机污染处理过程中, 如果出现比较多的纤毛虫种类和个体数量, 则可指示出水体 (或其它载体, 如活性污泥) 净化活动强烈, 效果较佳^[22]。至下游的王家寨和枣林庄, 由于这两个采样站远离污染源的冲击, 加之与淀区水域相连, 河道内和周围长满茂密的水草、芦苇、莲藕等沉水和挺水植物, 水体净化活跃, 水质得到显著改善。特别是枣林庄段面, 河水清澈见底, 淀区群众在这一带捕鱼、网虾、捞螺活动频繁。浮游动物的种类组成也发生了较大变化。许多在正常水体出现的盘肠蚤科、仙达蚤科和象鼻蚤科的种类均有分布。原生动物除了可发现为数众多

的纤毛虫种类外,还发现了不少一般分布在清洁型水体的种类,如单鞭金藻、黄团藻、黄群藻、匣壳虫和砂壳虫等。特别值得指出的是,枣林庄还检出了鹅长颈虫 (*Dileptus anser* Müller),一般认为它是寡污带的指示种。

2.2 种类数目的变化

水生生物的种类组成和时空分布随环境条件的变化而发生改变。一般来说,在有机污染严重的水体,绝大部分敏感种类消失,取而代之的是些耐污型种类。随着水体自净作用的加强,水质得到改善,种类数目呈上升趋势。图 2 表明了府河—白洋淀 6 个采样站浮游甲壳动物、轮虫总的种类数和不同月份的种类数的变化。从图 2 可以看出,不同水质的采样站,其种类数的变化存在很大差异。污染严重的两个采样站望亭和安州,无论是总的种类数,还是每个月所发现的种类数均明显低于其它各采样站;东向阳和漾堤口水质有所改善,种类数呈上升趋势,但上升的幅度不大;王家寨和枣林庄水质净化效果最为理想(特别是后者),浮游动物种类恢复较快,其上升幅度明显高于其它各采样站。

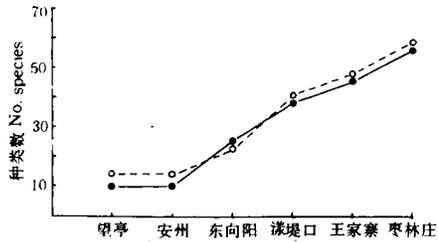
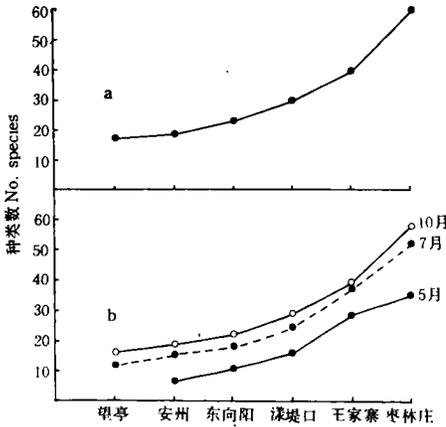


图 2 府河—白洋淀浮游甲壳动物、轮虫总种类数 (a)和不同月份种类数(b)的变化

图 3 府河—白洋淀 PFU 原生动物群集曲线

Fig.2 Comparison of the number of zooplankton species at six sampling stations

Fig.3 PFU protozoan colonization curves for 6 sampling stations in Fuhe stream—Baiyangdian Lake

(a = the total number of species, b = the number of species in the different months)

(●—● 7月11日; ○—○ 10月20日)

2.3 PFU 原生动物群集速度比较

府河—白洋淀六个采样站 PFU 原生动物的群集速度与水体质量关系密切(图 3)。望亭、安州两个采样站污染严重,PFU 群集速度十分缓慢,两次试验仅分别群集了较少的种类(10.14 种)。东向阳和漾堤口的水质得到改善,尤其是漾堤口河段自净作用加强,污染物含量降低,毒性下降,对微型生物的作用减轻。原生动物种类增多,种类库(species pool)的密度增加,明显的特征是 PFU 群集速度加快。东向阳 24h 试验内群集了 23 和 25 种(7 月和 10 月),漾堤口两次(24h)群集了 39 种和 40 种原生动物,与上游望亭和安州比较,种类数增加许多。王家寨和枣林庄两个采样站水质改善十分明显,PFU 原生动物种类继续呈上升趋势。其中王家寨 7 月份的试验群集了 45 种,枣林庄群集了 51 种;

10月份的试验王家寨群集了47种,枣林庄群集了58种,其群集曲线均在其它四个采样站之上(图3),表明府河下游(白洋淀淀区)的水质得到较好的净化。

2.4 个体数量和生物量

污染,无论是由重金属还是由有机物引起的,通常减少敏感型的种类和随数量而增加耐污种群(Tolerant population)的个体丰度^[23]。在正常水体中(清洁型水体),水生生物一般显示了种类多,数量少的特征。在重度污染的水体,几乎所有的水生生物(除了少数种类的细菌)都不能生存。在较严重和中度富营养化的水体中,往往是一些耐污种类形成优势种群而以较高的个体丰度出现。因此,浮游动物的数量消长除了与其它环境因素的变化有关外,与水质污染的程度密切相关。图4表明了府河—白洋淀各采样站浮游甲壳动物和轮虫个体数量和生物量的分布和变化趋势。望亭、安州和东向阳三个采样站的个体数一般在1000—3000个/L之间波动,它们的生物量分别为7、6和9mg/L。漾堤口站3次采样数量和生物量均显著高于其它5个采样站,10月份的最高数量高达8800个/L,3次平均生物量为15mg/L。到王家寨采样站,个体数量和生物呈明显的下降趋势。枣林庄的水质由于自净作用而变得较为清洁,浮游动物的个体数量较少,最高峰的10月份为780个/L。生物量也降低许多。总之,无论个体数量还是生物量枣林庄是6个采样站中最低的一个采样站。

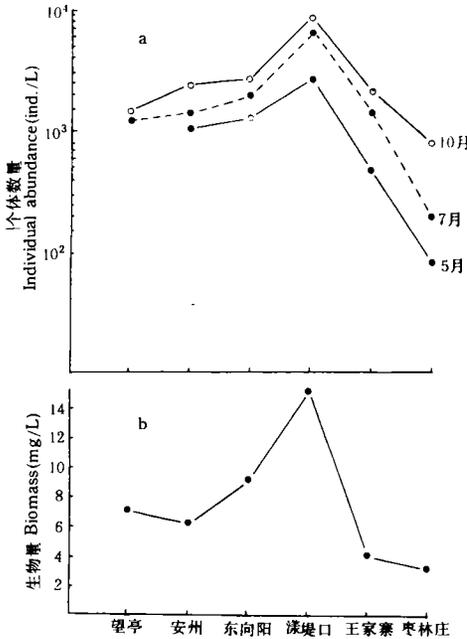


图4 府河—白洋淀浮游动物个体数量(a)和平均生物量(b)的变化

Fig.4 Variations of individual abundance(a) and biomass (b) in Fuhe Stream-Baiyangdian Lake

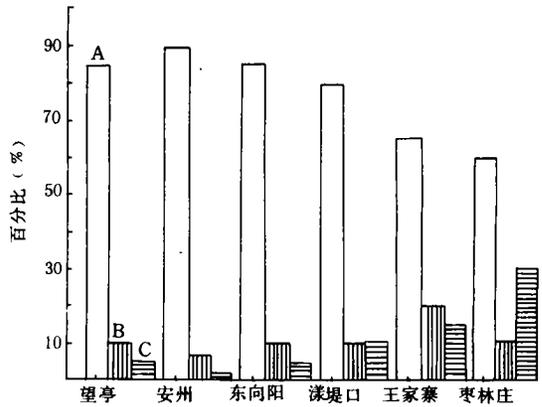


图5 府河—白洋淀轮虫(A)、枝角类(B)和桡足类(C)数量百分比比较

Fig.5 The percentage compositions of three groups of zooplankton (A-rotifer, B-Cladoceran and C-Copepod) at six sampling stations in Fuhe Stream-Baiyangdian Lake

2.5 各类群浮游动物数量百分比的比较

比较府河—白洋淀的轮虫、枝角类、桡足类分别所占总个体数量的百分比同样表明了

水质的变化趋势(图 5)。总的来看,六个采样站的轮虫数量均占绝对优势。但是各站轮虫数量百分比却发生程度不同的变化。望亭、安州和东向阳三个采样站轮虫的数量均占浮游动物总数的 85%至 90%。分布在这三个采样站的轮虫优势种群主要是些耐污型种类,如臂尾轮虫、龟甲轮虫、三肢轮虫、裂足轮虫、晶囊轮虫等。从漾堤口、王家寨到枣林庄,轮虫的数量百分比下降,枝角类、桡足类数量百分比有所上升,枣林庄站则尤为明显(图 5)。另一方面,轮虫的优势种群在枣林庄站也发生了某些变化。除了分布在其它各站的优势种群仍有相当数量存在外,单趾轮虫、腔轮虫、鞍甲轮虫等这些在河流、湖泊广为分布的种类也有较多数量出现。

2.6 多样性指数 d 值的变化

浮游动物多样性指数 d 值的变化较好地反映了府河的净化效能(图 6)。望亭、安州污染严重, d 值较低,一般在 1.0—2.0 之间波动;东向阳和漾堤口水质有所改善, d 值增高,变动范围在 2.4—3.1 之间;王家寨的 d 值上升较快, 5 月份为 4.42, 7 月份为 4.89, 10 月份为 4.94;枣林庄采样站的 d 值明显高于其它各站, 5 月份为 7.81, 7 月份为 9.80, 10 月份为 8.56, 表明枣林庄河段水质净化效果良好。

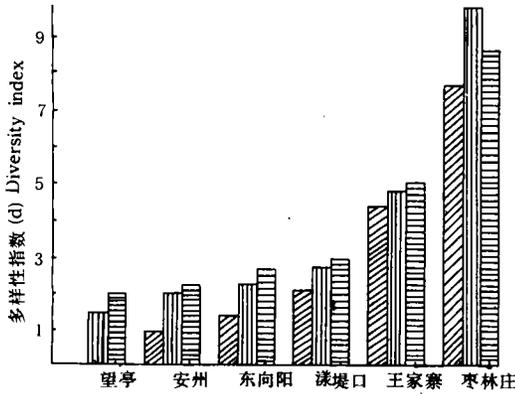


图 6 府河—白洋淀浮游动物多样性指数 d 值不同月份的变化

Fig.6 The variations of diversity index (d value) in different months at six samplng stations in Fuhe Stream—Baiyangdian Lake

▨ 5月 ▩ 7月 ▪ 10月

Margalef 多样性指数 d 值在评价水体污染的生物学监测方面被应用较多,特别是浮游动物水质评价工作中应用更为广泛,较符合客观条件地反映了水体污染程度及其变化趋势,即:污染越严重, d 值越低,反之亦然。我们按照府河—白洋淀水体质量的实际状况,结合以前对其它重金属和有机污染河流的调查分析结果,把 Margalef 多样性指数 d 值划分成 5 个水质等级: 0—1 为重度污染; 1—2 为严重污染; 2—4 为中度污染; 4—6 为轻度污染; d 值 > 6 为清洁水体。依据这种等级划分标准,府河—白洋淀 6 个采样站的水质可排序如下:望亭 < 安州 < 东向阳 < 漾堤口 < 王家寨 < 枣林庄。其中望亭和安州属严重污染,东向阳和漾堤口属中污染,王家寨属轻污染,枣林庄则属干净水体。

3 结论与建议

我们的研究结果指出了府河—白洋淀具有较强的自净能力,浮游动物结构与功能的特征较好地反映了这一变化过程。在污染严重的上游两个采样站望亭和安州,其特点表现为少的种类数目,低的 PFU 群集速度,高的耐污种群的个体数量,较高的生物量和较低的多样性指数 d 值。中游的两个采样站东向阳和漾堤口,水质得到一定程度的净化,污染物的毒性降低,种类恢复较多,PFU 群集速度加快,多样性指数 d 值上升明显,但是耐污种群的个体数量在此两站形成高峰,表明水质属较严重富营养化范畴。府河下游的两个采样站王家寨和枣林庄由于远离污染源的冲击,河道与淀区水域相连,水中长满水草、芦苇及其它水生高等植物,水质净化作用强烈,其效果较为理想。这主要表现为浮游动物种类组成发生较大变化,出现了不少分布在正常水体的种类。与以上四个采样站比较,种类数目增加很多,PFU 群集速度继续加快,多样性指数 d 值增高显著。同时,耐污种群的个体数量和生物量降低。这种变化趋势在枣林庄采样站反映得最为明显,表明该站的水质优于其它五个采样站。水质分析资料同样指示了六个采样站水质的变化过程。总之,从目前情况来看,府河的自净功能是明显的、稳定的,对保护整个白洋淀的水质起到了重要的作用。

河流的自净效能是有一定限度的。因此为了进一步提高府河的自然净化效果和更好地改善白洋淀淀区的水质,我们认为,采取以下几个方面的措施既是势在必行,又较切实可行。

3.1 保定市的城市污水的排放应当加以适度的预先处理和加强对污水排放量的管理和控制。如果随意排放和实击排放,不但会继续造成以前多次出现的污染事故,还会破坏河河的自净功能,这将对整个白洋淀淀区的水质带来极其严重的影响和后果。

3.2 清除淤泥,疏通河道。目前府河由于多年排污,污泥淤积很厚,河道变得越来越窄浅,直接影响净化效果。因而河道的清淤疏通工作成为当务之急。

3.3 在疏通河道的基础上,在 60 多 km 长的府河上按照实际需要和各河段的地理环境条件修建若干个滚水坝或排污闸门,使污水在河道的多个或几个河段内延长滞留时间,使污染物得到截留和多级净化(因为每一个拦水坝或闸内的河道实际上相当于一个粗放的人工生态稳定塘),使污水不致于直接排入淀区。

3.4 实行土地处理系统和河流净化相结合的方法。一方面可分流一部分污水作为农田污灌(北方旱地缺水),另一方面可规划一定面积的土地(主要是沿河一带的某些贫瘠之地)作为专门的污水处理系统,这样既可适当减轻府河负荷,又可使污水中高浓度的营养物质得到转换和利用。

总之,府河作为白洋淀主要的污水排放河道,保持和提高府河的自净能力,对于改善和恢复白洋淀水生生态系统的结构与功能,使其良性循环,这对于促进当地经济的持续发展,使昔日的“华北明珠”白洋淀重放异彩具有十分重要的现实意义。

参 考 文 献

- [1] 湖北省水生生物研究所第六室. 鸭儿湖污染调查报告(三), 农药污染对鸭儿湖浮游生物的影响. 见: 环境保护生物监测与治理资料汇编. 北京: 科学出版社, 1978, 47—59.
- [2] 黄祥飞、胡春英、伍焯田. 武汉东湖的轮虫. 水生生物学报, 1985, 9(2): 129—142.
- [3] 沈福芬、蒋璧治. 从浮游动物评价水体自然净化效能. 海洋与湖沼, 1979, 10(2): 161—171.
- [4] 沈福芬等. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [5] 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—306.
- [6] 庄德辉. 鸭儿湖氧化塘建立后水生生物群落的演变. 中国环境科学, 1987, 7(3): 21—29.
- [7] 庄德辉. 水污染对甲壳动物生态毒理影响研究概况. 国外环境科学, 1983.
- [8] 龚循矩. 从原生动物看武汉东湖富营养化的发展. 水生生物学报, 1986, 10(4): 340—351.
- [9] 钟貽诚、李玉和、张奎光. 北塘河口浮游动物生态的初步研究. 生态学报, 1984, 4(4): 394—399.
- [10] 肖貽昌. 陆源排污对渤海湾浮游动物生态的影响. 海洋科学集刊, 1988, 29: 147—157.
- [11] 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.
- [12] 许木启. 京密运河—北京排污河浮游动物群落变化与水质关系的研究. 环境科学学报, 1993, 13(3): 347—353.
- [13] Jolly V H, Chapman M A. A preliminary biological study of the effects of pollution of Farmer's Creek and Cox's River, New South Wales. *Hydrobiologia*, 1966, 27: 160—192.
- [14] Brien W J, Denoyelles F. Relationship between nutrient concentration, phytoplankton density, and zooplankton density in nutrient enriched experimental ponds. *Hydrobiologia*, 1974, 44(1): 125—129.
- [15] Sladeck V. Rotifers as indicators of water quality. *Hydrobiologia*, 1983, 100: 169—201.
- [16] Ito T, Nikaïdo M. Aquatic communities in polluted stream with industrial and mining wastes. *Mem. Ehime Univ. Sect. Ser. (B)*, 1965 5: 121.
- [17] Cairns J Jr. A strategy for use of protozoans in the evaluation of hazardous substances. *Biological Indicators of Water Quality*, 1979: 61—67.
- [18] Henebry M S, Cairns J Jr. Monitoring of stream pollution using protozoan communities on artificial substrates. *Trans. Am. Micro. Soc.*, 1980, 99(2): 151—160.
- [19] 章宗涉、黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 358—382.
- [20] 刘建康. 东湖生态学研究(一). 北京: 科学出版社, 1990: 104—128.
- [21] 何志辉. 淡水浮游生物的生物量——改进浮游生物定量工作的当务之急. 动物学杂志, 1979, 4: 53—56.
- [22] 王家楫等. 废水生物处理微型动物图志. 北京: 中国建筑工业出版社, 1976.
- [23] Margalef D R. Information theory in ecology. *Cen System.*, 1958, 3: 36—71.
- [24] Jeanne A R, Cairns J Jr. Response of freshwater protozoan artificial communities to metals. *J. Proto.*, 1973, 20(1): 127—135.

EVALUATION OF SELF-PURIFICATION EFFICIENCY OF FUHE STREAM-BAIYANGDIAN LAKE THROUGH ZOOPLANKTON

Xu Muqi

(*Institute of Zoology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086*)

Abstract

The Fuhe Stream is the major one for the discharge of wastewater from Baoding City. It receives a large amount of domestic sewage and some industrial wastewater from the urban districts and then runs into Baiyangdian Lake.

To monitor the toxic stress of pollution and the efficiency of self-purification at various sections of Fuhe Stream-Baiyangdian Lake, investigations into the temporal and spatial variations of zooplankton community structure and function were undertaken in May, July and October, 1993. The water quality in Fuhe Stream-Baiyangdian Lake was assessed by qualitative and quantitative analyses of zooplankton community. Six sample stations from the upstream close to pollution source to the downstream into Baiyangdian Lake were distinguishable in terms of differences in the species richness, PFU colonization rate (a functional parameter), individual abundance, biomass and diversity index. Two sample sites of Wangting and Anzhou located in upstream had poor water quality due to the receiving of a great deal of sewage which contained high concentrations of BOD, COD, $\text{NH}_4\text{-N}$ and T-P, and this was reflected in the variations of the structural and functional parameters of zooplankton community, that is, impoverished species richness, low PFU colonization rate, high tolerant population abundance and low diversity index value. Pollution stress was obviously lessened at two stations ie Dongxiangyang and Yangdikou in the middle reaches of Fuhe Stream due to water quality's improvement by showing of a great species restoration. The self-purification was greatly enhanced and water quality was clearly improved at two sample stations, ie Wangjiazai and Zaolinzhuang in the downstream. This was indicated by the dramatic increase in the number of species, the high PFU colonization rate and the high diversity index value as well as the decrease in the tolerant population abundance and biomass, along with the reduction of pollutants.

The self-purification in Fuhe Stream plays an important role in protecting water quality of Baiyangdian Lake. The author presents some constructive suggestions for keeping the stability of self-purification in Fuhe Stream to improve water quality of Baiyangdian Lake.

Key words Zooplankton, Water quality, Self-purification