

从浮游动物评价水体自然净化的效能*

沈韞芬 蒋燮治
(中国科学院水生生物研究所)

城市部分工业废水和生活污水虽经处理厂治理后排放入江、湖、河、海等自然水体中,但仍有一定浓度的各种污染物进入这些水体。这些污染物经水体自然净化后,浓度显著降低。因此,从理化、生物方面研究水体自然净化的效能,从而阐明水体自净的机理、了解水体对污染物的负荷,以便制定污染物的排放标准,这是水体污染生态研究工作的重要内容之一。目前国内已开展了河流自净以及寡毛类、藻类作为指示生物的研究¹⁻⁴⁾。本文仅从浮游动物来评价两个地区的水体自然净化的效能。

一、调查经过与方法

1974年7月29—30日在北京市莲花河—凉水河进行了原生动物种类组成的调查。该河有4个主要污染源(见图1),全长73公里。

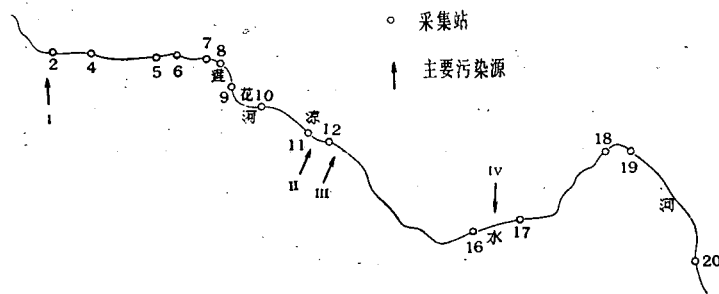


图1 莲花河—凉水河的污染源及采集站的分布

1976年9月3日在齐齐哈尔市郊外污水库进行浮游动物(包括原生动物、轮虫、枝角类、桡足类)种群组成的调查。该库全长9华里,面积八千余亩(见图2),是利用郊区的一个天然水泊及洼地拦堤筑坝改建而成的,可使全市工业废水、生活污水在此进行自然净化,成为氧化塘。全市废水入库之前,先经过3个小泡子和较长的明渠再进入污水库。因此,废水在通过明渠中已可得到初步改善。入库后经库内微生物、藻类、高等植物等的吸收、分解,水质又得到了很大的改善。废水处理后供灌溉用,不再排入嫩江,消除了嫩江在

* 协助调查的有北京市环境保护科学研究所曹维勤、朱新源、史增锐和齐齐哈尔市环境保护办公室张志霞等同志。本刊编辑部收到稿件日期:1979年1月2日。

- 1) 北京市环境保护科学研究所, 1975。河流自净的初步研究(资料)。
- 2) 北京市环境保护科学研究所, 1975。污染指示生物颤蚓(Tubificidae)在莲花河—凉水河的指示意义(资料)。
- 3) 《污水库自净效果》调查组, 1975。齐齐哈尔“引污治嫩”工程污水库自净效果的调查报告。黑龙江省《环境保护》, 1975年第3期, 第1—11页。
- 4) 湖北省水生生物研究所, 1975。鸭儿湖污染调查报告。环境保护与水生生物研究报告, 第11号(资料)。

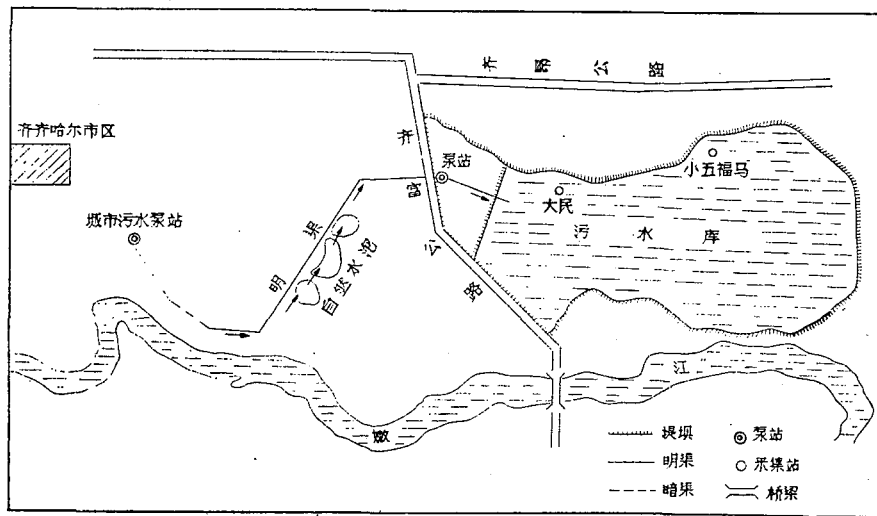


图2 齐齐哈尔市污水库及采集站示意图

该市地区鱼类死亡的威胁,改善了嫩江的水质。为便于更好地评价该污水库的净化效能,又于9月4日、9月5日分别在嫩江齐齐哈尔市的上下河段进行浮游动物的调查。

在野外采集过程中,除了用25号浮游生物网进行定性采集外,还用镊子在采集地点捞取着生于天然基质上(如水草、石块、泥块等)的生物标本。立即带回室内进行分类鉴定。原生动物的种类鉴定,尽可能进行活体观察。各站标本中的种类必须在当天鉴定完毕。如果到次日再进行鉴定工作,无论从种类上或是从数量上都可能起很大变化,不能反映出水体当时的种群组成,也会影响对该水体自然净化效能的评价。由于莲花河-凉水河调查的范围长达73公里,从14个站上取得的标本难以在一天内完成工作量,故在连续两天内分别采集、鉴定,以不致影响对各站种群组成的比较。

二、调查结果

1. 莲花河—凉水河的调查

流入莲花河的主要是工业废水,生活污水很少。污染源I(见图1)主要是焦化厂、炼钢厂排入的含酚、氰废水。2号采集站¹⁾水温超过40°C,水黑色,河水中酚氰浓度最高可分别达到1.8和0.9毫克/升。此站只看到沟钟虫 *Vorticella convallaria* (见表1),并且个体处于收缩状态。反映出原生动物在此站极不宜生存,显然受到污染源I的影响。

至4号采集站时虽然水仍呈黑色,但水温已下降为37°C,酚氰浓度也大幅度降低,约为0.1毫克/升左右。此站出现少数尾草履虫 *Paramecium caudatum* 及似后毛虫 *Opisthoricha similis* 两种原生动动物。并有少量转轮虫 *Rotaria rotatoria* 出现。

5号采集站水温仍有36.4°C。观察到少数尾草履虫及小轮毛虫 *Trochelia minuta* 两种。转轮虫数量较多,此外尚有个别椎尾水轮虫 *Epiphanes senta*。

6号采集站及以后的各站水温已下降至32—33°C。在6号站上观察到尾草履虫、小

1) 为了与北京市环境保护科学研究所的资料一致,本文的采集站使用与他们的资料相同的编号,以便读者查考对照。

表 1 莲花河—凉水河各站原生动物种类及相对数量*的分布

种 名	站 别															
	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	17	18	20		
肉鞭亚门 <i>Sarcomastigophora</i> Honigberg and Balamuth																
1. 沫状变形虫 <i>Amoeba spumosa</i> Gruber														1		
2. 球形砂壳虫 <i>Diffugia globulosa</i> Dujardin														1		
3. 梭眼虫 <i>Euglena acus</i> Ehrenberg														1		
4. 绿眼虫 <i>Euglena viridis</i> Ehrenberg													1			
5. 聚屋滴虫 <i>Oikomonas socialis</i> Moroff													1			
纤毛亚门 <i>Ciliophora</i> Doflein																
6. 蟪状独缩虫 <i>Carchesium polypinum</i> Linné				1										1		
7. 僧帽斜管虫 <i>Chilodonella cucullulus</i> O. F. Müller					1									1	2	
8. 钩刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinata</i> Ehrenberg				1		1	1							1	1	
9. 美丽圆纹虫 <i>Cyclogramma rubens</i> Perty															1	
10. 鹅长颈虫 <i>Dileptus anser</i> O. F. Müller															2	
11. 厚盘累枝虫 <i>Epistylis balatonica</i> Stiller				3		2			1	1				1		
12. 褶累枝虫 <i>Epistylis plicatilis</i> Ehrenberg					4			4				2	4			
13. 瓶累枝虫 <i>Epistylis urceolata</i> Stiller								2					1			
14. 表率盘状游仆虫 <i>Euplotes patella typicus</i> Kahl											2				1	
15. 放射矛刺虫 <i>Hastatella radians</i> Ehrenberg															2	
16. 长半眉虫 <i>Hemiophrys procera</i> Penard											1					
17. 食藻全列虫 <i>Holosticha algivora</i> Kahl															1	
18. 绿全列虫 <i>Holosticha viridis</i> Kahl															1	
19. 龙骨漫游虫 <i>Litonotus carinatus</i> Stokes															1	
20. 片状漫游虫 <i>Litonotus fasciola</i> Ehrenberg					1											
21. 平扁漫游虫 <i>Litonotus lamella</i> Schewiakoff															1	
22. 似后毛虫 <i>Opisthotricha similis</i> Engelmann		1											3		1	
23. 尾草履虫 <i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg		1	1	2		1		1	1	1			1			
24. 卵圆前管虫 <i>Prorodon ovum</i> Ehrenberg										1						
25. 带核喇叭虫 <i>Stentor roeseli</i> Ehrenberg															2	
26. 背状尾棘虫 <i>Stylonychia notophora</i> Stokes													1		1	
27. 卑怯管叶虫 <i>Trachelophyllum pusillum</i> Perty-Clap. & L.					1	1	1	1	1				1			
28. 小轮毛虫 <i>Trochelia minuta</i> (Roux)			1	1						1						
29. 长尾瘦尾虫 <i>Uroleptus longicaudatus</i> Stokes										1						
30. 海洋尾丝虫 <i>Uronema marinum</i> Dujardin										1						
31. 沟钟虫 <i>Vorticella convallaria</i> Linné-Noland	1			1												
32. 小口钟虫 <i>Vorticella microstoma</i> Ehrenberg										1						
33. 八钟虫 <i>Vorticella octava</i> Stokes												1	1	1		
34. 树状聚缩虫 <i>Zoothamnium arbuscula</i> Ehrenberg							1									
原生动物种类数	1	2	2	6	4	5	3	3	8	3	2	2	13	16		

* 表内示数量的相对级别 1级——出现少数 2级——多 3级——很多 4级——极多。

轮毛虫、钩刺斜管虫 *Chilodonella uncineta*、沟钟虫、螭状独缩虫 *Carchesium polypinum*、厚盘累枝虫 *Epistylis balantonia* 等 6 种原生动物。以厚盘累枝虫最多,尾草履虫次之。仍有不少转轮虫。从数量上来看,前面三个站原生动物都很少,而在此站突然大大增多起来。一方面固然是水温下降,另一方面也反映出污染程度开始减弱,水体得到一定程度的自净。原生动物种类和数量也开始增多。

7 号站起至 10 号站是水体自然净化很活跃的河段。原生动物种类只有 3—5 种,但出现的数量十分可观。这在污染水体中是常见的现象。往往由几个抗污性强的种类占了群落数量的大部分,以致造成种类多样性指数较低。在 7 号站和 10 号站都能在河床底、河岸边采到大量漂浮的或是附着在天然基质上的灰白色粘液状生物膜。此种生物膜是一种复杂的生物群落结构。主要包括球衣细菌 *Sphaerotilus natans*、菌胶团、游离细菌、藻类、原生动物、轮虫、线虫和寡毛类。其中以球衣细菌占绝对优势,原生动物次之。原生动物中以着生的缘毛目纤毛虫为主,包括褶累枝虫 *Epistylis plicatilis*、瓶累枝虫 *Epistylis urcoelata*、厚盘累枝虫。这些累枝虫往往密集成肉眼可见的白色粘液状物,在其上还有钩刺斜管虫、卑怯管叶虫 *Trachelophyllum pusillum* 和转轮虫等爬行。

由于上面这一河段的自净作用很强烈,且没有其它污染源的注入,就导致在 11 站出现 8 种原生动物(见表 1)。甚至还出现比较清水性种类,如卵圆前管虫 *Prorodon ouum*。在数量上也没有很优势的种类。同时,轮虫也增多至 3 种——转轮虫、椎尾水轮虫和透明须足轮虫 *Euchlanis pellucida*。由于起净化作用的生物膜大大减少,生物膜上着生缘毛目纤毛虫数量也显著下降。从此站的浮游动物组成情况反映出水体自净作用已具有初步效果。

但是这一趋势未能持续下去。在 11 站之后即有污染源 II 有机磷农药废水注入。这股污染源直接影响原生动物的生存。在 12 站只剩下 3 种纤毛虫(少数厚盘累枝虫、尾草履虫和长半眉虫 *Hemiophrya procera*) 和一种转轮虫。并且在 12 站也没有看到起净化作用的生物膜群落结构,显然也是污染源 II 的毒性较强所致。

随着河流的延伸,这种起净化作用的生物膜又逐渐形成,标志着河流净化能力又在恢复。在 16 站和 17 站都能采到生物膜。但由于 12 站之后有污染源 III——化工、农药、冶炼废水的排入,16 站之后又有污染源 IV 焦化厂废水的排入,这样反复数次地干扰河流净化作用,直接影响生物膜群落的生长。因此 16、17 两站的生物膜上的生物均不够活跃。生物膜上的褶累枝虫群体只见到大量的柄,柄上的虫体已经脱落,可见污染物的毒性很强,褶累枝虫无法生存。瓶累枝虫群体上仍有单个虫体,但已处于收缩状态。

16、17 站后,河流的自净能力又逐渐得到恢复,表现在生物膜上的生物又恢复到非常活跃的状态。到距离较远的 18 站时,虽然水中仍带有煤油味,但生物膜上的褶累枝虫已繁茂成肉眼可见的白色粘液状物,还有别的着生缘毛目纤毛虫如瓶累枝虫、厚盘累枝虫、八钟虫 *Vorticella octava* 以及不少爬行生活的纤毛虫,如钩刺斜管虫、僧帽斜管虫 *Chilodonella cucullulus*、卑怯管叶虫和似后毛虫等。指示了这一河段的净化效能良好。

到 20 站时,水已没有煤油味。原生动物种类组成变化很大。首先是种类繁多,已有 16 种(见表 1)。可是没有在数量上占绝对优势的种类,相对地显示出种类多样性指数在上升。其中比较多一点的种类是放射矛刺虫 *Hastatella radians*、僧帽斜管虫、带核喇叭虫

Stentor roeseli。这些种类是嗜中污带的，而放射矛刺虫还是浮游种类。其次，生物膜已由丝状藻类构成，没有看到缘毛目纤毛虫，更未成灰白色的一片，也就是说原生动物污水种类在此已逐渐被替代。在此站还出现为数不少的鹅长颈虫 *Dileptus anser*，一般认为它还是寡污带的指示种类^[11]。此外，还出现了湖泊、水库、江河中常见的球形砂壳虫 *Diffflugia globulosa*，也同样地指示了水质在变佳。从整个原生动物种类组成来看，说明莲花河一凉水河在 73 公里以后的 20 站上已反映出河流自净的效能。

莲花河一凉水河受到各种污染源的数次干扰，造成河流净化效果的数次反复。这一情况反映在原生动物种群组成和生物膜的变迁上十分明显。可把上述变化简列于表 2 如下：

表 2 莲花河一凉水河污染源与原生动物种类数及生物膜关系

站 别	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	17	18	20
污染源	I ↑									II ↑	III ↑	IV ↑		
原生动物种数	1	2	2	6	4	5	3	3	8	3	2	2	13	16
河流方向及流程(公里)	0 → 10 → 20 → 27 → 30 → 45 → 61.5 → 73 →													
以缘毛目为优势的生物膜	无	无	无	无	大量	大量	大量	大量	消失	无	少量	少量	大量	消失

总之，莲花河一凉水河沿途几经污染，至 73 公里后达 20 站时从原生动物种类组成、种类数量上已反映出河流自净取得了一定效果。从种类数量上已从 1 种发展为 16 种；从种类组成上反映出原生动物从不能生存发展为以污水性着生缘毛目纤毛虫（瓶累枝虫、褶累枝虫、厚盘累枝虫）占绝对优势，进而过渡为以偏中污性的放射矛刺虫、僧帽斜管虫、带核喇叭虫为主，同时还出现一些清水性种类，如鹅长颈虫。但是，整个来看，离完全净化的要求还有距离。在 20 站时原生动物种类中仍以中污性为主。因此，还必须对沿途工厂废水排放质量严加控制，才能不超过河流自净的负荷量。

2. 齐齐哈尔市郊氧化塘的调查

氧化塘的采集分别在上段（大民断面）和下段（小五福马断面）两站进行（见图 2）。大民断面代表氧化塘入口的水体；小五福马断面代表废水经过自然净化后的水体。从两处自然环境的对比中就可明显看出废水处理良好。

	大民断面	小五福马断面
水温：	18℃	17℃
pH：	6.3	6.5
水味：	废水臭味扑鼻	无味
水生植物：	长满旱蓼，浮萍	也有旱蓼、浮萍，但较少些。
鱼：	无人捕鱼	有儿童捕鱼。捕起的主要是罗汉鱼，其次是鳊鱼、黄颡子等。

两个站上共观察到原生动物 18 种，轮虫 22 种，枝角类 5 种（见表 3）。由于全市污水在入库之前经过三个小水泡子和较长的明渠，水质已有了初步的净化。虽然污水库的上

表 3 齐齐哈尔市郊污水库、嫩江的浮游动物种类组成及相对数量*的分布

种 类	地 点	嫩 江			污 水 库	
		洮园	湖滨	富拉尔基	大民	小五福马
原生动物 PROTOZOA						
肉足虫纲 Sarcodina Hertwig & Lesser						
1. 放射太阳虫 <i>Actinophrya sol</i> Ehrenberg				1		
2. 泡状变形虫 <i>Amoeba alveolata</i> Mereschkovsky	1		1		1	
3. 蛞蝓变形虫 <i>Amoeba limax</i> Dujardin					1	
4. 普通铍壳虫 <i>Arcella vulgaris</i> Ehrenberg		1		1	1	
5. 拱着普通铍壳虫 <i>Arcella vulgaris penardi</i> Deflandre			1			
6. 表率旋匣壳虫 <i>Centropyxis aërophila typica</i> Deflandre	1		1			
7. 小匣壳虫 <i>Centropyxis minuta</i> Deflandre	1					
8. 尖顶砂壳虫 <i>Diffflugia acuminata</i> Ehrenberg	1	1				
9. 伪砂壳虫 <i>Diffflugia fallax</i> Penard			1		1	
10. 球形砂壳虫 <i>Diffflugia globulosa</i> Dujardin	1	1	1		1	
11. 湖沼砂壳虫 <i>Diffflugia limnetica</i> Levander					1	
12. 结节鳞壳虫 <i>Euglypha tuberculata</i> Dujardin	1					
13. 苍白刺日虫 <i>Raphidiophrys pallida</i> Schulze	1		1			
14. 线条三足虫 <i>Trinema lineare</i> Penard			1			
纤毛虫纲 Ciliatea Perty						
1. 结节吸管虫 <i>Acineta tuberosa</i> Ehrenberg	2		1			
2. 有肋楯纤虫 <i>Aspidisca costata</i> Claparède & Lachmann					1	
3. 钩刺斜管虫 <i>Chilodonella uncinaeta</i> Ehrenberg	1			1	1	
4. 三刺榴弹虫 <i>Coleps hirtus</i> Nitzsch		1			1	
5. 僧帽肾形虫 <i>Colpoda cucullus</i> O. F. Müller					1	
6. 褶累枝虫 <i>Epistylis plicatilis</i> Ehrenberg	1					
7. 阔口游仆虫 <i>Euplotes eurostomus</i> Wrzesniowski				1		
8. 小裂虫 <i>Microregma</i> sp.	1					
9. 小旋口虫 <i>Spirostomum minus</i> Roux					1	
10. 多态喇叭虫 <i>Stentor polymorphus</i> (Müller)					1	
11. 贻贝棘尾虫 <i>Stylonychia mytilus</i> Ehrenberg					1	
12. 王氏似铃壳虫 <i>Tintinnopsis wangi</i> Nie	1				1	
13. 长尾瘦尾虫 <i>Uroleptus longicaudatus</i> Stokes	1				1	
14. 叉状尾毛虫 <i>Urotricha furcata</i> Schewiakoff			1			
15. 沟钟虫 <i>Vorticella convallaria</i> Linné-Noland					1	
16. 迈氏钟虫 <i>Vorticella mayeri</i> Fauré-Fremiet		1				
17. 小口钟虫 <i>Vorticella microstoma</i> Ehrenberg				1		
18. 似钟虫 <i>Vorticella similis</i> Stokes-Noland		1				
种 数 合 计	13	6	10	4	16	
轮虫 ROTIFERA						
1. 裂痕龟纹轮虫 <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse)					1	
2. 卜氏晶蛭轮虫 <i>Asplanchna brightwelli</i> Gosse		1				
3. 前节晶蛭轮虫 <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse		1		1		
4. 角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i> Gosse		2	2	1	2	
5. 弯花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas		1			1	
6. 花筐臂尾轮虫 <i>Brachionus capsuliflorus</i> Pallas		1			1	
7. 剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i> Wierzejski					1	

续 表 3

种 类	嫩 江			污 水 库	
	浏园	湖滨	富拉尔基	大民	小五福马
8. 钩形狭甲轮虫 <i>Colurella uncinata</i> (O. F. Müller)	1				1
9. 尾猪吻轮虫 <i>Dicranophorus caudatus</i> (Ehrenberg)	1	。			
10. 纤巧同尾轮虫 <i>Diurella tenuior</i> (Gosse)					1
11. 透明须足轮虫 <i>Euchlanis pellucida</i> Harring					1
12. 迈氏三肢轮虫 <i>Filinia maior</i> (Colditz)	2	1		1	1
13. 螺形龟甲轮虫 <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	2	1	2		3
14. 曲腿龟甲轮虫 <i>Keratella valga</i> (Ehrenberg)					1
15. 盘状鞍甲轮虫 <i>Lepadella patella</i> (O. F. Müller)	2				1
16. 管板细脊轮虫 <i>Lophocharis salpina</i> (Ehrenberg)					1
17. 钝齿单趾轮虫 <i>Monostyla crenata</i> Harring					1
18. 史氏单趾轮虫 <i>Monostyla stenroosi</i> Meissner	1				
19. 侧扁棘管轮虫 <i>Mytilina compressa</i> (Gosse)				1	
20. 截头皱甲轮虫 <i>Ploesoma truncatum</i> (Levander)	1	1			
21. 针簇多肢轮虫 <i>Polyarthra trigla</i> Ehrenberg	1	3	1	2	1
22. 转轮虫 <i>Rotaria rotatoria</i> (Pallas)			1	1	
23. 懒轮虫 <i>Rotaria tardigrada</i> (Ehrenberg)	1				1
24. 裂足轮虫 <i>Schizocerca diversicornis</i> Daday	1				
25. 梳状疣毛轮虫 <i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg		1			
26. 尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski		1			
27. 盘镜轮虫 <i>Testudinella patina</i> (Hermann)			1		1
28. 圆筒异尾轮虫 <i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof)			1		
29. 细异尾轮虫 <i>Trichocerca gracilis</i> (Tessin)		1			
30. 台杯鬼轮虫 <i>Trichotria pocillum</i> (O. F. Müller)	1	1		1	
31. 侧刺伏嘉轮虫 <i>Wolga spinifera</i> (Western)					1
种 数 合 计	11	13	6	7	18
枝角类 CLADOCERA					
1. 长肢秀体溞 <i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i> Fischer			1		1
2. 老年低额溞 <i>Simocephalus vetulus</i> (O. F. Müller) (幼体)					1
3. 平突船卵溞 <i>Scapholeberis mucronata</i> (O. F. Müller)					1
4. 方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrata</i> (O. F. Müller)			1		
5. 颈沟基合溞 <i>Bosminopsis deitersi</i> Richard		1	1		
6. 肋形尖额溞 <i>Alona costata</i> G. O. Sars	1				
7. 镰角锐额溞 <i>Alonella excisa</i> (Fischer)					1
8. 圆形盘肠溞 <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller)	1	1		1	1
种 类 合 计	2	2	3	1	5
桡足类 COPEPODA					
剑水蚤 Cyclopoida	2	1	1		2
镖水蚤 Calanoida					1
无节幼体 Nauplius	3	2	2	1	3

* 表内数字示相对数量级别,意同表1。

段——大民断面废水臭味很重,但少数原生动物、轮虫、枝角类已可生存,唯种类上和数量上均受到很大限制。原生动物只找到4种。出现的种类亦只是在废水处理装置的活性污泥中经常出现的小口钟虫 *Vorticella microstoma*、钩刺斜管虫和阔口游仆虫 *Euplotes*

eurostomus 等比较偏向于多污带水体的种类。轮虫有 7 种,但数量较少。其中偏向于多污性的有细异尾轮虫 *Trichocerca gracilis*、转轮虫和侧扁棘管轮虫 *Mytilina compressa* 等 3 种。偏向于寡污性的只有前节晶囊轮虫 *Asplanchna priodonta* 和针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla* 两种的少数个体。枝角类只看到一种,即圆形盘肠溇 *Chydorus sphaericus*, 这是一种从多污性到寡污性水体都能适应生存的广布种类。枝角类对污染是很敏感的。在此断面我们也只看到一种圆形盘肠溇,而且数量也极少。桡足类也只见个别无节幼体。综上所述,在大民断面中的各类浮游动物均反映出水质有相当程度的污染。

在小五福马断面中浮游动物的情况就完全不同了。种类和数量均大大增加。原生动物从 4 种增加到 16 种(见表 3, 4)。种类组成除偏向中污带水体的种类外,还出现了湖泊、水库中常见的伪砂壳虫 *Diffugia fallax*、球形砂壳虫、湖沼砂壳虫 *Diffugia limnetica*、王氏似铃壳虫 *Tintinnopsis wangi* 等这些在活性污泥中不会出现的种类,更是标志了水质取得极大的改善。而这一情况是莲花河一凉水河 20 站未具有的。轮虫种类也从 7 种增加到 18 种,其中偏向于寡污性或限于乙型中污性水体的有 12 种,占总数的 2/3。螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis*、角突臂尾轮虫 *Brachionus angularis*、花筐臂尾轮虫 *Branchionus capsuliflorus* 和针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla* 占优势。偏向于多污性的也只有裂痕龟纹轮虫 *Anuraeopsis fissa*、钝齿单趾轮虫 *Monostyla crenata* 和侧刺伏嘉轮虫 *Wolga spinifera* 3 种(见表 3, 4),而且数量也很多,以螺形龟甲轮虫、角突臂尾轮虫占优势。轮虫种类及数量大大增加,说明了水质相当肥沃,提供了鱼类生长丰富的饵料基础。枝角类的变化也是明显的。从 1 种增加到 5 种(见表 3, 4),其中大都是偏向于寡污性的种类,如长肢秀体溇 *Diaphanosoma leuchtenbergianum*、老年低额溇 *Simocephalus vetulus* 和平突船卵溇 *Scapholeberis mucronata* 等。桡足类的无节幼体及剑水蚤在此断面也相当丰富。

表 4 污水库两个站上浮游动物种数比较

类别 \ 地点	大民断面	小五福马断面
原生动物种数	4	16
轮虫种数	7	18
枝角类种数	1	5

从两个站的对比中可以看出,各类浮游动物无论从种类上或是从数量上都反映出水质有很大的改善,逐渐出现了不少能在湖泊、河流、水库中常见的种类,而且生长旺盛,完全证实了此氧化塘的净化能力是高效的。

为了进一步证实污水库起到了保护嫩江在齐齐哈尔市地段的作用,我们于 9 月 4 日和 9 月 5 日分别在嫩江齐齐哈尔市的上下河段设三个断面采集浮游动物标本。(1) 浏园断面:在该市的上段,离市区约 15 华里。(2) 湖滨断面:代表该市区。(3) 富拉尔基断面:在该市的下段,离浏园断面约 50 华里。在嫩江这些断面中共观察到原生动物 22 种,轮虫 22 种,枝角类 5 种(见表 3)。从种类比较来看,嫩江这三个断面差别不大,出现的种类大都是湖泊、水库、河流中常见的种类。在四大类浮游动物中轮虫比较其他的丰富些,反映出水质比较肥沃,鱼类有较好的饵料基础。齐齐哈尔市郊污水库的建立起到了保

护嫩江的效果。

三、讨 论

自从 Kolkwitz & Marsson (1909)^[10] 提出不同污染区的指示生物以来,已有了很大的发展。仅以浮游动物而言,最初多数集中于对指示生物种类名录的探讨和校正,如 Долгов и Никитинский (1927)^[14]、Жадин и Родина (1950)^[15]、Liebmann (1951)^[11]等,在从事原生动物生态研究的同时,提出了原生动物是反映不同污染程度的很好的指示生物。由于浮游动物中有些种类耐污的幅度很广,可以同时出现于几个不同级的污染区。因此,在考虑种类组成时,必须抓住优势种类的生态特点来评定污染程度。同时,还须注意不同季节会有不同的指示种类 (Šrámek-Hušek, 1958^[13]; Шэнь, 1960^[16])。但上述这类工作仅限于对有机物污染水体的研究。此外, Bick (1968, 1972)^[2,3] 还进一步深入到对纤毛虫指示生物的个体生态研究,列出它对水体中主要理化因子的耐受限和最适度,这对评价工业废水污染时是很有意义的。由于原生动物中着生种类比浮游种类更能反映水质情况, Sládečková & Sládeček (1966)^[12] 也偏重于开展了对着生纤毛虫指示生物的研究。Burbanck & Spoon (1967)^[4] 改用透明的塑料培养皿 (Falcon plastic petri dish) 方法利用依附于皿面上纤毛虫的种类和数量,进行快速监测水的质量变化。这一方法,后来又被 Carter & Cameron (1973)^[6] 简化,他们利用梨形四膜虫 *Tetrahymena pyriformis* 作为水中重金属毒性的生物测试。Cairns (1974)^[5] 总结了利用原生动物评定水质污染的十大优点。总之,在专门从事原生动物生态的研究者中,还没有提出对以原生动物评定水质污染有过异议的见解。至于浮游动物的其余门类,情况也是同样。如 Edmondson (1977)^[8] 提及在湖泊水体的富营养化和恢复的过程中,发现枝角类的溞属 *Daphnia* 的种类数量能够随着水质污染程度的演变而消长。此外,在我国近年来对鸭儿湖的污染调查工作中¹⁾,也发现长刺溞 *Daphnia longispina* 对水质的污染的反应较为敏感。诚然,对指示生物持反对的观点也是有的,如 Chandler. (1970)^[7], Jolly & Chapman (1966)^[9] 等。他们之中有的认为一些水生生物种类生存的生态范围广,同时发现于 2—3 个不同的污染级别上就无法判断,起不到指示的作用。有的认为水生指示生物只适用于有机物污染的、流速缓慢的河流中,而流速迅速、成分复杂的工业污染就不适用,其理由是无法找出专门指示某种特殊毒物的生物种类。加以工作中要求对生物有正确的分类鉴定能力所限,因而推广困难。我们认为任何过分地强调凡生物种类均有指示作用,或是完全否认生物的指示作用都是比较片面的。生物生存的本身就是客观环境的综合反映。指示生物是客观存在的。问题是我们如何通过多方研究能够正确地认识它,掌握它。本文的工作就这方面提供一些资料。

1. 本文根据二个工业废水污染的水体——河流和静水的氧化塘中浮游动物的调查结果充分说明了浮游动物能评价水体自然净化的能力,能指示水体污染的严重性及其恢复的过程,首先即表现在种类组成上。莲花河—凉水河在污染严重的开始地段,浮游动物就难于生存。随着河流延伸,出现以着生缘毛目纤毛虫为主的污水性种类和生物膜结合在一起,显示河流净化活动旺盛。最后出现嗜中污性的、甚至个别寡污性的浮游纤毛虫,指

1) 见第 161 页注脚 4)。

示了河流净化的效能。氧化塘也有这种情况。在氧化塘上段浮游动物种类组成是以多污性为主,在下段以中污性为主。其次,表现在种类数量上。莲花河—凉水河在污染源 I 注入的最初河段,原生动物只有一种,且处于濒死状态。至 27 公里 11 站时已有 8 种,说明河流自净已初具成效。后来在污染源 II、III、IV 的影响下种类生长又被抑制,只 2—3 种,使初步得到恢复的河流又遭到破坏。到 73 公里的 20 站时已恢复和发展到 16 种,河流净化又取得良好的效果(见表 2)。氧化塘的四大类浮游动物种数在下段均比上段有明显的增长(见表 4)。凡此足以说明浮游动物,尤其是原生动物更能指示污染的程度和评价自然净化的效能。但在评定过程中,不宜孤立地以某一类来评定,而必须从整个种类组成来评定。不致因有些种类同时出现于几个污染地区而无法评定,也不致因个别种类的出现即据以为准而导致错误的评定。从浮游动物来看,齐齐哈尔市郊的氧化塘水体自然净化效果良好,起到了保护嫩江的作用。莲花河—凉水河也呈现出河流自净的效能,但是流程很长,达 73 公里之多。这是由于沿途工厂污染较多,超过了河流自净能力的负荷量,往往使初步恢复的河段受到再度污染。因此,必须对莲花河—凉水河流域的工厂废水严加控制,加强对工厂废水处理及排放的管理。

2. 莲花河—凉水河的生物膜是一种特殊的群落结构。从生物膜上原生动物的种类组成来比较,和我们曾调查的有代表性的废水处理厂中,尤其是塔式滤池和生物膜转盘上的微型动物种类组成非常相似,主要是着生的缘毛目纤毛虫(比较《废水生物处理微型动物图志》第 4 页“种类组成”和第 15 页“可作为指示生物的种类”^[1])。在人工废水处理装置中,如果着生缘毛目纤毛虫占优势,则指示该处理装置运转正常,废水处理效果也良好。同样地在莲花河—凉水河中生物膜上这类着生缘毛目纤毛虫占优势时,也指示该河段净化活动旺盛,自净效果良好。生物膜对污染物的分解作用已由实验取得证明²⁾。经过分离和模拟净化试验证明:有这种生物膜的试验组在试验开始 2 小时后对氰、酚的去除率分别为 99% 和 70%,比没有生物膜的对照组平均要高 50%,即莲花河—凉水河的生物膜的组成和数量是河流自净状态的标志(见表 2)。在几个污染源刚刚注入的地段是没有生物膜的。随后慢慢出现了生物膜。生物膜多时,膜上的缘毛目纤毛虫茂密至肉眼可见灰白色一片,标志着河流净化活动十分旺盛。随着河流的延伸和污染物浓度的变化,这样的群落结构生物膜也就渐渐消失。而且,即使有外形类似的生物膜,但已不是这样的群落结构,看不到着生的缘毛目纤毛虫,而是大量的丝状绿藻。一般还有大型的浮游动物出现。显示出河流由异营养阶段(Heterotrophic stage)逐步地转入为自营养阶段(Autotrophic stage),也就是污染的河流得到了恢复,将逐渐成为正常的水体。如果能在莲花河—凉水河生物膜多的地段或是离污染源一短距离的地段能设置些人为的装置,提供和加速这种生物膜生长的条件,则可提高河流自净的效力和缩短河流净化的距离。

3. 水生无脊椎动物中,一般环保工作人员喜欢采用大型底栖动物作为指示生物以监测水质的污染程度,这也是无可非议的。因为大型底栖动物如寡毛类、摇蚊幼虫、螺、蚌等肉眼可见,鉴别方便。尤其是寡毛类中的颤蚓科 Tubificidae 是监测水质时很理想的指示种类。在莲花河—凉水河中对原生动物的调查说明了和寡毛类的情况一样能指示该河污

1) 见第 161 页脚注 1)。

染程度和自净效能。寡毛类的生长情况与原生动物十分吻合。前文已叙述了原生动物从种类组成和数量上指示了在污染源 I 注入后 2—6 站污染严重, 7—10 站净化活动旺盛, 11 站时净化初具成效。而寡毛类同样地也是由于污染源 I 的影响以致在 2—5 站的 8 公里内无法生存, 6 站才开始出现寡毛类, 7—11 站形成寡毛类分布的数量高峰, 致使河底泥表呈现一片红色¹⁾。当原生动物指示出此 11 站净化初具成效的河段被随后的污染源 II、III、IV 注入而破坏时, 寡毛类的数量也骤降以至在 13 站时绝迹。当原生动物指示出在 18 站恢复了活跃的净化作用、至 20 站净化复具成效时, 寡毛类也从 18 站的恢复少量带发展为 20 站的大量带。无论是原生动物还是寡毛类都指示了莲花河—凉水河在 73 公里后的 20 站时自净取得了一定效果, 但仍然是中污性水体, 离完全净化的要求还有一定差距。从我们对莲花河—凉水河的调查, 说明原生动物, 尤其是缘毛目纤毛虫和寡毛类一样能作为良好的指示生物。在评定水质时除了从化学、物理方面进行测定外, 原生动物象寡毛类一样, 也可以作为监测生物。除了用调查原生动物种类组成的方法来评定水体的污染程度外, 还可以考虑采用将人工基质悬于污染水体中, 可以连续地定期观察人工基质上着生纤毛虫的种类和生长情况, 以监测水质有无变化。因为原生动物是单细胞的生物, 原生质仅通过一层半渗透性的细胞膜几乎直接和外界环境接触, 能很敏锐地反映水质的变化。此外, 还可以开展利用原生动物作为毒性试验的材料。除了具有取材方便、要求设备条件简单等优点外, 主要是比多细胞的高等无脊椎动物、甚至鱼类对毒物如重金属 Hg、Zn、Pb、Co、Cd 敏感得多^[6]。

四、小 结

1. 在工业废水污染的莲花河—凉水河和齐齐哈尔市郊氧化塘的浮游动物种类组成调查说明浮游动物可以评价水质的污染程度和净化效能。齐齐哈尔市氧化塘净化效果好, 起到了保护嫩江的作用。莲花河—凉水河因反复数次污染, 净化效果也反复受到干扰。至 73 公里时取得较好净化效果。在评定过程中, 要尽量避免孤立地单凭某一类来评定, 必须全面考虑整个生物群落的种类组成作为评定根据, 才较可靠。

2. 原生动物和寡毛类指示莲花河—凉水河的污染情况相符。原生动物, 尤其是缘毛目纤毛虫是良好的指示生物。

3. 莲花河—凉水河的生物膜群落结构和工业废水装置中的生物群落结构相似。生物膜的大量出现标志着莲花河—凉水河净化活动旺盛。

参 考 文 献

- [1] 湖北省水生生物研究所无脊椎动物区系组, 1976. 废水生物处理微型动物图志. 中国建筑工业出版社.
- [2] Bick, H., 1968. Autökologische und saprobiologische Untersuchungen an Süßwasserciliaten. *Hydrobiologia* 31:17—36.
- [3] Bick, H., 1972. Ciliated Protozoa — An illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology. World Health Organization, Geneva, 198 pp.
- [4] Burbaneck, W. D. and D. M. Spoon, 1967. The use of sessile ciliates collected in plastic petri dishes for rapid assessment of water pollution. *J. Protozool.* 14(4):739—744.

1) 见第161页脚注 2)。

- [5] Cairns, J. Jr., 1974. Chapter 1. Protozoa. In: "Hart, C. W. & Samnel, L. H. F. (ed.) Pollution ecology of freshwater invertebrates."
- [6] Carter, J. W. and I. L. Cameron, 1973. Toxicity bioassay of heavy metals in water using *Tetrahymena pyriformis*. *Water Research* 7(7):951—961.
- [7] Chandler, J. R., 1970. A biological approach to water quality management. *Water Poll. Control* 69(4):415—422.
- [8] Edmondson, W. T., 1977. Recovery of lake Washington from eutrophication. In: "Cairns, Dickson & Herrick (ed.) Recovery and restoration of damaged ecosystems." Univ. Press Virginia. pp. 102—109.
- [9] Jolly, V. H. and M. A. Chapman, 1966. A preliminary biological study of the effects of pollution of Farmer's Creek and Cox's River, New South Wales. *Hydrobiologia* 27:160—192.
- [10] Kolkwitz, R. & M. Marsson, 1909. Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Revue. ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 2:126—152.
- [11] Liebmann, H., 1951. Handbuch der Frischwasser -und abwasserbiologie, Biologie der Trinkwassers, Frischwassers, Vorfluters und Abwassers. Bd. 1—2, S. 1—539.
- [12] Sládečková, A. & V. Sládeček, 1966. The indicator value of some sessile protozoans. *Arch. Protist.* 109(4):223—225.
- [13] Šrámek-Hušek, R., 1958. Die Rolle der Ciliatanalyse bei der biologischen Kontrolle von Flussverunreinigungen. *Verh. int. verein. theor. angew. Limnol.* 13(2):636—645.
- [14] Долгов, Г. И. и Я. Я. Никитинский, 1927. Гидробиологические методы исследования. Станд. методы иссл. питьеv. и сточн. Вод. 76 стр.
- [15] Жадин В. И. и А. Г. Родина, 1950. Биологические основы водоснабжения и очистки вод. *Жизнь пресных вод СССР*, 3: 779—818.
- [16] Шэнь юнь-фэнь, 1960. Наблюдения над экологией пресноводных инфузорий. Автореферат диссертации, Ленинград, 22. стр.

EVALUATION OF THE SELF-PURIFICATION EFFECTS OF WATER BODIES THROUGH ZOOPLANKTON

Shen Yunfen and Jiang Xiezhì

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The present paper embodies the results of the faunistic studies of zooplankton collected from the Lianhwa-Liangshui River, Beijing during July 29—30, 1974 and from the lagoon and the Nunjiang River in the vicinity of Chichihar during September 3—5, 1976 respectively (Text-figs. 1—2). Along the Lianhwa-Liangshui River, there are four main pollution sources which discharge a great deal of waste waters of coking refinery, iron and steel plant, pesticide factory, chemical works and smeltery. In Chichihar, both the industrial and domestic waste waters poured entirely into the lagoon through three natural pools and a canal of considerable length.

Examination of the zooplankton samples revealed a total of 34 Protozoan species in Beijing and 18 species of Protozoa, 31 species of Rotifera, 8 species of Cladocera and several unidentified species of Copepoda in Chichihar (Tables 1 & 3). An analysis of species make-up of zooplankton indicates that the community composition may be used to evaluate the degrees of saprobity and the effects of self-purification of the water bodies. The authors consider that the self-purification of the lagoon was effectual, and it played a major role in improving the water quality of the Nunjiang River around Chichihar. Since the Lianhwa-Liangshui River was polluted by industrial waste discharges in succession, the self-purification process was also disturbed once and again. It was not until the waste waters flowed 73 km away from the source of pollution that the purification began to change for the better. In connection with the method of evaluation, it seems necessary for us to replace the indicator species approach (s.str.) by the community composition approach.

Apart from the aquatic oligochaetes, the peritrichous ciliates may also be used in estimating the degree of water pollution in the Lianhwa-Liangshui River. The community structure of the surface slimes in this River is similar to that in the waste-water treatment plants. The effectiveness of the self-purification process in the River seems to be correlated with the presence of a large amount of surface slimes formed by sessile peritrichous ciliates.