

利用底栖动物监测严家湖农药污染*

谢 翠 娴

(中国科学院水生生物研究所)

提 要

本文报道了严家湖氧化塘建成前后底栖动物群落变化,共发现寡毛类 12 种,水生昆虫幼虫 15 种,软体动物 8 种,其他动物 2 种。讨论比较 3 种监测方法:(1)依据底栖动物群落结构各大类的比例,提出了六级标准;(2)用群落的多样性指数,由 Shannon 和 Weaver 的公式计算,并结合化学数据比较,提出 $\bar{D} = 0$, $\bar{D} < 1$, $\bar{D} = > 1 - 2$, $\bar{D} = > 2 - 3.5$, $\bar{D} = > 3.5 - 5$, $\bar{D} > 5$ 六级评价;(3)用底栖动物的残留物积累,分析不同污染带的动物 (*Limnodrilus hoffmeisteri*, *Glyptotendipes* sp., *Bellamya aeruginosa*, *Anodonta pacifica*) 体内的 BHC。作者认为群落结构方法比较好。文中还讨论了水体富营养化问题。

生物监测是根据生物和环境的相互依存,相互作用的原理,用生物评价环境质量。随着工农业的发展,生物监测的研究已日益受到人们的重视。

严家湖是鸭儿湖的一个子湖。长期受纳六六六、对硫磷、马拉硫磷和乐果等有机农药污水,系鸭儿湖污染最严重的区域。我所 1972—1973 年曾对鸭儿湖的底栖动物进行了调查^[3]。本文仅从底栖动物的角度来评价严家湖的环境质量、农药污染的监测方法以及建成氧化塘前后底栖动物群落结构的变化。

工 作 方 法

1976 年进行底栖动物调查时,在严家湖设 4 个断面 (I、II、III、IV),每个断面设 3 个采样点,计 12 点(图 1)。其中 II、III 的位置同 1972 年调查的采样点,IV 设在严家湖出口附近。3—9 月每月下旬采样。

1977 年改建为氧化塘后,在 2、4、5 号氧化塘内各设一个断面 (I、II、IV),每个断面仍设 3 个采样点,计 9 个点。6—9 月同样在每月下旬采样。

定量标本用 1/40 平方米的埃克曼 (Ekman) 挖泥器采样,每点采 2 个样品;合并后置于 60 目分样筛内用水冲洗,从存留物中挑出底栖动物活标本,用 8% 的福尔马林溶液固定保存,供鉴定种类和计算数量用。

定性标本系用挖泥器、三角拖网和昆虫水网在湖或塘内多点采集。

* 本文在写作中蒙王德铭、章宗涉和丘昌强三位副教授提出宝贵意见;1976 年刘保元、王士达同志参加部分工作;孙兴湘、陆兰凤同志帮助分析残留物;化学生态组和氧化塘任务组提供化学分析资料,在此表示衷心的感谢。

1983 年 12 月 24 日收到。

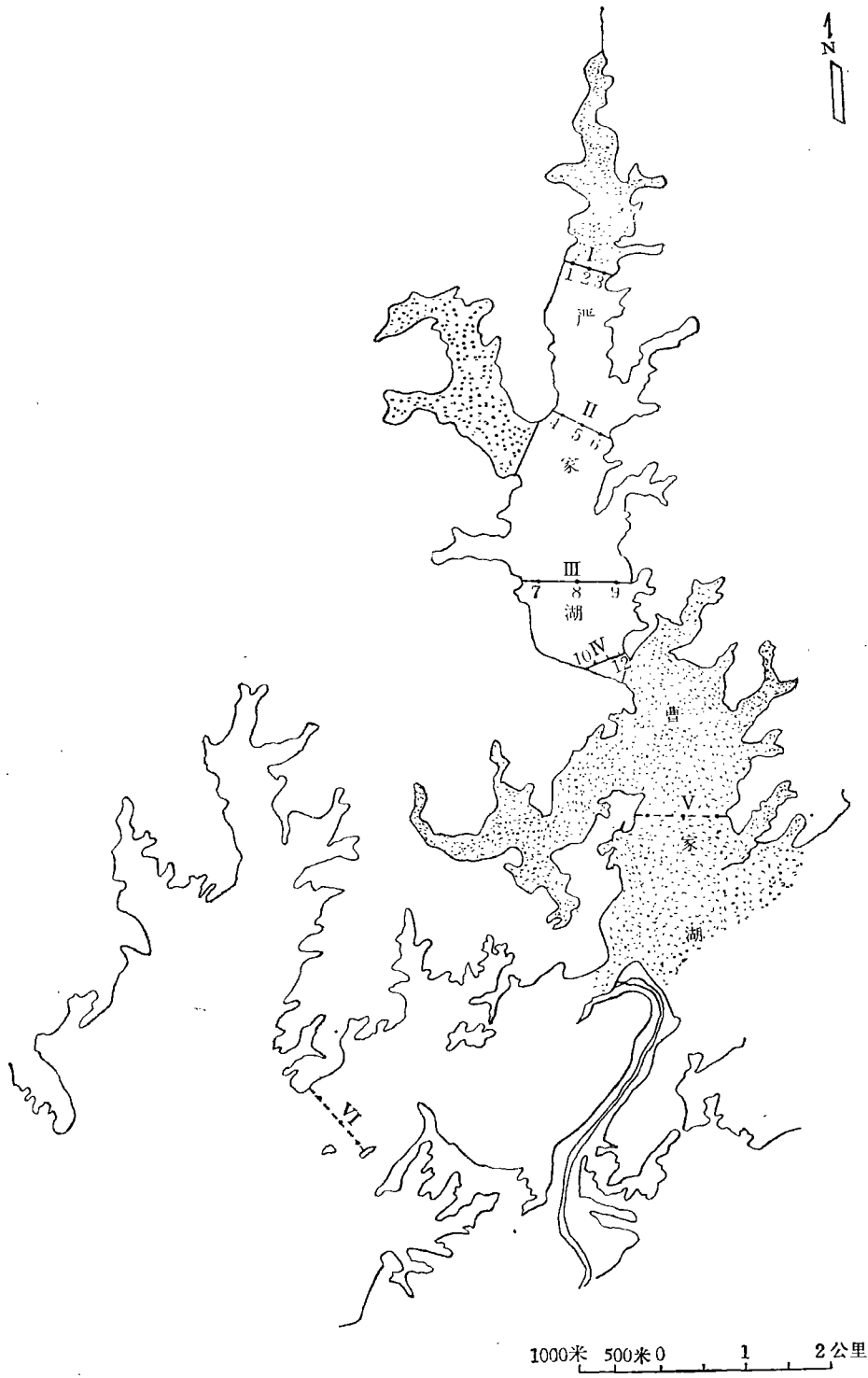


图 1 严家湖(鸭儿湖的一个子湖)底栖动物采样示意图

Fig. 1 Sampling stations for benthos in Yan Jia Lake (a sublake of the Ya-Er Lake) (1976)
⋯⋯围垦区 (Reclaimed district) ————1972—1973 采样站 (1972—1973 Sampling stations) ————1976—1977 采样站 (1976—1977 Sampling stations)

本文采用多样性指数 (diversity index) 结合化学分析数据进行比较分析, 选用 Margalef 公式 $\bar{D} = \frac{S-1}{\ln N}$ [6] 和 Shannon 公式 $H = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{N_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{N_i}{N} \right)$ [9] 计算。

式中 \bar{D} 和 H 为多样性指数, N_i 为 i 种底栖动物个体数, N 为底栖动物总数, S 为种数。

底栖动物体内六六六的残留量以霍甫水丝蚓、铜锈环棱螺和圆蚌的成熟个体、雕翅摇蚊的 4 龄幼虫作为 3 个主要类型的代表进行测定。

为验证调查的结果, 在室内进行了对比试验。1976 年以严家湖 I₂、II₂ 两点的水样作试验, 用静止 24 小时曝气脱氯的自来水作对照, 观察严家湖水质对雕翅摇蚊卵发育的影响。用容量 300 毫升的玻璃缸, 分别盛 100 毫升水样或对照用水, 然后将摇蚊卵块分成 6 小块, 每个缸放 1 块, 每个试验两个重复。逐日观察卵的孵化及换水一次。

结 果

(一) 严家湖底栖动物群落结构和分布

严家湖的底栖动物共发现 37 种, 其中寡毛类 12 种, 水生昆虫 15 种, 软体动物 8 种, 其他动物 2 种 (表 1)。

I 断面仅有少数指鳃尾盘虫和长跗摇蚊幼虫。II 和 III 断面分别采到底栖动物 14 种和 16 种, 其中以寡毛类数量最丰富, 分别占底栖动物总数的 95.79 和 90.70%, 并均以霍甫水丝蚓为优势种。其次有苏氏尾鳃蚓、多毛管水蚓、指鳃尾盘虫等种类。软体动物仅占底栖动物总数的 0.83 和 8.29%。水生昆虫幼虫占 3.42 和 0.11%。

IV 断面的底栖动物种类有所增加, 计 19 种。常见有霍甫水丝蚓、指鳃尾盘虫、多毛管水蚓。寡毛类的数量比 III 断面有所减少, 而软体动物的数量增加, 占底栖动物总数的 21.45%, 每平方米的长角涵螺竟超过 1 千个。水生昆虫幼虫占底栖动物总数的 0.75%, 以长跗摇蚊幼虫为主。

1977 年严家湖改建成氧化塘后, I 断面仅有少数巨毛水丝蚓和长跗摇蚊幼虫。II 断面采到底栖动物 10 种, 其中寡毛类数量最丰富, 占底栖动物总数的 97.95%。水生昆虫幼虫和软体动物均比较少, 分别占底栖动物的 0.38 和 1.67%。IV 断面底栖动物共计 20 种, 比 1976 年增加 5 种。各类底栖动物的数量变化亦较大。软体动物增长 3 倍, 寡毛类则减少 2/3, 水生昆虫虽增长 2.5 倍, 但数量仍然很少 (表 2)。此断面的沿岸带有金鱼藻和茳草生长。很明显, 这是和水中的农药含量下降有关 (表 3)。

此外, 在 II、IV 断面的湖底还有大量圆蚌和卵形蚌。

实验室内水质测定中, 摇蚊卵在 I 断面的水中变成混浊乳白色, 卵块内胶状物溶解, 卵分散脱落, 卵壳破裂而死亡。在 II 断面水中的摇蚊卵能孵化, 但发育较慢。试验表明, 第 I 断面的水质不适宜摇蚊的生长发育, 这和调查的结果一致。

(二) 底栖动物群落的多样性指数

1976 年, 严家湖 I、II 断面的多样性指数分别为 0.15—0.27 和 1.76—1.89; III 断面的 \bar{D} 值为 1.23—1.69; IV 断面的 \bar{D} 值为 2.01—2.09。这说明湖水的污染程度略有减弱。

表1 严家湖各断面底栖动物的数量(1976,1977)(个/米²)Tab. 1 The numbers of benthos in each transection of Yen Jia Lake (1976, 1977) (ind. /m²)

种 类	I		II		III	IV	
	1976年	1977年	1976年	1977年	1976年	1976年	1977年
寡毛类							
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>			262	15	57	92	23
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>			612	708	5652	4146	930
巨毛水丝蚓 <i>Limnodrilus silvani</i>		5	3	15	64	72	46
多毛管水蚓 <i>Aulodrilus pluriseti</i>			16	18	140	164	227
颤蚓 <i>Tubifex</i> sp.					2	2	8
土獭蚓 <i>Pelosclex</i> sp.							3
颤蚓类 <i>Tubificidae</i>			9	6		5	
指鳃尾盘虫 <i>Dero digitata</i>	40		20	8	570	1326	135
豹行仙女虫 <i>Nais pardalis</i>							6
头鳃虫 <i>Branchiodrilus</i> sp.						12	
尖头杆吻虫 <i>Stylaris fossularis</i> *						+	+
管水蚓 <i>Aulodrilus</i> sp.*						+	
合 计	40	5	922	764	6491	5819	1378
水生昆虫幼虫							
粗腹摇蚊 <i>Pelopia</i> sp.			2		2	2	102
菱跗摇蚊 <i>Clinotanypus</i> sp.							6
羽摇蚊 <i>Tendipes</i> gr. <i>plumosus</i>			23	3			3
恩菲氏摇蚊 <i>Einfeldia</i> sp.							8
多足摇蚊 <i>Polypedilum</i> sp.							3
雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes</i> sp.			2		2	6	
隐摇蚊 <i>Cryptochironomus</i> sp.			3		2	6	
摇蚊蛹 <i>Chironomidae</i> pupa			3		2		18
长跗摇蚊 <i>Tanytarsus</i> sp.	2	16				41	3
螻 <i>Ceratopogonidae</i>						3	3
环足摇蚊 <i>Cricotopus</i> sp.*							+
原枝摇蚊 <i>Procladius</i> sp. *						+	+
丝螭 <i>Lestinae</i> *							+
四节蜉 <i>Baetidae</i> *							+
龙虱 <i>Cybister</i> *						+	
合 计	2	16	33	3	8	58	146
软体动物							
铜锈环棱螺 <i>Bellamyia aeruginosa</i>			3	5	34	182	122
长角涵螺 <i>Alocinma longicornis</i>			3	5	477	1379	2993
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>			2	3	81	98	118
萝卜螺 <i>Radix</i> sp.						5	3
扁螺 <i>Segmentina</i> sp.							8
湖蚌 <i>Anodonta woodiana</i>					2		3
圆蚌 <i>Anodonta pacifica</i> *				+			+
卵形蚌 <i>Anodonta arcaciformig</i> *				+			+
合 计			8	13	594	1664	3274
其他种类							
线虫 <i>Nematoda</i>					58	209	43
蚂蝗 <i>Hirudinea</i>					8	9	110
合 计					66	218	153
总 计	42	21	963	780	7159	7759	4924

* 没有作定量采集

表2 严家湖第IV断面底栖动物群落的百分比(1976, 1977年)

Tab. 2 The percentage of benthos community in IV transection of Yen Jia Lake (1976, 1977)

底栖动物	1976年(%)	1977年(%)
寡毛类	74.99	27.99
水生昆虫幼虫	0.75	2.97
软体动物	21.45	65.94
其他种类	2.81	3.10
	100	100

表3 严家湖和氧化塘的水质污染状况(1976, 1977年)

Tab. 3 The pollution condition for water quality in Yen Jia Lake and oxidation pond system (1976, 1977)

农药		1976年				1977年		
		I	II	III	IV	I	II	IV
马拉硫磷(毫克/升)		0.064	0.013	0	0	0.020	0.010	0.003
对硫磷(毫克/升)		0.232	0.005	0.003	0.003	0.064	0.018	0.001
乐果(毫克/升)		0.068	0	0	0	0.075	0.036	0.002
六六六	水(毫克/升)	0.357	0.072	0.045	0.038	0.280	0.140	0.022
	湖泥*(毫克/公斤)	7.709	2.003	0.371	1.814			
总磷	水(毫克/升)	1.488	0.904	0.657	0.632	2.386	2.319	0.547
	湖泥*(毫克/公斤)	1731.8	1719.2	2005.0	1374.3			

* 湖泥分析结果是由4月、11月两次测定的平均值。

1977年严家湖建成氧化塘后, I(0.33—0.77)、II(1.34—1.35)、IV(2.11—2.71)断面的 \bar{D} 值与1976年的相近似而略有提高。虽然建氧化塘不久,但可观察到水质已有改善。

(三) 底栖动物对六六六的富集作用

通过对4种底栖动物体内六六六残留量的测定,表明均有不同程度的富集和积累,摇蚊幼虫的积累量较低,霍甫水丝蚓、铜锈环稜螺和圆蚌的积累较高,圆蚌尤为显著(表4)。

表4 严家湖的湖水、湖泥和底栖动物体内六六六的残留量(1976年)

Tab. 4 The residue of BHC in the body of benthos, water, and mud of Yen Jia Lake (1976)

动物名称	采集日期	采集地点	湖水 (毫克/升)	湖泥(毫 克/公斤)	动物积累 (毫克/公 斤)	积累倍数	
						与湖水比	与湖泥比
雕翅摇蚊幼虫	8月3日	II	0.1805	2.0032	0.9078	5.0293	0.4531
铜锈环稜螺	5月31日	III	0.1189	0.3708	2.5594	21.5256	6.9023
霍甫水丝蚓	4月1日	III	0.1189	0.3708	4.8899	14.1261	13.1874
雕翅摇蚊幼虫	8月3日	IV	0.0828	0.2000	0.6926	8.2647	3.4630
铜锈环稜螺	5月31日	IV	0.0828	0.2000	1.7848	21.5555	8.9240
圆蚌	5月31日	IV	0.0828	0.2000	3.7438	45.2149	18.7190

同一种类底栖动物体内积累的六六六残留量在各个断面也有差别,如第 II 断面的雕翅摇蚊幼虫积累的六六六比 IV 断面的要高 13.4%,第 III 断面的铜锈环稜螺比第 IV 断面的高 17.9%。有趣的是第 III 断面水中六六六的残留量比第 IV 断面也高 17.9%,而湖泥中的则高 29.9%。可见,螺体内积累的六六六量和所生长环境水中的含量密切相关。摇蚊幼虫在水中生活的时间较短暂,其积累量也较低。圆蚌在水中生活的时间已超过一年,其积累量较高,即富集的和在环境中生活时间亦有一定的相关性。

讨 论

(一) 水污染的生物学评价

Kolkwitz 和 Marsson (1909)^[5] 提出的河流污染生物分类的概念,奠定了指示生物的理论基础。就底栖动物而言,比较集中于从寡毛类的数量指示环境质量的探讨,如 Wright (1955)^[13] 等认为用颤蚓类数量指示水质。Paterson 等(1975)^[7] 提出仅研究寡毛类是不够的,应扩大到研究底栖动物群落结构,依据寡毛类、水生昆虫幼虫等群落来评价水质。Toms (1975)^[10] 在河流水质管理方面推荐了 4 级生物学评价标准,即根据群落结构、无脊椎动物种群的多样性、所出现的大型无脊椎动物的种类以及鱼类等评价水质。此外,我国在东北松花江^[1]、上海市长江口等的调查中¹⁾,也发现群落结构与水质状况密切相关,赞同用底栖动物的群落结构评价水质。Wilhm 和 Dorris (1968)^[12] 用大量调查资料,计算 \bar{D} 值,提出以 \bar{D} 值评价河流有机物污染时,严重污染为 $\bar{D} < 1$; 中度污染为 $\bar{D} = 1-3$; 清洁区为 $\bar{D} > 3$ 。应用数理统计、信息论表示群落结构,凭简单的指数值评价环境质量,这是生物监测工作在理论上和方法上的进步,但三级评价不是对各种类型的污染水体都适用。Salonen 等 (1974)^[8]、Wier 等(1976)^[11] 发现水生无脊椎动物对 DDT 或镉的积累量很高。Enk 等(1977)^[4] 认为不同种生物对一种污染物的积累和富集也不相同。关于水污染的生物学评价问题,国内外都有不少报道,但是,由于生物的地理分布特点和污染物的种类很多,因此,需要专业人员从多方面进行研究,才能取得理想的评价效果。

(二) 用底栖动物的群落结构变化监测污染

严家湖每天受纳 6 万吨废水,其中有 250 吨含剧毒。I 断面距排污口近,污染很严重;第 II、III 断面水中的有机农药浓度虽有所下降,但总磷的含量很高。从室内的验证试验结果说明, I 断面水质中摇蚊卵不发育,可见此区域的水质毒性对底栖动物有杀灭作用。II 断面的水质毒性抑制摇蚊卵的发育。II、III 断面的底栖动物特点是种类少,颤蚓类的数量多,这是由于颤蚓类对有机农药的耐受能力强。同时,污染后,水域中底栖性鱼类和肉食性的蚂蝗及水生昆虫消失;在没有竞争和捕猎的新条件下,对颤蚓类动物的生长、繁殖有利,其他底栖动物的忍耐力弱,所以种类很少。第 IV 断面距排污口约 5 公里,污水排入湖后,经过湖泊内生物净化和光分解作用,有机农药的浓度明显下降,因此,耐污的寡毛类数量减少,软体动物增加,水生昆虫幼虫少。1976 年后,鸭儿湖局部区域围垦,不能调查严

1) 中国科学院水生生物研究所第六室, 1975 年。长江口(上海市西区排污口附近)浮游生物和底栖动物第二次调查资料。

家湖以外的底栖动物状况,但可引用1972—1973年的调查资料进行比较分析,如第I断面距排污口很近,极严重的污染造成底栖动物全部绝迹。然而,在距离排污口15公里的第VI断面的情况截然不同,底栖动物种类十分多样,水生昆虫占底栖动物群落中的60%,计有蜻蜓目、蜉蝣目稚虫等敏感性种类,寡毛类数量次之,软体动物较少。无疑,这是正常湖泊水体底栖动物的群落结构。

底栖动物群落结构的变化直接受水中有机农药浓度的影响。亦与水质富营养化的氮、磷含量有关。为此,作者提出六级标准如下:

极严重污染区 底栖动物不能生存。

严重污染区 底栖动物贫乏,有时出现耐污的寡毛类和摇蚊幼虫,数量均很少。

中度污染区 寡毛类的数量占底栖动物总数的90%以上,主要是颤蚓类;水生昆虫幼虫和软体动物少。

轻度污染区 底栖动物种类较多,寡毛类的数量占底栖动物总数的50%左右,以颤蚓类为主;软体动物占底栖动物的20%以上;水生昆虫幼虫很少。

微污染区 水生昆虫幼虫占底栖动物总数的20%以上,也有一定数量的敏感性种类。

清洁区 底栖动物种类十分多样,水生昆虫幼虫占底栖动物的60%左右,有毛翅目、蜻蜓目等种类;其次为寡毛类;再次为软体动物。

(三) 根据多样性指数监测污染

本文用 \bar{D} 、 H 两种公式,其原因是 \bar{D} 式计算方便,但它仅考虑样品的种类数和个体数的关系,不能表达个体在各个种类的分配情况,并且容易受样品大小的影响。 H 式能表达不同群落的种类和个体差异,但计算较复杂。计算结果表明, \bar{D} 、 H 值变化的趋向基本上一致。可见, \bar{D} 、 H 式并用比较合理,应用于评价有机农药污染的效果较理想。

根据鸭儿湖、局部区域围垦后的严家湖,以及严家湖改建成氧化塘后的调查和多样性指数的计算,表明有机农药污染与底栖动物的多样性指数呈负相关(图2—4),也就是污染越严重的区域,多样性指数值越小,极严重污染区域的多样性指数为0。多样性指数的变

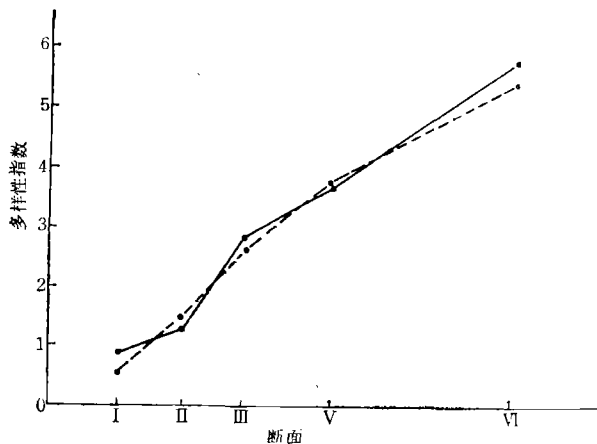


图2 鸭儿湖底栖动物群落的多样性指数(1972—1973年)—— \bar{D} , --- H

Fig. 2 Diversity index of benthos community in Ya-Er Lake (1972—1973)

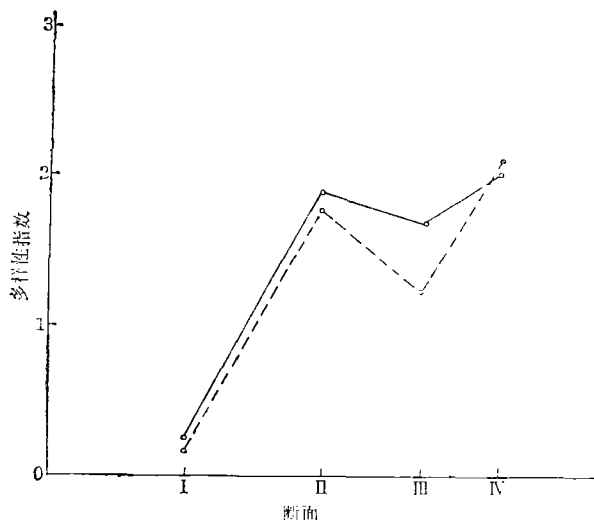
图 3 严家湖底栖动物群落的多样性指数(1976) —— \bar{D} , --- H

Fig. 3 Diversity index of benthos community in Yan Jia Lake (1976)

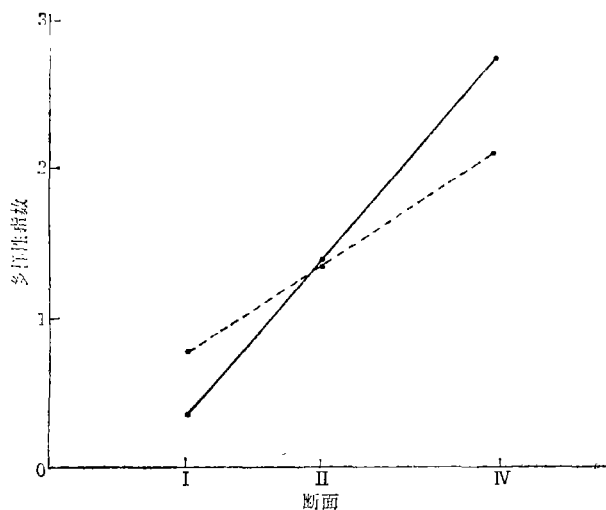
图 4 严家湖建成氧化塘后底栖动物群落的多样性指数 —— \bar{D} --- H

Fig. 4 Diversity index of benthos community in oxidation pond system (1977)

动幅度为 0—5.9。如果按三级评价, \bar{D} 值等于 0 的区域, 生物为零, 因为剧毒的有机农药对生物有杀灭的作用, 表明受到极严重污染。 \bar{D} 值大于 3 的区域, 从底栖动物的群落结构来看, 水生昆虫幼虫仅占底栖动物总数量的 20% 以上, 比正常湖泊水域中的水生昆虫幼虫(占底栖动物总数约 60%)减少 30—40%, 说明 \bar{D} 值等于 3 的区域仍受到污染。因此, 根据 \bar{D} 值的幅度、有机农药污染水体的特点(氮、磷比较高), 并结合水质资料比较分析, 作者认为需要分六级评价:

极严重污染: $\bar{D} = 0$;严重污染: $\bar{D} < 1$;中度污染: $\bar{D} = > 1 - 2$;轻度污染: $\bar{D} = > 2 - 3.5$;

微污染区: $\bar{D} = >3.5 - 5$; 清洁区: $\bar{D} > 5$

应用多样性指数评价水质, 需要注意其他因素, 如季节变化、水文状况、底质、地理位置等条件对多样性指数值变动的影响。因此, 进行野外调查时, 要全面考虑采样点的位置; 同时要选择清洁水作对照点, 并尽可能按不同季节采样。若有困难亦可逐月连续数次采样, 取得丰富数据后综合分析。

(四) 根据底栖动物体内有机农药残留水平监测污染

从严家湖的 4 种底栖动物体内六六六残留物的测定, 说明同种动物暴露在不同污染浓度的水质中, 体内六六六的积累量也不同。然而, 不同种类动物暴露在同一水质中, 它们体内六六六的积累量亦有差别; 4 种动物积累量的序列是霍甫水丝蚓 > 圆蚌 > 铜锈环稜螺 > 雕翅摇蚊幼虫。由此可见, 选择测试动物能直接关系到监测的效果, 宜选择容易采集和积累毒物能力强的种类进行测定。4 种动物相比较, 水丝蚓的积累量最高, 但它个体柔软, 易断, 有团聚习性, 经常和其他杂物相混, 所以采样较困难。蚌和螺蛳的积累量高, 个体大, 采样方便。摇蚊幼虫的积累量最低。经过比较, 作者认为软体动物, 尤其是蚌类是一种好材料。

底栖动物体内积累量, 大体上是随着年龄的增长而增加, 因此, 在不同区域采样分析比较时, 必须选择同种、同龄的个体, 尽量避免数据误差。

经过反复验证, 证实三种方法均适用于评价有机农药污染水体。作者认为根据群落结构方法比较好, 它不需要贵重的仪器设备便能综合反映环境质量的现状和发展趋势、污染历史。应用时若能结合理化数据进行分析, 还可确定污染物的性质和含量。

(五) 严家湖污染前后及建成氧化塘后底栖动物群落结构演变的探讨

自从 1959 年化工厂建成投产后, 严家湖被有机农药污染已有 20 年历史。污染前未作底栖动物调查, 缺乏本底资料。但是长江中、下游的浅水湖泊的生物种类具有共同特点, 可借鉴相邻浅水湖泊的底栖动物调查资料^[2], 推论出严家湖污染前的基本状况, 即底栖动物的群落结构以水生昆虫幼虫为主, 约占底栖动物的 60%, 有毛翅目、蜻蜓目和蜉蝣目幼虫等敏感性种类, 寡毛类次之, 软体动物再次之。严家湖污染后, 底栖动物中的敏感种类随之灭绝, 水生昆虫幼虫随着污染的延续日益减少, 由兴旺的大群落变成不到 1% 的小群落。另一方面, 寡毛类耐污, 又处在天敌少和富营养化的新条件下, 有利于发展, 变成占底栖动物总数 83.6% 的大群落。这种变化, 明显地说明严家湖的正常生态系已受到严重破坏。严家湖建成氧化塘后, 由于生物净化作用, 水中的有机农药毒性减弱, 同时, 生态环境也发生变化, 水生植物生长又改善了底栖动物的栖息场所和食物基础。因此, 寡毛类的数量由 83.6% 降为 41.3%; 水生昆虫幼虫由 0.9% 增长到 7.5%; 软体动物由 14.4% 增长到 48.9% (图 5)。严家湖底栖动物群落结构变化, 标志着被破坏的生态平衡正在逐渐重建。但必须看到, 湖底沉积物中的有机农药要经过相当长的时间才消失, 化工厂的污水还含有大量氮、磷和含磷的中间体物质。据 1977 年统计, 每天流入严家湖的含磷中间体物质达数百公斤。它们分解后增加水中的无机磷, 例如, 严家湖出口附近, 湖水中的无机磷 0.2 毫克/升, 电导率超过 400 微欧姆/厘米, 软体动物数量很多, 说明水体已富营养化。此

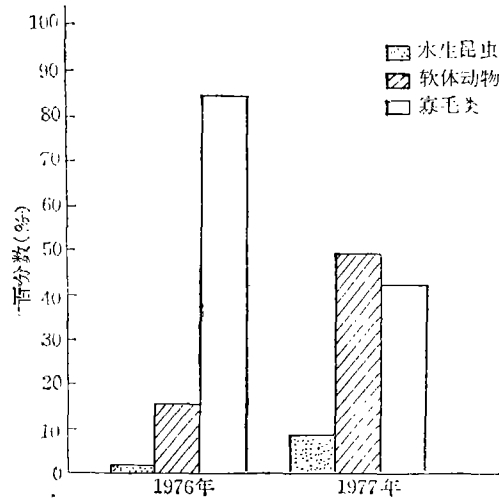


图 5 严家湖(1976)及严家湖改建成氧化塘后(1977)底栖动物群落的百分数

Fig. 5 The percentage of benthos community in Yan Jia Lake (1976) and in the subsequent oxidation pond system (1977)

外,水中可能尚含有某些目前还未检出的中间物质,抑制着水生昆虫幼虫生长。因此,防止水体富营养化是目前急需解决的重要课题。

参 考 文 献

- [1] 卢奋英等, 1963 年。第二松花江受到工业废水污染后江水中理化环境和水生生物变化的研究。水生生物学集刊, (2): 31—47。
- [2] 中国科学院水生生物研究所, 1965 年。花马湖水生生物资源和渔业利用。太平洋西部渔业研究委员会第六次全体会议论文集。1—24 页。科学出版社。
- [3] 中国科学院水生生物研究所第六室, 1978 年。鸭儿湖污染调查报告(四)。农药污染对底栖动物的影响。环境保护生物监测与治理资料汇编。60—63 页。科学出版社。
- [4] Enk, M. D. and B. J. Mathis, 1977. Distribution of cadmium and lead in stream ecosystem. *Hydrobiologia*, 52(2—3): 153—158.
- [5] Kolkwitz, R. and M. Marsson, 1909. Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Revue. ges. Hydrobiol. Hydrogr.*, 2: 126—152.
- [6] Margalef, R., 1951. Diversidad de Especies e las Comunidades naturales. *Proceedings Inst. Biol., Apl.*, 9(5): 5—27.
- [7] Paterson, C. G. and J. R. Nursall, 1975. The effects of domestic and industrial effluents on a large turbulent river. *Water Research*, 9(4): 425—436.
- [8] Salonen, L. and H. A. Vaajakorpi, 1974. In "International Atomic Energy Agency: Comparative Studies of Food and Environmental Contamination", 201—211.
- [9] Shannon, C. E. and W. Weaver, 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana.
- [10] Toms, R. G., 1975. Management of river water quality. In Whitton, B. A. (Ed.), *River Ecology*, 538—564, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- [11] Wier, C. F. and W. M. Walter, 1976. Toxicity of Cadmium in the Freshwater Snail, *Physa gyrina* Say. *J. Environ. Qual.*, 5(4): 359—362.
- [12] Wilhm, J. L. and J. Dorris, 1968. Biological parameters for water quality criteria. *Biological Scie-*

nce, 18(6): 477—480.

- [13] Wright, S. 1955. Limnological survey of western Lake Erie. U. S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish., 139: 1—341.

UTILIZING BENTHOS TO MONITOR POLLUTION OF PESTICIDES IN YAN JIA LAKE

Xie Cuixian

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

Abstract

This paper reports the changes of community structure of the benthos and their succession after the oxidation ponds had been built on Yan Jia Lake, and three monitoring methods.

After survey of two years, a total of 37 species of benthos was found, including 12 species of oligochaetes, 8 species of molluscs, 15 species of aquatic insects and 2 species of others. The three methods are: (1) Using the changes of the community structure of the benthos. According to the proportion of the oligochaetes, aquatic insects and molluscs occurring in the water contaminated by pesticides to various degrees, waters may be divided into six grades—extremely heavy pollution, heavy pollution, moderate pollution, light pollution, slight pollution, and clear water. (2) Using the diversity index of benthos community. The result obtained from calculation with the formula of Margalef and Shannon & Weaver was compared with the analysis of chemicals, and it is suggested that the pollution of pesticides be divided into six numerical degrees, namely, zero showing extremely heavy pollution; above zero but less than one showing heavy pollution; between one and two showing moderate pollution; two to three point five showing light pollution; above three point five to five showing slight pollution; and above five showing clear water. (3) Analysis of the residual accumulation in benthos. The residue of BHC in *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Glyptotendipes* sp., *Bellamyia acruginosa* and *Anodonta pacifica* was determined. The author considers that *Anodonta* is a favorable material for monitoring the accumulation of pesticides.

These three methods were employed in 1972—73, 1976, and 1977 with satisfactory results, so the author considers that these methods are effective for monitoring the waters polluted by pesticides. Among them, the method of community structure of benthos seems to be the superior one.

The community structure of benthos has changed a lot since the completion of the oxidation pond system above the Yan Jia Lake, such as the oligochaetes being decreased to 50%, while the aquatic insects being increased by 12 times, the mollusca being increased by 3 times. These changes are due to the purification capacity of the oxidized pond system.

Key words: Biological monitoring (benthos), pesticide wastewater