

用PFU原生动物群落进行生物监测的研究*

沈韞芬 龚循矩 顾曼如

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

提 要

应用 PFU 法收集微型生物群落, 监测鸭儿湖的农药污染。原生动物对五个氧化塘内农药废水的毒性反应, 可用群集过程来表示, 无论室内或是野外试验, 结果基本一致。其中微型生物群落的结构参数有原生动物种类组成和种数、叶绿素 a 含量、水细菌数量; 功能参数有反映原生动物群集过程中的 S_{eq} 、G、 $t_{90\%}$ 和微型生物的呼吸速度。功能和结构的参数均能较准确地反映出氧化塘系统的净化过程。PFU 法可应用于预报污染物的生物效应浓度, 初认为是一种经济、快速、正确的生物学监测方法。

环境保护的目的是为了保护人类和人类生存的环境——空气、水、动、植物。离开了生物空谈环境保护是毫无意义的。目前的化学监测手段虽能精确测定化学物质, 甚至是痕量的浓度, 但该化学物质的毒性强度只能通过生物测试的手段来获知。以水生生物为基础的毒性试验从 1945 年至今已积累了浩瀚的数据信息, 但是要作出对某一化学物质危害性的科学判断却仍感不足^[9,17,18,26,29]。因此要求水生态学家提出在生物系统(细胞、组织、个体、种群、群落、生态系)中超过单一种类水平的, 也即群落级和生态系级的参数和测量该参数的标准方法^[16,17,20,21]。这个标准方法要求建立在实验室的微生态系(microcosm)和野外的中生态系(mesocosm)的基础上, 才能预报化学物对水生态系的效应。美国弗吉尼亚工程学院及州立大学环境研究中心 Cairns 等于 1969 年^[10] 创建了用聚氨酯泡沫塑料块(Polyurethane Foam Unit, 简称 PFU)法测定微型生物群落的群集速度。在确定 PFU 法能客观地反映微型生物群落的结构与功能时, 就逐步探索用 PFU 法进行群落级的毒性试验和野外生态试验^[12-15,22,23,25]。

国内已开展用周从原生动物和周从藻类对污染水体进行水质评价的研究^[2-4,6]。本实验是国内首次使用 PFU 法进行群落级的生物监测。于 1982 年 9 月—12 月在鸭儿湖氧化塘进行野外生态试验和室内毒性试验, 1983、1984 年又分别举办了二期“微型生物群落在生物监测中的应用”全国性的培训班。学员们重复了我们的试验, 获得了基本上相同的结果。

* 本实验曾得到中国科学技术协会国际部的赞助;水生所施之新、魏印心同志协助鉴定植物性鞭毛虫,沈国华、王健同志测定叶绿素 a, 申权同志测定细菌总数,黎道丰、王洪全、张晓华同志参加实验辅助工作,郑英同志为本文图稿复墨;湖北省鄂城县鸭儿湖氧化塘管理站提供化学分析数据和野外实验条件;在数据处理中得到美国弗吉尼亚工程学院和州立大学环境研究中心所长 Cairns 教授及其同事们的帮助。在此一并致谢。
1984 年 12 月 30 日收到。

材料与方 法

(一) PFU 的制作

根据 Henebry 等(1980)^[24] 测定, PFU 的孔径为 100—150 微米。我们采用北京泡沫塑料厂的产品,规格为 5 厘米厚的泡沫塑料,制作成 $5 \times 6.5 \times 7.5$ 厘米的小块备用。

(二) 野外 PFU 的挂放、采样与测定

PFU 可以放在水体中任何部位,如浮于水面,或在不同深度分层悬挂。但均须有重物垂坠,以免漂移。依据实验的要求。分别进行随机取样,用塑料袋包装携带。实验时首先将 PFU 样品中的水尽可能地挤压于烧杯中,并用吸管从烧杯的底部、向光、背光处吸取 3—4 滴水样制片。由于水量较多,可用长方形的盖玻片。分别置于高倍、中倍、低倍镜下检查 3 片。

大致可看到 85% 的种类。PFU 方法的优点之一就是可用同一块 PFU 挤出液测定微型生物群落的结构与功能的各项参数。先进行化学分析取样测试(如测定 ATP、叶绿素、元素分析等),然后再进行种类鉴定。在 PFU 挤出液中测定微型生物群落中的叶绿素 a 和呼吸速度。叶绿素 a 用 72 型分光光度计测定,呼吸速度用水生生物研究所自制的微型呼吸测定仪测定^[5-7]。

(三) PFU 室内毒性试验

在大约 $54 \times 26 \times 5.5$ 厘米的塑料盘中,倒入 6 升受试水样(如盘子较大,则可把试验水样加大到 10 升)。盘子不宜过高。如果受试水样不是用化学药物配比,而是天然的对照水和污染水,则水样必须在 75—80℃ 内维持 10 分钟(或 60℃ 下 20 分钟),尽可能杀死水中的生物;如果受试水样中的污染物质在消毒过程中会降解,那末也可以不加热,用过滤的方法去除水中的生物。实验前应把 PFU 在蒸馏水中浸泡 12—24 小时,一般不需要消毒,但如果实验有特殊要求,也可将 PFU 高压消毒后使用。从蒸馏水中取出 PFU,将水挤干。PFU 移入试验盘中时,使之吸满受试水。盘子的两端各绑 4—5 个空白的 PFU。盘子中央挂放未成熟的种源 PFU(即事前在干净的天然水体中已放了数天的 PFU,其上已群集了许多微型生物种类,但仍未达到平衡期,称为未成熟的群落。未成熟的 PFU 群落比成熟的 PFU 群落对环境压迫反应灵敏得多,故用未成熟的 PFU 群落作为种源较好)。空白的 PFU 与种源的 PFU 距离相等。然后用玻璃或塑料框架把盘罩住。也可以把盘子放在玻璃培养柜内。顶上加有 40 瓦日光灯,白天开灯 16 小时,黑夜关灯 8 小时。成为一个实验室的微型生态系。实验前要统计种源 PFU 的种数。空白 PFU 采样时间一般是第一、三、六、九、十四天。重点是第一、三天,因为在 3 天内群集速度的差异已很明显。采 PFU 样时,动作要轻,尽量不要搅动盘中的水。水样挤出来后,PFU 仍要轻轻地放回去,再让它吸满水,并在固定绳索的胶布上做记号,表示此 PFU 已用过。采样时,随机摘取 PFU。各试验组都应有二个试验盘,故采样时每盘采一个 PFU,就可获得两套平行数据。

数据处理, 可根据 MacArthur-Wilson 区系平衡模型 $S_t = S_{cq}(1 - e^{-Gt})$ 获得原生动动物群集过程 (colonization) 的 3 个功能参数 S_{cq} , G , $t_{90\%}$ 。这些参数可用复合梯形法和最小二乘法求得^[4]。

实 验 结 果

(一) 原生动动物种类组成

在鸭儿湖氧化塘内用 PFU 法收集微型生物。共观察到原生动动物 319 种, 其中植鞭毛虫 85 种、动鞭毛虫 50 种、肉足虫 48 种、纤毛虫 136 种。在氧化塘 I 进水口及 I、II、III、IV、V 出水口的原生动动物群落中分别看到的种类数依次为 16, 40, 50, 77, 126, 94 种(野外), 室内依次为 26, 44, 38, 57, 63, 64 种。除细菌外, 群集到 PFU 内最早的原生动动物是鞭毛虫, 然后才是肉足和纤毛虫。体积小的种类比体积大的群集快。有些种类经常出现, 成为 PFU 内的居留种, 是微型生物群落结构的核心。有些种类偶然出现, 称为机遇种。当种数达到平衡时, 在 PFU 内的微型生物群落结构为溶解有机质、碎屑、细菌、真菌、藻类、原生动动物和少数小型轮虫组成的食物网。

(二) 原生动动物的群集速度 (colonization rate)

葛店化工厂的废水, 通过 I—V 号氧化塘而逐渐净化。可以从 1982 年 9 月 10 日 5 个氧化塘的水化学分析数据验证: 有机磷, 对硝基酚、六六六、COD 浓度都依氧化塘的串联顺序而逐级下降 (图 1)。同时, 从 PFU 上原生动动物的群集速度也能反映出氧化塘的净化过程(图 2、3)。

在毒物浓度高的氧化塘 I 号进水口处, 第一、三天的 PFU 内没有看到原生动动物, 第六天才见到个别原生动动物, 第二十九天也只有 6 种原生动动物。氧化塘 I 号出水口处, 废水的毒性开始缓解, 在第一天 PFU 内能见到个别的原生动动物, 然后种类慢慢地增多, 整个群集过程的曲线已在氧化塘 I 号进水口的曲线之上。氧化塘 II 号出水口的原生动动物群集过

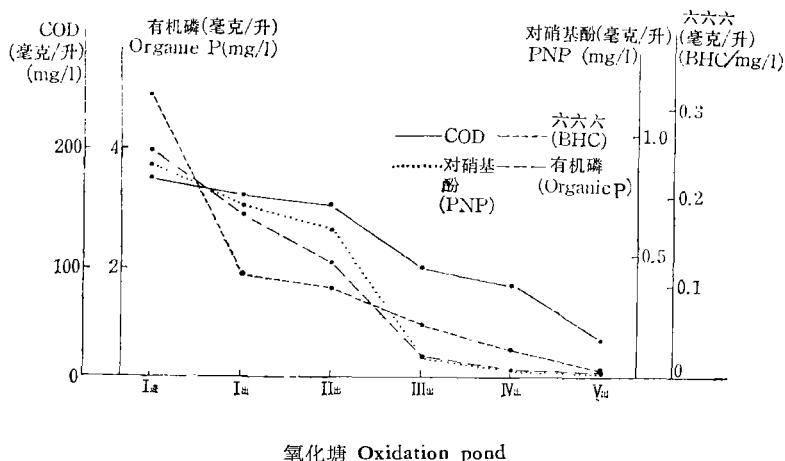


图 1 农药废水在鸭儿湖氧化塘系统中的降解过程

Fig. 1 Degradation of pesticide effluent in a series of 5 oxidation ponds in Ya-Er Lake.

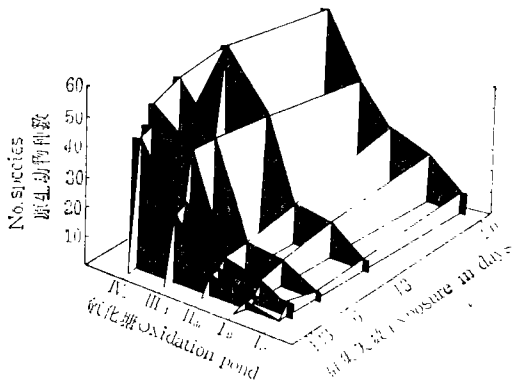


图 2 鸭儿湖氧化塘 I、II、III、IV 野外生态效应试验中原生动物群集过程
Fig. 2 Colonization curves for the I, II, III, IV oxidation ponds in Ya-Er Lake.

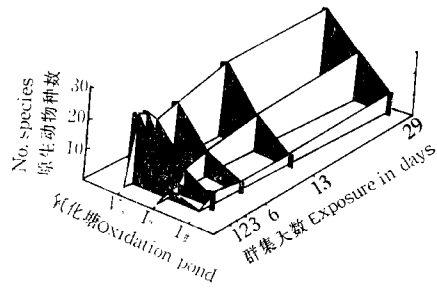


图 3 鸭儿湖氧化塘 I、V 野外生态效应试验中原生动物群集过程
Fig. 3 Colonization curves for the I, V oxidation ponds in Ya-Er Lake.

程的曲线又在氧化塘 I 号出水口的曲线之上。根据氧化塘系统设计,氧化塘 I 号是厌气性的, II 号是兼气性的,从 III 号起都是好气性的。在 III 号氧化塘内藻类已大量繁殖,水色发绿,水质明显好转;此时,原生动物的群集速度也有一个飞跃,第一天的 PFU 上就已看到 22 种原生动物,第三天 PFU 竟达 42 种。可惜第四天后 PFU 遗失,但这并不影响对 III 号塘的基本了解。氧化塘 IV 号原生动物群集速度最快,第一天 PFU 上就有 44 种原生动物,第三到二十九天 PFU 内原生动物达 50 种以上。说明原生动物群落在 IV 号塘十分繁盛。氧化塘 V 号的 PFU 内原生动物群集过程的曲线比 III 号塘还低些,说明原生动物的种类和丰度都有下降之势。其它水生生物如细菌、藻类、浮游动物在 V 号塘也有下降的趋势¹⁾。其原因很可能是 V 号塘已作为鱼种塘,每年放养 50—60 万尾鲢、鳙鱼种。即在水生生物结构内增加了鱼—饵料生物的层次,水生生态系需要重新进行自我调节。

室内毒性试验也获得基本相似的结果。原生动物的群集速度以 I 号氧化塘的进水口最低,然后依氧化塘 I、II、III、IV 的出水口次序而逐级提高,V 号塘略低于 IV 号塘(图 4)。

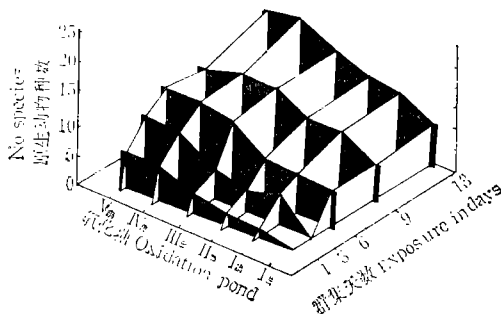


图 4 鸭儿湖氧化塘室内毒性试验中的原生动物群集过程
Fig. 4 Colonization curves for the 5 oxidation ponds in Ya-Er Lake in laboratory toxicity tests.

由于野外氧化塘有一定的流速,故原生动物迁入到 PFU 内去的机率高。室内的毒性试验是静止的微生态系,原生动物从种源迁入到 PFU 内的机率比野外氧化塘为低。如以第一天 PFU 作比较,氧化塘 III、IV、V 在野外生态试验中原生动物迁入种数分别是 22, 44, 23, 而在室内毒性试验中分别是 6, 11, 11。其次,野外试验中氧化塘内原生动物承受毒物的压迫是连续而较稳定的(除非

1) 鸭儿湖治理及农药在氧化塘中解毒净化机理研究。环境生物学文集。1980, 第四期。

工厂排废出现意外情况)。但是室内毒性试验中,原生动动物承受毒物的压迫仅在实验开始时与其相应的野外氧化塘一致,随着时间的推移,毒物在试验盘中会慢慢降解,原生动动物承受的压迫就逐步减小。以氧化塘 I 号的进、出水口为例,野外试验进行到第十三天时,PFU 内原生动动物迁入总数分别为 3、5 种;而室内试验在第十三天时,PFU 内原生动动物迁入总数分别为 13.5 和 20 种。此外,无论在室内还是野外试验中,IV 号塘内原生动动物迁入种数都是最高的,第十三天 PFU 内原生动动物在室内试验中是 30.5 种,在野外试验中是 57 种。为什么野外的原生动动物迁入种数比室内高呢? 因为种库 (species pool, 公式符号为S*)的来源不同。野外试验中种库就是氧化塘内的原生动动物,室内试验中的种库是设在试验盘中央的 PFU 种源。尽管室内试验和野外试验有上述差别,但就群集曲线的趋势而言(图 2, 3, 4),二者基本上是一致的。也就是说室内毒性试验基本上能反映出毒物对自然生态系的效应。

(三) 微型生物群落中的叶绿素 a、呼吸速度和细菌数量

为配合野外生态试验,在各氧化塘挂放 PFU 的同时,用直接计数法计算了水体细菌的数量,并测定了第一天 PFU 内微型生物的呼吸速度。在室内试验中测定了第十三天 PFU 内的叶绿素 a (图 5)。

从氧化塘 I 号到 V 号细菌总数依次逐步下降,而呼吸速度和叶绿素 a 却逐级上升。

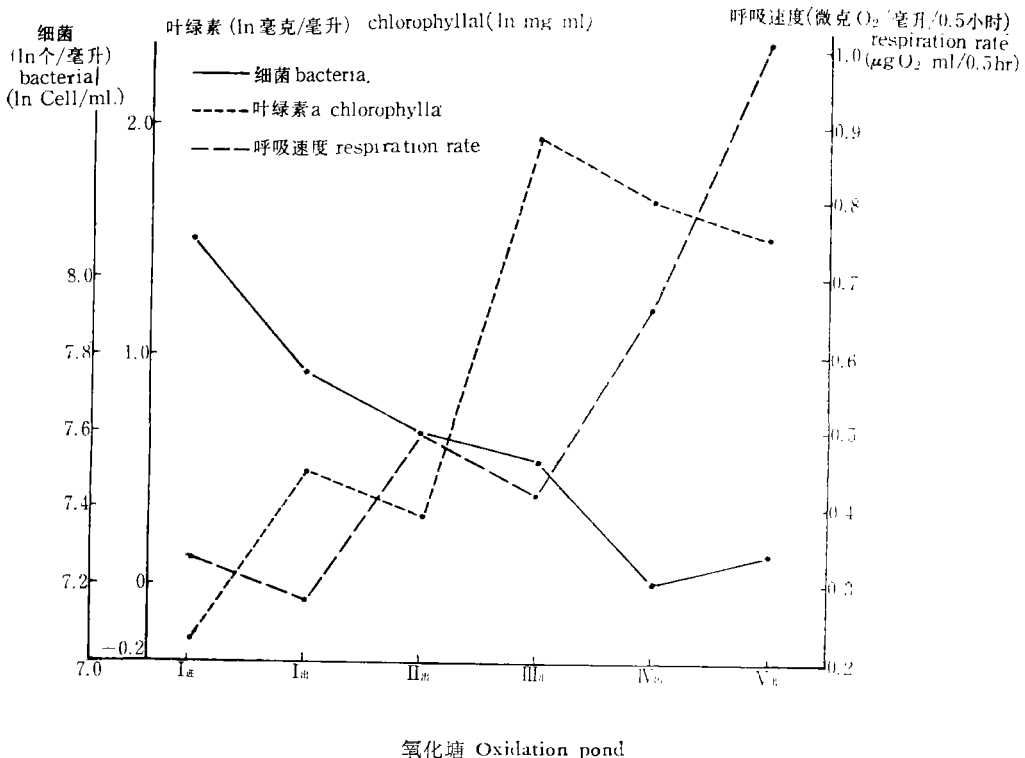


图 5 鸭儿湖氧化塘微型生物群落内叶绿素 a 含量、细菌数量和呼吸速度

Fig. 5 Concentration of chlorophyll, abundance of bacteria and microbial community respiration rate in the 5 oxidation ponds in Ya-Er Lake.

I号氧化塘内农药废水含量最高,细菌的降解作用十分活跃,专性细菌生长旺盛,故数量最高。随着水中毒物浓度的下降,细菌的降解活动渐衰,生长缓慢;而以细菌为食的原生动物和其它小型无脊椎动物得以生长。微型生物内的呼吸速度代表了细菌、藻类、原生动物的生命活动,呼吸速度随毒性的下降而逐渐上升,这正好反映了微型生物群落生命活动的恢复过程。

讨 论

(一) 根据 MacArthur 和 Wilson (1963、1967)^[27,28] 的岛屿生物地理学理论,岛屿的物种数目是消失 (extinction) 和迁入 (immigration) 之间动态平衡的结果。对任何一特定的岛屿来说,随着种类的逐渐增加,消失速度会上升,而迁入速度会下降。从理论上说,当两个速度相等时,种数就达到了平衡。除非环境受到重大干扰,种数基本上是稳定的。可以用平衡模型公式 $S_t = S_{eq}(1 - e^{-GT})$ 来表示,其中 S_t 是 t 时的种数, S_{eq} 是平衡时的种数, G 是群集曲线的斜率。PFU 可看作为一个“小岛”,微型生物不断地迁入到 PFU 内,种数上升到一定程度时就达到了平衡。根据平衡模型公式用复合梯形法和最小二乘法^[4] 计算实验结果,获得群集过程中的 3 个参数——平衡时的种数 S_{eq} 、群集曲线的斜率 G 和达到 90% 平衡种数所需的时间 $t_{90\%}$ 。假设污染严重的水体中 S_{eq} 少、 G 低、 $t_{90\%}$ 长,在干净水中 S_{eq} 多、 G 高、 $t_{90\%}$ 短。从表 1 可见这 3 个参数基本上符合上述的假设,能反映出氧化塘的净化效能。当然,最小二乘法的结果要比复合梯形法为佳,因为它缩小了误差。野外的参数计算结果要比室内的结果更符合上述的假设。

表 1 中三个参数是根据 MacArthur-Wilson 平衡模型公式推算的理论值。如果把室

表 1 鸭儿湖氧化塘室内、外 PFU 试验中原生动物群集过程中的参数

Tab. 1 Protozoan colonization parameters in field and laboratory PFU experiments for the 5 oxidation ponds in Ya-Er Lake

计算方法 methods	氧化塘号 oxidation ponds	野 外 试 验 in field				室 内 试 验 in laboratory			
		S_{eq}	G	$T_{90\%}$	LOF*	S_{eq}	G	$T_{90\%}$	LOF
复合梯形法 trapezoidae	I 进	5.28	0.40	5.76	符合模型	20.04	0.12	19.19	符合模型
	I 出	8.65	0.37	6.22	不符合模型	19.74	0.25	9.21	符合模型
	II 出	11.15	0.72	3.20	不符合模型	18.13	0.25	9.21	符合模型
	III 出	38.20	0.87	2.65	不符合模型	22.13	0.31	7.43	不符合模型
	IV 出	57.74	0.50	4.61	不符合模型	27.57	0.34	6.77	符合模型
	V 出	24.04	0.50	4.61	不符合模型	27.30	0.31	7.43	符合模型
最小二乘法 the least square	I 进	6.81	0.64	3.59	符合模型	18.95	0.11	20.94	符合模型
	I 出	14.62	0.13	17.72	不符合模型	24.69	0.14	16.45	符合模型
	II 出	16.97	0.23	10.01	不符合模型	23.69	0.15	15.35	符合模型
	III 出	41.34	0.68	3.39	不符合模型	28.17	0.18	12.79	不符合模型
	IV 出	53.75	1.49	1.55	不符合模型	28.45	0.35	6.58	符合模型
	V 出	21.78	7.88	0.29	不符合模型	25.79	0.42	5.48	符合模型

* LOF (Lack of fit 的缩写)表示经 F 检验后数据不符合 MacArthur-Wilson 模型,即 $p > 0.05$

内外试验中的原始数据进行对该平衡模型公式的拟合试验(Lack of Fit, 简称 LOF), 野外试验的拟合概率比室内试验的为低。分析认为 MacArthur-Wilson 的这一公式是模拟平衡前的群集过程。如果缩短平衡前采样的间隔时间, 就能缩小误差, 提高拟合概率。本实验中室内、外采样的间隔时间是第一、三、六、九、十四、二十九天。对静水中平衡速度慢的试验来说, 这样的采样时间比较恰当地反映了平衡前的过程。但是对流水中平衡速度快的试验来说, 就显得反映平衡前的数据尚不足, 反映平衡后的数据则有余。如果能把流水试验的采样时间缩短为按小时计算, 如第一、二、四、八、十六、二十四、四十八小时, 就能提高拟合概率。可是在实际工作中很难做到这点, 因为原生动动物种类鉴定全靠当场活体观察。如果能在流水试验中补充一次第十二小时的采样, 也许是有益的。

(二) 本文在评价氧化塘的净化效能时, 应用了微型生物群落的结构与功能参数。属于结构参数的有原生动动物种类组成和种数、微型生物内叶绿素 a 含量和水细菌总数。属于功能参数的是原生动动物群集速度中的 S_{c9} 、G 和 $t_{90\%}$, 以及微型生物的呼吸速度。在连续的 5 个氧化塘内, 所测定的这些参数(包括细菌的、藻类的、原生动动物的, 不论是结构参数、还是功能参数), 都较准确地反映出 5 个氧化塘逐级的净化过程。Rodger 等(1979)^[50]对氮磷营养物质(Na_2HPO_4 和 NH_4NO_3)、有毒重金属物质(CuSO_4 , $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 和氯化物($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) 进行群落级的毒性试验。用的是在载玻片群集的周丛生物群落。获得的结构参数(有干重、灰重、ATP 量、叶绿素量)和功能参数(有光合作用)。

有时候反映也不完全一致, 即结构有变异而功能无变化或是功能有变异而结构无变化。这种不一致性有时是生态系的复杂性所致, 但不排斥生物本身的变异性有可能起主导作用。这样就很难辨别是环境压迫的作用还是生物本身的变异性。而 PFU 方法在一定程度上可避免这一缺点。因为在一个 PFU 样品中, 可同时分析结构和功能的参数, 这就减少了因采样方法而带来的误差, 提高了参数之间的可比度。在本试验中, 各结构和功能的参数在反映氧化塘的净化效能时是吻合的。

(三) Cairns (1983)^[20]在“单种种类的毒性试验是否足以估计环境公害”一文中提出, 不能用单一种类的毒性试验扩大为评价整个水生态系的依据。要力求试验符合客观的、真实的环境, 最好的生物测试是应用生态系级的, 其次是群落级的。化学工作者通过对化学物质环境归趋的研究后, 提出的环境浓度如果是渐近于客观真实的话, 那么生物学工作者也应当提出一个渐近于客观真实的生物效应浓度, 在这浓度以下的环境中, 对生物是无害的, 这就是生物的同化容量 (assimilative capacity)。通过什么方式提高预报生物效应浓度的正确性呢? 从本实验中, 室内生物测试与野外生态效应基本一致的结果中得到启示, 即用室内微型生物群落的生物测试来预报野外可能发生的生态效应。对一个即将建成或是设计中的工厂, 如果要预测它的废水对接受系统(江、湖、河、海)中生物的危害程度、以及最大的生物同化容量, 应用 PFU 法不仅能提供一个群落级的效应参数, 而且能提出比单种和多种生物测试更佳的预报能力。

(四) Cairns 等已设计和计算机连接在一起的、自动和连续鱼类生物学监测系统^[11, 19]。如果工厂发生了意外的毒物溢流, 此监测系统能在 12 分钟内发出警报, 以便及时采取措施、防止灾祸扩大。我国的鱼类学工作者也正在研制适用于我国的鱼类监测系统。如果能因地制宜使用各种生物监测方法, 将会更有利于环境保护工作。本实验中第

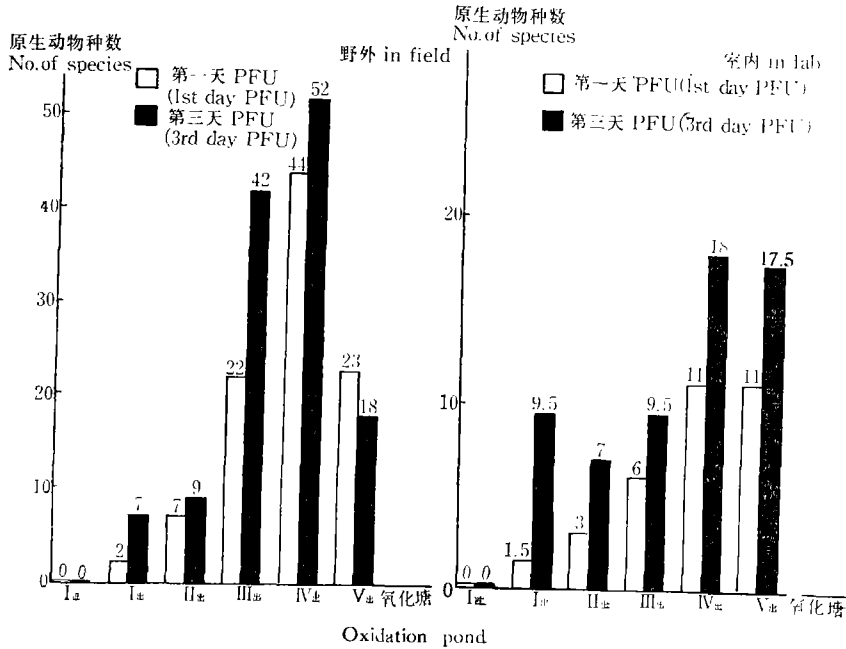


图 6 鸭儿湖氧化塘室内、外试验中第一、三天 PFU 内原生动物的迁入种数

Fig. 6 Number of protozoan species inhabiting PFUs after 1 to 3 days' exposure in field and laboratory experiments for the 5 oxidation ponds in Ya-Er Lake.

一天和第三天的 PFU 都已能明显地反映出 5 个氧化塘中毒性的变化 (图 6)。

在 III 号氧化塘第一、三天 PFU 内已分别有 22, 42 种, 如果在长期监测中种类突然下降很多, 那就可以检查工厂有无意外情况发生。(如在 1984 年培训班中就被学员们监测出这样的情况。)因此作为长期生物监测项目, 只须固定使用第一天或是第三天的 PFU, 不一定非要作群集的全过程。但 PFU 法要求掌握原生动物的分类知识, 因此必须对生物监测分析人员进行专业训练, 取得合格证书。

参 考 文 献

- [1] 王继忠等, 1985. 用 PFU 法研究微型生物群集过程中的数据处理。本刊本期。
- [2] 沈韞芬, 1980. 武昌东湖周从原生动物生态。水生生物学集刊, 7(1): 19—40。
- [3] 沈韞芬等, 1979. 从浮游动物评价水体自然净化的效能。海洋与湖沼, 10(2): 161—163。
- [4] 阮惠板等, 1983. 用周从原生动物评价珠江广州区段污染程度。暨南理医学报, (2): 95—104。
- [5] 张甬元等, 1981. 鸭儿湖地区环境质量控制和改造的研究。环境污染与生态学文集。159—180 页。江苏科学技术出版社。
- [6] 顾曼如等, 1983. 重金属离子对原生动物呼吸功能影响的研究。海洋与湖沼, 14(6): 577—581。
- [7] 张甬元等, 1983. 鸭儿湖污染治理研究。水生生物学集刊, 8(1): 113—125。
- [8] 章宗涉等, 1983. 用藻类监测和评价图们江的水污染。水生生物学集刊, 8(1): 97—104。
- [9] Buikema, A. L. Jr., Niederlehner, B. R. and J. Cairns, Jr. 1982. Biological monitoring part IV. Toxicity testing. *Water Res.*, 16: 239—262.
- [10] Cairns, J. Jr., Dahlberg, M. L., Dickson, K. L., Smith, N. and W. T. Waller, 1969. The relationship of freshwater, protozoan communities to the MacArthur-Wilson equilibrium model. *Amer. Nat.*, 103: 439—454.
- [11] Cairns, J. Jr., Sparks, R. E. and W. T. Waller. 1974. The design of a continuous flow biological early warning system for industrial use. 27th Annual Purdue Industrial Waste Conference.

- Purdue Univ. Eng. Bull.*, **141**(1): 242—255.
- [12] Cairns, J. Jr., Yongue, W. H. Jr., and N. Smith, 1974—1976. The effects of substrate quality upon colonization by freshwater protozoans. *Revista de Biologia*, **10**(1—4): 13—20.
- [13] Cairns, J. Jr., Kaesler, R. L., Kuhn, D. L., Plafkin, J. L. and W. H. Yongue, Jr., 1976. The influence of natural perturbation upon protozoan communities inhabiting artificial substrates. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, **95**(4): 646—653.
- [14] Cairns, J. Jr., 1979. A strategy for use of protozoans in the evaluation of hazardous substances. pp. 61—67. in A. James and L. Evison, eds. *Biological Indicators of Water Quality*.
- [15] Cairns, J. Jr., Kuhn, D. L. and J. L. Plafkin, 1979. Protozoan colonization of artificial substrates. pp. 39—57 in R. L. Weitzel, ed. *Methods and Measurements of Attached Microcommunities. A Review*.
- [16] Cairns, J. Jr., 1980. Estimating hazard. *Bio. Science*. **30**(2): 101—107.
- [17] Cairns, J. Jr., and W. H. van der Schalie, 1980. Review paper biological monitoring part I—Early warning systems. *Water Res.*, **14**: 1179—1196.
- [18] Cairns, J. Jr., 1981. Review paper biological monitoring part VI—Future needs. *Water Res.*, **15**: 941—952.
- [19] Cairns, J. Jr., Gruber, D., Miller, W. R. III, and W. Sydor, Jr., 1981. In prep. System calibration of on-line biomonitoring facility. National Technical Information Service, Springfield, Va. Contractor Report DAAK-11-80-C-0044.
- [20] Cairns, J. Jr., 1983. Are single species toxicity tests alone adequate for estimating environmental hazard? *Hydrobiologia*, **100**: 47—57.
- [21] Cairns, J. Jr., 1983. The perspective of an Aquatic Ecologist. Proceedings of the Seminar on Development and Assessment of Environmental Standards. R. C. Grober, Exec. Dir., The American Environmental Engineers, Annapolis, Md., pp. 27—30.
- [22] Cairns, J. Jr., Plafkin, J. L., Kaesler, R. L., and R. L. Lowe, 1983. Early colonization patterns of diatoms and protozoa in fourteen fresh-water lakes. *J. Protozool.*, **31**(1): 47—51.
- [23] Hart, K. M. and J. Cairns, Jr., 1984. The maintenance of structural integrity in freshwater protozoan communities under stress. *Hydrobiologia*, **108**(2): 171—180.
- [24] Honebry, M. and J. Cairns, Jr., 1980. The effect of island size, distance and epicenter maturity on the colonization process in freshwater protozoa communities. *Am. Midl. Nat.*, **104**: 80—92.
- [25] Henebry, M. S. and J. Cairns, Jr., 1980. Monitoring of stream pollution using protozoan communities on artificial substrates. *Trans. Am. Micro. Soc.*, **99**(2): 151—160.
- [26] Herricks, E. E. and J. Cairns, Jr., 1982. Biological monitoring part III—Receiving system methodology based on community structure, *Water Res.*, **16**: 141—153.
- [27] MacArthur, R. H. and E. O. Wilson, 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, **17**(4): 373—387.
- [28] MacArthur, R. H. and E. O. Wilson, 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press.
- [29] Matthews, R. A., Buikema, A. L. Jr., Cairns, J. Jr. and J. H. Rodgers, Jr., 1982. Review papers biological monitoring part II—Receiving system functional methods, relationships and indices. *Water Res.*, **16**: 129—139.
- [30] Rodgers, J. H., Jr., Dickson, K. L. and J. Cairns, Jr., 1979. A review and analysis of some methods to measure functional aspects of periphyton. pp. 141—167 in R. L. Weitzel, ed. *Methods and Measurements of Attached Microcommunities: A Review*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa.

STUDIES OF BIOLOGICAL MONITORING BY USING PFU PROTOZOAN COMMUNITY

Shen Yunfen Gong Xunju and Gu Manru

(*Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan*)

Abstract

To examine the effectiveness of the multiple-species microbial community test for monitoring toxic stress, the artificial substrate, polyurethane foam unit (PFU), method developed by Dr. Cairns was taken for colonizing microbial community. Field and laboratory experiments of toxic effects on the community were conducted in a series of five oxidation ponds (in Ya-Er Lake) built for treating wastewater from a pesticide factory in Sep.-Dec. 1982. The microbial community structural parameters (protozoan species composition, chlorophyll component and bacterial abundance) and the functional parameters (protozoan colonization rate and community respiration rate) were estimated. Concentrations of organic phosphorus, p-nitrophenol, HCH, COD in the ponds were analysed as well. Both structural and functional parameters appeared to be good indicators of stress. The higher concentrations of the toxicants, the lower was the colonization rate of the protozoan community. The results from the field were found to be coincident with that from the laboratory. Therefore, it is possible to predict the effects of various chemicals on the ecosystems with the PFU protozoan community toxicity tests. The number of protozoan species colonizing PFU after the exposure of 1 to 3 days is good enough for a routine biological monitoring. All the experiments were repeated successfully by students in the PFU training course in 1983 and 1984. It is justified that the PFU method is a rapid, accurate and economic way in biological monitoring.

Key words PFU method, Microbial community, Structure and functional parameters, MacArthur-Wilson equilibrium model, Oxidation pond