

环境因素对原生动物群落生态的影响研究

范晓鹏¹ 沈韫芬²

1. 华中科技大学, 武汉市

2. 中科院水生生物研究所, 武汉市

摘 要

作者于 1999 年 12 月至 2000 年 11 月对华中科技大学华瑜池的原生动物生态进行了研究。本次研究共检出原生动物 125 种: 其中植鞭毛虫 19 种, 动鞭毛虫 28 种, 纤毛虫 64 种, 肉足虫 14 种。对原生动物群落结构和功能的研究表明: 1) 自然条件下 PFU 原生动物群落的种类组成数及原生动物群落的群集速度是相对稳定的; 2) 自然条件下, PFU 原生动物群落结构和功能不受季节变化的影响; 3) 当 PFU 原生动物群落受到外界胁迫时, 其群落结构和功能都会发生破坏性变化, 而不管这种胁迫是物化因素或是生物因素引起的; 4) 用 PFU 法进行原生动物群落生态学和毒理学研究, 所得的结构参数及功能参数能反映客观状况, 保护环境具有现实意义。

关键词: PFU 结构参数 功能参数 华瑜池 原生动物群落

壹、前 言

原生动物是一种直接曝露细胞体于外界的真核生物, 它遵从自然选择的规律。不同的原生动物类别诸如: 鞭毛虫、纤毛虫、肉足虫便是适应不同的环境状况、自然选择的结果。又由于原生动物所具有的个体小、繁殖快、世代周期短及分布的广泛性等特性, 使原生动物群落生态具有复杂性和多样性。研究发现, 不同生境中的原生动物在食物链中所占据的营养级是不同的, 它不仅仅是有机物和碎屑的分解者, 细菌、藻类的捕食者和浮游动物的捕食对象, 还起到连接具有高生产力的、能保持大量营养成分的微生物圈和后动物的作用^[1]。因此它在淡水生态系的物质循环和能量流动中起到十分重要的作用。在许多情况下, 不同生境中的原生动物生态位是相同的; 因此, 应用现有的生态理论框架去描述自然生境中的原生动物群落特征是可行的^[2]。

1969 年 Cairns 等将 MacArthur-Wilson 关于岛屿与生物地理学理论的学说应用于原生动物生态研究, 并利用泡沫塑料块 (Polyurethane Foam Unit, 简称 PFU) 收集原生动物群落, 提出三个功能参数: S_{eq} ——平衡时的种数, T_{90} ——达到 90% S_{eq} 所需的时间, G ——群集曲线的斜率^[3]。国内中科院水生生物研究所沈韫芬等基于上述工作基础, 通过大量试验改进和完善了这一方法, 并提出涵盖原生动物群落结构和功能的如下参数:

S_{eq} , G , T_{90} , S ——原生动物种数, D ——多样性指数, H_1 ——异养性指数, P_{AF} ——植鞭毛虫百分比 (autotrophic flagellates)。从而使这一方法能够很好地反应原生动物的群落生态, 并且, 本方法已经成为国家标准《水质——微型生物群落监测——PFU 法》(GB/T12990-91)。根据这一理论, 我们对华中科技大学华瑜池的原生动物群落进行了为期一年的生态研究。

贰、研究方法

一、常规化学监测

华瑜池位于华中科技大学大门西侧, 是华中科技大学的景点之一, 时常有少量生活污水排入。有鉴于此, 我们分季度对华瑜池进行 4 次常规化学监测 (如表 1)。对照国家地面水环境质量标准, 该池水质符合水域功能分类的 III 类。

表 1 华瑜池水质化学监测结果

	Feb.25	April 4	August 22	Nov.23
BOD ₅ (mg/L)	10.95	11.2	11.5	13.75
COD (mg/L)	16.8	18.5	17.8	21.77
DO (mg/L)	9.09	7.01	6.75	7.8
PH	7	8.1	7.5	7.6
Phosphate (mg/L)	---	0.148	0.132	0.165
T-N (mg/L)	---	4.325	4.35	4.645
电导率 S ($\mu s/cm$)	---	---	---	36.9
t ($^{\circ}C$)	8.5	17	26.5	15.5

二、原生动物样品的采集及镜检

应用 PFU 法收集原生动物群落。在为期一年的研究过程当中, 每月采样一次, 并且镜检第 15 d (平衡时) 的原生动物种数 (S_{eq})。每季度做一次该池的原生动物群集曲线; 曝露 PFU 于池水中, 分别于第 1、3、5、9、11、15、18 d 取样观察并记录原生动物种数。原生动物群落的定性和定量工作按上述国家标准进行。

三、结构参数

1. 物种数

物种的鉴定主要在显微镜下进行, 尽可能鉴定到种; 本次试验所观察到的原生动物种类均在 Olympus:BX-60 显微镜下捕捉活体图像, 并存储。

2. 多样性指数

应用 Maglaef 多样性指数公式进行计算:

$$D = (S - 1) / \ln N$$

其中 S ——原生动物种数;

N ——原生动物密度。

3. 异养性指数 (H_1)

异养性指数反映的是异养生物的多少, 指数越大, 表示异养生物成份越大, 水质越差。其计算公式如下:

$$H_1 = \text{生物量} / \text{叶绿素 } a$$

生物量可以用 ATP 或无灰分干重来表示, 详细测定方法参见^[4]

四、功能参数

S_{eq} : 原生动物群落达到平衡时的种数;

G : 群集曲线的斜率;

$T_{90\%}$: 达 90% S_{eq} 所需时间。

上述参数可以通过 MacArthur-Wilson 关于岛屿区系平衡模型修订公式^[5]:

$$S_t = S_{eq}(1 - e^{-Gt}) / (1 + He^{-Gt})$$

求出。

叁、结 果

一、原生动物群落结构

本次研究共检出原生动物 125 种: 其中植鞭毛虫 19 种, 动鞭毛虫 28 种, 纤毛虫 64 种, 肉足虫 14 种。原生动物的优势种如下: 卵形隐藻 (*Cryptomonas ovata*)、尾裸藻 (*Euglena caudata*)、舞行波豆虫 (*Bodo saltans*)、球波豆虫 (*Bodo globosus*)、珍珠映毛虫 (*Cinetochilum margaritaceum*)、点钟虫 (*Vorticella picta*)、似膜袋虫 (*Cyclidium simulans*)、银灰膜袋虫 (*Cyclidium glaucoma*)、毛板壳虫 (*Coleps hirtus*)、弯曲袋鞭虫 (*Peranema deflexum*)。

群落结构参数如表 2 所列, 对表 2 中 S 、 D 值做 t 检验, 取显著水平 $\alpha = 0.05$ 。检验结果如表 3, 有 82% 的 S 值、91% 的 D 值落入置信区间内。可知华瑜池中原生动物群落的结构参数维持在同一个水平。除三月末, 四月初由于水华而导致原生动物种类数大幅度下降外, 其余月份均维持在 43~52 种范围内。

二、原生动物群落功能

图 1 列出华瑜池原生动物群落的 5 次群集曲线, 曲线的斜率和平衡过程都较相似。表 4 列出其功能参数; $T_{90\%}$ 平均值为 13.14 d; S_{eq} 平均值为 52.05; 群集速率 G 平均值为 0.176。

表 2 1999 年 12 月至 2000 年 11 月华瑜池原生动物群落结构参数
Dec.1999 to Nov. 2000

月份	12	1	2	3.25	4.3	4.24	5	6	7	8	9	10	11
S	49	47	49	20	0	47	48	48	52	48	48	47	43
D	4.22	4.03	4.20	1.73	0	3.87	3.33	4.10	4.54	4.22	4.03	4.01	3.9
P_{AF}	16.3	20	16.3	25	0	12.5	25	27	17.3	13	17.4	18.3	17.3
H_1	—	—	—	75.2	—	—	45	—	—	67.3	—	—	68.3

表 3 S 、 D 值的 t 检验结果

Mon	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	Power
S	49	47	49	47	48	48	52	48	48	47	43	--
D	4.22	4.03	4.20	3.57	3.33	4.10	4.54	4.22	4.03	4.01	3.90	--
t_1	-1.834 8	1.270 3	-1.834 8	1.270 3	-0.282 2	-0.282 2	-6.492 3	-0.282 2	-0.282 2	1.273 0	7.480 3	82%
t_2	-0.611 9	0.052 6	-1.574 1	1.583 7	2.035 5	-0.617 2	-4.827 6	-0.611 9	0.052 6	0.244 0	1.296 6	91%

显著水平 $\alpha = 0.05$, 拒绝域 $|T| > 2.2281$ 。

Significance Level $\alpha = 0.05$, Rejection domain $|T| > 2.228 1$ 。

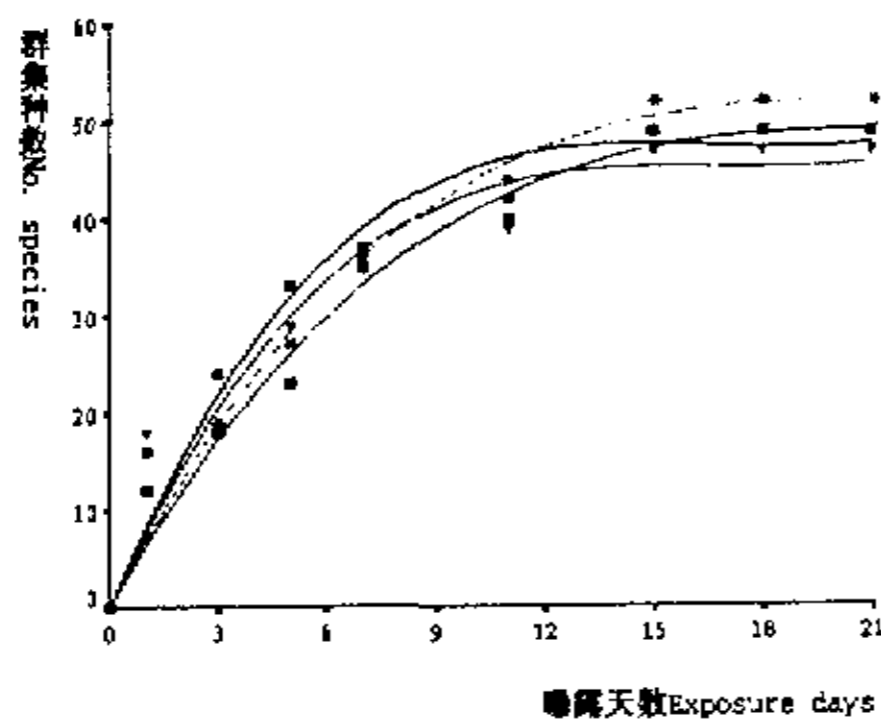
表 4 1999 年 12 月至 2000 年 11 月华瑜池原生动物群落功能参数
2000

	Feb.	June	Sep.	Dec.	Average
S_{eq}	52.97	54.73	50.5	50	52.05
G	0.179	0.195	0.162	0.168	0.176
$T_{90\%}$ (days)	12.86	11.81	14.21	13.70	13.14

三、外界胁迫对原生动物群落的影响

在 2000 年 3 月 25 日的一次例行取样 (此时 PFU 已曝露 15 d) 中发现华瑜池中有

近百条死鱼, PFU 中仅检出原生动物种数 20 种; 此时的多样性指数为 1.73、植鞭毛虫百分比 (PAF) 为 25%、对比 (表 2), 表明此时原生动物群落已经受到严重的胁迫。观察水色, 发现水华。有鉴于这种情况, 我们在当天放置了第二轮 PFU, 并与第一轮 PFU 一同监测。此后数天内发现第一轮 PFU 种数继续下降 (图 2(a)), 不能像图 1 那样继续保持平衡; 这种状况是因为硅藻水华所引起的。图 2(b) 是第二轮 PFU 的群集过程, 表明: 水华过后 PFU 群集过程恢复了正常。



■: 2 月份群集曲线 * : 6 月份群集曲线
 ■: 9 月份群集曲线 ▼ : 11 月份群集曲线
 图 1 华瑜池原生动物群落群集曲线

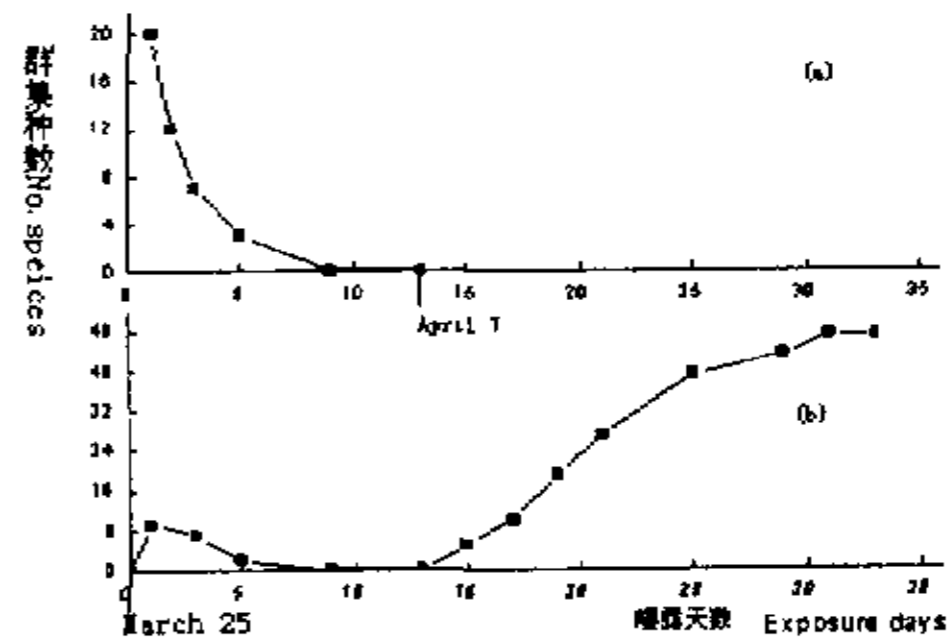


图 2 水华前后群集过程
 (a) 水华发生时
 (b) 水华消失后

肆、讨 论

一、原生动物群落结构和功能的稳定性

原生动物群落是由许多种原生动物种类构成的, 它不是随机的、脆弱的种类组合, 而是具有能随外界变化而按照自身规律变化的群落组合, 同时, 不同生境中的原生动物群落的生态位是相同的。由于原生动物群落的这种特性, 使得人们能够用一定的功能模型来评价其生态特征。MacArthur-Wilson 关于岛屿与生物地理学理论^[3]能客观地反映 PFU 原生动物群落的群落特征, 这一点已经为前人的试验所证明。而且 Hart, Henebry, Pratt 等分别研究了水体的营养水平, 物理化学因子等对原生动物群落生态的影响状况。结果表明原生动物群落无干扰因子存在的条件下, 能维持其自身的结构和功能; 当受到干扰因子的影响时, 原生动物群落的结构和功能会很敏感地发生相应变化——这种变化甚至是破坏性的。^[6~9]然而, 原生动物群落自身的稳定性如何, 它的结构和功能是否随时间和季节的变化而变化, 却并没有相关报导。本次试验我们对华瑜池原生动物群落进行了 1a 的研究, 获得每个月原生动物群落的 S 、 D 、 P_{AF} 、 H_1 值及 4 个季度的 5 条群集曲线。如图 1、表 2、表 4, 表明: 当环境因子没有很大变化 (如水华) 时, 原生动物群落和结构和功能是不受季节变化影响的。因此国家标准《水质——微型生物群落监测——PFU 法》能准确监测水质和评价各种化学污染物质的毒性强度。

二、外界压迫对群落结构的影响

本次试验期间, 华瑜池发生水华, 水华对华瑜池的原生动物群落产生了毁灭性的影响, 致使原生动物种类全部消失。而此时的水质化学指标却并没有发生明显变化, 这充分说明了 PFU 法的灵敏性。另外前人研究了酸度对原生动物群落的影响: 当酸度达到一定程度, 再增大同样会对其产生破坏性影响^[10, 11], 其他物理化学因素也是如此^[12]。我们认为只有当水生态系统发生大幅度变化、外界环境变得十分恶劣的情况下, 如水华出现就会对原生动物群落结构和功能会产生破坏性影响。当外界压迫消失后, 原生动物群落结构和功能就能很快恢复正常 (图 2)。PFU 法之所以能成为一种很好的生物监测和毒理评价方法, 就是因为原生动物群落具有对压迫反应的敏感性, 及压迫过后自身恢复的迅速性等特性。

参 考 文 献

- [1] Cairns J Jr, Bidwell J R. Toxicity testing wit communities: Microcosms, mesocosms, and whole-system manipulations. *Rev Environ Contam Toxicol*, 1996: 147,45~69
- [2] Tom Fenchel. *Ecology of Protozoa*. Science Tech Publishers Protists, 1987. 86~87
- [3] Cairns J Jr. The relationship of freshwater protozoan communities to the MacArthur-Wilson Equilibrium Model. *Amer Nat*, 1969, 103: 439~454
- [4] 沈韞芬、冯伟松, 等。河流的污染监测。北京: 中国建筑工业出版社, 1995.15~18
- [5] 王继忠、沈韞芬, 等。对 PFU 法中 MacArthur-Wilson 平衡模型的修改。水生生物学报, 1989, 13(4): 312~318
- [6] Hart K M, Cairns J Jr, The maintenance of structural integrity in freshwater protozoan communities under stress. *Hydrobiologia*, 1984, 108(2): 171~180
- [7] Henebry M S, Cairns J Jr. Protozoan colonization rates and trophic status of some freshwater wetland lakes. *J Protozool*, 1984, 31(3): 456~467
- [8] Pratt J R, Lang B Z, Kaesler R L, et al. Effect of seasonal changes on protozoans inhabiting artificial substrates in a small pond. *Archiv fuer Protistenkunde*, 1986, 13(1-2): 45~47
- [9] Pratt Jr, Cairns J Jr. Long-term patterns of protozoan colonization in Douglas Lake, Michigan. *J Protozool*, 1985, 32(1): 95~99
- [10] Niederlehner B R, Cairns J Jr. Effects of increasing acidity on aquatic protozoan communities. *Water Air & Soil Pollution*, 1990, 52(1-2): 183~196
- [11] Tremaine S C, Mills A L. Impact of water column acidification on protozoan bacterivory at the lake sediment-water interface. *Applied and environmental microbiology AEMIDF*, 1991, 57(3): 775~784
- [12] Campbell L, Landry L w R. Response of microbial community structure to environmental forcing in the Arabian sea. *Deep-sea Research*, 1998, 45: 2301~2325