中国淡水原生动物多样性及其所受威胁*

沈韞芬

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 概述了地球上原生动物多样性现状,指出它在生物学界中的地位及其对人类的作用。从生态学概念出发,把淡水原生动物作为一个集合类群,对其多样性和所受威胁进行了讨论。以武汉东湖为例,讨论了半个世纪来由于人类活动的影响引起湖泊富营养化后,原生动物丰度增长了10倍,优势种出现替代现象,并有明显的小型化倾向。以长江三峡地区为例,分析了工业污染能损伤70%原生动物种类。原生动物多样性指数变化表明:在有机污染影响下作为饮用水的汉江其水质已达临界边缘。对待开发的西南武陵山地区生物资源考察中,用原生动物多样性现状阐明该地区水生生态系的稳定性。

关键词 原生动物多样性,污染胁迫,富营养化,工业污染,优势种的替代

The diversity status of freshwater protozoans and the pollution stress on protozoa in China/SHEN Yun-Fen

Abstract The present paper introduced a broad outline of the diversity of protozoa on the globe, the position in the biology and the relation to the human being. Considering that the protozoa in freshwater as an aggregate group ecologically, its diversity and stress could be discussed. The stress resulting from anthropogenic sources in an eutrophication lake—Donghu Lake in a period of half a century resulted in a ten-fold increase of protozoan density and a succession of dominant species. The industrial pollution from the bank of the Three-Gorges Area of the Yangtze River damaged at least 70% species of protozoans. In the largest tributary of the Yangtze River, the Hanjiang River, a resource of drinking water, the protozoan diversity index indicated that water quality was in a critical status. In the unexploited Wuling Mountains Area in southwestern China, the protozoan diversity demonstrated that the aquatic ecosystem in this area was healthy and stable.

Key words protozoan diversity, pollution stress, eutrophication, industrial pollution, succession of dominant species

Author's address Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072

1 前言

在讨论原生动物多样性之前,必须概述原生动物在生物界中的地位及其对人类的作用。

1.1 Bütschli^[1]是第一个提出原生动物(Protozoa)在单细胞模式基础上的分类系统,把原生动物门分为4大纲——鞭毛虫纲(Flagellata)、肉足虫纲(Sarcodina)、孢子虫纲(Sporozoa)和纤毛虫纲(Ciliata)。这一传统的分类系统一直沿用到50年代。自从Margulis^[2]提出生物的五界分类系统以来,原生动物不再是无脊椎动物中的一个门,而上升为原生生物界(Kingdom Protista)中的一个亚界。原生动物和藻类、低等真菌集合成为原生生物界,它打破了分类学上老的植物/动物界限。这个观点持续了20年之久。随着内共生理论的出现,加上超微结构和分子生物学技术的应用,近代生物学家对Protista提出异议,认为他所集合的原生动物、藻类和低等真菌没有什么本质上的特征可以联合一起而排除其它的真核生物。认为原生动物的界限从来不是很

收稿日期:1997-09-04,接受日期:1997-11-14

*国家自然科学基金资助项目(39730070)

清楚,只是贪图方便而将它们集合在一起,它们中间很多是 paraphyletic 和 polyphyletic,不是理想的同系类群(holophyletic group)。Patterson^[3]在超微结构的基础上,将全部真核生物分放在 80 个 categories 中,原生动物名称不再存在,而分散在44 个 categories 中。Corliss^[4]主张仍保留原生动物,但要清除 paraphyletic 和 polyphyletic 的类群,使原生动物保留更多的同源性。他将真核生物划分 6 个界 (1)原始动物界(Archezoa) (2)原生动物界(Protozoa) (3)色混界(Chromista) (4)植物界(Planta) (5)真菌界(Fungi) (6)动物界(Animala)。讨论生物进化时可以各抒己见、各立学派,但在应用中十分困难。因此,在讨论生物多样性时,从生态概念出发,把海洋的、淡水的、土壤的和寄生的单细胞动物作为一个集合类群——原生动物进行讨论。

1.2 原生动物在地球上分布极为广泛。从海洋、江、河、湖、池、山泉、溪流、苔藓、沼泽、临时积水、冰山、雪山、盐池、土壤、树叶上的水珠,只要有水的地方如其它动物的粘液、血液中都有原生动物。在空气中即使没有水滴,也有原生动物的孢囊。Farmer^[5]报道空气中约有 2 个/m³ 肾形虫(一种纤毛虫)的孢囊。除空气传播外,水中、陆上的各种生物如昆虫、鱼、两栖动物、爬行动物、鸟类在活动时都能传播原生动物,可以说无处没有原生动物。从这个意义上讲,原生动物的多样性是多么地五彩缤纷,要弄清楚它是多么不易。原生动物作为最低级的消费者在地球生物圈和食物网中的作用也是不言而喻的。至于寄生原生动物更是直接与人类息息相关。世界卫生组织(WHO)提出 6 种人类重要的热带病中,由寄生原生动物引起的就占了 3 种,即疟疾病(Malaria),锥虫病(Trypanosomiasis)和利什曼病(Leishmaniasis)。全球每年至少有 3.5 × 10⁸ 人受到疟原虫的危害,非洲等热带地区每年因疟疾而死亡的人数在 1 × 10⁶ 以上,我国解放前每年得此病者至少有 30 × 10⁶ 人。疟疾病和利什曼病在我国南方甚为严重。经调查人兽共患寄生原虫病有 93 种,我国是这类病的重灾区。除利什曼病和锥虫病之外,还有贾第氏病(Giardiasis),弓形虫病(Toxoplasmosis),梨浆虫病(Piroplasmosis),肺孢子虫病(Pneumocystosis),隐孢子虫病(Cryptosporidiosis)和肉孢子虫病(Sarcocystosis)等。弓形虫病在世界上大约有 25% ~ 50% 的人口受到感染,欧洲一些地区感染率高达 80%,我国也有 5% ~ 10% 的感染率,直接影响优生优育,而且弓形虫还是艾滋病的激活因素,还能引起弓形虫脑炎。内脏利什曼引起黑热病流行 47 个国家和地区 2 × 10⁸ 多人受到威胁,每年新发病例数达 10 × 10⁴ 例以上。我国近年来黑热病疫情严重回升,在四川、甘肃和新疆等疫区新发病例 1981 ~ 1984 年为 443 例,1985 ~ 1988 年升至 1069 例。犬(传染源)的自然感染率 1991 年为 1977 年的 7 倍,达 36.8%。由于环境的恶化,有新的原虫病产生,如在淡水中常见的自由生活的棘变形虫(Acanthamoeba),纳氏虫(Naeglaria fowleri)。当人们在污染的江、湖中游泳时它能由鼻孔侵入人体神经组织而引起阿米巴脑炎而死亡,在我国也有数例报告。在畜牧业和渔业经济活动中,因原生动物寄生而引起的病害损失也是惨重的。专门寄生在鱼体的粘孢子虫国际上已报导有 1000 多种(淡水和海水),而在我国光是淡水鱼体上寄生的粘孢子虫有 574 种,其中新种 213 种。

2 地球上原生动物种类多样性现状

根据 Corliss^[6]作的详细调查,世界上已正式报导的原生生物(Protista)有 117 132 种。其中:

纯原生动物	63 616 种
原生动物和藻类兼性(如眼虫 <i>Euglena</i> 等)	10 493 种
纯藻类	40 650 种

原生动物和真菌(如菌虫 *Myxomycetes* 等)648 种

低等真菌1725 种

一般估计全世界已报导的纯原生动物种类为 6.8×10^4 种 ,其中 59% 以上是化石 ,如有孔虫目(*Foraminifera*)、放射虫目(*Radiolaria*)。这些化石群区系对确定地质年代 ,寻找石油资源是十分有用的。其余的 50% 为已知的现存种类 ,分配如下(表 1)。估计在淡水中自由生活的原生动物约为 5000 ~ 6000 种。Corliss 当时提出广义的原生动物每年报导以 800 种以上的新种速度递增。Corliss^[4]估计原生动物已超过 20×10^4 种 ,但他没有作出详细的统计。Patterson^[3]在讨论原生动物系统发育时仍采用原生生物 11.5×10^4 种 ,也即是 Corliss^[6]的最可靠的调查统计数字 ,他并提出还有 50% 的隐性阶元(*Cryptic taxa*)尚未发现。如果他的估计是正确的话 ,则上述 Corliss^[6]调查数据翻一番 ,才是地球上现存原生动物种类。照此推算 ,淡水原生动物现存种类应为 $1 \sim 1.2 \times 10^4$ 种。

表 1 世界现存的纯原生动物种类(根据 Corliss^[6]文整理)
Table 1 Protista species in the world (modified from Corliss^[6])

类群 Group		自由生活种 Free living species	寄生生活种 Parasitic species	合计(种) Total species
鞭毛虫	Flagallata	5100	1800	6900
		11 300		
肉足虫	Sarcodina	(其中有孔虫 <i>Foraminifera</i>) 4600	250	11 550
孢子虫	Sporozoa		5600	5600
纤毛虫	Ciliata	4700	2500	7200
合 计	Total	21 100	10 150	31 250

3 我国淡水原生动物的种类多样性现状

报导我国淡水原生动物第一篇论文的作者是王家楫^[7] ,他描述了南京地区的原生动物 152 种。王家楫^[8-11]、王家楫和倪达书^[12-15]、戴立生^[16]等均有描述淡水原生动物的论文。解放前总共报导淡水原生动物(含植物性鞭毛虫)329 种。解放后中国科学院水生生物研究所的原生动物专家们先后调查了我国 22 个省(自治区)——即湖南、湖北、广东、广西、福建、浙江、江苏、安徽、江西、云南、西藏、四川、陕西、山东、河北、青海、甘肃、黑龙江、吉林、辽宁、贵州、新疆——的主要河流、湖泊以及池塘、山泉、溪流等的原生动物区系分布 ,已鉴定原生动物(不包括植鞭毛虫)近 2000 种 ,发表专著 3 本 ,论文 20 余篇。其它单位如南开大学、山东海洋大学、西北师范大学也有零星报导淡水原生动物的分类论文。80 年代起 ,开始填补土壤原生动物方面的空白 ,系统地调查了我国从南到北 6 个不同温度带——北热带滇南林区(西双版纳)、中热带雨林区(海南岛)、亚热带森林区(湖南衡山、浙江天目山)、温带湿润林区(长白山)、暖温带林区(北京小龙门自然保护区)、高寒草甸草原区(青海海北)的土壤动物 ,已鉴定出原生动物 290 种 ,其中纤毛虫 150 种。Foissner^[17]总结全世界土壤纤毛虫有效种类为 300 种。中国土壤纤毛虫已占世界报导种类的 30%。中国淡水原生动物(已鉴定 2000 种)占世界已报导种类的三分之一。

4 我国淡水原生动物种类多样性受威胁情况

由于原生动物大多是世界分布的(*cosmopolitan*) ,因此国际上已报导的种类 ,尤其是自由生活的种类 ,大多能在中国找到 ;另一方面 ,由于我国土地辽阔 ,各种地理、地质和气象条件几

乎都存在,区区一支 10 余人的原生动物分类区系队伍(现已不足 4~5 人)不可能提出我国特有的原生动物名录,也就谈不上它们受环境胁迫所遭受灭绝的情况。本文只能笼统地讨论淡水原生动物在不同的环境胁迫条件下会受到什么程度的损害。

4.1 湖泊富营养化的影响

表 2 东湖湖中心原生动物在不同年代的变化
Table 2 Protozoa variation in the center of the Donghu Lake in different decades

时 间	60 年代 1960s	80 年代 1980s	90 年代 1990s
种类数 Number of species	72	89	179
丰度(个/升 X 年平均) Abundance (ind. /L) (Annual average)	4270	9873	41 184

武昌东湖 50 年代还是一片人烟稀少的荒湖。1954 年中国科学院水生生物研究所从上海迁至东湖边,目睹了东湖受到人口膨胀的威胁,如何从干净水体演变为富营养化湖泊的发展过程。沈韞芬等^[18]、龚循矩^[19]、吴生桂等每月 2 次分别进行原生动物周年变化观察(表 2)。

由于采样方法的改进,90 年代增加了

PFU 法因而获得更多的种类。整个看来,由于营养物质增长,促进了原生动物的生长。原生动物的丰度增长了 10 倍。第一优势种出现替代现象,依次为大弹跳虫(*Halteria grandinella*)→矮小侠盗虫(*strobilidium humile*)→鞭膜袋虫(*Cyclidium flagellatum*)。一些典型的湖泊浮游种类(Pelagic form)在 60 年代时甚至是优势种类,如团脾睨虫(*Askenasia volvox*)、单环栉毛虫(*Dindinium balbianii*)、双环栉毛虫(*Didinium nasutum*),在 80、90 年代虽然有出现,但已属稀有种,60 年代不是优势种但仍属常见的敞水区(pelagic)种类,如春斯氏虫(*Stokesia vernalis*)、大舟形虫(*Lembadion magnum*)、拟多核虫(*Paradileptns robustus*)、伪多核虫(*Pseudodileptus trachelioides*)在 90 年代已消失。代之而起的是许多小型的种类如鞭膜袋虫、瓜形膜袋虫(*Cyclidium citrullus*),有明显的小型化倾向。

4.2 工业污染的影响

表 3 长江三峡地区工业废水对原生动物的影响
Table 3 Response of protozoa to the industrial waste water of the Three-Gorges Area in Yangtze River*

监测项目	四川印染厂 Sichuan dye factory		长寿铁合金厂 Changshou iron-ally plant		万县造纸厂 Wanxian paper mill		
	厂排污口 discharges to river	入长江 500 米远 500 m farther	废水经龙溪 河入长江口 Via stream to river	入长江 1500 米远 1500 m farther	厂排污 口 Discharge outlet	入长江口 Entrance to river	入长江 1000 米远 1000 m farther
种类数 Number of species	0	19.0	8.5	23.0	0	6.5	18.5
丰度(个/10ml) Abundance(ind. /10ml)	0	2 2000	1450	9500	0	1300	5150
Maglaef 多样性指数 Maglaef index	0	1.7	1.02	2.4	0	10.77	2.05
与背景值比较 Compared with background	灭绝 Extinct	略低 A little lower	种类损伤 Damaged species 61%	恢复 Recovered	灭绝 Extinct	种类损伤 damaged species 70%	恢复 Recovered

*用国家标准 GB/T12990-91《水质-微型生物群落监测——PFU 法》
By using the National standard , G/B 12990-91 Water Quality-Microbial Community Monitoring—PFU method

据报导 1985、1986 年调查长江三峡地区(重庆—宜昌)在枯水期时原生动物背景值是 :种

类数为 21.8 种 ,多样性指数为 $2.20^{[20]}$ 。工业废水不经处理直接排入长江 ,对原生动物的损伤见表 3。

由表 3 可见工业废水排入长江后至少 70% 的长江种类受到损伤。由于长江流速大 ,稀释毒物能力强 ,在 1000 ~ 1500 m 远后基本上能恢复。三峡建坝后 ,流速会大大下降 ,对工业废水污染应引起重视。

4.3 未开发地区的资源面临的环境胁迫

1988 ~ 1990 年 ,在中国科学院组织的西南武陵山地区的生物资源考察中 ,共发现各类水生动物 1615 种 ,其中原生动物 625 种。在 149 个采样点上 ,只看到 1 次的原生动物有 252 种 ,占 44.68% ;看到 2 次的有 93 种 ,占 16.49% ,也就是说有 61.17% 的原生动物种类只碰到 1 ~ 2 次。原生动物种数和频数分布呈直线相关 $Y = 1.586 - 0.668X$, $r = -0.96$, $P < 0.01$ 。说明绝大多数种类的个体数量很少 ,因此遇见它们的频数较低 ,这也是说明生态系稳定、生物多样性好的一种表型。原生动物多样性指数表明武陵山地区的水系中以清江最好 ,为 3.38 ;乌江次之 ,为 2.73 ;沅江又次 ,为 1.95。峒河(武水)属沅江水系 ,武水的多样性指数为 1.83 ,属于低的。总的来看 ,武陵山区水系原生动物多样性指数略高于长江三峡地区。但是随着乡镇企业的发展 ,把工业废水随意地排入清澈的河流中 ,如吉首市造纸厂将废水排入峒河(武水)后 ,造成数公里江面飘浮黑色泡沫 ,岸边有黑色淤泥沉淀 ,改变了水生昆虫的组成 ,多样性指数下降。我国经济发展将重点面向大西南 ,如何协调保护资源和开发资源的关系 ,是当前重要的问题^[20]。

4.4 水利工程可能带来的影响

据《中国科学报》1993 年 4 月 2 日的报道 ,南水北调中线方案中第一阶段就是要把汉江上游丹江口水库的水调入黄淮海平原的西部地区。为保证有充分的水源 ,计划把丹江口大坝提高至 175 m ,这样库容量可以从 $174.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $290 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由加拿大国际发展中心 (IDRC)资助 ,中国科学院水生生物研究所的研究人员于 1992 ~ 1993 年从汉江上游羊尾镇至汉江下游入长江口止共设 47 个采样站 ,进行了水化学、细菌、微型生物、底栖动物监测^[22]。调查表明 (表 4) ,由于沿途工业废水污染 ,汉江水质自上、中、下游依次下降 ,原生动物和大型无

表 4 汉江干流上、中、下游被监测站的化学综合污染指数与生物监测多样性指数的平均值
Table 4 The average value of comprehensive chemical pollution index and biological diversity index in monitoring stations at upper , middle and lower reaches of the Hanjiang River

监测项目 Monitoring item			上游 Upper reaches	中游 Middle reaches	下游 Lower reaches
化学监测 The chemical monitoring	化学综合污染指数	Pa	13.12	94.71	542.75
	Comprehensive Chemical pollution index	Pb	3.43	12.55	60.50
	评价指数	Pa/n	1.64	11.84	67.75
	Evaluation index	Pb/n	0.43	1.57	10.06
生物监测 The biological monitoring	原生动物多样性指数(Maglaef) The diversity index of protozoans		2.95	2.94	2.22
	底栖动物多样性指数(Shannon) The diversity index of benthos		2.60	1.56	1.57

* 注 Pa :以对照站的化学数据为标准 ,求得的化学综合污染指数
 Pa :Comprehensive chemical pollution index ,based on chemical data in reference ststion
 Pb :以 II 级地面水为标准 ,求得的化学综合污染指数
 Pb :Comprehensive chemical pollution index ,based on II grade of standard for surface water
 n :控制项目数 β 项 n :Number of control items. Here is 8

脊椎动物的多样性指数也逐渐下降。虽然最后一站——汉江入长江口的水质没有超出Ⅱ级地面水标准,原生动物多样性指数为2.15,主要是汉江自净能力的结果,但至少说明汉江水质作为饮用水源已达临界边缘。如果把丹江口水库大坝再增高,枯水期的流量会得到更好的调节,但是年平均流量和下泄流量会因之而减少,不能不令人担忧。汉江中、下游干流的污染状况如不治理将会比目前更为严重。

参 考 文 献

- 1 Bütschli O. Protozoa. *Bronn's Klassen und Ordnungen des Thierreichs*, 1980 ~ 1989, Vol. 1 ~ 3
- 2 Margulis L. Five-kingdom classification and the origin and evolution of cells. *Evol. Biol.*, 1974, 7 :45 ~ 78
- 3 Patterson D J. Protozoa: evolution and systematics. *Progress in Protozoology*, 1994, 1 ~ 14
- 4 Corliss J O. An interim utilitarian (" User-friendly") hierarchical classification and characterization of the protozoa. *Acta Protozoologica*, 1994, 33 :1 ~ 51
- 5 Farmer J N. The protozoa: introduction to protozoology. Mosby, St. Louis: Mosby Company, 1980,
- 6 Corliss J O. Numbers of species comprising the phyletic groups assignable to the kingdom Protista (Abstr.). *J. Protozool.*, 1982, 29 :499
- 7 Wang C C. Study of the protozoa of Nanking, Part I. *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1925, 1(3):92 ~ 177
- 8 Wang C C. On two new ciliates (*Holophrya latericollaris* sp. nov. and *Choanostoma pingi* gen. and sp. nov.). *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1930, 6(10):105 ~ 111
- 9 Wang C C. Notes on some new and rare species of hypotrichous infusoria. *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1930, 6(2):9 ~ 18
- 10 Wang C C. Notes on Amoeba and its allies of Nanking. *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1932, 8(4):113 ~ 136
- 11 Wang C C. Notes on some new fresh-water infusoria. *Sinensia*, 1940, 11(1/2):11 ~ 32
- 12 Wang C C, Nie D S. Studies of Sarcodina of Nanking I. *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1933a, 9(10):341 ~ 397
- 13 Wang C C, Nie D S. Report on the rare and new species of fresh-water infusoria, Part I. *Contr. Bio. Lab. Sci. Soc. China*, 1933b, 10(1):1 ~ 99
- 14 Wang C C, Nie D S. Notes on *Trachelomonas* of Nanking. *Sinensia*, 1945, 5(1/2):121 ~ 146
- 15 Wang C C, Nie D S. Report on the rare and new species of fresh-water infusoria, Part II. *Sinensia*, 1935, 6(4):399 ~ 524
- 16 Tai L S. Notes on freshwater protozoa of Peijing. *Science Reports of the National Tsing Hua University*, Peiping Series B1, 1931 :1 ~ 60
- 17 Foissner W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. *Progress in Protistology*, 1987, 2 :70 ~ 212
- 18 沈韞芬, 顾曼如. 武昌东湖原生动物生态初步研究. *水生生物学集刊*, 1965, 5(2):146 ~ 182
- 19 龚循矩. 从原生动物变化看武汉东湖富营养化的发展. *水生生物学报*, 1986, 10(4):340 ~ 352
- 20 沈韞芬, 顾曼如, 冯伟松. 长江三峡地区原生动物背景值及其对污染的评价. 《长江三峡工程对生态环境影响及其对策研究论文集》, 北京: 科学出版社, 1987 :831 ~ 840
- 21 宋大祥. 西南武陵山区动物资源评价. 北京: 科学出版社, 1994, 1 ~ 432
- 22 沈韞芬, 冯伟松, 顾曼如等. 河流的污染监测. 中国建筑工业出版社, 1995, 1 ~ 308