

从原生动物变化看武汉东湖 富营养化的发展*

龚循矩

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

提 要

作者于1981年3月至1982年4月对武汉东湖Ⅱ站的原生动物进行了定量采集, 采集结果与1962年该站的原生动物的种群数量变动作了比较。二十年内Ⅱ站的原生动物年平均量增加了2.3倍, 平均每年增长294个/升。原生动物的数量增长与湖水中饵料生物(如藻类、细菌)和营养物质(如氮、磷)数量的增加是密切相关的。年数量变动的春季高峰期比过去提早出现, 秋季高峰期则比过去延续的时间长, 高峰期的原生动物的数量都比过去高。种类组成、特别是优势种发生了演替。通过对Ⅱ站原生动物多样性指数的改变、种量季节变动特征的分析, 作者认为东湖的中心区在加速富营养化的进程, 并且正向受到有机质严重污染的水果湖区(I(IV))站过渡。

武汉东湖是长江中游的一个中型浅水湖泊。解放以来, 中国科学院水生生物研究所对该湖的水生生物进行了多次的调查, 对原生动物的种群数量和生态分布作了比较详细的研究^[2]。二十年来, 东湖围垦筑堤, 湖泊的形态发生了改变, 东湖的渔业由于人工养殖, 鱼产量逐年上升, 加上城郊人口的不断发展, 生活污水逐年增加^[6], 这对于湖泊环境、水生生物及湖水质量都会产生很大的影响。原生动物在东湖的生长情况如何, 它同湖泊的富营养化的关系如何? 本文试从原生动物的演变来讨论东湖富营养化的发展现状。

研 究 方 法

东湖由若干湖区组成, 其中水果湖区代表湖湾区, 所设I、IV两站均靠近湖岸, 由于相隔甚近, 可作为同一个站, 本文以I(IV)表示, 该站同茶叶港(Ⅲ站)均受人口密集的影响, 水污染严重。郭郑湖区(Ⅱ站)位于湖泊的中心位置, 代表了东湖的主体, 它不像I(IV)站和Ⅲ站那样受到人为的干扰, 环境相对稳定。作者按60年代的方法^[1], 于1981年3月至1982年4月在Ⅱ站每半月作一次定量采集, 每次在离水面下和离湖底0.5米处各采集2.5升水样混合, 用波恩氏液固定沉淀, 浓缩至30毫升, 摇匀后取0.1毫升水样计数, 每个样品数0.2毫升, 计数结果以每升水中原生动物的个体数表示。群体的种类

* 在工作中得到沈韪芬副教授的热情支持和帮助, 并对本文提出了许多宝贵意见, 谨致谢意。

1984年12月29日收到。

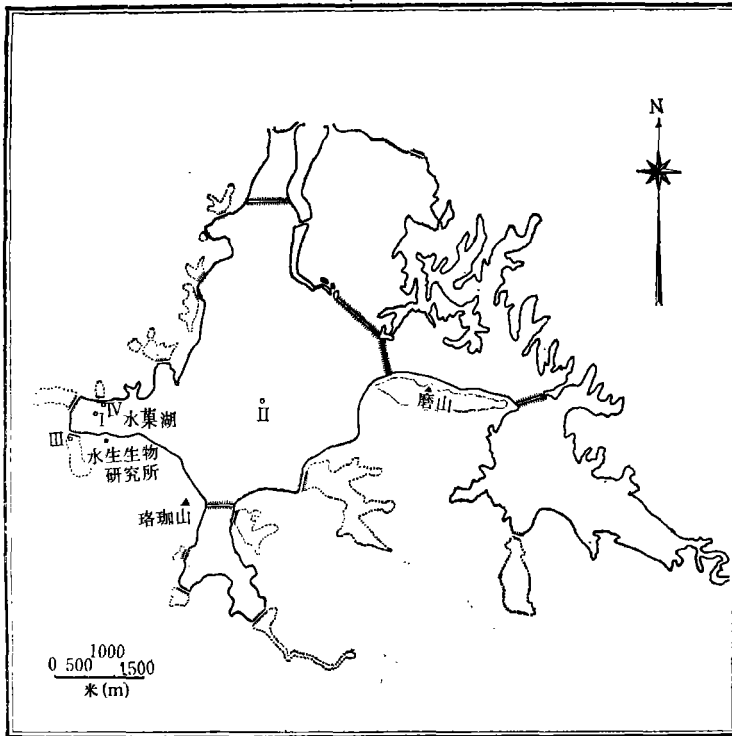


图1 武汉东湖及原生动物采样站位置图

Fig. 1 Sampling Stations in Lake Donghu.

(缘毛目的某些种类)个体数以群体上的细胞数计算。

原生动物的演变

1. 种类组成

II 站 60 年代有肉足虫类 13 种, 80 年代有 14 种, 其中相同的种类有 4 种, 占 80 年代肉足虫种数的 28.5%。60 年代 II 站有纤毛虫类 59 种, 80 年代有 75 种, 其中相同的种类有 16 种, 占 80 年代纤毛虫类的 21.3%。从季节分布看, 80 年代和 60 年代夏、秋两季原生动物(包括肉足虫和纤毛虫)相同的种类比冬、春两季多, 分别占 80 年代原生动物总数的 7.8% 和 13.4%。肉足虫类中的高奇法帽虫 (*Phryganella paradoxa* var. *alta* Thomas) 和纤毛虫类中的矮小侠盗虫 (*Strobilidium humile* Penard) 在 60 年代均未发现, 而在 80 年代不仅是常见的种类, 其数量也占优势。这些均表明 II 站的原生动物的种类组成同 60 年代相比有了明显的变化(表 1)。

2. 年平均量和季节变化

60 年代 II 站的原生动物年平均量为 4,270 个/升, 在春末夏初出现第一个高峰, 数量达 6,480 个/升(图 2), 秋季(10 月)出现第二个高峰, 数量达到 15,270 个/升, 为第一高峰

表 1 东湖 II 站原生动物二十年来的种类季节变化

Tab. 1 The species composition and the seasonal distribution of protozoa at station II in Lake Donghu in the last twenty years.

年 代 decades 季 节 season 种 类 species	60 年代 1960S				80 年代 1980S			
	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
肉足虫类								
<i>Acanthocystis aculeata</i> Hertwig & Leser							+	
<i>Acanthocystis erinaceus</i> Penard							+	
<i>Actinophryas sol</i> Ehrenberg			+	+		+		
<i>Amoeba proteus</i> (Pallas) Leidy	+							
<i>Amoeba limax</i> Dujardin					+			
<i>Amoeba radiosa</i> Ehrenberg	+		+			+	+	+
<i>Amoeba</i> sp.	+	+						
<i>Amoeba striata</i> Penard						+	+	
<i>Arcella vulgaris</i> Ehrenberg	+	+				+		+
<i>Centropyxis aculeata aculeata</i> (Ehrenberg)	+	+						+
<i>Diffugia avellana</i> Penard	+	+						
<i>Diffugia brevicolla</i> Cosh					+			
<i>Diffugia corona</i> Wallich	+							
<i>Diffugia globulosa</i> Dujardin	+	+	+					
<i>Phryganella paradoxa</i> var. <i>alta</i> Thomas						+	+	+
<i>Diffugia gramen</i> Penard					+	+	+	
<i>Diffugia lobostoma</i> Leidy						+		
<i>Diffugia oblonga acuminata</i> Ehrenberg	+		+					
<i>Diffugia penardi</i> Hopk						+		
<i>Diffugia scapellum</i> Penard	+							
<i>Diffugia</i> sp.		+						
<i>Diffugia urceolata</i> Carter		+	+					
<i>Paulinella chromatophora</i> Lauenerborn						+	+	
纤毛虫类								
<i>Askenasia volvox</i> Clap. & L.	+	+	+	+			+	
<i>Aspidisca costata</i> (Dujardin)						+	+	
<i>Asylozoon pyriforme</i> Schewiakoff							+	
<i>Chilodonella dentata</i> Fouqué	+		+					
<i>Chilodonella</i> sp.		+						
<i>Chilodonella uncinata</i> Ehrenberg			+			+	+	
<i>Cinetochilum margaritaceum</i> Perty					+	+	+	+
<i>Clathrostoma ovum</i> (Fauré-Fr.)							+	
<i>Coleps hirtus</i> Nitzsch	+	+	+			+	+	
<i>Coleps hirtus minor</i> Kahl						+	+	
<i>Coleps</i> sp.		+						
<i>Colpoda cucullus</i> O. F. Müller	+	+	+	+				
<i>Colpoda reniformis</i> Kahl						+		
<i>Colpoda steini</i> Maupas						+	+	
<i>Condyllostoma vorticella</i> Ehrenberg			+					

续表 1

年 代 decades 季 节 season 种 类 species	60 年代 1960S				80 年代 1980S			
	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
<i>Cothurnia annulata</i> Stokes						+		
<i>Cristigera minuta</i> Kahl						+	+	
<i>Ctedoctema acanthocrypta</i> Stokes						+		
<i>Cyclidium citrullus</i> Cohn	+	+	+			+	+	+
<i>Cyclidium glaucoma</i> O. F. Müller					+	+	+	
<i>Cyclidium versatile</i> Penard							+	+
<i>Cyclogramma lateritia</i> Clap. & L.							+	
<i>Cyclotrichium limneticum</i> Kahl		+						
<i>Didinium balbianii</i> Fabre-Dom	+		+	+		+		
<i>Didinium nasutus</i> O. F. Müller		+	+	+			+	
<i>Dileptus binucleatus</i> Kahl						+		
<i>Dileptus cygnus</i> (Clap. & L.)						+		
<i>Drepanomonas exgua</i> Penard							+	
<i>Dysteria marina</i> Gourret & Roeser						+		
<i>Enchelydium</i> sp. No. 1	+		+					
<i>Enchelydium</i> sp. No. 2		+						
<i>Enchelys simplex</i> Kahl	+	+						
<i>Epistylis rotans</i> Svec	+		+				+	
<i>Frontonia atra</i> Ehrenberg							+	
<i>Frontonia leucas</i> Ehrenberg	+		+				+	
<i>Glaucoma scintillans</i> Ehrenberg	+	+						
<i>Halteria cirrifera</i> Kahl			+					
<i>Halteria grandinella</i> O. F. Müller	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Hastatella radians</i> Erlanger							+	
<i>Hastatella</i> sp.		+						
<i>Hemicyclium</i> sp.						+		
<i>Hemiophrys pleurosigma</i> Stokes		+	+	+				
<i>Holophrya mobilis</i> Wang & Nie		+	+	+				
<i>Holophrya simplex</i> Schewiakoff						+	+	+
<i>Holophrya</i> sp.	+	+	+					
<i>Holotricha</i> sp.	+	+	+	+				
<i>Hypotricha</i>						+		
<i>Lacrymaria minima</i> Kahl						+		
<i>Lacrymaria olor</i> O. F. Müller		+						
<i>Lacrymaria pupula</i> O. F. Müller		+				+		
<i>Lacrymaria vermicularis</i> Müller-Ehrb.							+	+
<i>Lagynophrya rostrata</i> Kahl	+	+	+					
<i>Lagynophrya simplex</i> Kahl						+	+	
<i>Lagynophrya</i> sp.		+	+					
<i>Lembadion magnum</i> Stokes	+	+						
<i>Litonotus fasciola</i> Ehrb.-Wrzesiniowski	+		+			+		
<i>Lohmanniella oviformis</i> Leegaard						+	+	

续表 1

年 代 decades 季 节 season 种 类 species	60 年代 1960S				80 年代 1980S			
	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
<i>Mesodinium pulex</i> Claparé & Lachmann						+		
<i>Metacystis truncata</i> Cohn						+		
<i>Nassula exigua</i> Kahl						+	+	
<i>Nassula ornata</i> Ehrenberg						+	+	+
<i>Ophryoglena flava</i> Ehrenberg		+						
<i>Ophryoglena maligna</i> Penard							+	
<i>Ophryoglena utriculariae</i> Kahl		+	+					
<i>Oxytricha ovalis</i> Kahl						+		
<i>Paradileptus conicus</i> Wenrich		+	+	+				
<i>Paradileptus robustus</i> Wenrich				+				
<i>Physalophrya spumosa</i> (Penard)						+		
<i>Plagiocampa metabolica</i> Schewiakoff						+	+	
<i>Plagiocampa minor</i> Lepsi						+	+	
<i>Plagiocampa mutabilis</i> Schewiakoff						+		
<i>Platyophrya nana</i> Kahl						+		
<i>Prorodon armatus</i> Llap. & L.	+	+	+					
<i>Prorodon discolor</i> Ehrb.-Blochm-Schew.						+		
<i>Prorodon ovum</i> Ehrb.-Kahl	+		+			+		
<i>Prorodon</i> sp.		+				+		
<i>Prorodon teres</i> Ehrenberg						+		
<i>Prorodon viridis</i> Ehrb.-Kahl	+							
<i>Pseudodileptus trachelioides</i> (Zacharias)	+							
<i>Pseudoprorodon</i> sp. N. 1				+				
<i>Pseudoprorodon</i> sp. N. 2				+				
<i>Rhabdostyla conipes</i> Kahl					+			
<i>Rhabdostyla pyriformis</i> Perty				+		+		
<i>Spathidium vermiculus</i> Kahl						+	+	
<i>Spirotricha</i> sp.	+	+	+	+				
<i>Sphaerophrya magna</i> Maupas		+	+					
<i>Stentor mülleri</i> Ehrenberg	+							
<i>Stentor polymorphus</i> (O. F. Müller) Ehrb.-Stein				+		+	+	
<i>Stentor roeseli</i> Ehrenberg	+	+	+	+				
<i>Stokesia vernalis</i> Wenrich	+			+				
<i>Strobilidium gyrans</i> (Stokes)	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Strobilidium humile</i> Penard							+	+
<i>Strobilidium velox</i> Fauré-Fr.							+	
<i>Strombidium tintinnodes</i> Entz							+	
<i>Strombidium vestitum</i> (Leegaard)					+	+	+	
<i>Strombidium viride</i> Stein	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Tetrahymena pyriformis</i> (Ehrenberg)					+	+	+	
<i>Tintinnidium fluviatile</i> Stein	+	+				+	+	+
<i>Tintinnopsis copus</i> Chiang			+	+				

续表 1

年 代 decades	60 年代 1960S				80 年代 1980S			
季 节 season	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter	春 spring	夏 summer	秋 autumn	冬 winter
种 类 species								
<i>Tintinnopsis cylindrata</i> Kofoid-Campbell					+	+	+	+
<i>Tintinnopsis potiformis</i> Chiang		+						
<i>Tintinnopsis wangi</i> Nie	+	+	+		+	+		+
<i>Urotricha globosa</i> Schewiakoff							+	+
<i>Urotricha agilis</i> Stokes					+			+
<i>Urotricha ovata</i> Kahl						+	+	+
<i>Urotricha venatrix</i> Kahl	+	+	+	+				
<i>Vaginicola ingenita</i> O. F. Müller			+					
<i>Vorticella campanula</i> Ehrenberg	+	+	+	+				
<i>Vorticella convallaria</i> Linné						+	+	
<i>Vorticella cupifera</i> Kahl					+	+	+	+
<i>Vorticella microstoma</i> Ehrenberg						+		
<i>Vorticella monilata</i> Tatem					+	+		
<i>Vorticella octava</i> Stokes						+		
<i>Vorticella similis</i> Kahl	+	+	+	+			+	+
小 计 total	42	46	41	24	16	60	53	21

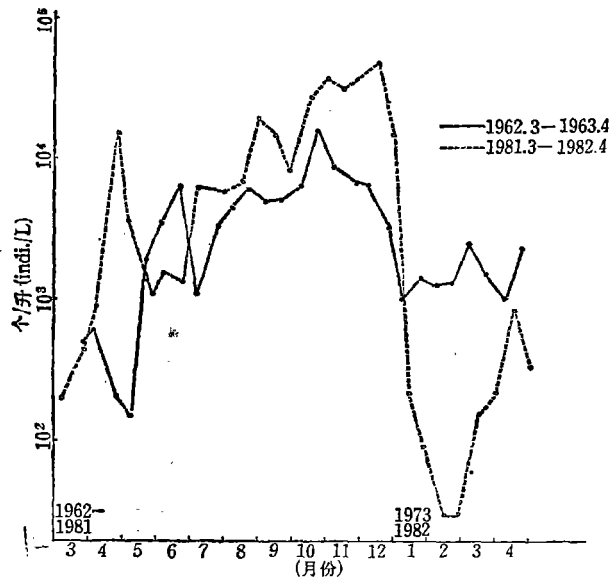


图 2 东湖 II 站原生动物二十年来的年数量变动

Fig. 2 The fluctuation of protozoan number at station II in Lake Donghu in the last twenty years. Unit: ind./L

的 2.4 倍,为年平均量的 3.5 倍。至 80 年代,原生动物的年平均量增加到 9,873 个/升,为 60 年代的 2.3 倍,平均每年增长 294 个/升。第一高峰在春季(4 月下旬),数量达 8,070 个/升。从 7 月份开始,原生动物又逐渐上升,10 至 12 月分出现第二个高峰,最高达 47,820

个/升,为第一高峰的 5.9 倍,占年平均量的 4.8 倍。二十年后,第一高峰(春季)时间略向前提早出现,而第二高峰(秋季)期却延续到初冬,两个高峰的比值也在增大。从同一年代的两个高峰值相比看,80 年代的要比 60 年代的高 2.4 倍。若以 80 年代同 60 年代全年最高峰值相比,为 3.1:1。原生动物这样持续大幅度增长,是与生态环境有关的。

3. 优势种类的演变

二十年来原生动物的种类有了很大的变化,这主要反映在种群结构中占优势的种类有明显的差异(表 2)。先看 60 年代和 80 年代 II 站的纤毛虫类: 60 年代,大弹跳虫的年平均量是 1,064 个/升,占年平均总量的 24.9,是第一优势种,似钟虫是第二优势种,其年平均量和占年平均总量的百分比分别为 816 个/升和 19.1。到 80 年代,大弹跳虫和似钟虫的年平均量分别下降到 846 个/升和 196 个/升,它们的年平均总量的百分比分别下降到 8.5 和 2.0,而矮小侠盗虫和河流筒壳虫的年平均量分别为 1,550 个/升和 982 个/升,它们所占年平均总量的百分比分别为 15.6 和 9.9。肉足虫类在 60 年代尚未发现优势种

表 2 东湖 II 站原生动物二十年来优势种类的演变

Tab. 2 The changes of the dominant protozoa at station II in Lake Donghu in the last twenty years. Unit: ind./L

年 代 Decades	主 要 种 类 dominant species	年平均量 (个/升) average annual number (ind./L)	占年平均总量的 % percentage in average annual total number
60 年代 1960s	大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i> (O. F. Müller)	1,064	24.91
	似钟虫 <i>Vorticella similis</i> Stokes	816	19.11
	河流筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i> Stein	275	17.09
	团脾晚虫 <i>Askenastia volvox</i> Clap. u. L.	245	6.44
	绿急游虫 <i>Strombidium viride</i> Stein	194	5.75
	瓜形膜袋虫 <i>Cyclidium citrullus</i> Cohn	90	4.54
	钟形钟虫 <i>Vorticella campanulla</i> Ehrenberg	55	2.10
	旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i> (Stokes)	40	1.28
	单环栉毛虫 <i>Didinium balbianii</i> Farre-Dom	25	0.93
	双环栉毛虫 <i>Didinium nasutum</i> O. F. Muller	11	0.58
	王氏似筒壳虫 <i>Tintinnopsis wangi</i> Nie	9	0.21
	<i>Pseudodileptus trachelioides</i> (Zacharias)	1.25	0.00029
80 年代 1980s	矮小侠盗虫 <i>Strbilidium humile</i> Penard	1,550	15.69
	河流筒壳虫 <i>Tintinnidium fluviatile</i> Stein	982	9.94
	高奇法帽虫 <i>Phryganella paradoxa</i> var. <i>alta</i> Thomas	953	9.65
	大弹跳虫 <i>Halteria grandinella</i> (O. F. Müller)	846	8.51
	活泼尾毛虫 <i>Urotricha agilis</i> Stokes	307	3.11
	珍珠映毛虫 <i>Cinetochilum margaritaceum</i> Perty	245	2.48
	瓜形膜袋虫 <i>Cyclidium citrullus</i> Cohn	237	2.40
	球形尾毛虫 <i>Urotricha globosa</i> Schewiakoff	234	2.37
	似钟虫 <i>Vorticella similis</i> Stokes	196	1.98
	旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i> (Stokes)	191	1.93
	浮游累枝虫 <i>Epistylis rotans</i> Svec	138	1.39
	毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i> Nitzsch	60	0.60

类,到 80 年代,高奇法帽虫不仅在夏、秋两季经常出现,且每次出现的数量都较多,幅度在 750—13,380 个/升,其年平均量为 953 个/升,居第三位。显然优势种类在演替。

4. 高峰期优势种类组成

我们将 60 年代和 80 年代 II 站的两个主要高峰期的优势种类作一比较。(1)春季高峰期(图 3),80 年代的优势种类重复的种类有 4 种,即似钟虫、大弹跳虫、绿急游虫和旋回

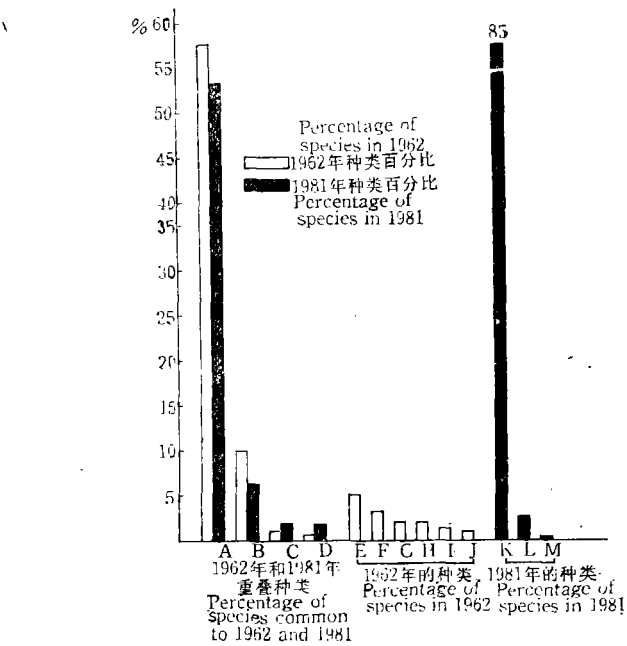


图3 东湖 II 站春季高峰期(1962、1981)原生动物优势种数量的百分比

Fig. 3 The percentage of the dominant species of protozoa at station II in Lake Donghu in the spring peak of 1962 and 1981.

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| A. <i>Vorticella similis</i> | H. <i>Vorticella campanula</i> |
| B. <i>Halteria grandinella</i> | I. <i>Tintinnidium fluviatile</i> |
| C. <i>Strombidium viride</i> | J. <i>Askenasia volvox</i> |
| D. <i>Strombidium gyrans</i> | K. <i>Epistylis rotans</i> |
| E. <i>Sarcodina</i> | L. <i>Vorticella cupifera</i> |
| F. <i>Cyclidium citrullus</i> | M. <i>Strombidium vestitum</i> |
| G. <i>Didinium nasutum</i> | |

侠盗虫。这些重复的种类占高峰期种类总数的百分比均较 60 年代要少。若从第一优势种的数量看,60 年代的似钟虫,它占春季高峰期种类的 58%,80 年代浮游累枝虫是第一优势种,它占春季高峰期种类的 85%。(2)秋季高峰(图 4),80 年代的优势种类重复的有 5 种,即大弹跳虫、似钟虫、河流筒壳虫、瓜形膜袋虫和绿急游虫。前两种是 60 年代的第一和第二优势种,到 80 年代,第一和第二优势种是浮游累枝虫和河流筒壳虫。若从第一优势种的数量看,60 年代的大弹跳虫占秋季高峰期种类的 20%,80 年代的浮游累枝虫占其高峰期种类的 55%。这些可以看出,随着年代的增加,东湖原生动物的优势种类的组成和数量皆发生了变化。现在出现的优势种或者是过去次要的种类形成的,或者是新出

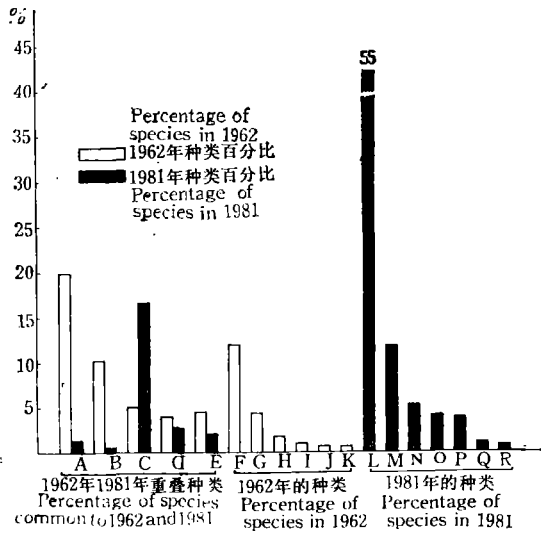


图4 东湖Ⅱ站秋季高峰期(1962,1981)原生动物优势种数量百分比

Fig. 4 The percentage of the dominant species of protozoa at station II in Lake Donghu in the autumnal peak of 1962 and 1981.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| A. <i>Halteria grandinella</i> | J. <i>Didinium nasutum</i> |
| B. <i>Vorticella similis</i> | K. <i>Didinium balbianii</i> |
| C. <i>Tintinnidium fluvianile</i> | L. <i>Epistylis rotans</i> |
| D. <i>Cyclidium citrullus</i> | M. <i>Phryganella paradoxa</i> var. <i>alba</i> |
| E. <i>Strombidium viride</i> | N. <i>Urotricha agilis</i> |
| F. <i>Vaginicola ingenita</i> | O. <i>Cinetochium margaritaceum</i> |
| G. <i>Askenasia volvox</i> | P. <i>Urotricha globosa</i> |
| H. <i>Vorticella campanula</i> | Q. <i>Vorticella cupifera</i> |
| I. <i>Tintinnopsis wangi</i> | R. <i>Coleps hirtus</i> |

现的种类,过去曾经占优势的种类现在降到比较次要的位置(表2)。不论春季或秋季高峰期,主要优势种类,尤其是第一优势种类的数量占高峰期种数数量的百分比均较过去高,如秋季高峰期的浮游累枝虫比60年代增加了35%。

东湖的富营养化问题

东湖位于武汉市近郊,对城市饮水、发展旅游和养殖业都占有很重要的位置,研究和防治湖泊的污染正引起浮游生物工作者的注意。饶钦止等^[9]从浮游藻类的群落演变探讨了东湖从50年代到70年代的富营养化过程。用原生动物来监测和评价水质的研究在我国已经开展。沈韞芬等^[2,4]从东湖湖水、湖泥以及水草上的周丛原生动物的数量变化讨论了东湖的污染问题。沈韞芬等^[3]和阮惠扳等^[1]还对原生动物在污水河流中的自净效能和污染监测进行了研究。Burbanck等(1967)和Cairns等(1973)^[11,12]用人工基质上着生的原生动物来研究水体的污染和进行监测,这种方法我国已在运用,并取得很好的效果^[9]。关于原生动物纤毛虫种群在富营养性湖泊中的时空分布最近Finlay(1980)和Bark(1981)已有报道^[10,13]。我们以东湖不同年代的原生动物的种群、数量的变化进行比较,分析其主要环境因素同原生动物之间的关系,将有助于认识东湖受有机物污染的现状和发

展的过程。

(一) 原生动物与营养物质的积累

O' Brien 等(1974)^[15]指出,水体中的无机氮和无机磷浓度的增加会导致浮游动、植物密度的增加。根据对东湖氮、磷的测定^[6],氮、磷的输入超过输出,每年有 323.2t 氮和 67.7t 磷储积在湖中。如正磷酸盐在 1956—1957 年,其年均量为 0.008 毫克/升,1979 年增加到 0.024 毫克/升。从湖中心区(II 站)看,1973 年到 1981 年,每年的 5—10 月份的总氮和正磷酸盐的平均量是在逐年增加的,1981 年磷的含量为 1977 年的 2 倍,为 1973 年的 13.3 倍,氮为 1977 年的 1.5 倍,为 1973 年的 1.8 倍。与此同时,II 站的原生动物的数量也在增加(图 5),其年平均量 1979 年为 1962 年的 1.6 倍,1981 年为 1962 年的 2.3 倍。原生动

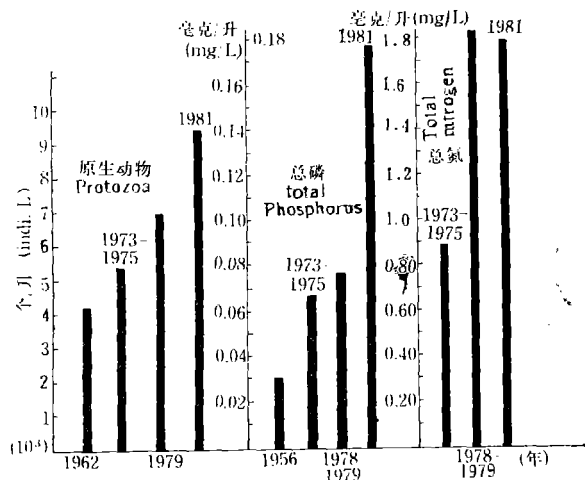


图 5 东湖 II 站原生动物与东湖总氮及总磷的历年平均值

Fig. 5 Average number of protozoa at station II in Lake Donghu, comparing with average content of total nitrogen and total phosphorus.

物与氮、磷物质的正相关的关系,可以从营养物质的增加促进了水质肥沃,给原生动物提供了良好的饵料基础来说明。林婉莲^[8]对东湖的浮游动物的碳、氮、磷作过测定,发现原生动物的碳、氮、磷所占的百分比均较其它浮游动物高。所以东湖氮、磷等营养物质的积累,对原生动物的代谢、生长和繁殖是很起作用的一个因素。

(二) 原生动物与饵料生物

原生动物的生长与分布同温度、食物是密切相关的。Lackey (1938)^[14]认为季节(光和温度)变化对原生动物有一定的影响,但天然食物是一个重要因素,它对一定的种类还起着限制的作用,他指出卵形金藻(*Chromulina ovalis* Klebs)的存在对旋回侠盗虫是很重要的,它贪食这种小的藻类。旋回侠盗虫无论在 60 年代和 80 年代,它在东湖全年均有出现,是优势种之一。但它所贪食的藻类在东湖的生长情况,我们未进行专门分析。原生动物是以藻类,细菌以及分解的有机碎屑微粒为食的。那末东湖的藻类以及细菌的生长

表 3 东湖湖水质量在不同年代的变化

Tab. 3 The changes of water quality in Lake Donghu in different decades.

年代 Decades	60 年代 1960 s	70 年代 1970 s		80 年代 1980 s	站 别 Station
氨氮(毫克/升) $\text{NH}_4\text{-N}(\text{mg/L})$ (年平均) (annual average)	0.036 (1963)	0.180 (1973—1975)	0.236 (1978—1974)		I,(IV),II
总氮(毫克/升) Total Nitrogen (mg/L) (年平均) (annual average)		0.88 (1973—1975)	1.83 (1978—1979)	1.79 (1981)	I,(IV),II
无机磷(毫克/升) $\text{Po}_4^{3-}\text{-P}(\text{mg/L})$ (年平均) (annual average)	0.0045 (1963)	0.004—0.037 (1973—1974)	0.024 (1978—1979)		I,(IV),II
总磷(毫克/升) Total Phosphorus (mg/L) (年平均) (annual average)		0.067 (1973—1975)	0.078 (1978—1979)	0.176 (1981)	I,(IV),II
透明度(厘米) Secchi Disc (cm) (年平均) (annual average)	200 (1962—1963)	180—190 (1973—1977)		124 (1981)	II
水细菌(个/毫升) Bacteria (ind/ml) (年平均) (annual average)	232 (1962—1963)	447 (1973—1974)	972 (1975)	51,548 (1982)	II
	691 (1962—1963)			15,495 (1981)	I(IV)
	232 (1962—1963)			8.947 (1981)	II

情况如何? II 站的藻类 70 年代比 60 年代增长了 4.1 倍,年平均量超过 1,000 个/毫升, I(IV) 站增加了 4.4 倍,年平均量最高达 9,000 个/毫升。细菌在 60 年代的 I(IV)、II 两站年平均量分别为 691 个/毫升和 232 个/毫升,1981 年分别增长到 15,495 个/毫升和 8,947 个/毫升(表 3)。Pedrós-Alio^[6] (1983) 在调查富营养湖泊中的浮游动物与细菌的关系时指出,浮游动物一年摄食的细菌只占水中细菌产量的 1—10%,细菌的产量比被摄食的数量高得多,这在东湖也有同样的反映,以 II 站为例,二十年来,原生动物的数量增长了 2.4 倍,而细菌则增长了 38.5 倍。根据对 II、(IV) 站颗粒有机碎屑的测定^[7],1980 分别年为 18,125、72,505 立方丝米/升,II 站的颗粒有机碎屑现存量的周年变动同 1981 年该站的原生动物数量变动规律是相一致的。藻类和细菌的急剧繁殖,一方面促进了原生动物的生长繁殖,同时也加速了湖水营养物质一系列的理化反应过程,这是造成东湖水质肥沃和恶化的一种表现(表 3)。

(三) 原生动物的种、量关系

东湖原生动物种类和数量之间的关系变化是大的(表 4)。我们将 60 年代的 II、III 和 I(IV) 站同 80 年代的 II 站作一比较,可以看出 II 站的原生动物的种类增加不多,但其数量的增长是十分快的。根据 60 年代在生活污水严重干扰的东湖茶叶港 (III 站)的调查,

表 4 东湖二十年来几个站的原生动物多样性指数的变化

Tab. 4 The changes of diversity index of protozoa at the same stations in Lake Donghu in the last twenty years.

年 代 Decades	60 年代 1960 s			80 年代 1980 s
站别 Station	I(IV)	III	II	II
出现种类数 Number of species	89	75	72	89
年平均总量(个/升) Total annual average (ind./L)	5,497	14,326	4,270	9,873
多样性指数 $\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)$ Diversity indx $\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)$	1.20	0.62	1.10	0.89

S: Number of species in sample.
N: Number of individuals sample.

原生动物的年平均量多达 14,266 个/升,与同时代相比,是湖中心区 (II 站)的 2.3 倍,与 80 年代相比,是 II 站的 1.4 倍。60 年代的原生动物多样性指数是 I(IV) > II > III,II 站与 III 站的多样性指数之差为 0.48,到 80 年代,II 站的多样性指数从 1.10 下降到 0.89,与 60 年代的 III 站的差值在明显地减小。这说明东湖的富营养化在继续增强,以至从湖湾向湖中区过渡和发展。如果不进行有效的治理,如堵截污水,合理开发养殖等,可以预料东湖的原生动物在各种环境因素的压迫下,其数量会继续增长,而种类会进一步减少,降低其群落结构的复合性。因此对东湖原生动物作进一步的观察,对评价东湖的富营养化很有参考价值,对于监测和预报湖泊的富营养化是有意义的。

参 考 文 献

[1] 阮惠扳、赵汝农、黎康汉,1983。用周丛原生动物评价珠江广州河段的污染程度。暨南理医学报,(2): 95—104。

[2] 沈韞芬、顾曼如,1965。武昌东湖原生动物生态初步研究。水生生物学集刊,5(2): 146—181。

[3] 沈韞芬、蒋燮治,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—173。

[4] 沈韞芬,1980。武汉东湖周丛原生动物生态,水生生物学集刊,7(1): 19—40。

[5] 沈韞芬、龚循矩、顾曼如,1985。用 PFU 原生动物群落进行生物监测的研究。水生生物学报 9(4): 299—308。

[6] 张水元、刘衢霞、黄耀桐,1984。武汉东湖营养物质氮、磷的主要来源。海洋与湖沼,15(3): 203—213。

[7] 林婉莲、刘鑫洲,1984。武汉东湖颗粒有机碎屑现存量的测定。水生生物学集刊,8(3): 323—330。

[8] 林婉莲、刘鑫洲,1985。武汉东湖优势浮游动物元素含量分析。水生生物学报,9(3): 258—263。

[9] 饶钦止、章宗涉,1980。武汉东湖浮游植物的演变(1956—1975)和富营养化问题。水生生物学集刊,7(1): 1—16。

[10] Bark, A. W., 1981. The temporal and spatial distribution of planktonic and benthic protozoan communities in a small productive lake. *Hydrobiol.*, 85(3): 239—255.

[11] Burbank, 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.

[12] Cairns, J. Jr., Yongue, W. H. Jr. and H. Jr. Boatin, 1973. The protozoan colonization of polyurethane foam units anchored in the benthic area of Douglas Lake, Michigan. *Trans. Amer. Micros. Soc.*, 92(4): 648—656.

[13] Finlay, B. J., 1980. Temporal and vertical distribution of the ciliophoran communities in the benthos of

- a small eutrophic loch with particular reference to the redox profile. *Freshwat. Biol.*, **10**: 15—34.
- [14] Lackey, J. B., 1938. A study of some ecologic factors affecting the distribution of protozoa. *Ecol. Monogr.*, **8**(4): 503—527.
- [15] O'Brien, W. J. & F. deNoyelles, 1974. Relationship between nutrient concentration, phytoplankton density, and zooplankton density in nutrient enriched experimental ponds. *Hydrobiologia*, **44**(1): 125—129.
- [16] Pedros-Alio, C. & T. D. Brock, 1983. The impact of zooplankton feeding on the epilimnetic bacteria of a eutrophic lake. *Freshwat. Biol.*, **13**: 227—239.

THE DEVELOPMENT OF EUTROPHICATION IN LAKE DONGHU, WUHAN, DURING THE LAST TWO DECADES BASED ON THE INVESTIGATION OF PROTOZOAN CHANGES

Gong Xunju

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

Abstract

Quantitative protozoan samples were taken monthly by the author at station II in Lake Donghu, Wuhan, from March 1981 to April 1982. Results including species composition, seasonal variations and diversity index were compared with those from the same station of this Lake in 1962. The average density of the Protozoa increased annually by 294 individuals per liter. Thus, the protozoan density has increased *ca.* 2.3 times at station II since 1962, and such increase was found to have a close correlation with the increase of algae and bacteria. With reference to the pattern of seasonal fluctuation of the Protozoa, two annual peaks, one in spring and the other in autumn, as that in 1962 were still observed. However, in 1982, the spring peak occurred earlier and the autumn one lasted longer. Moreover, peaks were much higher than previous decades and the species composition and the dominant species were entirely changed.

From the above-mentioned changes and the analysis of diversity indices, the author is of the opinion that the eutrophication of Lake Donghu is still developing around station II and showing an expanding tendency toward the area of open water.

Key words Diversity index, eutrophication, seasonal fluctuation, annual peak, density