

澄湖浮游藻类的周年变化*

周万平

(中科院南京地理与湖泊研究所)

金颖英 黄玉芹 刘晟 陈慧勤

(浙江水产学院 83 届毕业生)

提要 澄湖隶属苏州市, 面积为 45km², 平均水深 1.83m, 湖内水生维管束植物甚少, 主要放养的鱼类有鲢、鳙等。

浮游藻类计 7 门 94 属, 主要的优势种有铜色微胞藻、颗粒直链藻、四尾栅列藻等。数量和生物量的季节变化均以春季最高、秋季最低。但前者以夏季次之, 而后者以冬季为次之。

最后就澄湖浮游藻类秋季低产的原因及对该湖鱼产潜力进行了讨论。

浮游藻类是湖泊生态系统中的初级生产者, 其数量和生物量的多少又与环境条件等密切相关, 现在一些池塘、湖泊的养殖往往依照浮游藻类的数量和初级生产力等确定合理放养密度和鲢、鳙比例。

有关澄湖浮游藻类的调查研究工作甚少, 这次周年调查主要有水生生物、初级生产力及水化学等, 本文根据浮游藻类的现状及 1982 至 1983 年季节变化等方面的资料整理而成, 主要为该湖渔业的合理开发和利用提供数据。

一、澄湖概况

澄湖位于太湖之东, 淀山湖之西北, 形态略呈三角形, 湖面西北略高于东南, 面积为 45km², 长度为 10.4km, 最大宽度为 6.8km, 平均水深为 1.83m, 湖区四周均为农田, 湖内水生维管束植物很少, 主要放养的鱼类有鲢、鳙等。

澄湖的理化状况依调查时所测资料统计如表 1。

二、工作方法

湖面共设 19 个测点, 其分布如图 1 所示, 采集在每月上旬与水化学、浮游动物等同步进行。

定性标本用 25 号浮游生物网捞取, 加甲醛固定; 定量水样取 1000ml 用碘液固定, 沉淀 24 小时后浓缩成 30ml, 摇匀取 0.1ml, 用计数框以视野法按藻类各门分属的细胞个

* 参加野外采集工作的还有陈伟民、郭晓鸣等。图由陈开宁清绘。本文得到颜京松研究员、张玉书副研究员等帮助, 谨致谢意。

表 1 澄湖主要理化状况表

Tab.1 Major physico-chemical features of Chenghu Lake

项 目	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	透明度 (cm)	水色	pH	溶解氧 (mg/L)	NH_4^+ (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	PO_4^{3-} (mg/L)
变化幅度	4.4—	24.5—	13—	7.8—	6.30—	0.10—	0.34—	0.03—
	30.3	105.8	15	8.9	11.82	1.03	2.48	0.13
周年均数	17.7	54.3	14	8.1	9.03	0.41	1.22	0.07



图 1 澄湖浮游藻类测点图

Fig.1 Sampling stations in Chenghu Lake

数计数, 然后换算成每升水的数量, 又以各属浮游藻类的细胞体积大小再换算成每升水的生物量。

三、结 果

1. 种类组成

据浮游藻类水样鉴定结果, 计有 7 门 94 属, 其中隶属蓝藻门 17 属, 隐藻门 2 属, 甲藻门 3 属, 金藻门 2 属, 硅藻门 16 属, 裸藻门 5 属, 绿藻门 49 属。按其属种出现的频率及数量又分为常见属和优势属种, 其中常见属在某些月份中为优势属, 如蓝藻门中的颤藻、硅藻门中的直链藻、小环藻等; 有些藻类虽常年出现, 但并不形成优势的属种, 如蓝藻门中的蓝球藻 *Chroococcus*, 硅藻门中的针杆藻 *Synedra*、舟形藻 *Navicula*, 裸藻门中的裸藻 *Euglena*、壳虫藻 *Trachelomonas* 和绿藻门中的衣藻 *Chlamydomonas* 等; 另有一些种类虽不属常见, 如蓝藻门中的微胞藻、项圈藻等, 但在一些月份中其数量却较多。

澄湖的主要优势属、种如下:

蓝藻门:

项圈藻 *Anabaena*

索丝项圈藻 *A. aphanizomenoides*

微胞藻 *Microcystis*

铜色微胞藻 *M. aeruginosa*

平裂藻 *Merismopedia*

银灰平裂藻 *M. glauca*

优美平裂藻 *M. elegans*

颤藻 *Oscillatoria*

浮游颤藻 *O. planctonica*

隐藻门:

隐藻 *Cryptomonas*

卵形隐藻 *C. ovata*

啮蚀隐藻 *C. erosa*

金藻门:

锥囊藻 *Dinobryon*

密集锥囊藻 *D. sertularia*

硅藻门:

直链藻 *Melosira*

颗粒直链藻 *M. granulata*

变异直链藻 *M. varians*

小环藻 *Cyclotella*

梅尼小环藻 *C. meneghiniana*

广缘小环藻 *C. bodanica*

绿藻门

小球藻 *Chlorella*

小球藻 *C. vulgaris*

蛋白核小球藻 *C. pyrenoidosa*

栅列藻 *Scenedesmus*

四尾栅列藻 *S. quadricauda*

网球藻 *Dictyosphaerium*

美丽网球藻 *D. pulchellum*

2. 数量及其变动情况

澄湖浮游藻类的数量以蓝藻为主，其次为绿藻和硅藻。它们的年平均数量为：692.936 万个 / L、317.553 万个 / L、258.873 万个 / L，分别占全部藻类年平均数的 50.61%、23.19%、18.91%。其他各门类的藻类数量均很低，尤其是裸藻和甲藻的数量总计还不到 1%（见表 2）。

表 2 各种浮游藻类的数量组成 (万个 / L)

Tab.2 abundance of phytoplankton

藻 门 项 目	蓝 藻	隐 藻	甲 藻	金 藻	硅 藻	裸 藻	绿 藻	总 计
年平均数	692.936	81.017	0.076	15.044	258.873	3.671	317.553	1369.170
百分数 (%)	50.61	5.91	0.01	1.10	18.91	0.27	23.19	100.00

浮游藻类的数量季节变化以春季为最高，达 2036.511 万个 / L；夏季次之，为 1865.558 万个 / L；冬季再次之，为 1224.692 万个 / L；秋季最低，仅 175.991 万个 / L。

经 t 检验，夏季与冬季，春季与冬季数量上差异非常显著，而春季与夏季差异为显著

(见表 3)。

表 3 浮游藻类数量季节变化

Tab.3 Seasonal change of abundance of phytoplankton

季节 \ 项目	样本数	均 数	t 检验值	p
春 (3-5月)	57	2036.511 ± 263.133	春与夏 t = 2.11	< 0.05
夏 (6-8月)	56	1865.558 ± 548.296	夏与冬 t = 3.46	< 0.01
秋 (9-11月)	55	175.991 ± 54.129	冬与春 t = 20.45	< 0.01
冬 (12-2月)	57	1724.692 ± 143.209		

$$t(0.05) = 1.96, t(0.01) = 2.576$$

从一年浮游藻类数量逐月波动的情况可看出 (见图 2), 全年有四个波峰, 波峰之一出现在夏季 6 月, 主要是蓝藻中的微胞藻大量繁殖所致, 虽该时硅藻、绿藻数量亦较多, 但由于 7、8 月的藻类数量较低, 故整个夏季的数量较春季的数量明显减少; 波峰之二出现在 4 月, 亦为蓝藻迅速增多之故, 加上硅、绿、隐藻的数量亦很高, 这就使春季数量为全年最高; 波峰之三在冬季 2 月, 主要是硅、绿藻数量很高所致, 其中尤以直链藻、小环藻、小球藻等较多; 波峰之四出现在秋季 9 月, 这时虽有较多的蓝藻, 但其数量不及夏季的 1/10, 同时此季中的各门藻类数量均为一年中最低, 如硅藻不到夏季的 1/40, 绿藻约为夏季的 1/30, 从而使秋季藻类数量为最低产季节。

3. 生物量季节变化

澄湖浮游藻类生物量的季节变化以春季最高, 其次为冬季, 夏季第三、秋季最低, 它们分别为 13.255mg/L、10.807mg/L、3.932mg/L、1.074mg/L。经 t 检验得出, 四季生物量彼此差异均极显著 (表 4)。

表 4 浮游藻类生物量的季节变化

Tab.4 Seasonal change of biomass of phytoplankton

季节 \ 项目	样本数	均 数	t 检验值	p
春	57	13.255 ± 1.121	春与冬 t = 11.13	< 0.01
夏	56	3.932 ± 0.681	夏与秋 t = 29.77	< 0.01
秋	55	1.074 ± 0.248	秋与冬 t = 56.58	< 0.01
冬	57	10.807 ± 1.249		

$$t(0.05) = 1.96, t(0.01) = 2.576$$

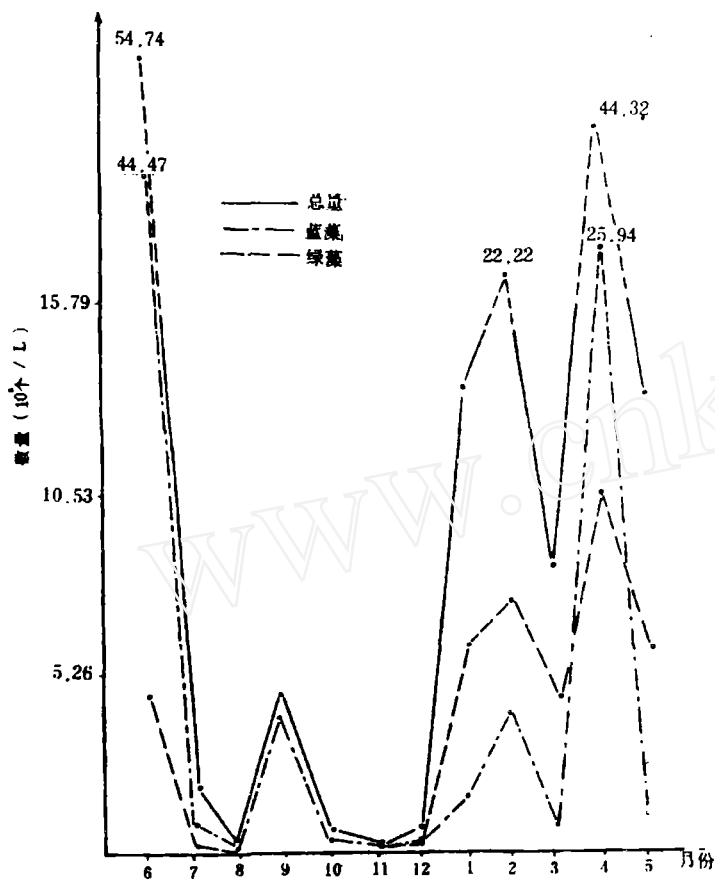


图 2 浮游藻类数量逐月变动情况

Fig.2 Annual change of phytoplankton cells

生物量与数量的季节变化相比，不同之处就是夏季生物量低于冬季，数量则反之。原因是由于造成夏季高产的蓝藻均属小型藻类，虽其细胞个数大量增加，但其生物量却不高；冬季出现的主要藻类为较大型的硅藻和绿藻，而隐藻的数量在冬季几乎是夏季的一倍，它的数量虽不多，但因细胞体积大而导致了生物量的增高，因而各门藻类的生物量所占比例也相应发生变化。在藻类数量中所占数量不多的隐藻门，其生物量却为最高，占全年藻类均数的 42.16%；硅藻门居二，占 33.05%；绿藻门第三，占 17.56%；而占藻类数量之冠的蓝藻门则退居第四位，仅占 3.22% (见表 5)。

4. 大、小澄湖浮游藻类数量的比较

小澄湖为大澄湖西南部的一个湖湾，面积 11.2km²，受风浪影响较小，环境相对稳定，透明度较大，并有大量的沉水植物——苦草等。虽然出现的藻类种类与大澄湖相似，但藻类的数量上有差别，尤其是蓝、硅藻两门藻类的相对比例。

小澄湖为大澄湖西南部的一个湖湾，面积 11.2km²，受风浪影响较小，环境相对稳定，透明度较大，并有大量的沉水植物——苦草等。虽然出现的藻类种类与大澄湖相似，但藻类的数量上有差别，尤其是蓝、硅藻两门藻类的相对比例。

表 5 浮游藻类生物量组成

Tab.5 Biomass component of phycoplankton

项目 \ 藻门	蓝藻	隐藻	甲藻	金藻	硅藻	裸藻	绿藻	总计
年平均数	0.24	3.141	0.013	0.139	2.462	0.147	1.308	7.450
百分数(%)	3.22	42.16	0.17	1.87	33.05	1.97	17.56	100.00

经 t 检验证明，大、小澄湖中蓝藻门的数量差异极显著，大澄湖数量很高，小澄湖为

低, 它们相对比例差异亦极显著; 硅藻门数量差异不显著, 相对比例的差异极显著; 绿藻门的数量差异及其相对比例差异均不显著 (表 6)。

表 6 大、小澄湖主要藻类数量上的比较

Tab.6 The abundance comparison between the main waterbody and the bay of Chenghu lake

藻门	项目		样本数	均 数	t 检 验值	p
	数量、 比例	湖名				
蓝藻	绝对 数量 (万个/L)	大	168	816.38 ± 175.17	19.07	<0.01
		小	57	339.66 ± 121.03		
蓝藻	相对 比例 (%)	大	166	41.38 ± 2.61	14.92	<0.01
		小	57	34.82 ± 3.56		
硅藻	绝对 数量 (万个/L)	大	168	260.56 ± 39.64	1.22	
		小	57	268.496 ± 49.656		
硅藻	相对 比例 (%)	大	166	22.55 ± 1.83	26.19	<0.01
		小	57	29.15 ± 2.33		
绿藻	绝对 数量 (万个/L)	大	168	327.27 ± 31.599	0.056	
		小	57	327.621 ± 59.808		
绿藻	相对 比例 (%)	大	166	35.83 ± 1.91	0.626	
		小	57	36.04 ± 2.80		

$$t(0.05) = 1.96, t(0.01) = 2.576$$

上述情况表明, 不同的水域环境条件对藻类的生长、繁殖影响很大, 小澄湖水草较多, 蓝藻数量低, 硅藻数量相对较高; 相反, 无水草或少水草的大澄湖, 蓝藻数量很多, 而硅藻数量相对较少。这种现象在江苏的其它湖泊 (如太湖、溇湖、骆马湖等) 亦有出现 (详见表 7)。

从表 7 看出, 水草对藻类数量影响颇大。据有关文献报道, 多种水草排出的某种分泌物, 有抑制蓝藻生长繁殖的作用, 加之水草的生长还与藻类争夺水体中的营养盐, 如大澄湖中的 NH_4^+-N 为 0.48mg/L , NO_3^--N 为 1.08mg/L , 而小澄湖分别为 0.46mg/L 和 0.98mg/L , 又如 1981 年东太湖观测到, 有水草分布的湖区, 水体中含氮量夏季为 0.46mg/L , 秋季为 0.45mg/L , 无水草生长的湖区分别为 1.24mg/L 和 1.17mg/L 。所以水体中含氮量的多少也直接关系到蓝藻数量的高低。同时, 有水草尤其是有挺水植物的湖区, 光照强度亦受到影响, 这对喜较高温和较强光照的蓝藻生长繁殖亦是不利的。

表 7 水草与藻类的关系

单位: (个/L)

Tab.7 Relation between of aquatic plants and alga

时间 湖名 数量及% 藻门	1960年6-8月				1976年8月				1976年7月			
	东太湖 (水草区)		西太湖 (开敞区)		骆马湖 (水草区)		骆马湖 (开敞区)		漉湖 (水草区)		漉湖 (开敞区)	
	蓝藻	778	9.88	21407	96.60	19600	36.51	32000	65.47	875	1.90	69750
硅藻	5663	71.88	179	<1.00	11100	20.68	2375	4.86	31500	68.48	5250	6.68
绿藻	1396	17.72	500	2.26	2000	3.73	500	1.02	11250	24.46	1375	1.75

四、讨 论

1. 澄湖鱼产潜力估算

澄湖浮游藻类的数量还是较多的, 其中蓝藻约占藻类总数的 51%, 绿藻和硅藻分别约占 23% 和 19%, 隐藻约占 6%。

生物量的高低不仅决定于藻类数量的多少, 还与藻类细胞体积大小密切相关, 据换算的结果, 澄湖浮游藻类的生物量则以隐藻为最高, 约占 42%, 硅藻和绿藻分别占 33% 和 18%, 蓝藻门仅占约 3%。

硅藻和隐藻等为鱼类的优质饵料, 易被鱼类消化且利用率高, 长期被认为鱼类不易消化甚至有害的蓝藻^[2], 现已证实, 它们中的某些种类不仅可被鱼类消化, 且有很高的饵料价值^[1, 3, 4]; 蓝藻中含有蛋白质(23-87%), 类脂化合物(3-7%), 碳水化合物(4-62%), 维生素(维生素 B₂, 抗坏血酸, 类胡萝卜素), 微量元素和多种氨基酸等^[3]。

澄湖是以放养鲢、鳙鱼为主的湖泊, 每亩的鱼产量为 8.5-10kg, 每年每尾鱼种平均净增 0.5kg 左右, 鱼体肥满、生长发育良好。

鲢、鳙鱼以浮游生物为主要食物, 而水体中浮游生物, 尤其是浮游藻类的现存量与生产量是衡量水体生产力的主要标志, 根据浮游生物的特点来合理放养鲢、鳙鱼, 又是实现稳定、高产的重要方面。为此, 首先必须根据其年平均生物量、平均水深、放养面积等估算出浮游藻类的年产量。澄湖的 P/B 系数为 200, 以利用率为 40%, 饵料系数^①为 45 来计算该湖中鲢、鳙鱼生产潜力, 即:

$$\begin{aligned} \text{鱼产潜力} &= \frac{\text{浮游藻类生产量} \times \text{饵料利用率}}{\text{饵料系数}} \\ &= \frac{1788 \times 0.4}{45} = 238.5 \text{kg} / \text{ha} \end{aligned}$$

近年来澄湖鱼产量每亩为 8.5-10kg, 其中鲢、鳙鱼的产量约占 70%, 即每亩鲢、鳙鱼的产量只有 6-7kg。根据上述估算的结果, 澄湖的鱼产量每亩可达 15.9kg, 若以该湖养殖面积为 60690 亩计, 则全年可产鲢、鳙鱼约 965t, 而现有产量仅 360-425t, 这就是说, 澄湖鱼生产潜力还是很大的。

2. 澄湖浮游藻类秋季低产的原因

长江中、下游地区湖泊中藻类的数量, 按常规是以春季为高峰, 次高峰出现在夏、秋

①上述的利用率, P/B 系数, 饵料系数等参数均是参照与之相似的湖泊资料。

两季, 冬季为最低值。1974 年 12 月至 1975 年 11 月, 我们在成子湖 (洪泽湖的一个湖湾) 进行浮游藻类定点连续观测, 结果其数量即以春季最高, 夏季次之, 秋季再次之, 冬季最低^①。但从其他有关资料中得出的结果并非完全如此, 如中国科学院水生生物研究所 1950 年 12 月至 1951 年 11 月, 在五里湖 (太湖的一个湖湾) 观测分析结果, 浮游藻类的数量以春季最多, 冬季第二, 夏季第三、秋季最少^[5]。另从 1980 年 5 月至 1981 年 4 月, 我们在东太湖 (太湖的又一个湖湾) 调查结果, 浮游藻类的数量虽仍以春季为高峰, 但次高峰却为冬季, 夏季为最低产^②。从上看出, 这些湖泊中浮游藻类的数量季节变化特点: 都以春季为高峰, 但低产季节各不一致, 有冬季、夏季和秋季。

根据资料所述, 浮游藻类高低产季节出现不一的原因是多方面的。诸如湖泊当时的水深、水体循环、水温、采样时的天气情况、水体中营养盐含量的高低, 水生生物数量的多少及浮游藻类的种类尤其是优势种类的组成等, 无不影响到藻类数量的变化。

长江中、下游的湖泊, 平均水深在 3m 左右, 除特殊情况 (冰冻) 外, 水体常年保持循环现象, 水温也往往受气温的骤冷、陡热, 刮风下雨等反常现象的影响而变化, 从而引起湖水的物理性质和化学性质的变化, 浮游藻类数量也就会出现不规则的现象。澄湖浮游藻类低产的原因主要是:

(1) 澄湖属浅水型湖泊, 平均水深只有 1.83m, 一年中湖水的表层和底层温度基本上是一致的, 有时温差也仅是 0.5℃ 左右, 水体终年循环, 无停滞时期, 水体中的营养盐分布也较均匀, 这对夏季高温和冬季低温的藻类生长繁殖都是有利的, 所以低产季节不一定出现在夏、冬两季。

(2) 澄湖秋季采样时的水温平均为 23℃, 最低为 18.6℃, 水体中营养盐的含量 (NH_4^+ 为 0.27mg/L, NO_3^- 为 1.23mg/L, PO_4^{3-} 为 0.082mg/L) 也较丰富, 但水温较夏季 (平均为 28℃, 最高达到 30℃ 以上) 为低, 这对喜高温的蓝藻生长繁殖受到一定的影响, 尤其是蓝藻中的优势种微胞藻数量大大减少, 已不成优势, 取而代之的只是数量稍多的蓝球藻, 而蓝球藻的数量远较微胞藻的数量为少, 故蓝藻秋季的数量只有夏季的 1/10。另外, 当时的温度对适宜于低温的硅藻显得又偏高, 即不利于硅藻的大量繁殖, 其产量也很低。由于这两类藻类尤其是蓝藻数量大幅度下降, 故秋季产量就低。

(3) 从澄湖浮游动物分析的资料看出, 秋季为挠足类的高产季节, 轮虫的数量也较多, 势必增加对浮游藻类的摄食量, 所以浮游藻类的数量受到了影响, 同时澄湖放养了大量的鲢、鳙鱼, 而 9-10 月份亦为鱼类生长较旺盛的时期, 随着鱼体的增大, 消耗浮游藻类的数量亦增多, 使秋季浮游藻类的现存量减少, 这也是造成秋季低产的原因之一。

参 考 文 献

【1】石志中等, 白鲢鱼种对螺旋鱼腥藻摄食量和利用率的研究, 水生生物学集刊, 6 (1), 科学出版社, 1976 年。

【2】高宗志, 湖鲢对养殖鱼类的危害及其治疗方法的讨论, 学艺月刊, 1957 年第 5 期。

①周万平, 成子湖浮游藻类定点连续观测。(手稿), 1976 年。

②周万平、徐志俊, 东太湖浮游藻类的种类及季节变化, 1982 年。

- 【3】Тарасова O.M., 张孝刚译, 论白鲢摄食蓝藻问题, 国外水产, 1984 年第 1 期。
【4】Вольк П.С. 仇潜如等译, 蓝绿藻对鲢鱼生长作用的研究, 淡水渔业, 1979 年第 3 期。
【5】饶钦止, 五里湖 1951 年湖泊学调查 (浮游植物), 水生生物学集刊, 科学出版社, 1962 年第 1 集。

ANNUAL CHANGE OF PHYTOPLANKTON IN CHENGHU LAKE

Zhou Wanping

(Nanjing Institute of Geography and Limnology Academia Sinica)

Jin Yingying Huang Yuqin Liu Sheng Chen Huiqin

(Zhejiang Fisheries College)

Abstract

Chenghu Lake belongs to the city of Suzhou with an area of 45 km² and an average depth of 1.83 m. There are very few aquatic plants in Chenghu Lake and the principal cultural fishes are silver carp and big head carp.

All of the samples were collected from the stations in Chenghu Lake, 94 genera of phytoplankton were identified. The dominant species are *Microcystis aeruginosa*, *Melosira granulata*, *Scenedesmus quadricauda*.

The total number of the phytoplankton varies with the seasons. There are 20365110 cell/L, 18655580 cell/L, 1759910 cell/L, 12246920 cell/L in spring, summer, autumn and winter separately.

The biomass of the phytoplankton varies with the seasons too. There are 13.255 mg/L, 3.932 mg/L, 1.074 mg/L and 10.807 mg/L in spring, summer, autumn and winter separately.

The potential development of fishery in Chenghu Lake was discussed.