

以浮游植物评价巢湖水质污染及富营养化*

蒙仁宪 刘贞秋

(安徽大学生物系, 合肥)

提 要

对巢湖浮游植物在22个样点,四季采样,进行了种类组成、种群数量、优势种、污染指示种、多样性指数及硅藻指数等群落生态学的初步研究。选用其中种群数量、优势种、污染指示种、硅藻指数对巢湖水质污染及营养水平进行了总评与分区评价。

就巢湖总体而论,藻量年均值达 111×10^6 个/升(细胞数,或个体数为 14.7×10^6 个/升),硅藻指数96.7,群落组成种类中,污染指示种占64.2%,除冬季外,各样点多以微囊藻、鱼腥藻为主的蓝藻占优势,其分布频度年平均达98.8%,多度年平均达79.7%,而在夏、秋季,两者则分别为100和99.7%,表明巢湖已受到中等程度的污染,属蓝藻型富营养湖泊;与过去巢湖浮游植物的调查资料对比,表明最近几年来,人为富营养化进程在加速。

关键词 巢湖, 浮游植物, 富营养化

巢湖位于安徽省中部,省会合肥市东南约15公里处,面积800平方公里,为我国五大淡水湖之一。该湖为人工调控的半封闭式湖泊,有南淝河、派河、丰乐河等多条河流入湖,而以巢湖闸经裕溪河与长江相通。流域包括合肥、巢县等七个市、县;近年来,随着工农业生产的迅速发展,城镇人口的增加,大量工业废水、生活污水排放入湖,加之地面径流、周围农田化肥的流失等,使湖水的营养盐类和有机质大为增加,引起自养型的浮游植物大量繁殖,表明人为富营养化的进程正在加快。

以浮游藻类作为生物监测、评价水质污染和营养水平的重要指标,国内外均已广泛采用并卓有成效。巢湖水生维管束植物极度贫乏,浮游藻类乃是最主要的初级生产者,因而成为环境营养状况最直接的反映者,对其进行个体或群落生态学方面的研究,并以之评价巢湖水质有机污染和富营养化程度,更具显而易见的价值。

作者于1984年对巢湖浮游植物进行了四季定点观察与采样测定,并试以群落种群数量、优势种、污染指示种、硅藻指数等项指标,对巢湖水质作出初步评价,以期为巢湖水域环境生态综合评价提供一个侧面的某些参数。

方 法

全湖布设采样点共22个(图1),以2、1、8、36、35、24、21各点分别监测诸河道出、

* 承蒙尚豪教授审阅并提出宝贵意见,深致谢忱。周先传同志参加部分工作,王桦同志协助绘图,一并致谢。

1986年8月1日收到。

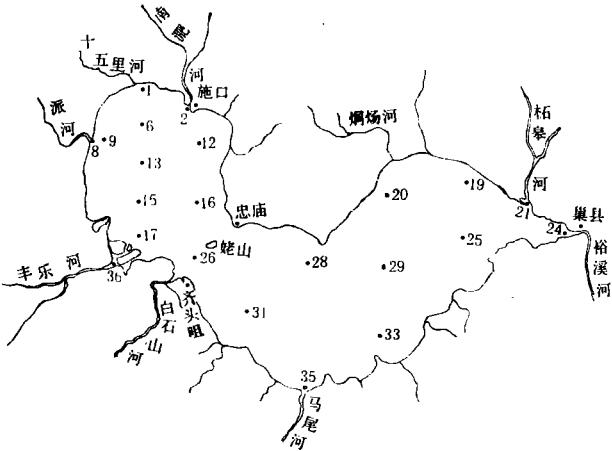


图 1 采样点设置

Fig. 1 The location of sampling stations

南淝河 Nanfei River 十五里河 Shiwuli River 派河 Pai River 丰乐河 Fengle River 白石山河 Baishishan River 马尾河 Mawei River 裕溪河 Yuxi River 柘皋河 Zhegao River 烟炀河 Tongyang River 忠庙 Zhongmiao 施口 Shikou 姥山 Mushan 齐头咀 Qitouzui 巢县 Chaoxian

表 1 巢湖不同季节主要理化条件变动情况*

Tab. 1 Main physical and chemical factors in various seasons in Chaohu Lake

时间 Sampling date	湖区 Subarea of the lake	水温 Water temperature (°C)	水深 Water depth (m)	透明度 SD transparency (cm)	pH 值 pH value	总磷 TP (mg/l)	总氮 TN (mg/l)
2月 Feb. (22—25日)	西湖 West area	5.2	2.19 (1.8—2.8)	13.8 (12—20)	7.4 (7.14—7.68)	0.180 (0.105—0.46)	2.28 (0.85—10.4)
	东湖 East area	5.2	2.34 (1.0—3.7)	13.5 (10—18)	7.67 (7.54—7.78)	0.134 (0.08—0.164)	1.21 (0.92—2.46)
	全湖 Whole lake	5.2	2.26	13.7	7.54	0.157	1.74
5月 May (8—10日)	西湖 West area	26.0	2.0 (1.4—2.63)	16.1 (12—35)	7.75 (7.61—7.98)	0.149 (0.086—0.322)	2.20 (1.24—5.57)
	东湖 East area	23.2	2.27 (2.2—4.24)	14.6 (10—40)	7.8 (7.77—8.04)	0.147 (0.040—0.210)	1.36 (0.63—1.37)
	全湖 Whole lake	24.6	2.13	15.4	7.77	0.148	1.75
8月 Aug. (6—10日)	西湖 West area	31.5	4.22 (2.8—5.0)	16.6 (12—30)	8.12 (7.61—8.66)	0.138 (0.100—0.250)	0.93 (0.51—1.8)
	东湖 East area	32.5	4.99 (4.38—6.78)	17.7 (12—25)	8.36 (7.75—9.15)	0.078 (0.056—0.126)	0.86 (0.71—1.64)
	全湖 Whole lake	32.0	4.6	17.2	8.24	0.106	0.89
11月 Nov. (3—6日)	西湖 West area	19.7	2.92 (2.2—3.4)	21.5 (15—30)	8.29 (7.84—9.28)	0.143 (0.090—0.274)	1.70 (0.76—5.62)
	东湖 East area	18.8	3.46 (2.4—4.7)	16.4 (12—25)	8.06 (7.73—8.78)	0.090 (0.076—0.116)	0.92 (0.73—1.53)
	全湖 Whole lake	19.3	3.19	19.0	8.18	0.117	1.31

* 根据安徽省环保研究所 1984 年资料计算

* Calculation based on the data of 1984 from Environmental Protection Institute of Anhui

入湖口,其中8、36两点枯水期为淤滩与湖区相隔,自5月份开始淤滩被湖水淹没,即紧邻湖区;采样于2月、5月、8月、11月分别代表冬、春、夏、秋四季进行;同时采取定性、定量标本,各采样期水域主要理化因子见表1。定性水样用25号筛绢网捞取,4%福尔马林液固定,室内镜检鉴定,由于小于65微米的藻类易漏失,尚需在定量计数时注意增补群落组成种类;定量水样用2500毫升有机玻璃采水器置水面下0.5米处采得,取1000毫升倒入广口瓶,用4%福尔马林或1.5%鲁哥氏液固定。静置沉淀48小时,用25号筛绢扎紧虹吸管口,抽出上清液,浓缩至30毫升。充分摇匀后镜检,吸取0.1毫升于计数框内,按属计数细胞数;个体计数按单细胞为一个体,定形群体一个群体为一个体,不定形群体按视野下具体分散状态,不论团块大小均各自定为一个体计数。

结果与讨论

(一) 以浮游植物群落生态学指标对巢湖水质污染程度及富营养化的评价

1. 种群数量 由实测结果(表2),按20个样点(除去8、36两点)计算,巢湖年平均

表2 浮游植物量在各样点监测结果

Tab. 2 Densities of phytoplankton at various sampling station

样 点 Sampling station	细 胞 数 (万个/升) Number of cells($\times 10^4$ per litre)					个 体 数 (万个/升) Number of individuals($\times 10^4$ per litre)				
	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	11月 Nov.	年均 Mean	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	11月 Nov.	年均 Mean
2	40.5	57.46	3 911.94	983.5	1 248.35	40.5	23.0	81.84	568.0	178.3
1	207.9	63.8	10 631.45	1 600.6	3 125.94	153.6	4.25	11.41	45.7	53.74
8	/	30.95	/	4 337.1	2 184.03	/	14.4	/	472.2	243.3
36	/	2.9	43.05	505.19	183.71	/	2.2	5.5	159.04	55.58
16	124.2	386.1	122.1	1 150.45	445.71	101.4	34.7	0.98	52.35	47.36
12	246.2	361.45	473.71	350.55	357.98	236.1	5.5	0.94	9.95	63.1
9	432.6	186.75	1 488.45	/	702.6	425.1	1.1	1.45	/	142.6
17	45.1	9.4	13.51	26 485.2	6 638.3	35.1	3.4	0.47	1 659.6	419.6
26	35.4	3.5	51.0	388 904.0	97 248.48	35.4	0.9	2.21	80 466.0	20 126.13
6	204.4	42.2	18 571.36	14 206.2	8 256.04	181.9	1.3	518.86	884.1	396.54
13	64.8	5.6	58.64	42 057.6	10 546.66	42.0	1.25	0.37	4 281.6	1 081.3
15	137.7	5.45	10 761.0	101 924.0	28 207.04	77.7	2.2	20.4	12 624.0	3 181.08
35	123.3	11.75	56.63	152 835.6	38 256.82	83.4	2.15	4.01	6 564.0	1 663.39
24	65.8	79.55	20.55	19.39	46.32	46.2	1.2	0.56	6.55	13.63
21	55.5	3.55	11 873.24	36.06	2 992.09	50.1	1.4	231.25	12.41	73.79
33	47.4	33.7	4 031.43	671.4	1 195.98	29.1	0.8	136.85	18.15	46.23
19	54.6	10.4	6 811.52	258.65	1 783.79	24.6	0.65	186.28	19.15	57.67
20	31.8	19.8	15 816.05	421.3	4 072.24	23.7	0.8	137.28	12.6	43.6
28	72.6	1.1	87.85	9 827.4	2 497.24	38.4	1.05	0.7	925.7	241.46
31	67.5	26.8	27.69	3 217.5	834.87	36.0	0.5	1.44	135.3	43.31
29	66.6	32.3	11 881.46	383.05	3 090.85	26.7	1.85	38.08	17.5	21.0
25	45.0	33.35	40.3	3 993.0	1 027.91	33.3	1.25	0.3	328.5	90.84

表 3 浮游植物量(万个/升)及其组成

Tab. 3 Densities ($\times 10^4$ per litre) of phytoplankton and its composition

时间 Sampling date	总量 Total number	蓝藻 Cyan.	硅藻 Bac.	绿藻 Chlor.	裸藻 Eug.	金藻 Chros.	黄藻 Xanth.	甲藻 Pyr.	隐藻 Cryp.
2月 Feb.	A* 108.45	25.72	72.51	6.26	2.94	0.12	0.75	0	0.15
	B* 86.08	4.32	72.51	5.98	2.94	0.12	0.06	0	0.15
5月 May	A 68.7	65.72	1.21	1.49	0.28	0	0	0	0
	B 4.46	2.52	0.2	0.63	0.28	0	0	0	0
8月 Aug.	A 4 836.49	4 825.56	0.08	10.53	0.015	0	0	0.015	0.29
	B 68.78	66.3	0.04	2.13	0.015	0	0	0.015	0.29
11月 Nov.	A 39 438.18	39 379.49	1.81	39.4	1.04	0	0.05	0.11	15.84
	B 5 717.43	5 681.77	1.70	16.93	1.04	0	0.05	0.11	15.84
年均 Mean	A 11 112.96	11 074.12	18.9	14.42	1.07	0.03	0.2	0.03	4.07
	B 1 469.19	1 438.73	18.82	6.42	1.07	0.03	0.03	0.03	4.07

* A = 细胞数 Number of cells, B = 个体数 Number of individuals

表 4 浮游植物类群分布频度及多度

Tab. 4 Frequency and abundance of various phytoplankton groups

项目 Item	时间 Sampling date	蓝藻 Cyan.	硅藻 Bac.	绿藻 Chlor.	裸藻 Eug.	金藻 Chros.	黄藻 Xanth.	甲藻 Pyr.	隐藻 Cryp.
频度 Frequency* (%)	2月 Feb.	100	100	100	45	10	15	0	10
	5月 May	95	100	55	20	0	0	0	0
	8月 Aug.	100	35	100	5	0	0	40	65
	11月 Nov.	100	42.1	63.2	31.6	0	10.5	5.3	89.5
	年均 Mean	98.8	69.3	79.6	25.4	2.5	6.4	11.3	41.1
多度 Abundance** (%)	2月 Feb.	23.72	66.86	5.77	2.71	0.11	0.69	0	0.14
	5月 May	95.66	1.76	2.17	0.41	0	0	0	0
	8月 Aug.	99.77	0.002	0.22	0.0003	0	0	0.0003	0.01
	11月 Nov.	99.65	0.005	0.1	0.003	0	0.0001	0.0003	0.04
	年均 Mean	79.70	17.16	2.07	0.78	0.03	0.17	0.00015	0.05

* % of number of sampling stations where certain group distributed/total number of sampling stations.

** % of number of cells of certain group/total number of cells of phytoplankton.

藻量,其细胞数与个体数分别达到 111×10^6 个/升及 14.7×10^6 个/升¹⁾(表3),按国内有关评价湖泊富营养化标准^[4,5](<3×10⁵个体/升为贫营养,(3~10)×10⁵个体/升为中营养,>10×10⁵个体/升为富营养),已达到富营养水平。但以全湖20个样点个体数

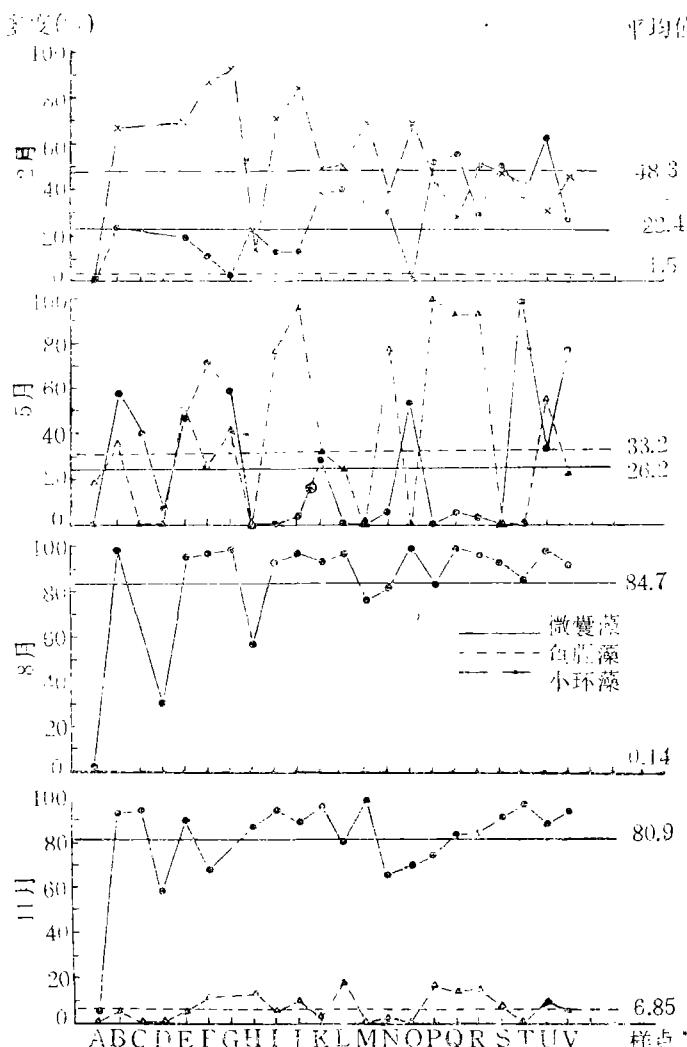


图2 优势种多度四季变动情况

Fig. 2 Seasonal changes of abundance of dominant species

*A = 2, B = 1, C = 8, D = 36, E = 16, F = 12, G = 9, H = 17, I = 26, J = 6, K = 13, L = 15, M = 35, N = 24, O = 21, P = 33, Q = 19, R = 20, S = 28, T = 31, U = 29, V = 25.

多度 Abundance 平均值 Mean 2月 Feb. 5月 May 8月 Aug. 11月 Nov. 样点 Sampling stations 微囊藻 *Microcystis* 鱼腥藻 *Anabaena*
小环藻 *Cyclotella*

1) 由于计数微囊藻不定形群体的方法有异,为便于比较,若按微囊藻细胞数折算为个体数的100:1比例^[4,5],粗略地将蓝藻细胞数折算为个体数加入计算,则得个体数为 1.4×10^6 个体/升。

评价,其中9点达富营养水平,9点达中营养水平,2点为贫营养水平;或依不同季节藻量个体数评价,则为中-富营养水平,富营养化程度从时间、空间上体现在藻量上的不均一性,表明巢湖富营养化正处于演进之中。

2. 群落优势种 无论从分布频度还是种群多度上看(表4),均以蓝藻占优势,湖面上5月份可见少量条状的水华,至8、11月份更为显著,成带、成片分布,其组成种类首推微囊藻(*Microcystis* spp.),主要是铜绿微囊藻(*M. aeruginosa*)、水华微囊藻(*M. flos-aquae*),分布频度除2月份为85%、5月份75%外,8、11月均为100%,其种群多度除2、5月分别稍低于扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)、鱼腥藻(*Anabaena* spp.)外,8、11月均高达80%以上;其次为鱼腥藻(以*A. spiroides*为主),分布频度也很高(图2)。出现这种以微囊藻、鱼腥藻为主的蓝藻优势,标志着湖泊的富营养水平^[1,2],同时也是由该湖泊自身特定的环境阻力造成,巢湖水浅,浪大,泥沙多,透明度小,而微囊藻、鱼腥藻等具伪空泡的大型群体得以浮于水面,在合适的条件下,如较高的温度、丰富的营养等,它们将快速繁殖^[10],而蓝藻的大量繁殖,其择铁螯合剂的分泌,加速它对铁的吸收,促进自体的生长,对其它种类则起抑制作用^[9]。

3. 污染指示种 参考国内外已报道的污染指示藻种及其指示污染等级^[1,7],结合实际

表5 浮游植物群落污染指示种类数在各样点分布情况

Tab. 5 The number of saprobic indicators in phytoplankton communities at each sampling station

样点 Sampling station	种类数 Number of species	指示种数 Number of indicators				污染指示种数 Number of saprobic indicators	% of number of saprobic indicators/total of species
		ps, α-ms	α-ms, β-ms	β-ms	os(β-ms)		
2	51	4.25	8.75	18.75	3.0	31.75	62.5
1	14.3	0.25	3.75	5.25	0.5	9.25	64.7
8	26	1.5	4.0	9.0	0	14.5	55.8
36	29	1.67	3.67	11.3	0.67	16.64	57.4
16	12	0.5	3.25	4.0	0.5	7.75	64.6
12	12	0.5	3.0	4.25	0.75	7.75	64.6
9	9.7	0	3.34	3.34	0.67	6.68	68.9
17	24	0.5	3.75	9.25	2.5	13.5	56.3
26	14.5	1.0	2.5	5.5	1.25	9.0	62.0
6	12.5	0.25	2.25	8.0	1.0	10.5	84.0
13	13.3	0.5	3.0	6.25	0.5	9.75	73.3
15	16	0.75	3.5	6.25	1.5	10.5	65.6
35	17	1.0	2.0	4.75	1.75	7.75	45.6
24	15.5	0.25	3.75	5.25	1.75	9.25	59.7
21	12.3	0.5	3.25	4.5	1.25	8.25	67.1
33	12.3	0.25	3.0	5.25	1.0	8.5	69.1
19	10	0.5	1.75	4.25	1.0	6.5	65.0
20	13.3	0.5	3.0	5.0	0.75	8.5	63.9
28	10.5	0.25	2.0	4.0	0.75	6.25	59.5
31	13.3	0.5	2.75	5.5	1.0	8.75	65.8
29	13	0.75	2.75	6.25	1.0	9.75	75.0
25	12	0.5	3.0	4.5	1.25	8.0	66.7

观察情况，对各样点浮游植物群落组成种类给予评价（表5）。污染指示种平均占64.2%。其中指示重污染（ps，下同）及 α -中度污染（ α -ms，下同）的种类，如小颤藻（*Oscillatoria tenuis*），虽仅在春夏季不足半数的样点有少量分布，但在个别点上，如2号点夏季多度达65.7%，35号点春季达76.6%，成为优势种；嗜蚀隐藻（*Cryptomonas erosa*）秋季分布频度近70%，并具相当数量；巨型螺旋藻（*Spirulina major*），窝形席藻（*Phormidium foveolarum*）、绿色裸藻（*Euglena viridis*）、锐新月藻（*Closterium acerosum*）、镰形纤维藻（*Ankistrodesmus falcatus*）等在少数样点也有分布；但此类指示ps的种在群落中一般很少，各样点平均仅0.8(0—6)种。指示 α -中度污染及 β -中度污染（ β -ms，下同）的种稍多，各样点平均有3.3(1—13)种，如优势种铜绿微囊藻、水花微囊藻，分布频度较大的水华束丝藻（*Aphanizomenon flos-aquae*）、美丽隐球藻（*Aphanocapsa pulchra*）、旋转囊裸藻（*Trachelomonas volvocina*）、肘状针杆藻（*Synedra ulna*）、梅尼小环藻（*Cyclotella meneghiniana*）、球衣藻（*Chlamydomonas globosa*）、卵形隐藻（*Cryptomonas ovata*），及少数点有分布的美丽颤藻（*Oscillatoria formosa*）、两栖颤藻（*O. amphibia*）、污泥颤藻（*O.*

表6 浮游植物群落硅藻指数及污染评价

Tab. 6 Diatom biotic index of phytoplankton communities at each sampling station and assessment of saprobic degree

样点 Sampling station	样期 Sampling date					污染评价* Degree of saprobity
	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	11月 Nov.	年均 Mean	
2	85.7	66.7	0	66.7	58.8	α -ms
1	0	50	100	100	62.5	α -ms
8	/	100	/	100	100	α -ms
36	/	110	50	33.3	64.4	α -ms
16	100	100	0	0	50	α -ms
12	200	150	100	100	137.5	β -ms
9	166.7	100	100	/	122.2	β -ms
17	100	100	80	100	95	α -ms
26	125	100	100	0	81.3	α -ms
6	114.3	150	100	100	116.1	β -ms
13	66.7	100	100	100	91.7	α -ms
15	150	100	80	0	82.5	α -ms
35	114.3	100	100	100	103.6	β -ms
24	200	125	0	66.7	97.9	α -ms
21	200	133.3	0	100	108.3	β -ms
33	150	166.7	0	100	104.2	β -ms
19	200	133.3	0	100	108.3	β -ms
20	166.7	0	100	100	91.7	α -ms
28	150	133.3	100	100	120.8	β -ms
31	166.7	140	0	100	101.7	β -ms
29	150	150	0	100	100	β -ms
25	150	150	0	100	100	β -ms

* 0—200ps, 0—100 α -ms, 100—150 β -ms, 150—200 os.

ps = polysaprobic, α -ms = α -mesosaprobic, β -ms = β -mesosaprobic, os = oligosaprobic.

limosa)、巨颤藻 (*O. princeps*)、斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*)、二形栅藻 (*S. dimorphus*) 等。指示 β -中度污染的种类在群落中较多,各样点平均有 6.4(1—35) 种,如螺旋鱼腥藻、水花鱼腥藻 (*Anabaena flos-aquae*)、端毛双菱藻 (*Surirella capronii*)、颗粒直链藻 (*Melosira granulata*)、美丽胶网藻 (*Dictyosphaerium pulchellum*)、空球藻 (*Eudorina elegans*)、实球藻 (*Pandorina morum*)、角甲藻 (*Ceratium hirundinella*) 等分布频度都很高。从全湖各样点群落优势种及其他普见种来看,均属于 α -ms 或 β -ms 性指示种。

4. 硅藻指数 根据各样点浮游植物群落硅藻指数组值(表 6)计算,全湖 20 个样点(除 8、36 两点)年平均为 96.7,各点评价均属中度污染,其中 α -ms 点 9 个, β -ms 点 11 个。Sládecěk 认为^[3]营养状态与污染程度有着特殊的联系,他将 β -ms 与 α -ms 等级与富营养水平相对应,上述对巢湖的各项指标评价证实了这一论点。

(二) 不同湖区污染程度及营养水平比较

巢湖以忠庙—姥山—齐头咀为界划分为西、东两大湖区;湖底由西向东倾斜,湖流总趋势为自西向东。西湖区面积较小,约为东湖区之半,湖水稍浅,平均 2.8 米,有携带大量工业废水及生活污水的河道流入,如流经合肥、肥东的南淝河,其排入巢湖的废污水量约为 31.79 万吨/日,占排入湖区废污水总量 45 万吨/日的 70% 左右¹⁾,工业废水以冶金、化工、造纸、机械、纺织等行业量最大,污染负荷也高,主要污染物为有机物、氨氮,毒物污染以酚、汞、氰为重,是巢湖之重点污染源;流经合肥西南郊入湖的十五里河,主要接纳化肥厂、制药厂、机械厂等工业废水,其排入湖区废污水量约占入湖总量的 5.3%;而流经肥西的派河、舒城的丰乐河等,主要接纳农田径流带入的氮、磷等无机营养物质和城镇生活污水的有机污染物。东湖区湖深平均 3.3 米,入湖河道主要有流经庐江的马尾河、巢县的柘皋河,以生活污水、农田径流为主要污染源,工业废水影响不大;马尾河上游有矾矿,据 1981 年水质监测结果²⁾,氨氮高于柘皋河,酚、氰、汞均有检出;经巢县入长江的裕溪河为全湖唯一的出湖河道。

1. 西、东两湖区比较

由表 7 可见西湖区浮游植物种群数量达到 23.7×10^6 个体/升,结合季节分布和水平分布情况评价,属富营养型;硅藻指数组值平均为 88.17,12 个样点中有 9 点为 α -ms,占 75%,故可认为西湖区已受到 α -中度污染。东湖区浮游植物种群数量为 2.3×10^6 个体/升,仅为西湖区的 9.7%,结合季节分布和水平分布情况评价,属中-富营养型;硅藻指数组值为 103.65,10 个样点中 8 个点为 β -ms,占 80%,故东湖区污染较西湖区为轻,受到 β -中度污染。TP、TN 浓度西湖区均较东湖区高,与上述对两湖区的藻类评价相符(表 1)。

2. 湖面不同分带比较

以距湖岸 0.5 公里范围内各河流出、入湖口诸点,划为河口带,距岸 0.5—3.5 公里间

1) 李方华, 1982。巢湖水质污染状况的初步分析。打印件。

2) 高锡云等, 1982。南淝河水质初评及对巢湖影响简析。打印件。

表 7 巢湖不同湖区浮游植物各项评价指标比较

Tab. 7 Comparison of evaluating indices between east and west areas of Chaohu Lake

湖域 Subarea of the lake	细胞数(万个/升) Number of cells ($\times 10^4$ per litre)					个体数(万个/升) Number of individuals ($\times 10^4$ per litre)					
	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	11月 Nov.	年均 Mean	2月 Feb.	5月 May	8月 Aug.	11月 Nov.	年均 Mean	
西湖区 West area	河口 River mouth (2、1、8、36)	124.2	38.78	4 862.15	1 856.60	1 720.43	97.05	10.96	60.64	311.24	107.47
	沿岸 margin (16、12、9、17、26)	176.7	189.44	429.75	104 222.55	26 254.61	166.62	9.12	1.21	16 437.58	4 153.63
	湖心 centre (6、13、15)	135.63	17.75	9 797.0	52 729.27	15 669.91	100.53	1.58	179.88	5 929.9	1 552.97
	全区 whole region	153.88	96.29	4 193.29	52 954.95	14 349.60	132.88	7.85	58.59	9 202.05	2 371.38
湖区 East area	河口 River mouth (35、24、21)	81.53	31.62	3 983.47	50 963.68	13 765.08	59.9	1.58	78.61	1 645.74	446.46
	沿岸 margin (33、19、20、28)	51.6	16.25	6 686.71	2 794.69	2 387.31	28.95	0.83	115.28	243.9	97.24
	湖心 centre (31、29、25)	59.7	30.82	3 983.15	2 531.18	1 651.21	32.0	1.2	13.27	160.43	51.73
	全区 whole region	63.01	25.23	5 064.67	17 166.38	5 579.8	39.15	1.17	73.68	803.99	229.50

群落种类数 Number of species	污染指示种数% % of number of saprobic indicators/total of species	硅藻指数 Diatom biotic index	样点污染等级% % of number of sampling stations evaluated in α -ms or β -ms/total of sampling stations in the area	评价 Evaluation
30.1	60	70.5	α -ms 100	α -ms 富营养型 Eutrophic
14.4	62.5	97.2	α -ms 60	
13.9	74.3	96.8	α -ms 67	
19.5	64.7	88.17	α -ms 75	
14.9	57.5	103.3	β -ms 67	β -ms 中-富营养型 Meso-eutrophic
11.5	52.1	106.3	β -ms 75	
12.8	69.2	100.6	β -ms 100	
12.9	63.7	103.65	β -ms 80	

诸点划为沿岸带, 距岸 3.5 公里以外的敞水面诸点为湖心带(表 7)进行评价。

(1) 河口带 从藻量上看, 西湖河口远少于湖区, 而东湖河口相反远多于湖区; 初步分析认为, 河口诸点由于特定的条件, 如营养比较丰富, 水体透明度较好, 由河流上游汇集于此的许多种类在这里生长繁衍, 故群落种类一般较湖区多(表 7), 如 2 号点全年出现有 145 种, 其中 49 种为南淝河特有, 20 种与其它某河流所共有, 其余河口点也具有各自特有的种, 群落中众多的种类有可能由于异体对抗^[1]而相互制约, 或因有毒物质污染的影

响,而限制种群数量的增长;东湖区河口藻量较湖区高,显然是由于 35 号点 11 月份偏高而影响了平均值(35 号点该期采样时晴朗无风,水华成片分布),若该样期 3 个河口点以中位数值 36×10^4 个/升(细胞数)或 12×10^4 个/升(个体数)参与计算年均值,则分别为 1033×10^4 个/升或 38×10^4 个/升,较湖区为低,情况与西湖区相仿;河口藻量虽低于湖区,但西湖河口也已达富营养水平,4 个监测点硅藻指数平均值为 70.5,各点评价均属 $\alpha\text{-ms}$,可以认为,西湖区受流入河道的污染是明显的;东湖河口按实测藻量达富营养水平,3 个监测点硅藻指数平均值为 103.3,仅一个点为 $\alpha\text{-ms}$,污染情况较西湖河口轻。各河道的监测与评价分述如下:

南淝河口(2号):群落组成种类年平均 51(37—76)种,居各样点之首,全年出现种类多达 145 种,近半数为绿藻门植物;藻量年平均 178×10^4 个体/升,在 7 个河口点中居第 3 位,除 8 月份以小颤藻、巨型螺旋藻占绝对优势,藻量也达该点全年最高值外,其余各季无明显优势种,组成种类中指示 ps 、 $\alpha\text{-ms}$ 、 $\beta\text{-ms}$ 的种最多,且均有相当多度,如 2 月份的梅尼小环藻、绿色裸藻,5 月份的螺旋鱼腥藻、美丽颤藻、污泥颤藻、巨颤藻,11 月份的啮蚀隐藻、卵形隐藻、肾形藻(*Nephrocytium agardhianum*)、小球藻(*Chlorella vulgaris*)等;硅藻指数年均值 54.8,为河口诸点之最低值,属 $\alpha\text{-ms}$,加之其排入湖水量最多,故为巢湖的重点污染源。

十五里河口(1号):此点距湖岸较远,约有 0.5 公里,群落结构已近于湖区。群落组成种类年平均 14.3(9—21)种,全年共出现 40 种,藻量年平均为 53.7×10^4 个体/升,优势种明显,2 月份以指示微污染(os ,余同)的扭曲小环藻为主,铜绿微囊藻、水花微囊藻次之,5 月份以微囊藻为主,鱼腥藻次之,8、11 月份则微囊藻居绝对优势;硅藻指数年均值为 62.5,属 $\alpha\text{-ms}$,但入湖水量较少,对巢湖污染的影响远小于南淝河。

派河口(8号):群落组成种类平均 26 种,先后出现共 47 种,其中裸藻门植物达 18 种之多;藻量平均 243×10^4 个体/升,优势种为铜绿微囊藻、水花微囊藻,5 月份多度为 40.7%,尚有较多量的指示 $\beta\text{-ms}$ 的小球衣藻(*Chlamydomonas microsphaera*)、隐头舟形藻(*Navicula cryptocephala*),11 月份多度达 93.6%,其次为绿色裸藻;硅藻指数 100,属 $\alpha\text{-ms}$ 。此点仅采样两次,代表性可能不全。

丰乐河口(36号):群落组成种类平均 29(16—43)种,先后共出现 67 种,在河口诸点中仅次于 2 号;藻量平均 55.6×10^4 个体/升,除 11 月份达富营养水平外,5、8 两月均为贫营养水平,优势种不突出,5 月份为指示 $\beta\text{-ms}$ 之变异直链藻(*Melosira varians*)、颗粒直链藻、双头舟形藻(*Navicula dicephala*)、隐头舟形藻等硅藻门植物较多,两属多度皆为 27%,8 月份为铜绿微囊藻、水花微囊藻、美丽颤藻、小颤藻等蓝藻门植物较多,两属多度分别为 31.9 和 32.4%,11 月份以水华微囊藻、铜绿微囊藻较多,多度 59.1%,啮蚀隐藻、实球藻次之;硅藻指数平均值 64.4,属 $\alpha\text{-ms}$ 。丰乐河上游汇集了杭埠河等众多支流,受水面远较南淝河广,污染物浓度较南淝河低,夏季洪水期稀释作用更明显,这可由低的藻量反映出来,其污染程度较南淝河轻。

马尾河口(35号):群落组成种类年平均 17(9—30)种,全年共出现 46 种;藻量年平均 1663.4×10^4 个体/升,除 11 月份有特高的量外,5、8 月份均甚低,优势种除 5 月份为小颤藻占优势,多度达 76.6%,基本上是微囊藻,8 月份水华微囊藻、铜绿微囊藻已占优

势,至11月达绝对优势,藻量居全湖第2位;硅藻指数年均值103.6,结合优势种情况,仍可属 α -ms。

柘皋河口(21号):群落组成种类年平均12.3(9—16)种,全年共出现32种;藻量年平均 73.8×10^4 个体/升,除8月份特高,居全湖第2位,其余各季均不多,优势种除2月份为扭曲小环藻外,主要是微囊藻,5月份以水华微囊藻、铜绿微囊藻为主,小颤藻次之,8月份微囊藻多度达99.7%,其中具缘微囊藻(*Microcystis marginata*)也为水华主要成员之一,11月份以微囊藻为主,嗜蚀隐藻次之;硅藻指数年均值为108.3,属 β -ms,污染似较马尾河稍轻。

裕溪河口(24号):群落组成种类年平均15.5(13—19)种,全年共出现44种;藻量年平均 13.63×10^4 个体/升,为全湖最低值,除冬季外,均反映贫营养水平;优势种2月份不明显,以扭曲小环藻较多,次为微囊藻,5月份以水华鱼腥藻、螺旋鱼腥藻占优势,8、11月则为数种微囊藻组成优势,11月尚有较多隐藻;硅藻指数平均值97.9,结合藻量及优势种情况评定,属 β -ms。

(2) 沿岸带 西、东两湖区此带藻量,均高于河口或湖心,分别为 4153.63×10^4 个体/升和 97.24×10^4 个体/升,达到或接近富营养水平;群落优势种明显,2月份西湖区沿岸为扭曲小环藻,东湖区沿岸为微囊藻,5月份皆为鱼腥藻及微囊藻,8、11月份则均以微囊藻占绝对优势;硅藻指数平均值分别为97.2和106.3,西湖沿岸带属 α -ms的样点占60%,东湖沿岸带属 β -ms的样点占75%,污染均较河口为低,而东湖沿岸又轻于西湖。此带藻量显著高于河口的原因,主要是群落组成中微囊藻、鱼腥藻等蓝藻的突出优势,造成群落组成种类的贫乏,分别只及其河口种类的47.8和77.2%;再者,此带营养来源除各入湖河道注入外,尚有沿湖农田化肥流失,肥东、巢县一带丰富的磷矿资源,在开采过程中大量尾矿石和尾矿水流入等。

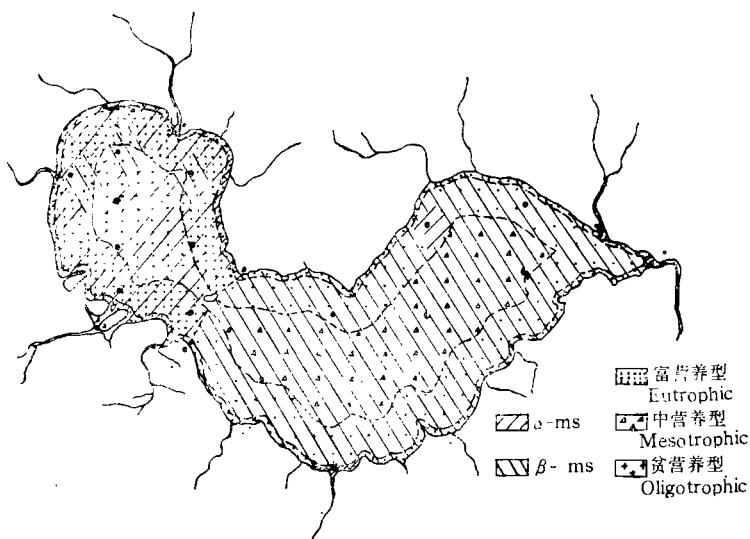


图3 巢湖有机污染程度及营养水平分布示意图

Fig. 3 The diagram showing the degrees of organic pollution and the trophic levels at various regions in Chaohu Lake

(3) 湖心带 西、东两湖区湖心部分藻量均低于沿岸带, 分别为 1552.9×10^4 个体/升和 51.7×10^4 个体/升, 虽也分别达到富营养和中-富营养水平(11月份已达富营养水平), 但藻量仅为沿岸带的 37.4 和 53.2%, 反映出由沿岸到湖心的湖水有一定的自净作用; 2 月份优势种在西湖心为扭曲小环藻, 东湖心为扭曲小环藻与微囊藻, 5 月份西湖心为鱼腥藻, 或与实球藻、空星藻 (*Coelastrum spp.*)、微囊藻共同组成不明显的优势, 东湖心为微囊藻与鱼腥藻, 8、11 月份则如沿岸带, 均以微囊藻占绝对优势; 硅藻指数平均值分别为 96.8 和 100.6, 西湖心属 α -ms 的样点, 占 67%, 东湖心则 3 个样点均属 β -ms, 污染轻于西湖心。综上所述, 巢湖湖域污染程度为河口带>沿岸带>湖心带, 营养水平西湖区各带相应为富—富—富, 东湖区各带相应为富—富—中富, 污染程度及营养水平基本上西湖区各带均相应高于东湖区各带(图 3)。

(三) 从浮游植物群落的演变看巢湖二十年来富营养化进程

近二十年对巢湖浮游植物的研究, 比较系统的有 1963 年¹⁾、1981 年²⁾及本项工作。对比三次调查结果, 以微囊藻为主的蓝藻优势恒定不变; 1963 年春夏季藻类种群数为 2.5×10^4 个体/升, 蓝藻占 98.7%; 1981 年种群数为 16.4×10^4 个体/升, 蓝藻占 95.9%; 1984 年种群数达 1469.2×10^4 个体/升(或便于相互比较, 如前述折算为 141.2×10^4 个体/升), 蓝藻占 97.9%; 但群落总藻量及蓝藻的绝对量在急剧增长, 以对应月份比较, 从 1963—1980 年的 17 年间总藻量增加 5.5 倍, 而 1981—1984 年增加了 7.6 倍(按 1984 年为 141.2×10^4 个体/升比较)。其次, 群落种类组成也发生了一定的变化(图 4), 1963 年为 6 门 33 属, 1981 年为 6 门 56 属(将隐藻门归入了甲藻门), 1984 年为 8 门 85 属计 277 种之多, 其中值得注意的是绿藻、裸藻及隐藻种类的增加和种群数量的增大, 反映水



图 4 不同年份浮游植物群落种类组成变化

Fig. 4 Species composition of phytoplankton in different years in Chaohu Lake

A = 蓝藻 Cyanophyta, B = 绿藻 Chlorophyta, C = 硅藻 Bacillariophyta,

D = 裸藻 Euglenophyta, E = 甲藻 Pyrrhophyta, F = 黄藻 Xanthophyta,

G = 金藻 Chrysophyta, H = 隐藻 Cryptophyta. 属数 Number of genus; 种类 Groups

1) 安徽省水产科学研究所等, 1963。渔业资源调查报告。5—10。内部资料。

2) 叶诗鸣等, 1981。巢湖渔业资源增殖研究资料第一集。3—12。内部资料。

体中无机与有机营养物都是相当丰富的。由浮游植物群落的动态不难看出，巢湖最近几年来，随着污染的加重，人为富营养化进程在加速，应当引起有关部门的重视。

(四) 以浮游植物为指标评价巢湖水质的几个问题

1. 由于浮游植物的生长是受水环境的理化、生物因素，诸如温度、光照、营养盐、pH 及其它生物的存在状况等综合的影响，则它对环境作出的反应也就是综合性的。因此，以浮游植物群落的状况与水体营养状况建立单一的反证联系，有时就存在片面性；如从不同季节群落优势种及指示种的变化上看，巢湖冬季以 os 指示种扭曲小环藻占优势(图 2)，其它 os 指示种也以冬季出现频度最高，种类也最多(图 5)，结合种群数量(表 3)，似可评定污染(有机污染)程度冬季较轻，但水化学测定结果 TP、TN 均以冬季最高(表 1)，这种“矛盾”的现象，主要是受温度的影响，冬季低温，一方面适宜于狭冷性种类的硅藻及金藻等生长，而另方面由于低温，有机质的分解差，限制了藻类获得较多可直接利用的营养盐，因而从藻类的角度反映出营养状况较差、污染较轻的表象；反之，夏、秋季以 α -ms、 β -ms 指示种微囊藻占显著优势，其它 ps、 α -ms 指示种类也较多，分布频度都较高(图 5)，均可反映水质有机污染较重、营养状况较好。但该两季 TP、TN 却较冬季为低(表 1)，这主要是由于夏秋季水量增大得以稀释的缘故；同时也是受温度影响，夏季高温，有利于外部注入的有机质或水体自身有机残体的分解和底质的释放，因而浮游植物可直接利用的营养盐增加，加之较高的温度和 pH 值有利于喜温性的蓝藻类生长，以致达到较高的藻量。

2. 多样性指数反映浮游植物群落受环境影响，表现在群落结构上的变化，在评价中屡有采用。但根据巢湖各样点 Margalef 多样性指数值对各点的污染程度评价，却与其它指标的评价相关性甚差；如南淝河口(2号)，经评价属污染较重的点，但由于其群落组成种类繁多，而种群数量有限，以致多样性指数值反而最高，平均 2.33，各季均占第一位，指示污染最轻；而污染较轻的东湖心区，由于群落种类大大减少，其多样性指数值为 0.88，远较 2 号点低，指示污染较重；因此以之评价，不能反映污染实际情况，故未加采用。

3. 巢湖浮游植物群落系以微囊藻、鱼腥藻占优势，从春季至秋季水面形成不同程度和不同式样的水华，使采样难于避免片面性，而微囊藻在不同季节，其群体大小往往有很大差异，在计数方法上尚存在问题，两者都可能给评价造成误差。

因此，尽管浮游植物群落生态学特征可以为水质评价提供一些重要参数，但仍需结合其它指标综合评价，才能得出比较符合客观的结论。

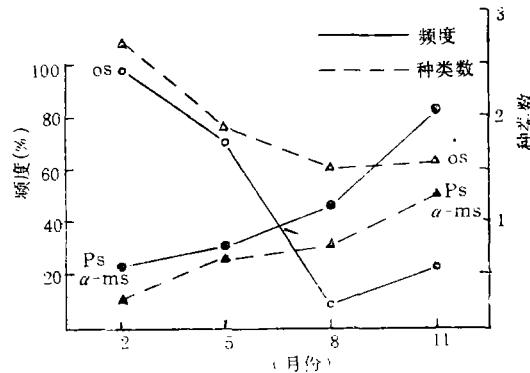


图 5 指示种分布频度及其种类数的季节变化
Fig. 5 Seasonal changes of frequency and species numbers of indicators

频度 Frequency 种类数 Number of species 月份 Months
2月 Feb. 5月 May 8月 Aug. 11月 Nov.

os os ps ps α -ms ms

参 考 文 献

- [1] 罗迪安译 (B. 胡迪著), 1980。藻类学。372—428。上海科学技术出版社。
- [2] 周永欣等, 1983。水生生物与环境保护。99—109。科学出版社。
- [3] 胡鸿钧等, 1980。中国淡水藻类。上海科学技术出版社。
- [4] 饶钦止等, 1980。武汉东湖浮游植物的演变 (1956—1975年) 和富营养化问题。水生生物学集刊, 7(1): 1—15。
- [5] 顾丁锡, 1982。湖泊富营养化评价方法。环境污染与防治, (3): 14—17。
- [6] 日本生態學會環境問題専門委員會, 1975。環境の生物指標2(水界編)。61—99。共立出版株式會社。
- [7] 廣瀬弘幸等, 1977。日本淡水藻図鑑。内田老鶴圖新社。
- [8] Murphy, T. P., Lean, D. R. S. & Nalewajko, C., 1976. Blue-green algae: their excretion of iron-selective chelators enables them to dominate other algae. *Science*, 192, 900—902.
- [9] Sládeček, V., 1982. Trophic and saprobic levels. In: Examination of water for pollution control, 3, 142—169 (Ed. M. J. Suess).
- [10] Taylor, F. J. R., 1980. Basic biological features of phytoplankton cells. In: The physiological ecology of phytoplankton 52 (Ed. I. Morris).

AN EVALUATION OF WATER POLLUTION AND EUTROPHICATION OF THE CHAOHU LAKE BY MEANS OF PHYTOPLANKTON

Meng Renxian and Liu Zhenqiu

(Department of Biology, Anhui University, Hefei)

Abstract

The seasonal ecological features of phytoplankton community including its species composition, population size, dominant species, saprobic indicator, diversity index and diatom biotic index were preliminarily studied at 22 sampling stations in the Chaohu Lake, Anhui Province. By using population densities (individuals and cells per litre), dominant species, saprobic indicators and diatom biotic indices as the important biological parameters for monitoring and evaluating pollution conditions of water quality, the trophic level and saprobic degree of the lake were evaluated in whole and in subareas respectively.

Dealing with the Chaohu Lake as a whole, the annual mean density of phytoplankton reached 14.7×10^6 per litre for individuals or 111×10^6 per litre for cells. The diatom biotic index was 96.7 and the saprobic indicators comprised 64.2% of total species in the community. Except in winter when *Cyclotella comta* had higher frequency and greater abundance the dominant species of planktonic algae were almost entirely consisting of blue-green algae especially *Microcystis* (*M. aeruginosa* and *M. flos-aquae*) and *Anabaena*. Their frequency attained 98.8%, and abundance, 79.7%, when all seasons were taken into account. In summer and autumn, the frequency was up to 100%, and the abundance, 99.7%. All these indicate that the lake has suffered from moderate pollution and it might be regarded as a blue-green algae-eutrophic lake.

Key words Chaohu Lake, phytoplankton, eutrophication