

太湖水体生态环境历史演变

范成新

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提要 根据 1950~1995 年期间对太湖水体进行的各次综合性研究结果分析:太湖水质和营养程度大致每 10~15 年上升一个级别,近期变化尤为明显;COD_{Mn} 含量 35 年来增加了 136%,总磷近年来以 9.9% 速度上升,浮游藻类 80 年代以来一直以蓝藻和硅藻占优势,但种群数趋于减少,细胞数剧增,局部水域蓝藻水华频发,浮游动物和底栖动物中污种类增多,枝角类、桡足类和环节动物、节肢动物数量则降低;鱼类种群数减少,鳊鱼捕捞量近年来大幅度下降;水生植被严重退化,个别湖区水草甚至消亡。初步研究表明,太湖 40 年多来生态环境的变化主要与人类活动关系密切,尤其与湖体污染物排放、围垦、养殖、滥捕水产品等有关。

关键词 太湖 演变 水质和富营养化 水生生物

太湖位于长江三角洲南缘,地跨江浙两省,水面面积 2338.1km²,平均水深 2m 左右,为我国第三大淡水湖。该地区人口稠密,经济高度发达。1994 年流域内总人口 3468.9 万人,人口密度 950 人/km²,是全国平均人口密度的 7.5 倍。1994 年该地区国内生产总值达 4410 亿元,占全国生产总值的 14.0%。

太湖位于太湖流域的中心,是该地区的主要饮用水源,并兼有调蓄、灌溉、航运、旅游、养殖等功能,历来被称之为该地区的一颗灿烂明珠。然而近十几年来,随着人口急剧增加,经济持续高速发展,人类活动影响在该地区愈显剧烈,自然资源受到严重破坏。特别是产生的工农业废水和生活污水几乎未经处理即排入湖体,给太湖造成了严重污染,生态环境发生变化。本文根据 50 年代以来在太湖进行的多次研究资料及结论,以及笔者自 80 年代末以来所从事太湖研究工作的积累,重点对太湖的水环境质量和富营养化变化,以及生物种群结构的演替等进行综合分析,为科学地治理太湖,恢复其原有的生态环境功能提供依据。

1. 水质和富营养化演变

1.1 主要污染物含量增加,水质约每 10 年增加一个级别

近年来的研究表明^[1,2,3],影响太湖水质的主要污染物为氮(凯氏氮)、磷和高锰酸盐指数(COD_{Mn})。以有机污染指标 COD_{Mn} 为例,1960 年时含量 1.90mg/L,1980 年 2.83mg/L,上升了 49%;1995 年则达 4.48mg/L,比 1960 年时上升了 136%(图 1)。分析 80 年代末以来氮磷含量的变化状况,1987~1995 年间,凯氏氮上升了 66%,总磷则上升了 79%,平均每年总磷上升达 9.9%。

来稿日期:1996-04-19;接收日期:1996-05-08。

作者简介:范成新,男,1954 年生,副研究员。1987 年南京大学环境化学专业硕士毕业。主要从事湖泊水污染与富营养化及水-沉积物界面物质行为研究。发表“太湖有机污染与主要环境因子的响应”等论文 30 余篇。

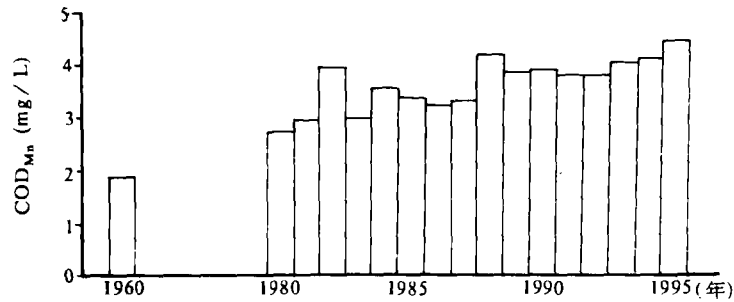


图1 太湖 COD_{Mn}年平均含量历年变化(1960—1995)

Fig. 1 The variation of mean COD_{Mn} content in Taihu Lake

太湖全湖性水化学研究起于1960年^[4],当时水中氮、磷和 COD_{Mn}含量均较低, NH₃-N 为 0.02mg/L, PO₄³⁻-P 为 0.02mg/L, COD_{Mn} 为 1.90mg/L。按现行国家地面水环境质量标准(GB3838-88),属 I (清洁)~ II 类(较清洁)水体;70年代发展至 II 类;80年代初平均为 II 类~ III 类(尚清洁)状态;80年代末则全面进入 III 类^[1];90年代中期(1994~1995年)平均已达 III~IV 类(轻污染),局部 V 类(重污染)。平均每 10 年水质上升一个级别,近 10 年上升速度加快。

1.2 局部富营养化严重,近 15 年上升了一个营养级别

营养物含量的增加是水体营养程度提高的首要前提。对太湖而言,大部分营养元素与水生生物有较好的供需关系,含量充裕^[5],仅有极少数元素对生物生长起着限制性作用,研究表明^[6],60年代以来,太湖限制性元素是磷。1995年总磷平均含量达 0.067mg/L 以上,已是水体富营养化阈值(0.02mg/L)的 3.35 倍;另一重要营养元素氮,1995年达 2.19mg/L,使得氮/磷比由 1987 年的 61.0 下降至 32.7,更加接近藻类生长氮/磷最适比值(10~15),给藻类在太湖形成水华提供了较充分的物质条件。

选用叶绿素 a、藻类优势种、总磷、总氮、透明度和 COD_{Mn} 六个评价指标对太湖营养类型进行综合评价,结果表明,1980~1981 年夏季,全湖平均属中营养至中富营养,1988 年夏季达中富营养;1990 年夏季梅梁湖北部出现了大面积水华暴发,局部达重富营养,但全湖平均营养状况仍处于中富营养;1995 年夏季评价则表明,太湖已进入中富至富营养过渡的中间状态。1980~1995 年间全湖大致上升了一个营养类别。

太湖重点富营养化湖区——梅梁湖,自 80 年代初起营养程度总体呈上升趋势,但年际变化剧烈(图 2)。于 1981 年的中富营养,上升至 1994 年的富营养(1989、1990 年营养程度异常出现水华暴发),13 年间约增加一个营养级别。并且以 1991 年以来富营养化进程最为明显。

“七五”期间研究表明^[1],太湖总氮年净入湖量为 3105t,是湖泊水体原有量的 33%;总磷年净入湖量为 945.9t,是湖泊水体原有量的 5.7 倍。即使因沉淀、转化等,湖体仍

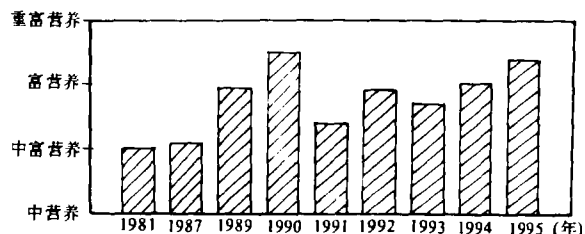


图2 梅梁湖夏季营养程度历年变化(1981~1995)

Fig. 2 The variation of trophic level of Meiliang Bay in summers

承担着大部分营养负荷。在沿岸地区各类污染源中,城乡居民、农田和牲畜家禽为主要污染源,因此,控制此类污染将会减少太湖氮、磷的负荷。

2 生物种群结构演替

2.1 藻类种群数减少、数量上升、水华蔓延

据对 40 多年研究结果分析^[1~9]①②,太湖浮游藻类的种类组成和数量均发生了巨大的变化。总的趋势是种群数减少而数量剧增,尤以近几年变化显著。由表 1 可见,自 80 年代初,藻类的数量平均每年上升 5.8 倍。藻细胞计数量级由 60 年代的每升数万增至 70 年代十万个、80 年代百万个,80 年代末至 90 年代初,已达千万个。1990 年 7 月太湖发生藻类水华暴发时,局部水域藻类个数竟高达 13.2×10^8 个/L,生物量达 106mg/L,为国内外湖泊所罕见。与此相反,藻类的种群数自 80 年代末期后却不断减少,由表 1 分析,约平均每年减少两种。这种藻类种类数减少、数量上升的现象,反映太湖近年来水污染和富营养化程度加剧。

表 1 太湖浮游藻类种类和数量历年变化

Tab. 1 The species and quantity of phytoplankton in Taihu Lake

年 份	1960*	1980*	1987	1990—1991	1993
种类数	91	79	97	92	86
数量(10^4 cells/L)	2.22**	102.9	1079	3941	7712

* 夏季一次测定结果; ** 以种群数计,种群平均约为 5~10cells

对全湖 36~177 个测点调查资料分析,1960 年太湖藻类中以蓝藻为主(以群体计)^[4]; 1980~1981 年,引入生物量计算,硅藻和蓝藻为主要藻类^[2];80 年代末以来,蓝藻生物量略多于硅藻^[1],两者仍为优势藻类(图 3),合计占藻类总生物量的 60%~70%,其次为隐藻,占 10%~20%;绿藻为 10%左右,其余为裸藻、甲藻、金藻和黄藻等,约占 5%~10%。

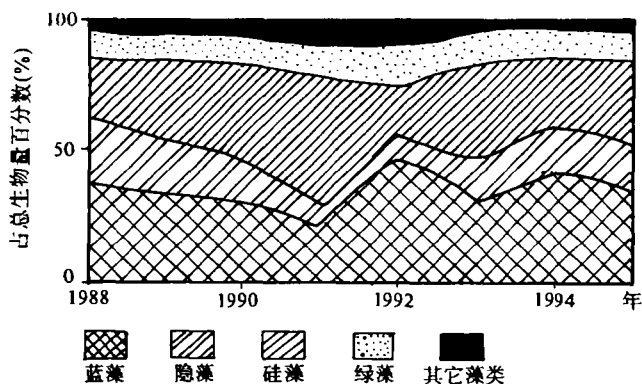


图 3 太湖夏季藻类种群变化(1988~1995)

Fig. 3 The genus ratio of the algae in summers

太湖藻类的优势种和常见种属,30 多年来变化较小。蓝藻门中以铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa* Kutz.)、水华微囊藻(*M. flos-aquae* Kirch.)、螺旋项圈藻(*Anabaena spiroides*

① 中国科学院南京地理与湖泊研究所,太湖流域水资源保护局. 太湖水环境生态及富营养化初步研究报告. 1995

② 中国科学院南京地理与湖泊研究所,水利部太湖流域管理局. 太湖富营养化调查研究报告. 1992

Kleb.)和水华花项圈藻(*A. flos-aquae* Breb.)等为主要种属,呈全湖性分布并常年出现。当条件适宜时,这些优势种在太湖易形成水华;硅藻中则以颗粒直链藻(*Melosira granulata* Ralfs)、小环藻(*Cyclotella*)和舟形藻(*Navicula*)等属种为主;隐藻门以嗜蚀隐藻(*Cryptomonas erosa* Ehr.)和卵形隐藻(*C. ovata* Ehr.)较为多见;绿藻门种类最多,但无明显优势种,常年出现的种主要为四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda* Breb.)和湖生卵胞藻(*Oocystis lacustris* Chod.)等。以上优势种类中,以蓝藻分布最广。

蓝藻以冬春季含量较低,通常此时生物量低于硅藻。但随着温度的回升,细胞数和生物量急剧增加,常于夏季丰水期到来前达峰值。当光照、温度、营养物以及水动力等条件适宜时,它们将呈爆发性增长,在局部湖区聚集而飘浮于湖面,形成“水华”^[10]。

据作者调查,50年代末就有人在五里湖局部水域见到湖靛(水华),60年代中期鼋头渚附近水域也开始出现,70年代中期在焦山附近亦见有大片水华漂浮。此后,人们在湖上观察,水华面积越来越大,80年代初,五里湖和梅梁湖约2/5湖区,每逢夏季便出现水华现象^[2];80年代末则发展到梅梁湖的3/5,且西部岸边局部也有出现^[1];1994~1995年调查^①表明,水华面积已覆盖梅梁湖全部,以及竺山湖、西部沿岸带及北部湖心区。水华的蔓延有自北向南、自西向东的发展趋势。

2.2 浮游动物和底栖动物耐污种类增加,银鱼捕捞量近期明显下降

表2 太湖夏季浮游动物和底栖动物数量变化(1960~1993)

Tab. 2 The species and quantity of zooplankton and zoobenthos in summers

项 目		1960年7月	1980年7月	1987年7月	1991年6月	1993年6月
浮游动物	种类数	57	74	79	54	43
	数量(个/L)	3687	1571	2663	409	455
底栖动物	种类数	40	48	59	43	—
	数量(个/m ²)	164.4	137.7	301	294	—
	生物量(g/m ²)	73.5	44.8	98.6	50.4	—

太湖浮游动物自1960年以来,种类数和数量均有较大的变化(表2)。以夏季6~7月资料分析,种类数由1960年的57种,增加至80年代末的79种,而后急剧下降至目前的40多种;数量总体亦呈降低趋势,1993年为每升455个,仅为1960年时3687个/L的12.3%。浮游动物单位个数下降以60~80年代间和80年代末至90年代初之间最为明显,其中后者期间每年约下降21.2%。若以生物量计,情况则不同。据研究^[6],1988年西太湖浮游动物生物量与1960年相近,与1981年相比减少74%。浮游动物生物量减少主要是种类减少,尤以大型浮游动物减少明显。如西太湖1987年与1980年相比,原生动物、轮虫下降了47.0%和45%;而枝角类和桡足类则分别下降了65%和76%。太湖浮游动物的减少可能与以下几个因素有关,太湖实行半年封湖后,虽保护了部分经济鱼类,但野杂鱼产量也在不断增加。由于野杂鱼与银鱼主要以浮游动物为食,所以实行封湖后加大了对浮游动物的压力。因鱼类的摄食量增大,造成浮游动物数量,特别是大型浮游动物数量的锐减。

80年代初以来,从3次分析到的20多个浮游动物优势种中知,仅有轮虫中的针簇多肢

① 由中国科学院南京地理与湖泊研究所和太湖流域水资源保护局共同完成。

轮虫(*Polyathra trigla*)为常年优势种。

据分析对比,1960年时几乎未见污染种类浮游动物;1980年在五里湖和一些进出河港口已发现有不少 β -至 α -中污带水体指示种类^[2],如巨腕轮虫(*Pedalia* sp.)和异尾轮虫(*Trichocerca* sp.)等;1987年则又出现 α -中污染种类^[1],如水轮虫(*Epiphanes* sp.)分布于五里湖和竺山湖,以及萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*),几乎全湖性分布;1992~1993年发现污水中常见的钟形虫(*Vorticella*)有大量出现,以及还有萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫(*B. angularis*)大量繁殖。这两种轮虫是富含有机悬浮质的水体中的常见种。因此,30多年来太湖浮游动物耐污种类数量呈逐渐增加趋势,反映水污染加重、营养程度上升。

太湖底栖动物种类80年代末以来有明显下降,1987~1991年间,平均每年减少4种(表2),数量和生物量60年代以来波动较大。1960~1991年间,软体动物(如蚌、贝、螺等)每年每平方米约增加5.5个,环节动物每年增加0.5个。由于个体趋小^[11],生物量除1987年略高外,30年来变化较缓慢。除了东太湖底栖生物生物量增加外,其它湖区甚至减少,这与70年代末以来人们在西太湖采用吸螺机和拖网船等大肆捕获蚌、贝和螺有关^[11]。

1992~1993年共采集到软体动物28种、环节动物6种、节肢动物6种。与1980年和1987年相比,软体动物增加5种,而环节动物和节肢动物则减少了25%和40%。其原因是太湖近年来水体生态环境变化较大,富营养化日益加剧,以致一些不耐污染的种类消失^①。

太湖底栖生物中60年代以河蚌(*Corbicula fluminea*)、湖螺(*Viviparus quadratus*)为主要种类^[4]。80年代除河蚌和湖螺外,又增加了光滑狭口螺(*Stenothyra glabra*)^[11],并且在局部湖区已发现有较多的耐污种苏氏尾鳃蚓(*Branchiuris soxerbyi*)出现^[1]。进入90年代,除湖心区仍以河蚌和光滑狭口螺为主外,西太湖沿岸和梅梁湖区出现了较多的齿吻沙蚕(*Nephtys* sp.);五里湖和梁溪河入湖口区底栖动物组成已主要是耐污的摇蚊幼虫和寡毛类,主要种类有羽摇蚊幼虫(*Tendipes* gr.)和克拉伯水丝蚓(*Limnodrilus claparedianus* Ratz)等。

1959年以来多次研究和调查,太湖鱼类共有106种,分隶于15目24科。被捕捞的鱼类主要有湖鲚、银鱼、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢、鳙、鳊、鲂等,非鱼类水产主要为虾蟹等。1952~1989年间,太湖渔业总产量呈上升趋势,1989年的产量是1952年的近3倍。1990年以后产量略有下降。与此相应,著名的太湖经济鱼类——银鱼,1986年最高捕获量达2158t,但此后呈下降趋势,1993年逐渐降至1764t,近两年下降速度增加,1994年下降了36.6%,为1118t,1995年又呈大幅度下降,产量仅达700t余(图4)。

2.3 水生植被严重退化,种群数减少,优势种更替

50、60年代调查时,太湖水生植物有66种,其中沉水植被优势种为马来眼子菜(*Potamogeton, malaianus*)^[4,12]。沉水植物除在东太湖和西太湖沿岸带有大量生长外,在五里湖等其它湖区亦有大面积生长。但经过30多年的人为影响和自然演变,目前太湖水生植物仅为17种,优势种演替为苦草(*Vallisneria spiralis*)。70年代调查时,五里湖已无天然水生植被,部分沿岸带水生植物萎缩;进入90年代,原在竺山湖生长茂盛的沉水植物亦近灭绝。造成太湖水生植物严重退化的原因主要有以下几点:

2.3.1 围垦 50~80年代间,太湖遭到了大面积围垦,共建立围堤116座,使湖面减少了

① 中国科学院南京地理与湖泊研究所、太湖流域水资源保护局。太湖水环境生态及富营养化初步研究报告,1995

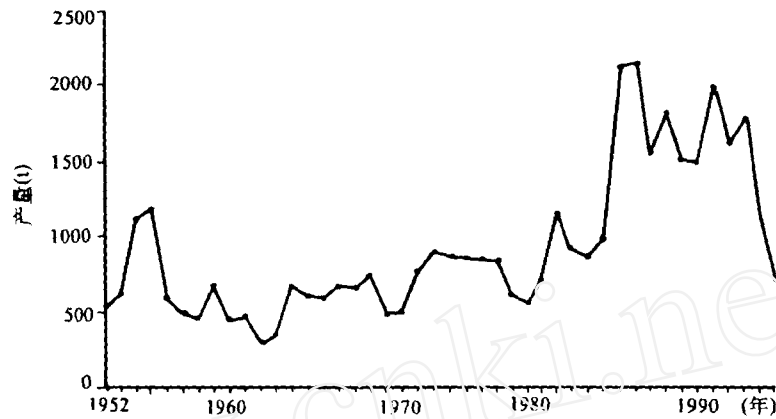


图4 太湖银鱼历年产量变化(1952~1995)

Fig. 4 The variation of ice fish catch in Taihu Lake

160.12km²,占未围垦前原湖泊面积的6.1%^[13]。由于大多数围垦水面属于湖滩地,非常适宜大型水生植物生长,因此湖岸围垦,使大量的水生植被萎缩、消失^[12]。

2.3.2 刈割强度增加 历史上太湖周围农民和渔民就有在湖中(特别是东太湖)刈割水生植物用于养蚕、燃料、饲料等习惯。但自70年代初起,在天然捕捞的基础上发展了围垦区池塘养鱼,80年代又兴起了湖内大面积围栏养鱼,90年代改进为小面积网围精养鱼和蟹。但不论何种养殖方式,均以湖体中的沉水植物和茭草为主要饵料^[12]。1959~1986年,主要是捞取湖内水生维管束植物用于围垦区的池塘养殖。1980年约 8×10^4 t,1986年达 26×10^4 t。由于马来眼子菜对刈割十分敏感,而逐渐消亡;苦草再生能力强、恢复生长快因而生长繁茂。1986~1993年为大规模网围养鱼的兴起阶段,兼有池塘养鱼捕捞,每年捞取和刈割的水生植物约 31.5×10^4 t,其中沉水植物刈割比例较大。使组成和分布再度变化^①。苦草分布面积缩小,被微齿眼子菜和马来眼子菜所取代。网围养鱼亦使茭草群丛退缩,由杏菜+野菱群丛代之。

2.3.3 水质污染 五里湖和竺山湖原都为水草生长茂盛的湖区,但由于人为活动的影响和污水大量输入,使两者湖体水质逐渐下降(表3)。

据调查^[8],50年代五里湖透明度部分湖区可见底,水下光照充足,非常适宜水草生长。到1980~1981年透明度降至45cm,透光层大幅度减少,已不适宜水生植物的生长。这种变化与该湖体的有机污染物和营养物含量大幅度上升有密切关系。50年代初 COD_{Mn} 为1.42mg/L,80年代初则已上升至原来的2.6倍,90年代则又增加到4.3倍;氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)则由50年代的0.079mg/L上升至1992~1993年的1.57mg/L,为50年代时氮含量的近20倍。

竺山湖位于太湖的西北角,80年代末调查时,该湖区水草长势仅次于东太湖,距岸边500m内水域有大片苦草分布,生物量为400g/m²。近几年来该湖区因接纳太湖运河的污水量加大,湖区环境质量明显下降,主要表现在有机物和营养物含量上升,透明度下降(表3),使苦草覆盖面积大量萎缩。1995年6月同期调查该湖区沿岸时,已难觅连片苦草分布,生物

① 周万平、吴庆龙等. 东太湖渔业增养殖技术与环境优化模式的研究(研究报告). 1995.11

量已下降至 50~100g/m²。

表 3 五里湖和竺山湖主要水质指标变化

Tab. 3 The variations of main water quality items in Wuli Bay and Zushan Bay

湖名	年份	COD _{Mn} (mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	透明度(m)
五里湖	1949~1950 ^[8]	1.42	0.079	1.57
	1980~1981 ^[2]	3.74	0.21	0.45
	1987~1988 ^[1]	4.38	0.61	0.50
	1992~1993	6.04	1.57	0.35
竺山湖	1987~1988 ^[1]	3.47	0.35	0.80
	1992~1993	4.51	0.48	0.64

3 结语

40 多年来水质和营养程度变化及生物种群结构的演替趋势已经表明,水体生态环境已发生了明显改变,向着恶化或不良的方向发展。人为活动影响是太湖生态环境变化的最重要因素。恶化的水环境质量已成为该地区经济发展和人民生活水平提高的主要制约因素之一。为了减缓太湖富营养化进程、控制水质恶化,必须进行大规模综合治理,以及加大环境管理力度。一方面应重点治理外污染源,如对农业非点源污染控制、生活污水和工业废水处理等,另一方面则应注重对湖体生态环境的恢复和内源污染控制,如恢复沿岸带水生植被,实施对藻类竞争抑制;局部湖湾和河口底泥疏浚,减少污染内负荷;收获藻类物质,取出营养物;应用高效物理生态净化工程,保护取水口水源,以及按环境优化模式和增养殖技术进行养殖,减低局部水域养殖污染等,使太湖这一重要大型水体逐步走向物质、能量良性循环和生物种群结构的合理状态。

致谢 文中应用的 1990 年以来部分水化学和水生生物原始资料由周万平、张立、李文朝、吴庆龙及陈开宁等提供,谨此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 孙顺才,黄漪平. 太湖. 北京:海洋出版社,1993
- 2 太湖环境质量调查研究组. 太湖环境质量调查研究. 上海师范学院学报(自然科学版),1983:50~83
- 3 诸敏. 太湖水质变化趋势及其保护对策. 湖泊科学. 1996,8(2):133~138
- 4 中国科学院南京地理研究所. 太湖综合调查初步报告. 北京:科学出版社,1965
- 5 蔡启铭等. 太湖水质的动态变化及影响因子的多元分析. 湖泊科学. 1995,7(2):97~106
- 6 范成新等. 太湖营养元素的变化与浮游生物的演变. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊(第9号). 北京:科学出版社,1992:37~47
- 7 华东师范大学生物系. 东太湖水生生物调查. 华东师范大学校刊,1959:25~42
- 8 朱树屏等. 太湖北部湖水中几种理化性质的周年变化. 海洋与湖沼,1959,2(3):146~162
- 9 中国科学院南京地理研究所湖泊室. 江苏湖泊志. 南京:江苏科技出版社,1982:132~148
- 10 杨清心. 太湖水华成因及控制途径初探. 湖泊科学. 1996,8(1):67~73
- 11 陈文海. 太湖螺蛳资源变动状况及其增殖措施. 海洋湖沼科学文集(二). 北京:农业出版社. 1986:129~131

- 12 张圣照. 东太湖的植被及其环境条件. 海洋湖沼研究文集(一). 南京:江苏科技出版社. 1986:84~87
13 窦鸿身等. 太湖流域围湖利用的动态变化及其对环境的影响. 环境科学学报. 1988,8(1):1~9

HISTORICAL EVOLUTION OF WATER ECOLOGICAL SETTING IN TAIHU LAKE

Fan Chengxin

(*Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract

Based on the analysis of all comprehensive research in Taihu Lake during 1950—1995, the evolution about aquatic ecological setting was studied by means of evaluation and comparison for water quality and aquatic creature. The main pollutants (nitrogen, phosphorus and COD_{Mn}) of Taihu Lake have been raising since 1960, especially since 1980. COD_{Mn} content has increased by 136% for thirty-five years and total phosphorus went up at the speed of 9.9% in the recent years. The water quality and trophic level reached one grade in 10—15 years. Since the 1980s the dominant algae have been blue-green alga and diatom; however, the species amount of phytoplankton gradually decreased. The algal cell number rose rapidly and the blue-green algal bloom occurred frequently. The cladoceran, copepod and annelid, arthropod decreasingly came to appear in the zooplankton and zoobenthos, whose pollution-resistant species nevertheless increased. And pollution-resistant species of zooplankton and zoobenthos increased, and the genera of fish reduced, of which the ice fish catch greatly dropped in recent years. The degeneration appeared seriously in the aquatic macrophyte, which had withered or was contracting in Wuli Bay and Zhushan Bay. The ecological setting change over 40 years in Taihu Lake was mainly related to human activity, such as discharging polluted water, pen culture in lake, excessively catching aquatic products and so on.

Key Words Taihu Lake, evolution, water quality and eutrophication, aquatic creature