

太湖底泥的空间分布和富营养化特征^①

袁旭音¹, 许乃政¹, 陶于祥¹, 郑祥民², 刘德辉³

(1 南京地质矿产研究所, 江苏南京 210016)

(2 华东师范大学地理系, 上海 200062)

(3 南京农业大学资环学院, 江苏南京 210095)

摘要 太湖是一个大型的浅水湖泊, 周围有数十条入湖河流, 陆地风化物质被携带入湖即形成了底泥。由于湖底地形的差异, 底泥在湖中的分布并不均匀。根据浅地层剖面仪的测量, 在湖的西部存在一条南北向分布、宽度不等的古河道, 底泥主要分布于古河道, 在湖的沿岸和东太湖也有分布。根据估算, 太湖底泥的蓄积量约为 13.5 亿 m³。太湖周围人口密集, 工农业发达, 二十多年来经济的快速发展引起了湖泊的富营养化, 太湖底泥中的营养元素不断增高, 并在一定的条件下向水体释放, 加剧了水体的富营养化, 引起连续多年春夏季节的蓝藻爆发。经过政府的源头控制和治理, 目前富营养化状况初步得到遏止, 并有改善的迹象。但底泥中的营养元素可以在很长时间内释放, 因此富营养化的治理将是一个长期的过程。

关键词 底泥; 分布; 富营养化; 太湖

中图分类号 X15 **文献标识码** A

太湖位于长江三角洲南翼坦荡的太湖平原上, 是我国东部一个大型的浅水湖泊。太湖平原北为长江河口段, 南为杭州湾, 西边紧接天目山余脉的低山丘陵, 东距东海不到 100 km。平原地势周边高中间低, 自西向东略有倾斜。湖泊南北长 68.55 km, 东西宽 34.11 km, 水面面积 2338 km², 是仅次于鄱阳湖和洞庭湖的全国第三大淡水湖泊。太湖湖底极为平坦, 72.3% 的湖底处于水深 1.5~2.5 m 之间, 平均水深只有 1.89 m。太湖中有岛屿 51 个, 总面积 89.7 km², 主要分布在太湖的东部。洞庭东山原来也是湖中的一个岛, 一百多年以来, 因泥沙淤积逐渐与陆地相连, 成为伸进湖中的半岛, 并将太湖分割成西太湖和东太湖, 东太湖面积 130 km², 平均水深仅 0.9 m。太湖主要由苕溪、南溪和运河三个水系补给, 出湖水量主要通过东太湖的太浦河与吴淞江, 二者曾占出湖水量的 70% 以上。在太湖和其它小湖之间有塘、浦、江、河穿插其间, 形成了四通八达的河道网。

1 太湖湖底地形和底泥蓄积量计算

1.1 太湖湖底地形

^① 收稿日期: 2002-04-24

万方数据

第一作者简介: 袁旭音(1964~)男, 江苏无锡人, 研究员, 从事环境地质和环境地球化学研究。

浅地层剖面仪是一种声学遥测设备,它利用声波在不同地层界面上的反射回波,在记录纸上如实、直观地测绘出湖底沉积地层的结构和分布,具有快速、直观等特点。我们通过 2000 多 km 的太湖湖底浅地层剖面勘测和部分钻孔资料,初步获得了太湖湖底地形及地层的分布信息(图 1)。浅地层剖面探测显示,平坦的太湖湖底在地层组成和古地形上可以分成两类:一类是层位稳定的硬质粘土层组成平坦的湖底,表层覆盖有 5~20 cm 厚度的现代湖泊沉积淤泥层,主要分布在太湖中部及东部;另一类为由全新世疏松淤泥沉积物充填堆积的沟谷古地形。疏松淤泥沉积物主要分布在太湖的西区,呈南-北向带状发布;也有零星分布于沿岸和东太湖的局部地带^[1]。浅地层剖面探测反映古河道的疏松淤泥沉积厚度不一,一般厚度仅在 2~5 m,最大厚度达 8~9 m,疏松淤泥层之下仍为硬质粘土层。

综合各条浅地层剖面探测结果,可以大致确定全新世疏松淤泥分布的范围(图 2),从图中显示,疏松淤泥层分布区虽然大致连成一片,但是其内部仍然存在岛状分布的袒露硬质粘土层。古地貌分析显示,太湖西区为古太湖的低洼谷地,由多条贯穿太湖南北方向的宽达 1~7 km 不等的古洼地沟谷组成;这些由硬质粘土组成的古洼地被后期全新世的疏松淤泥填充和淤平,形成了现在的疏松淤泥分布区,而低洼谷地古地形的高低差异造成了疏松淤泥厚度的悬殊。

1.2 底泥的分布蓄积量计算

从实际调查情况看,底泥主要分布在太湖古河道、北部的五里湖、梅梁湾、东太湖、入湖口附近、湖西岸附近、东山岛和西山岛沿岸,其中古河道内底泥厚度最大,可达 9 m,五里湖和梅梁湾中底泥厚度为 0.8~1.5 m,太湖沿岸的底泥一般在 0.2~0.6 m,西山岛沿岸底泥的厚度一般为 0.1~0.2 m。底泥的厚度分布既跟地形有关,又与河流的带入量有关,因此要准确计算底泥的蓄积量是很困难的。

根据浅地层剖面仪的测定结果和钻孔采样,我们将古河道的底泥厚度定为 1.5 m,五里

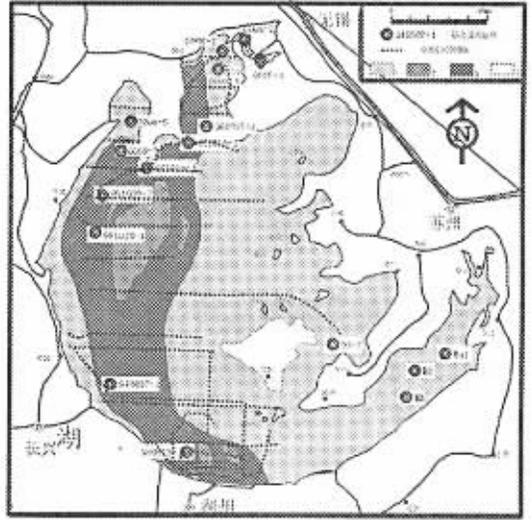


图 1 太湖底泥调查路线和钻孔分布

Fig.1 Survey routes and core distributions of bottom sediments in Taihu lake

1-非古河道湖区 2-古河道中高地 3-古河道位置 4-陆地

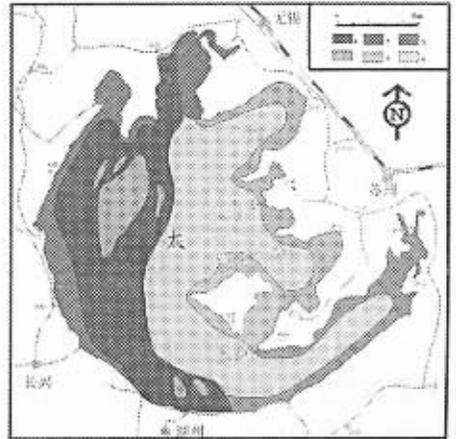


图 2 太湖底泥的分布图

Fig.2 Distribution of bottom sediments in Taihu lake

1-古河道 2-北部淤泥区 3-东太湖底泥; 4-湖岸底泥 5-西山岛沿岸底泥 6-硬质粘土区

湖和梅梁湾的底泥厚度定为 1.2 m, 竺山湖和东太湖为 0.5 m, 太湖沿岸底泥的厚度定为 0.3 m, 西山岛沿岸定为 0.15 m。用 MAPGIS 软件统计出底泥分布的面积, 然后用厚度乘上面积得出底泥的体积。

太湖底泥蓄积量 = 古河道蓄积量 + 五里湖、梅梁湾蓄积量 + 竺山湖、东太湖蓄积量 + 湖岸蓄积量 + 岛屿沿岸蓄积量。平均厚度 1.5 m、1.2 m、0.5 m、0.3 m 和 0.15 m 的面积分别是 682.39 km²、83.31 km²、229.88 km²、319.72 km² 和 144.84 km²。由此得到太湖底泥的蓄积量为 13.56 × 10⁸ m³。

2 太湖底泥的富营养化特征

近年来, 太湖的富营养化特征非常明显, 几乎每年夏天都有大面积的蓝藻爆发, 主要分布在北部湖湾、西部和南部沿岸, 对水质和鱼类产生了严重的危害^[2]。底泥是营养元素的聚集地, 对湖泊富营养化贡献很大。限于经费的原因, 本次工作主要范围在五里湖、梅梁湾和竺山湖, 兼顾太湖其它地区的底泥。太湖北部是太湖底泥污染最严重的部分, 也是营养元素的高值区, 通过野外实地调查和室内分析测试, 基本摸清了太湖尤其是五里湖、梅梁湾和竺山湖底泥营养元素的分布规律, 从而为清淤和其它综合治理工作提供参考依据。

2.1 样品采集与分析结果

为了全面了解太湖的底泥污染状况, 根据其湖底地貌特征及沉积物的分布, 于 2000 年 1 月和 8 月在太湖布设了 43 个采样点, 主要分布在五里湖、梅梁湾、竺山湖、湖西岸、湖南岸、湖心和东太湖, 共采集 43 个表层样, 7 个柱状样。在野外作业船上采上底泥后, 立即装入聚乙烯塑料袋中编号后密封保存, 带回实验室进行分析测试, 其余样品放入冰柜待分析。

测试项目有有机碳、氮磷的总量和有效态、有机磷、无机磷、溶解氧、pH 值、COD_{Cr} 和 NH₃-N。总氮采用凯氏法, 主要原理是沉积物中的含氮化合物, 经浓硫酸及少量的混合催化剂的作用, 在强热高温处理下分解, 使氮素转变成 NH₄⁺, 再用酸标准溶液滴定。有效氮采用碱性扩散法, 其原理为在扩散器中, 沉积物于碱性条件和硫酸亚铁存在下进行水解还原, 使易水解态氮和硝态氮转化为硼酸溶液所吸收, 吸收液中的氨再用标准酸滴定。

总磷测定用酸溶钼锑抗比色法。该方法的原理是含磷矿物及有机磷化合物与高沸点的硫酸和强氧化剂高氯酸作用, 使之完全分解, 全部转化为正磷酸盐而进入溶液, 然后用钼锑抗比色法测定。无机磷和有机磷测定均用烧灼法。有效磷分析采用碳氢钠法, 它适用于微酸和微碱性的沉积物。用 NaHCO₃ 溶液浸泡沉积物, 可与沉积物溶液中 Ca²⁺ 形成 CaCO₃ 沉淀, 同时由于 pH 值升高而使活性较大的 Fe-P、Al-P、Ca-P 浸提出来。COD_{Cr} 用重铬酸钾法, NH₃-N 用纳氏试剂比色法^[3,4]。

2.2 底泥中有机碳和 pH 值的分布

有机碳经酸溶去除碳酸盐后, 在美国 CE-440 元素分析仪上测定。底泥的有机碳含量范围为 0.99% - 4.73%, 平均 1.41%, 但在不同地段有差别。图 3 显示东太湖底泥的有机碳含量最高, 其次为北部的底泥, 中部底泥的含量最低。从岩芯的样品分析看, 50 cm 以上的样品有机碳变化不大, 50 cm 以下则含量明显减少, 可能与有机质的分解有关。

本次工作测定的底泥 pH 值变化于 6.36 - 7.65, 平均值为 6.82, 这些数据主要集中在北部地区。根据《太湖》一书的资料, 在 1988 年的实测中, 太湖表层沉积物的 pH 值变化于 6.90

-8.09,平均值为7.62,最低值出现在西南的新塘附近,最高值出现在西北的沙塘港附近^[5]。对比二者数据可以看出,经过十多年后,太湖底泥的pH值明显变小了,说明有酸性物质的介入。

2.3 底泥的营养元素的平面和垂向分布

底泥的营养元素主要指氮和磷,它们是植物生长的必需元素,也是富营养化的关键元素。太湖底泥总氮的高值主要集中在五里湖、梅梁湾北部沿岸、竺山湖、西部大浦-夹浦一带及东太湖。大部分地区主要与生活污水排放有关,东太湖则是由于水生植物繁盛,死亡后沉入湖底腐烂,引起总氮的含量升高。有意义的是,有效氮与总氮的分布是一致的,表明其氮的存在形式大致相同。无论是总氮还是有效氮,从沿岸向南部湖心方向呈降低趋势。

总磷分布以五里湖、雪埭桥镇、胡埭镇一带沿岸,西部大浦、南部小梅口为高。无机磷和有效磷的分布均有相似规律。由于样品量不够,有几个点的有机磷缺少数据,现有数据表明,有机磷的分布以城市(镇)附近的底泥较高,含量占总磷的差异很大,为0.41%~29.9%,与生活污水的排放有很大关系。

为了解底泥中营养元素的垂直变化情况,在五里湖、梅梁湾和竺山湖采集了7个钻孔,并分析了其中的四个。这些沉积柱具有代表性,002孔取自五里湖,003孔取鼋头诸附近,004孔取自梅梁湾,006孔取自竺山湖。从总氮含量变化来看,四个沉积柱的变化曲线大致可以分成两类,一类是下部含量低,到表层逐渐升高(002孔、006孔)。另一类是从深部到表层含量呈S形变化的(003、004孔)。有效氮的变化基本上均呈S形变化。总氮的含量一般都能从20cm以上开始升高,按照西太湖平均沉积速率 0.41 mm/a ^[6],20cm大致在十六世纪,那时太湖流域的农业生产已形成规模,由于农田肥料的使用,养殖业的开始而使总氮增加。湖泊沉积物中氮、磷的溶出,在机理上是不同的,氮与沉积物中含氮化合物的氧化分解的程度有关,而磷则与其化学沉淀形态有关^[7]。而且氮也容易转移,植物、微生物和鱼类都可以吸收氮,使沉积物中氮减少。四个柱状样的有效氮在近表层时都降低了,这些减少的氮进入了水体。由于总氮包括 $\text{NH}_4^{++}-\text{N}$ 、 NH_3-N 、 NH_2-N 和有机氮等形式,太湖又是典型的浅水湖,部分 NO_3-N 和 NO_2-N 在厌氧及硝化过程中,常以 N_2 、 NO_2 和 NO_3 等气态形态逸出水面,事实上太湖水体中总氮也确实高于一般的湖水^[8]。

柱状样总磷的垂向曲线分布可以分三种形式,第一是表层和深部差别不大(002孔),第二是从下部到上部呈S形变化(003、004孔),第三是从深部到表层含量略变少(006孔)。有效磷含量变化亦为三种形式,一为自深部到表层升高(002孔),二为S形变化(003、006孔),三为从深部到表层减少(004孔)。磷的变化比较复杂,这跟不同形式磷的存在有关。与东太湖沉积物相比,太湖北部有效磷含量较高,而且所占总磷的比例也高,东太湖沉积物有效磷占总磷的0.50%~2.03%^[9],北太湖则为1.46%~5.64%,明显所占比例要高。

2.4 底泥的 COD_C 和 NH_3-N 特征

太湖自1987-1988年在五里湖和梅梁湾出现重污染水体(V类)以来,其水质问题就一直倍受关注。这两个湖湾是无锡市重要的水源地,水质的好坏直接关系到人们的生产和生

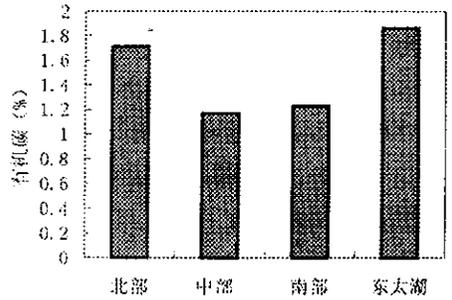


图3 太湖底泥的有机碳分布

Fig.3 Distribution of organic carbon in bottom sediments of Taihu Lake

活。“太湖零点行动”计划的实施,水质有了一定程度的改善。但因底泥是一巨大的污染物储存库,底泥中物质含量大小是决定该物质向水中释放程度的重要因素之一,底泥的扰动、温度的升高、pH值的改变都会使污染物释放到上覆水体中,引起水体的二次污染。

COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 是反映底泥无机和有机耗氧性污染程度的两个主要指标。从表层样的测定结果来看,五里湖和梅梁湾的表层底泥 COD_{Cr} 与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 均呈现不规则的波状起伏,说明不同地点污染程度不同。总体上,五里湖 COD_{Cr} 与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的平均数值高于梅梁湾,表明五里湖的 COD_{Cr} 与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的污染比梅梁湾严重(表 1)。

表 1 五里湖和梅梁湾底泥的 COD_{Cr} 与 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 含量

Table 1 Concentrations of COD_{Cr} and $\text{NH}_3 - \text{N}$ in bottom sediments of Wulihu and Meiliangwan

项目	COD_{Cr} (mg/kg)		$\text{NH}_3 - \text{N}$ (mg/kg)	
	平均值	变化范围	平均值	变化范围
五里湖	19853	14286 ~ 27874	65.46	26.71 ~ 103.9
梅梁湾	12319	8317 ~ 18902	57.63	7.44 ~ 107.1

究其原因这是由于五里湖较为封闭,污染物质基本上在湖内循环,而梅梁湾相对要开阔得多,与湖外物质交换频繁,污染物循环流通快,因此 COD_{Cr} 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的浓度相对低。

垂向上,这两个湖湾的底泥都有一个共同的规律—三段式分布:表层(0~20 cm)含量较高,中层(20~70 cm)含量最高,下层(70~100 cm)含量最低。其垂直分布见图 4。五里湖和梅梁湾水深一般小于 2 m,风浪和船只的搅动作用明显,对表层沉积物的影响较大。

总之,两个湖湾底泥的 COD 垂直变化小, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的垂直变化较大。它们的垂向变化规律不明显,梅梁湾的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 由低到高,五里湖的 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 由低到高再到低,反映该地区底泥的扰动频繁。

2.5 北部湖湾近十年 TN、TP 的变化趋势

几次大面积的底泥调查结果看,太湖总氮和总磷自 60 年代开始整体上升。1995-1996 年底泥的总氮比 1980 年上升了 44.6%,总磷在 1960-1995 年间上升了 31.8%^[5]。根据以往的研究和我们的测定结果^[10,11],北部湖湾不同时期的 TN、TP 含量列表如下(表 2)。从表中可以看出,90 年代初期、中期和 2000 年,五里湖 TN 的含量平均分别为 0.18%、0.28% 和 0.12%;TP 分别为 0.09%、0.10% 和 0.08%。相应的梅梁湾 TN 值几乎不变,为 0.08% 左右;TP 值为 0.06%、0.06% 和 0.07%。从中看出五里湖氮磷的变化明显,梅梁湾不明显;另一方面氮的变化大,磷的变化小。北部湖湾底泥总氮和总磷的变化是太湖变化的一个缩影,反映出经过近年来政府治理力度的加大,湖泊的富营养化状况得到初步控制。

3 太湖富营养化的分析及评价标准

3.1 太湖的富营养化现状

湖泊沉积物中的营养盐是形成湖泊富营养化的关键因素,也是植物生长的关键因素。尤其是磷,是藻类生长的主要限制因子,它来自外源,可以在沉积物中保留很长时间^[12]。太湖底泥的总磷分布明显反映出两个较大的富集区—北太湖和太湖的西部、西南部沿岸,北太湖主要在五里湖和梅梁湾,湖西部、西南部集中在大浦、新塘、小梅口一带,这些地方往往是

夏季蓝藻爆发的地点。太湖底泥中的总磷含量不是很高,其平均值比抚仙湖、洱海沉积物的含量低^[7],但总体富营养化程度高于此两湖,与太湖是浅水湖、营养元素易释放不无关系。

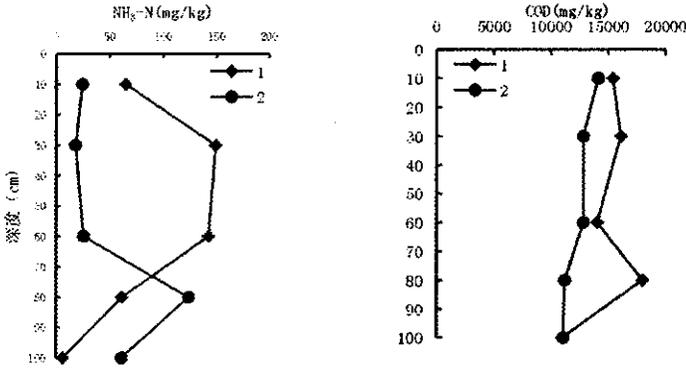


图 4 五里湖、梅梁湾 COD_{Cr} 和 NH₃-N 的垂直分布图

1 - 五里湖 2 - 梅梁湾

Fig.4 Vertical distribution of COD_{Cr} and NH₃-N in bottom sediments of Wuli Lake and Meiliangwan

表 2 五里湖和梅梁湾 TN、TP 90 年代以来的变化 (%)

Table 2 Changes in TN and TP of Wuli Lake and Meiliangwan during the past decade

项目	年份	五里湖	梅梁湾	资料来源
TN	1990	0.167	0.088	隋桂荣,1996
	1991	0.176	0.075	
	1992	0.181	0.077	
	1993	0.295	0.084	
	1996	0.278	—	范成新等,1998
	1998	0.129	0.072	
	2000	0.123	0.076	本文
TP	1990	0.089	0.061	隋桂荣,1996
	1991	0.081	0.057	
	1992	0.104	0.06	
	1993	0.085	0.062	
	1996	0.095	0.061	范成新等,1998
	1998	0.082	0.063	
	2000	0.083	0.075	本文

太湖底泥的营养盐高的区域与重富营养型区域大体一致,总氮和总磷在五里湖和梅梁湾较高,西部沿岸大浦-小梅口一带总磷含量高,东太湖的总氮含量高。有机氮的分布较为集中,几乎最高含量的底泥全集中在无锡市附近的中桥水厂、东五里湖、石桥、充山背、鼋头渚和三山,其中中桥水厂最高(有机氮 0.202%),是平均值的近 3 倍,可见北太湖的有机氮的污染比较严重^[5]。东太湖的有机氮比北太湖还高,平均可达 0.253%,但富营养化程度低于北太湖,原因在于其磷含量较低。

太湖富营养化在丰水期和枯水期有所不同,太湖丰水期一般拥有中、中-富营养、富营

养、重富营养四种营养类型,其中大部分湖面属中-富营养型,富营养型面积约占太湖的 1/3。五里湖大渲口附近出现重富营养型,胥口以西和洞庭西山以北一带水域属中营养型,约占太湖湖面的 1/5。太湖枯水期富营养型区域几乎占全湖的 1/2,较丰水期有的扩展,原来在丰水期的中营养型区将不复存在,重富营养型区域也较丰水期扩大,可以漫延至五里湖中桥水厂、独山口和西北胥江口附近水域。太湖丰水期、枯水两期富营养型水域主要分布在北部湖湾和自西部向南直至东南部沿岸一带,形成这种情况与太湖主要入湖河道位置以及城镇分布有关,这些水域首先接纳大量的由上游河道及城镇排放的废水和污水。

从太湖底泥不同时期氮、磷的变化来看,二十世纪八十年代是太湖流域工农业的快速发展时期,也是居民生活大幅度改善时期。无论是农田施肥、工业废水排放,还是生活污水、生活垃圾的堆放,都有大量的氮磷进入太湖(尤其是含磷洗衣粉的使用),造成了底泥中氮磷元素的不断升高。九十年代中期以后,由于政府对太湖环境的逐步重视,减少了污染源排放,逐步禁用了含磷洗衣粉,使得外源的氮磷元素增加很少,因此太湖水质有好转的迹象。

3.2 与其它湖泊的营养元素对比

总氮和总磷的含量可以反映湖泊水体的富营养化程度,一般而言,富营养化严重的湖泊,其沉积物中营养盐含量也高。表 3 是中国某些湖泊(水库)营养盐的含量和营养状况。与中国国内的 30 个湖泊相比,太湖的总氮和总磷总体处于中等水平,甚至比多数湖泊的总

表 3 中国某些湖泊(水库)沉积物中营养盐及营养状况*

Table 3 The trophic status of sediments in lakes and reservoirs in China

湖泊名称	总磷 (mg/kg)	总氮 (mg/kg)	N/P	营养度 指数	营养状况
武汉墨水湖	4504.7	25632.0	5.69	80.5	异常营养
广州流花湖	1792.9	3479.0	1.94	87.7	重富营养
南京玄武湖	2160.0	4825	2.23	80.0	重富营养
城市内湖					
云南滇池	1715.9	4236.6	2.47	86.7	重富营养
杭州西湖	1569.0	9008.6	5.74	69.0	富营养
广州荔湾湖	1748	4594.3	2.63	81.3	重富营养
广州东山湖	1285.4	2156.0	1.68	80.4	重富营养
广州麓湖	1237.6	2629.0	2.12	76.1	重富营养
长春南湖	1836	4150	2.26	80.3	重富营养
水库					
高州水库	971.3	2474.2	2.55	34.0	中营养
新疆蘑菇湖水库	933.9	3141.6	3.36	70.0	富营养
安徽巢湖	331.9	624.3	1.88	62.0	富营养
内蒙乌梁素海	382.7	799.8	2.09		中营养
城郊湖泊					
新疆博斯腾湖	432.8	2140	4.95	38.4	中营养
内蒙达赉湖	405.9	2046.8	5.04	49.1	中营养
云南洱海	1002.0	2701.9	2.70	31.8	中营养
江西鄱阳湖	920.2	1198.8	1.30		中营养
江苏太湖	651.6	783.3	1.20		富营养

* 太湖为本文资料,其余引自金相灿等(1990)并补充

氮和总磷都低。但在 Dokulil 等所做的总磷与叶绿素图上,太湖正处于富营养和重富营养的界线上^[12],原因在于太湖是浅水湖,湖水没有温度分层,常常在湖面温度升高时,整体提高了湖泊的初级生产力。根据上述总磷与叶绿素图,这些国内湖泊中有 64.5% 为重富营养,只有 5 个湖(16.1%)为中度营养,贫营养的没有。表 3 显示出城市内湖的富营养化程度很高,表明人类活动加剧了湖泊的富营养化。

3.3 太湖富营养化的主要评价指标

就全湖而言,太湖的富营养化程度是不均匀的。要正确评价湖泊的富营养化程度需要多个指标,相崎宇弘采用 9 个指标,而郁根森则采用 10 指标^[7],而也有人主要利用生物指标来判断湖泊的富营养化程度^[13]。本文采用了 5 个指标,而且着重营养元素氮和磷的含量。国际上一般认为水体发生富营养化的总氮、总磷浓度为 0.2 mg/L 和 0.02 mg/L^[7],从表 4 可看出,太湖底泥的总氮含量不算高,但总磷含量比一般城郊湖泊高。研究表明,磷是植物生长的关键因子,藻类的繁殖能力与磷的供应关系密切^[14-16],也决定了太湖的富营养化程度。

底泥的耗氧量似乎没有特定的标准,只有湖水存在耗氧量的标准。从分析结果来看,底泥的化学耗氧量可以比水体高三个数量级。但从总有机质、生物耗氧量、化学耗氧量数值看,太湖比国内多数湖泊都要低,原因在于它是全湖平均值,而太湖面积较大。因此可以认为太湖富营养化区域只是占全湖的小部分面积,主要在北部湖湾和西部沿岸。

表 4 太湖富营养化的评价标准(据相崎宇弘修改)

Table 4 The evaluation guidelines of the trophic status in Taihu Lake

分值	营养类型	叶绿素 ($\mu\text{g/l}$)	透明度 (m)	总磷 ($\mu\text{g/l}$)	总氮 (mg/l)	COD (mg/l)	主要浮游植物 种类
10	极贫营养	0.66	15	0.9	0.02	0.24	
20	极贫营养	1.60	8	2.0	0.04	0.48	
30	贫营养	4.10	4.4	4.6	0.08	0.96	金藻
40	贫-中营养	10.00	2.4	10.0	0.16	1.80	金藻
50	中营养	26.00	1.3	23.0	0.31	3.60	甲藻
60	中-富营养	64.00	0.73	50.0	0.65	7.10	硅藻
70	富营养	160.00	0.40	110.0	1.20	14.00	硅藻、蓝藻
80	重富营养	400	0.22	250.0	2.30	27.00	蓝藻、钾藻
90	极富营养	1000	0.12	555.0	4.60	54.00	非常规生物

4 结论

经浅地层剖面仪测量和钻孔的分析,太湖底泥主要蓄积在西部南北向分布的古河道中,其次为北部湖湾、东太湖和沿岸地区。根据分布的面积和测量深度,计算的太湖底泥蓄积量约 13.5 m^3 。在五里湖、梅梁湾和西部沿岸,底泥的氮磷元素含量较高,它们是蓝藻爆发的重点区域,表明太湖的富营养化区域与底泥的营养元素含量基本一致。与国内其它湖泊比较,太湖底泥的氮磷元素含量中等,但富营养化程度较高,与浅水湖泊的性质有关。底泥营养元素的分析表明,随着政府环境治理力度的加强,公众环保意识的提高,太湖的水质有所好转,富营养化状况已得到初步控制。但我们还应减少营养元素的输入,特别是磷的输入。

参考文献

- [1] 洪雪晴. 太湖的形成和演变过程[J]. 海洋地质和第四纪地质, 1991, 11(4): 87-99
- [2] 蔡启铭. 太湖环境生态研究(一)[M]. 北京: 气象出版社, 1998, 1-3
- [3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 科学出版社, 2000, 146-185
- [4] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [5] 孙顺才, 黄漪平主编. 太湖[M]. 北京: 海洋出版社, 1993, 196-243
- [6] W. Y. B. Chang, 刘金陵. 11000 年以来太湖的形成与演变[J]. 古生物学报, 1996, 35(2): 129-135
- [7] 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990, 31-50

- [8] 王苏民, 龚鸿身主编. 中国湖泊志 [M]. 北京: 科学出版社, 1998
- [9] 隋桂荣. 太湖表层沉积物中 OM、TN、TP 的现状与评价 [J]. 湖泊科学, 1996 (4) : 319 - 324
- [10] CHEN Hesheng , FAN Chengxin. A way to comprehensively harness the water pollution in Taihu Lake : sludge - dredging work for environmental purposes [J]. Journal of Lake Sciences , 1998 , 10 (suppl.) : 117 - 122
- [11] 范成新, 秦伯强, 等. 梅梁湖和五里湖水—沉积物界面的物质交换 [J]. 湖泊科学, 1998, 10 (1) : 73 - 78
- [12] Dokulil M , Chen W , Cai Q. Anthropogenic impacts to large lakes in China : the Tai Hu example [J]. Aquatic Ecosystem Health and Management , 2000 , 3 : 81 - 94
- [13] Seele J , Mayr M , Staab F et al. Comination of two indication systems in pre - alpine lakes - diatom index and maceophyte index [J]. Ecological Modelling , 2000 , 130 : 145 - 149
- [14] 高锡云, 刘元波, 陈宇炜, 梅梁湾及大太湖富营养化限制性营养盐研究 [A]. 蔡启铭. 太湖环境生态研究 (一) [C]. 1998 : 50 - 54
- [15] Boers P C M , Raaphorst W V , Molen D T V. Phosphorus retention in sediment [J]. Wat. Sci. Tech. , 1998 , 37 (3) : 31 - 39
- [16] Somlyody L , Istvanovics V. Factors influencing lake recovery from eutrophication - the case of basin 1 of Lake Balator [J]. Wat. Sci. Tech. , 2001 , 35 (3) : 729 - 735

Spatial distribution and eutrophic characteristics of bottom sediments in Taihu Lake

YUAN Xu - yin¹ , XU Nai - zheng¹ , TAO Yu - xiang¹
ZHENG Xiang - min² , LIU De - hui³

(1 *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources , Nanjing 210016 , China*)

(2 *Department of Geography , East China Normal University , Shanghai 200062 , China*)

(3 *Department of Sources and Environment , Nanjing Agricultural University , Nanjing 210095 , China*)

Abstract

Taihu Lake is a large shallow one in east China. There are more than 100 streams to enter the lake which carry the weathering material into it. The bottom sediments are unevenly distributed in result of the different terrains. Based on the measurement of the shallow section instrument, we described an ancient riverbed of different width from north to south. The bottom sediments exist mainly in the ancient riverbed, along with East Taihu Lake and the areas nearby the bench. The storage of bottom sediment is about $13.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ on the basis of the calculation. As the large population and the developed industry and agriculture in the past two decades, the lake is eutrophicated. The nutrient elements in bottom sediments increase persistently to enhance the eutrophication of the lake which led to the green alga bloom in spring and summer during the past years. Such status has been held back because of the disposal and the source control of pollution material. But cleaning water of the lake will be acquired through a long time as a result of slow release of nutrient elements, especially phosphorus.

Key words : bottom sediment ; distribution ; eutrophication ; Taihu Lake