

98, 10(4)  
1-9

# 太湖环境面临的主要问题、 研究动态与初步进展

秦伯强

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

p 343.3

1-96

**摘要** 本文对太湖水环境研究作了一个简单的回顾, 指出了这几十年工作所取得的成就, 如太湖进出污染物调查和水质评估, 太湖水体光辐射观测与模拟等。结合国家有关太湖治理措施与方案, 提出了“九五”工作应该着重在湖泊生态管理模型, 水土界面营养物质交换及蓝藻水华爆发机制等领域。通过对当前国际上在这些领域中研究进展情况的回顾, 特别介绍了在湖泊水动力学的观测、解释、模拟和应用方面, 在湖泊藻类生长以及水华出现与湖泊光照条件、营养盐水平的关系方面, 和湖泊营养盐内源释放的一些最新的进展, 指出了太湖研究工作与国际上的差距所在。最后, 对“九五”期间开展工作所取得的初步成果作了一简要的总结。

**关键词** 太湖 环境演化 研究进展 国际动态

**分类号** P343.3

水环境, 湖泊

太湖是我国著名的淡水湖泊, 位于中国经济发展较快的长江下游三角洲地区, 该地区人口密度大, 城市化程度高。太湖又是上海、苏州、无锡等大、中城市的水源地, 但近年来, 随着经济的发展, 污染的加重, 湖泊富营养化日趋加剧。现在几乎每年夏天均有蓝藻水华暴发, 严重地影响着无锡市供水。国务院于1996年在无锡太湖召开了现场会议, 提出了太湖治理的方法与措施, 即到2000年太湖流域主要出入湖河流的水质要达到国家地面水Ⅲ类水质标准, 使太湖水变清; 到2010年基本解决太湖富营养化问题, 湖区生态系统转向良性循环<sup>①</sup>。实际上, 太湖的环境问题是有普遍性的。因为在我国东部众多的平原湖泊中, 绝大多数湖泊正面临着与太湖相类似的问题。因而, 对太湖水环境问题开展研究, 有着重大的实际意义与推广价值。本文试图对太湖水环境研究中的几个突出的问题, 及与这些问题相联系的国内、国际研究现状予以阐述。最后, 归纳总结了“九五”期间在太湖开展的科研工作所获得的一些阶段性认识与进展。

## 1 太湖水环境研究回顾与当前面临的主要问题

关于太湖的研究, 最早可以上溯到本世纪三十年代<sup>[1]</sup>。1949年后, 中国科学院南京地理研究所联合多家单位一起于1960年对太湖进行了一次全面系统的调查, 基本摸清了太湖地区的构造状况、湖区水文气象、水生动植物、水化学与沉积物组成。根据当时的调查结果, 总无机氮与总无机磷浓度一般在0.05—0.09mg/L和0.01—0.05mg/L<sup>[2]</sup>。对于湖流的调查显示湖流平均仅0.1—0.3m/s, 在夏季偏南风作用下, 湖流以平台山为中心, 形成一个逆时针环流<sup>[2]</sup>。当时

\* 中国科学院“九五”重点项目(KZ952-S1-220)和(KZ952-J1-212)及院“九五”重大项目(KZ951-B1-205-02)联合资助。收稿日期: 1998-08-15。秦伯强, 男, 1963年生, 研究员。  
① 太湖水污染防治“九·五”计划及2010年规划。

湖泊底质中营养盐成份很低,不存在内源污染的问题<sup>[2]</sup>。1984—1986年中日合作太湖考察项目首次进行了太湖潮流、波浪与悬浮物质等的观察,取得了大量数据<sup>①</sup>。“七五”与“八五”期间,随着太湖水环境的恶化,有关污染方面的问题也突显出来,先后进行了“太湖出入湖河道污染物总量及太湖环境容量的研究”,“东太湖局部水域水质恶化原因及其防治对策研究”,“太湖生态环境与污染源调查”等项目。这些研究项目所取得的贡献归纳起来可以有以下几点:(1)首次完成了进出太湖的主要污染物质来源,数量调查和太湖环境质量评估<sup>[3,4]</sup>;(2)弄清了东太湖地区的水产养殖对水环境影响及其大小<sup>[5,6]</sup>;(3)首次进行了湖泊光物理学的观测与模拟,以及生物可利用光强度和湖水黄质,悬浮物质等的关系<sup>[7,8]</sup>;(4)弄清楚了太湖水生生物与植物种群状况及其初步的演变情况<sup>[9,10]</sup>;(5)把遥感与GIS技术应用于水环境研究,拓展了物理湖泊学研究的内涵<sup>[11]</sup>;(6)提出了物理生态工程的思想,并在实践中加以发展完善<sup>[12]</sup>;该工程的科学基础实际上是生物调控技术<sup>[13]</sup>。上述成果使得人们对太湖水环境与生态环境系统的现状与发展有了一个初步完整的认识。

进入“九五”以后,由于污染形势的进一步发展,太湖水环境问题已经引起了从中央到地方各级政府的重视。由国家环境保护局联合国家计委、水利部及江苏、浙江、上海二省一市有关部门制定的太湖污染防治“九五”计划及2010年规划中,分别就污染控制排放,1998年达标行动计划,2000年太湖水变清行动计划和2010年太湖中营养达标规划中提出了具体行动计划。内容包括了底泥疏浚示范工程和蓝藻水华收集与预防措施。对于底泥疏浚,当前需弄清楚的是太湖内源污染程度有多大,疏浚之后,能在多大程度上解决问题。要回答这些部问题,必须开展太湖水—土界面营养物质交换与营养盐的循环方面和研究。关于蓝藻水华问题,必须研究蓝藻暴发与环境、物理、化学等因子的关系,水华的漂移与堆积必须与湖泊流场结构研究结合起来。因此,“九五”期间,由中国科学院资助,由太湖湖泊生态系统研究站牵头的大部分科研项目基本上都是围绕着上述生产实际中急需解决的问题而开展的,即通过研究水—土界面营养物质交换来回答内源污染的大小和底泥疏浚后的效果;通过研究蓝藻水华暴发的机理来回答水华防治与控制的措施;通过建立以湖泊水动力学为基础,迭加了藻类、营养盐、悬浮物质迁移和扩散等过程的太湖水环境管理模型来建立太湖水华暴发、堆积的预测模型。

## 2 国内外研究动态

### 2.1 物理湖泊学

展望国际上在上述相关领域内的研究,可以知道目前国内的差距所在。湖泊水动力学研究是物理湖泊学的一个重要内容,但这是一个较为困难的领域,其困难性主要是资料不易获得。同物理海洋学的观测一样,湖泊中的波浪、潮流等要素在时间、空间上同步,长系列及高分辨率的观测仍有很大难度。这在大型湖泊中尤为如此。即使能够收集到这些资料,如何分离各种各样的动力因子(风驱动力,湖岸喷射流,密度不均造成的重力流及地球自转的科里奥力等)造成的潮流与波动特征也非易事。以往我们常常用风场驱动或吞吐流等一级作用力来解释,显然是很粗糙的。只能解释一定时期,一定条件下某种主导型的流与波浪的特征,对于次一级的过程与特征,缺乏研究。国际上,早在六、七十年代开展的国际大湖调查年中,对北美安大略湖进行

① 太湖—琵琶湖中日合作研究科学讨论会,1STB'87,南京,1987,1-1—39-5。

的水动力学研究支持了许多新的理论与假设<sup>[14]</sup>,其中之一就是被广泛认可的“湖盆模式”(“Basin Modes”或者“Seiches”),该模式被用来解释日本琵琶湖<sup>[15]</sup>,德国 Constance 湖<sup>[16]</sup>,瑞士日内瓦湖<sup>[17]</sup>,苏黎世湖<sup>[18]</sup>与 Lugano 湖<sup>[19]</sup>的湖流与内波特征。

湖泊水动力学模拟也是该领域的一个重要组成部分,这一方面应首先归功于大气科学与物理海洋学的数值模拟的发展,较之大气与海洋物理问题,湖泊中的物理描述方程要简单得多。Hutter 在 1991 年对于湖泊水动力学方程组给出了不同类型湖泊及特定条件下方程组的简化,物理解释与适用范围<sup>[19]</sup>。在计算方法上,Casulli 于 1990 年在第八届国际水力学计算大会上,就二维浅水湖泊水动力学的差分计算,对目前国际上较为流行的“变化方向隐含法”(Alternation Direction Implicit),传统的半隐含法与全隐含法等差分格式进行了总结,讨论各自的优缺点。事实上,随着计算机的发展,对差分格式与收敛条件的要求已经远不如从前那样苛刻<sup>[20]</sup>,直接用差分法来求解完备的原始方程已经相当普遍。

但是,物理湖泊学真正有生命力的领域是在湖泊水动力学,湖泊热力学与湖泊光学三者与湖泊环境与水生生物、植物生态学等的交错上。用水动力学模拟的方法结合水体中其他物质的迁移,扩散过程来模拟湖泊中营养盐的时空分布<sup>[21,22]</sup>,藻类生物量的迁移与堆积<sup>[23,24]</sup>,悬浮物质的搬运与再悬浮等<sup>[25]</sup>。湖泊热力学研究的一个主要现象是湖泊分层与温跃层,湖泊分层使得湖泊垂向交换受阻,从而使湖泊的垂向营养盐梯度发生变化<sup>[25,26]</sup>。对浮游植物的影响表现在 2 个方面,a)温跃层深度与藻类最佳光适应深度的关系上<sup>[27,28]</sup>,这在深水湖泊非常重要;b)对藻类、特别是微囊藻的上升、下降功能进行限制<sup>[29,30]</sup>。关于湖泊热力学方面的工作,国内曾经开展了大量的调查研究,最近两年也出现了湖泊热力学方面的数值模拟研究<sup>[31,32]</sup>。湖泊光学特性及水下光传输与光强度分布因对水体初级生产力影响很大而早在 70 年代就已引起人们的重视<sup>[33]</sup>。对水体中光的分布与传输的观测与模拟计算亦逐步发展起来<sup>[33,34,35]</sup>。最近出现的生物-光学模式(Bio-Optical model),即用水体的光照分布来计算水体初级生产力<sup>[36]</sup>,就是物理湖泊学与生物或生态学相结合的一个典型例子,国内亦有这方面的研究报道<sup>[37]</sup>。

## 2.2 藻类生态学

浮游植物,特别是藻类水华的形成机制及其与环境因子的关系是湖泊学中另一个较为活跃的领域。有关的文献亦较丰富,这其中,又可以分为二部分,第一部分是有关浮游植物生长的生理特点及其与湖泊物理环境(特别是光、热等)的关系,第二部分是关于藻类生长乃至暴发与环境因子,特别是营养物质的关系。关于第一部分,主要集中在光分布与光强度与藻类生产力的关系<sup>[38,39]</sup>,光能量在藻类光合与呼吸两个过程中的传递的生理化学机制<sup>[33]</sup>,光辐射对藻类生长的限制方式、途径<sup>[40]</sup>;藻类细胞颜色对光吸收的生理机制<sup>[41]</sup>;以及藻类对光辐射变化响应的时间尺度和生理机制<sup>[12]</sup>。经过这一系列的研究,使人们对于藻类生长繁殖过程中对于光能量的依赖性及其生理机制等都有了一个较为全面的认识,并出现了以藻类响应于光变化为基础的藻类生长预测模型<sup>[42]</sup>。此外,不同的时间尺度上,外部因子,特别是湖泊中流、浪、悬浮物质等,出现长期的变化趋势,有可能使藻类响应发生本质的变化,即种群结构发生变化<sup>[29,44]</sup>。关于第二部分,即藻类生长与营养盐关系方面,不如第一部分进展快。人们都知道,藻类特别是微囊藻,有下沉上浮的功能,对于这一功能解释,有人认为是帮助藻类从湖底沉积物中吸取营养<sup>[45]</sup>,原因是水-土界面上,营养盐浓度通常比湖水高;也有人认为,藻类的这种下沉功能,可以帮助某些藻类在湖底越冬从而成为来年的“藻种”,如铜绿微囊藻<sup>[46]</sup>。至于藻类生长速度,研

究表明,取决于藻类细胞的胞内磷(P),而不是胞外磷,磷饥饿细胞可在短时间内吸收大量的磷而储存起来<sup>[47]</sup>.因此在水域中磷并不丰裕的情况下,使得其更具竞争力.关于氮元素(N),研究指出微囊藻也有较强适应能力,即使在水中氮缺乏时,它也可以通过下沉上浮等方式或者降低生长速率来适应环境中营养盐水平<sup>[48]</sup>.因而一般情况下,当N、P不太丰富而易于成为其他浮游植物限制因子时,却成为有利于微囊藻生长发展的环境条件.通过对北半球温带地区200多个湖泊的统计资料分析,发现在总磷(TP)小于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ (即低营养水平下)藻类叶绿素a与总磷(TP)的关系最好,说明在这种情况下,磷含量是藻类生长的限制因子;但当TP大于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ,藻类叶绿素a与TN和TP的复合相关最高<sup>[49]</sup>,说明在磷元素相对丰富情况下,氮也可以成为一个限制因子.至于N:P多少时才是最合适,目前尚无定论.因为不同的研究者得出的结论很不一致<sup>[48, 50, 51]</sup>.但是一般认为,低的N:P值、高温条件、没有大量的浮游动物摄食等均会有利于藻类大量繁殖<sup>[52, 53]</sup>.

应该注意的是,蓝藻水华是湖泊富营养化过程中某阶段的产物.这个阶段很可能是当水中营养盐水平达到一定程度却又不十分充分的情况下由于蓝藻某些生理上的优势,使之成为该阶段的优势种.但是当水中营养盐继续增加,达到充分的情况下,原先具有竞争优势的蓝藻等大型藻逐渐失去其优势,而光合表面积较大型藻大的小型藻在营养盐不受限制的情况下,就有可能成为优势种<sup>[54]</sup>.武汉东湖<sup>[54]</sup>及太湖五里湖<sup>[55]</sup>的演变情况提供了某种可能的旁证材料.

### 2.3 底泥营养盐释放与营养盐循环

关于底泥营养物质释放与水中营养物质的循环,这又是当今国际湖沼学研究中另一个异常活跃的领域.通过近几十年来的研究,人们逐渐认识到底泥营养盐的释放是一个物理、化学与生物综合作用的过程<sup>[56]</sup>.在湖底水-土界面上,既有向上的释放也有向下的沉降,前者如分解、矿化、扩散等;后者如吸附、凝聚等.当其净通量以下降为主时,底泥是一个汇,而当净通量为释放时,底泥为一个源<sup>[57]</sup>.一般认为由于底泥中P的浓度较湖水大,从而形成一个向上的浓度梯度,这是造成底泥释放的一个客观条件.颗粒状的有机磷(P)经细菌作用转化为无机盐,溶于孔隙水中,再经分子扩散、生物扰动、气泡和水动力扰动等进入湖水中<sup>[56]</sup>.影响底泥中营养盐释放的因素很多,最重要的是沉积物中Fe、Mn元素的富集程度及水-土界面处的氧化还原环境.早在本世纪40年代,人们就已发现,沉积物中磷(P)的释放与沉积物表层Fe、Mn元素的成岩作用密切相关.而Fe、Mn的成岩作用又受控于氧化还原环境<sup>[58]</sup>.传统上描述磷释放的化学模式是还原条件下有利于P释放,而在氧化环境下有利于P沉积.但近年来,人们开始认识到这一过程远比一个单纯的化学模式复杂得多.表现在对营养元素释放机制的认识上,Fe与Mn的反应机理是 $\text{Mn}^{4+}$ 被 $\text{Fe}^{2+}$ 还原为 $\text{Mn}^{2+}$ 生成 $\text{Fe}^{3+}$ ,而微生物具备借助 $\text{Mn}^{4+}$ 或 $\text{Fe}^{3+}$ 从有机化合物的氧化中获取能量以帮助生长<sup>[59]</sup>.微生物作用结合化学与生物过程产生还原的生物化合物如 $\text{H}_2\text{S}$ 、草酸等,从而通过包含在有机物质的矿化过程中直接或间接地调节Mn或Fe的氢氧化物的还原过程<sup>[60]</sup>.因而,人们看到的是P的矿化、释放与Mn、Fe元素成岩作用关系密切.实际上,用 $\text{Fe}^{2+}/\text{PO}_4^{3-}$ 或 $\text{Mn}^{2+}/\text{PO}_4^{3-}$ 值的高低就可以判断某一地区沉积物是P的源(释放)还是汇(沉积)<sup>[61]</sup>.

影响磷释放的还有沉积物表层的无机铁氧化物,因为这些物质在pH呈中性的条件下,能吸附阴离子.在氧化的环境里,这些物质充当了阻挡P元素从沉积物进入上覆水中的阻碍物<sup>[60]</sup>.在浅水水域中,由于氧化环境存在,容易形成阻挡P元素释放的铁氧化物.而此时,水土

界面处的微生物则可能把大量的 P 贮存在细胞中,并在环境转入还原状态时释放出来<sup>[62]</sup>。反过来,在深水湖泊中,由于其厌氧环境,铁的氧化物的这种能力将受到削弱,较有利于 P 释放。因此水土界面处氧化或还原条件对 P 的释放影响是比较大的。这与 N 元素的释放中有类似处。水-土界面处如果氧供应较充分,将强化沉积物与水界面处的反硝化过程,并使 TIN(总无机氮)含量下降<sup>[63]</sup>。这种情况很容易推广到浅水湖泊中去。

除了上述因素外,对底泥营养盐释放有影响的还有 pH 高低,温度状况<sup>[64]</sup>和水-土界面处的水流状况<sup>[65]</sup>。在实际估计底泥营养盐释放时,常常需要沉积物孔隙水与上覆水中营养盐的浓度梯度变化,从而可以估计其扩散量<sup>[66]</sup>,这一方法用在深水湖泊中是可以的。但在浅水湖泊中,目前未见有关报道出现。

综合上面 3 个方面(水动力学、藻类生态学与沉积物化学)可以看到,国际上的发展趋势以学科相互渗透与交错为主。如物理湖泊环境与藻类生态行为、光适应性相结合,藻类生态学与分子生物学相结合,地球化学与微生物学相结合。另外,国际上对于上述三个领域中的研究已经进入相当细致的地步。有的是在分子水平上的研究,手段、方法也越来越先进。尽管在太湖进行了近四十年的工作,但仍以调查与评价为主,对于一些过程与现象的机理研究不够。相比之下,与国际差距较小是在物理湖泊学方面,例如湖泊的水动力学模型模拟水华、营养盐的迁移与扩散<sup>[67, 68]</sup>,水下光辐射分布与传输的观察和模拟<sup>[37]</sup>,和湖泊热力学模拟<sup>[31, 32]</sup>等。

### 3 “九五”工作的初步成果

本期《湖泊科学》收录的有关太湖的研究文章都是“九五”项目阶段性研究成果。其中值得一提的是太湖水动力学模型<sup>[69, 70]</sup>,这是太湖湖泊环境管理模型的基础版本;关于太湖反硝化率的测定<sup>[71]</sup>,这是以前未曾涉及的领域,对于弄清氮循环必不可少,通过梅梁湾内与湾外藻类光合效率的对比,从而确定了梅梁湾内大量的蓝藻生物量并非是湾外迁移而来,而是湾内生长的<sup>[72]</sup>,从而回答了长期以来一直未有定论的关于梅梁湾水华是否是大太湖迁移过来的;利用 1998 年 2 月的 3 次天气过程,发现了梅梁湾浮游动物数量与种群同温度、透明度的关系<sup>[73]</sup>;基于蓝藻生态模拟为基础的结果显示,底泥疏浚作用并非人们预期的那样高<sup>[74]</sup>,这可以与当前国际上就湖泊的氧化还原特性及与底泥营养盐释放的关系相对照。除此之外,于 1998 年 7 月进行的野外调查,进一步证实了梅梁湾在偏南风作用下、表层流场以顺时针环流为主,从而间接地说明了为什么每年夏季梅梁湾的东岸是藻类水华容易堆积的地方;分层测流的结果,亦再一次明确无误地显示太湖尽管是一个浅水湖泊,但表层流场与底层流场结构不同,流向有时是反向的;梅梁湾的藻类调查结果还显示,随着富营养化的加剧,种群在发生变化,个体呈现小型化等等。这些研究都正在整理之中,相信“九五”项目的执行,将使我们对太湖水环境方面的认识有一个大的进步。

### 4 结语

本文对太湖近四十年的研究作了一个简要的回顾。展望未来,对于当前面临的主要生产实际问题,提出了三个方面的研究工作作为“九五”期间太湖研究工作的重点,这三个方面分别是太湖底泥营养盐释放与内源污染问题,太湖蓝藻水华生长的生态、生理机制与水华暴发问题及其太湖水环境管理的动力学模型。与国际上在这三个领域中的研究相比,我们的差距仍然很

大,但也应看到,中国是发展中国家,所面临的湖泊富营养化是近十年才出现的环境问题,就其国内外研究而言,要真正认清湖泊富营养化机理,尚需相当长的时间,而这一问题又是政府管理部门与生产部门非常关心,急待解决的问题。因此,我们的工作既要为生产实际问题的解决服务,又要尽可能地与国际上相关领域的研究接轨,缩小与国际水平的差距。从“九五”期间开展的研究工作来看,我们正朝着上述目标迈进。

致谢 本文承王苏民、舒金华、李文朝、范成新等研究员审阅并提出修改意见,在此谨致诚挚的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 丁文江,汪胡楦. 太湖构成与退化. 水利月刊, 1936, 11(6): 1-23
- 2 中国科学院南京地理研究所. 太湖综合调查报告. 北京: 科学出版社, 1965. 1-84
- 3 黄漪平, 范成新, 袁静秀等. 太湖水质现状及变化趋势. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 1992, 9, 27-33
- 4 范成新, 黄漪平. 太湖营养元素与浮游生物的演变. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 1992, 9, 34-47
- 5 吴庆龙, 陈开宁, 高光等. 大小水面围网精养对水环境的影响及其对策. 水产学报, 1995, 19(4): 343-349
- 6 杨清心, 李文朝. 高密度网围养鱼对水生植被的影响及生态对策探讨. 应用生态学报, 1996, 7(1): 83-88
- 7 蔡启铭, 杨平. 太湖水体光学特性的理论计算. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊, 1990, 7: 1-9
- 8 蔡启铭, 杨平. 太湖悬浮质对湖面反射率及水体光吸收的影响. 海洋与湖沼, 1991, 22(5): 458-465
- 9 陈宇翔, 高锡芸. 西太湖北部微囊藻时空分布及其光、温等环境因子关系的研究. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998. 142-148
- 10 李文朝. 东太湖沉水植被的演替动态及生态对策. 中国科学院南京地理与湖泊研究所的集刊, 1992, 9: 83-93
- 11 余丰宁, 蔡启铭. 主成分监督分类及其在水质特征遥感图像识别中的应用. 湖泊科学, 1997, 9(3): 261-268
- 12 濮培民等实验小组. 改善太湖马山水厂水源区水质和物理-生态工程实验研究. 湖泊科学, 1993, 5(2): 171-179
- 13 李文朝. 浅型富营养湖泊的生态恢复——五里湖水生植被重建实验. 湖泊科学, 1996, 8(增刊): 1-10
- 14 Csandy G T. 水循环和扩散机制. 见: 莱尔曼主编. 湖泊的化学、地质学和物理学. 北京: 地质出版社, 1989. 22-70
- 15 Kanari S. The long-term period internal waves in Lake Biwa. *Limnol Oceanogr*, 1975, 20(4): 544-553
- 16 Bauerle E. Internal free oscillations in the lake Geneva. *Ann Geophysicæ*, 1985, 3: 199-206
- 17 Horn W, C H Mortimer, D J Schwab. Wind induced internal seiches in Lake Zurich observed and modelled. *Limnol Oceanogr*, 1986, 31: 1232-1254
- 18 Stoker K, K Hutter, G Salvade, et al. Observation and analysis of internal seiches in the southern basin of Lake Lugano. *Ann Geophysicæ*, 1987, 5B(6): 553-568
- 19 Hutter K. Large scale water movements in lakes. *Aquatic Sciences*, 1991, 53(2/3): 100-133
- 20 Casulli V. Numerical simulation of shallow water flow. In: Gambolati, et al eds. Proceedings of Eighth International Conference on Computational Methods in Water Resources. Computational Mechanics Publications, 1990. 13-22
- 21 Hutter K, Y Wang. Computation of wind driven circulation and tracer diffusion in lakes with a semi-implicit semi-spectral primitive equation model. *Journal of Computational Physics*, 1998 (in press)
- 22 Pfeiffer K D, K C Duwc. Modelling of environment and water-quality relevant processes with combined Eulerian and Lagrangian Models. In: Gambolati, et al eds. Proceedings of Eighth International Conference on Computational Methods in Water Resources. Computational Mechanics Publications, 1990. 113-118
- 23 Webster I T. Effects of wind on the distribution of phytoplankton in lake revisited. *Limnol Oceanogr*, 1994, 39(2): 365-373
- 24 Verhagen J H G. Modelling phytoplankton patchiness under the influence of wind-driven currents in lakes. *Limnol*

- Oceanogr.* 1994, **39**(7), 1551—1565
- 25 Wang S S Y. The state of the art on FE modelling of 3D sedimentation processes. In: Gambolati, *et al* eds. *Proceedings of Eighth International Conference on Computational Methods in Water Resources*. Computational Mechanics Publications, 1990, 265—280
  - 26 Span D, J Dominik, M A Lazzaretti, *et al*. The role of sediment in phosphorus cycle in lake Lugano I. Geochemical approach. *Aquatic Sciences*, 1992, **54**(3/4), 277—284
  - 27 Imboden D M. Mixing and transport in lakes, mechanism and ecological relevance. In: Tilzer and Serruya eds. *Large Lakes — Ecological Structure and Function*. Berlin, Brocks/Springer Series in Contemporary Biosciences, 1990, 47—80
  - 28 Peterson J C. Modelling the effects on primary production in the mixed layer of lakes. *Aquatic Sciences*, 1991, **53**(2/3), 218—238
  - 29 Reynolds C S, E G Bellinger. Patterns of abundance and dominance of the phytoplankton of Rostherne Mere, England; evidence from a 18-year data set. *Aquatic Sciences*, 1992, **54**(1), 10—35
  - 30 Hanson L-A. Algal recruitment from lake sediments in relation to grazing, sinking, and dominance patterns in the phytoplankton community. *Limnol Oceanogr*, 1996, **41**(6), 1312—1323
  - 31 余丰宁, 秦启铭. 太湖水温模型和气象参数对水温的影响. *海洋与湖沼*, 1993, **24**(4), 393—399
  - 32 秦伯强, 黄群. 青海湖热力状况的模拟与未来情景研究. *湖泊科学*, 1998, **10**(3), 25—31
  - 33 Hall D O, K K Rao. Photosynthesis. *Studies in Biology*, 1977, **37**, 1—71
  - 34 Jonass M, H Prandke. Comparison of measured and computed light scattering in the Baltic. *Trifas*, 1986, **38B**, 144—157
  - 35 Jordan H R, O B Brown. A theoretical model of light scattering by Sargasso Sea particulates. *Limnol Oceanogr*, 1972, **17**, 826—832
  - 36 Smith R C, B B Prezelin, R R Bidigare, *et al*. Bio-optical modelling of photosynthetic production in coastal waters. *Limnol Oceanogr*, 1989, **34**(8), 1524—1544
  - 37 秦启铭, Gons H O. 太湖大气—水体系统光谱辐射的数值模式及其应用. 见: 秦启铭主编, 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998, 5—18
  - 38 Falkowski P G, Z Dubinsky, K Wyman. Growth-irradiance relationship in phytoplankton. *Limnol Oceanogr*, 1985, **30**, 311—321
  - 39 Kirk J T O. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge, Cambridge University Press, 1983
  - 40 Tilzer M M. Environmental and physiological control of phytoplankton productivity in large lakes. In: Tilzer and Serruya eds. *Large Lakes — Ecological Structure and Function*. Berlin, Brocks/Springer Series in Contemporary Biosciences, 1990, 339—367
  - 41 Prezelin B B, M M Tilzer, O Schofield. The control of the production process of phytoplankton by the physical structure of the aquatic environment with special reference to its optical properties. *Aquatic Sciences*, 1991, **53**(2/3), 136—186
  - 42 Ferriss J M, R Christian. Aquatic primary production in relation to microalgal response to changing light; a review. *Aquatic Sciences*, 1991, **53**(2/3), 187—217
  - 43 Denman K L, J Marra. Modelling the time-dependent photoadaptation of phytoplankton to fluctuating light. *Elsevier Oceanogr*, 1986, Ser 42, 341—360
  - 44 Bleiker W, F Schanz. Light climate as the key factor controlling the spring dynamics of phytoplankton in Lake Zurich. *Aquatic Sciences*, 1997, **59**, 135—157
  - 45 Sirenko L A. The effects of the blue-green algae on formation of algal communities and on water quality in the Dnipro Reservoir. *Arch Hydrobiol Beih Ergeb Limnol*, 1987, **25**, 39—49
  - 46 Takamura N, M Yasuno, K Sugahara. Overwintering of *Microcystis aeruginosa* kutz in a shallow lake. *J Plankton Res*, 1984, **6**(6), 1019—1029
  - 47 Okado M, R Sudo. Nutrient absorption and growth characteristics of *Microcystis aeruginosa*. *Res Rep National Inst*

- Environ Studies*, 1979, 6: 293—302
- 48 Smith V H. Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. *Science*, 1983, 221: 669—671
- 49 Seip K L. Phosphorus and nitrogen limitation of algal biomass across trophic gradients. *Aquatic Sciences*, 1994, 56(1): 116—128
- 50 Dillon P J, F H Rigler. The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnol Oceanogr*, 1974, 19: 767—773
- 51 Ernst A. Cyanobacteria in large lakes; a case study in Lake Constance. In: Tilzer and Serruya eds, *Large Lakes — Ecological Structure and Function*. Berlin: Brocks/Springer Series in Contemporary Biosciences, 1990. 428—439
- 52 McQueen D J, D R S Lean. Influence of water temperature and nitrogen to phosphorus ratio on the dominance of blue-green algae in Lake St. George, Ontario. *Can J Fish Aqua Sci*, 1987, 44: 598—604
- 53 Haney J F. Field studies on zooplankton-cyanobacteria interaction. *New Zeal J Mari Freshwater Res*, 1987, 21: 467—475
- 54 王 建. 武汉东湖的磷营养状况的研究. 见: 刘建康主编. 东湖生态学研究(二). 北京: 科学出版社, 1995. 76—93, 108—128
- 55 李文朝, 杨清心, 周万平. 五里湖营养状况及治理对策. *湖泊科学*, 1994, 6(2): 136—148
- 56 Sediment Phosphorus Group. Working summary and proposals for future research. *Arch Hydrobiol Beih Ergeb*, 1988, 30: 83—112
- 57 Dillon P J, L A Molot. Long-term phosphorus budgets and an examination of a steady-state mass balance model for central Ontario Lake. *Water Research*, 1996, 30(10): 2273—2280
- 58 Mortimer C H. The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. *Int J Ecol*, 1941, 29: 280—329
- 59 Lovley D R, J F Stolz, G L Nord, et al. Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism. *Nature*, 1987, 330: 252—254
- 60 Lazzaretti M A, K W Hanselmann, et al. The role of sediments in the phosphorus cycle in large lake Lugano, I. Seasonal and spatial variability of microbiological processes at the sediment-water interface. *Aquatic Sciences*, 1992, 54(3/4): 285—299
- 61 Span D, J Dominik, M A Lazzaretti, et al. The role of sediments in the phosphorus cycle in large lake Lugano, 1: Geochemical approach. *Aquatic Sciences*, 1992, 54(3/4): 277—284
- 62 Gachter R, J S Meyer, A Mares. Contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lake sediments. *Limnol Oceanogr*, 1988, 33: 1542—1558
- 63 Hohener P, R Gachter. Nitrogen cycling across the sediment-water interface in an eutrophic, artificially oxygenated lake. *Aquatic Sciences*, 1994, 56(2): 115—131
- 64 尹大强, 覃秋荣, 周航. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响. *湖泊科学*, 1994, 6(3): 240—244
- 65 Lea H G, C-H Duyang, J-L Su. Effects of flow velocity changes on nitrogen transport and conversion in an open channel flow. *Water Research*, 1996, 30(9): 2065—2071
- 66 Urban N R, C Dinkel, B Wehrli. Solute transfer across the sediment surface of a eutrophic lake; I. Porewater profiles from dialysis samples. *Aquatic Sciences*, 1997, 59: 1—27
- 67 朱水春, 蔡启铭. 太湖梅梁湾三维藻类迁移模型研究. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998. 169—177
- 68 朱水春, 蔡启铭. 太湖梅梁湾三维水动力学模型的研究( I )——营养盐随三维湖流的迁移规律. 见: 蔡启铭主编. 太湖环境生态研究(一). 北京: 气象出版社, 1998. 80—88
- 69 胡维平, 濮培民, 秦伯强. 太湖风生流和风涌增减水的三维数值模拟——1. 风生流和风涌增减水的三维数值模拟. *湖泊科学*, 1998, 10(4): 17—25
- 70 胡维平, 濮培民, 秦伯强. 太湖风生流和风涌增减水的三维数值模拟——2. 典型风场风生流的数值计算. *湖泊科学*, 1998, 10(4): 26—34
- 71 杨龙元, 蔡启铭, 秦伯强等. 太湖沉积物物—水界面迁移特征初步研究. *湖泊科学*, 1998, 10(4): 41—47



- 72 陈宇伟,高锡芸,秦伯强. 西太湖北部夏季藻类种间关系的初步研究. 湖泊科学,1998,10(4), 35-40  
73 陈伟民,秦伯强. 太湖梅梁湾冬季浮游动物时空变化及其环境意义. 湖泊科学,1998,10(4),10-16  
74 刘元波,陈伟民,范成新等. 太湖梅梁湾藻类生态模拟与蓝藻水华治理对策分析. 湖泊科学,1998,10(4),53-59

## A Review and Prospect about the Aquatic Environment Studies in Taihu Lake

Qin Boqiang

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

### Abstract

Taihu Lake is a large and shallow lake located in the delta of the Changjiang River. It is an important lake since it undertakes the drinking water supply, the transportation, sightseeing and culturing. In the last decade, this lake is suffering from the eutrophication caused by industrialization around the lake area. This paper attempts to summarize the research activities and conclusions in Taihu Lake in the past several decades. According to the current urgent requirements of the countermeasures to harness deterioration of lake environment suggested by the government, some key problems that should be addressed in the Ninth 5-year Plan are put forward, i. e. the lake management model which will be based on the hydrodynamic processes coupled with the diffusion and migration processes of nutrient and algae, the mechanism of the occurrence of Cyanobacteria bloom, the release of nutrients from sediments. By the survey of literature in the international journals, a prospect about the relevant topics have been reviewed and the wantings have been revealed. Finally, the primary conclusions of the ongoing research projects have been summarized.

**Key words** Taihu Lake, environmental change, review, prospect