

巢湖富营养化研究进展*

殷福才^{1,2} 张之源²

(1: 南京大学环境学院, 南京 210093; 2: 安徽省环境保护局, 合肥 230061)

提 要 本文系统论述了 20 年来巢湖富营养化的研究过程, 根据不同阶段对巢湖研究的特点, 将巢湖富营养化研究过程划分为三个阶段: 初步调查阶段、深入研究阶段和应用研究阶段。综述了巢湖富营养化研究的 8 个方面的内容, 包括流域自然和社会环境的调查、水域生态调查与评价、流域水污染源调查与评价、巢湖富营养化机理研究、水质区划与容量研究、流域的非点源污染研究、生态环境现状调查研究和内源污染控制研究等。文中指出了近 10 多年来缺少对巢湖的基础研究, 形成背景资料的断裂, 10 多年前的研究成果不能完全满足当今巢湖富营养化防治的需要。目前, 巢湖仍然处于全湖富营养化状态, 急需对巢湖进一步开展基础研究, 为从根本上治理巢湖污染寻求对策。最后指出了一些主要的研究方向。

关键词 巢湖 富营养化 研究 进展

分类号 P343.3 X524

巢湖位于长江中下游的安徽省中部, 是我国著名的五大淡水湖泊之一。也是安徽省的第一大湖泊。历史上巢湖曾是景色秀美、物产丰富的鱼米之乡。自汉代起, 巢湖就是我国重要的粮食产区。沿革数千年, 历经沧桑, 巢湖湖区和整个流域的生态环境发生了巨大的变化。七十年代以来, 随着工农业生产的迅速发展、大规模的水利工程建设和人口的快速增长, 给这一地区的生态环境带来了巨大的压力。由于污水排放、化肥、农药的大量使用、周围湿地面积减少、水土流失和湖盆的淤积速度加快, 巢湖出现了明显的富营养化。巢湖的水生生态、水产资源遭受严重破坏, 渔获量逐年减少。巢湖的富营养化和生态破坏的严重后果是制约了该区的社会 and 经济发展, 引起了国家和地方政府的极大关注。从“六五”开始到“七五”, 有关部门开始了巢湖水环境问题的研究, 获得了巢湖及其流域的生态环境、湖泊淤积、污染状况、富营养化状况、陆源污染等方面的第一手资料, 为巢湖的富营养化防治提供了强有力的科学依据。从对巢湖环境问题开始研究到现在, 20 年过去了, 无论是巢湖的环境状况, 还是环境管理部门的要求都发生了很大变化, 有必要对巢湖的富营养化研究的进展情况做一次全面的总结, 以便深入了解巢湖富营养化研究过程和存在的问题, 进一步提出巢湖富营养化研究方案。

在查阅了 20 年来巢湖研究资料的基础上, 本文系统论述了巢湖富营养化的研究过程、研究的主要领域及其在富营养化防治中的实际应用。并对今后的主要研究方向提出了建议。

1 巢湖富营养化研究的阶段

20 年来巢湖的富营养化研究大致分为三个阶段: 第一阶段是初步调查阶段, 主要指“六五”期间, 从 1982-1985 年底, 进行了《巢湖水域环境生态评价与对策》研究; 第二阶段是深入研究阶段, 指“七五”期间, 从 1986-1990 年底, 进行了《巢湖富营养化研究》和《工业污染源调查研究》; 第三阶段是应用研究阶段, 指“八五”和“九五”期间, 从 1991-2001 年底, 围绕巢湖的富营养化防治, 进一步开展了一些管理调查与对策研究。

* 安徽省科技攻关项目资助 (01013021)。

2002-03-12 收稿; 2003-05-27 收修改稿。殷福才, 男, 1960 年生, 高级工程师, 博士研究生, e-mail: fucaiyin@hotmail.com。

1. 1 巢湖富营养化的初步调查

初步调查以“巢湖水域环境生态评价与对策”研究为代表, 1982年安徽省环境保护科学研究所承担了部级环境保护重点科研项目“巢湖水域环境生态评价与对策”研究任务。该研究针对巢湖水域环境的湖盆淤积、水质恶化趋势、富营养化状况和巢湖闸的环境后果等重大环境问题, 从全流域入手, 运用整体生态学和系统分析方法, 剖析了流域陆地生态系统和湖泊水生生态系统演变的内在联系, 基本弄清了湖泊水体的变化规律和发展趋势。开展了巢湖水域环境的综合评价和预测, 获得了丰富的有价值的科学数据和资料。取得了巢湖淤积趋势, 南淝河河口有机物扩散规律、湖岸的动态变迁、富营养化评价以及对策等成果和结论^①。

这次研究是在安徽省环境保护科学研究所的主持下, 合肥地区的有关高等院校、科研单位共同参与下, 进行了长达三年之久的野外科学考察与现场定点监测, 并利用遥感技术、计算机模拟技术、回声仪探测等现代化手段和方法, 共取得了近十万个数据及数百幅遥感图象、照片等, 为巢湖水域的富营养化防治、资源开发和管理决策提供了初步的基础资料。

1. 2 巢湖富营养化的深入研究

在“六五”研究的基础上, 《巢湖富营养化研究》被列入国家“七五”科技攻关项目, 作为水环境容量开发利用研究专题的分课题, 由中国科学院南京地理与湖泊研究所、生态环境研究中心和安徽省环境保护研究所、合肥市环境监测站协同开展分课题的研究任务。几家科研单位投入大量的科技力量, 历时四年, 开展了大量的现场监测与模拟实验, 基本上发现了巢湖富营养化的成因、发生发展的规律。首次对巢湖的流场进行了全湖测量与模拟, 建立了巢湖浓度场与流场的关系模型, 弄清了巢湖流场和浓度场的形成机制, 为巢湖水质区划提供了科学的划分方法。该研究还对巢湖富营养化的氮磷因子进行了深入的调查分析, 揭示了巢湖营养盐的来源, 点源和面源的比重以及巢湖底泥的释放规律。在流场和浓度场研究的基础上, 开展了巢湖水环境质量区划及允许负荷量计算。首次将巢湖划分出五个功能区, 即(1)西部渔业水源保护区; (2)塘西饮用水源保护区; (3)中庙旅游水源保护区; (4)东部渔业水源保护区及(5)巢湖市饮用水源保护区^②。

1985年-1987年, 与全省同步开展了工业污染源调查研究, 全面调查了流域内的工业污染源分布、结构、废水和污染物的种类, 并开展了区域污染源评价, 对各工业企业的污染负荷进行了排序, 确定了巢湖流域的重点污染源。

“七五”期间开展的《巢湖富营养化研究》更加深入地探讨了巢湖富营养化的规律, 针对“六五”研究中发现的生态环境问题, 逐个解剖, 取得了丰硕的成果, 推动了巢湖的富营养化防治进程, 从水域的调查研究扩展到对整个流域的研究。同期开展的流域工业污染源调查研究取得了大量第一手资料, 为后续的巢湖污染综合防治提供了有力的科学依据。

1. 3 巢湖富营养化的控制研究

从“八五”以来, 国家和安徽省都没有列专项对巢湖开展研究。管理层把主要精力集中在巢湖富营养化防治的融资上, 因而, 对巢湖的基础研究方面基本上处于停滞状态, 但围绕巢湖富营养化防治的控制研究始终没有停止。1993年巢湖污染防治项目被亚洲开发银行(ADB)列入优先资助计划, 围绕该项目的可行性论证, 开展了有关控制对策研究, 例如: 巢湖污染防治利用亚洲开发银行贷款项目可行性研究、生物操纵治理巢湖富营养化可行性研究和巢湖流域管理研究等。巢湖流域管理研究属中加合作项目, 由加

^①巢湖水域的生态主人及对策研究报告, 1986: 1-6

^② 巢湖富营养化研究报告, 1990: 8 (1-20)

拿大 UMA 工程公司、NOVATEC 环境工程咨询公司、加拿大废水技术中心和安徽省环境保护局共同承担^①。

这一阶段的研究偏向于流域的管理和政策研究, 与巢湖开展的工程治理项目密切相关, 主要根据现有可获得的数据和资料, 对巢湖流域的水质、取水供水和排水进行评估; 对环境和水资源有关的法律法规、条例和执行情况进行评估; 对水质监测和环境管理能力进行评估。相关控制研究提出了加强巢湖流域水资源管理和环境管理的对策建议, 为巢湖污染治理利用亚洲开发银行贷款的前期评估提供依据。

2 巢湖富营养化研究的主要领域

2.1 巢湖流域自然和社会环境的调查

湖泊的富营养化是水体接纳过多的氮、磷等营养性物质使藻类和其它水生生物过量繁殖, 导致水体恶化的现象。巢湖的富营养化是在特定的自然和社会环境下, 主要由人类活动引起的。要了解富营养化的规律, 必须首先了解流域的自然和社会环境, 因此, 巢湖的整个研究过程都贯穿了对流域自然和社会环境的调查。“六五”开展的《巢湖水域环境的生态评价及对策研究》利用遥感和模拟技术对巢湖流域的植被演替和分布、水土流失、巢湖湖岸侵蚀和变迁、巢湖泥沙淤积与沉积、水生生物种群分布等进行了调查和分析, 同时还综述了流域的地形与地貌、地质与土壤、水文与气象、人口与经济等自然和社会环境因素。后续的研究进一步丰富和完善了有关内容, 得出了一些重要结论: (1) 巢湖是个浅水型的沉积湖泊, 自然状态下, 换水周期小于一年, 但由于人工闸坝影响, 巢湖已失去了正常的水量交换, 目前, 巢湖的换水周期基本上受人工调控。(2) 巢湖流域分布有大量低品位的磷矿资源和含磷地层, 分布在北岸和西岸约 500km² 范围, 在这些地区土壤中磷的自然背景值偏高^②。(3) 古巢湖的形成距今约一万年, 当时面积有 2000 km², 到 20 世纪初湖面面积有 800 km², 周围的绝大部分古湖泊地区变成了湿地。由于人类的生产活动, 加速了巢湖周围湿地的消失。据遥感解译, 从 1955 年到 1985 年的三十年间, 巢湖周围的湿地减少了近 200 km²^[1], 使巢湖的淤积速度加快, 湿地对氮磷等营养物的截留功能丧失, 加速了巢湖的富营养化进程。(4) 全面调查了流域的工农业经济结构和类型。对流域的人口分布和密度、森林植被演变、水土流失类型、湖岸崩塌等方面取得了大量的数据信息。

浅水型的沉积湖泊和流域富含磷的地层构成了巢湖富营养化的内在条件, 加上人类工农业生产和生活活动加剧了巢湖富营养化的进程, 终于导致巢湖成为长江中下游地区典型的富营养化湖泊。

2.2 巢湖水域生态调查与评价

巢湖水域生态调查与评价是“六五”研究的主要内容。在对氮磷等营养元素的含量和在湖中的蓄积量调查的基础上, 分析了氮磷动态平衡、藻类的时空变化, 得出了巢湖是蓝藻型富营养化的结论。通过巢湖闸兴建前后巢湖水域的生态分析, 了解到巢湖闸破坏了巢湖所固有的生态水位, 使湖滩面积缩小, 生物种群发生了变化。通过 22 种环境变量的聚类分析, 划分了各因子的生态效应和生态破坏等级, 对巢湖的生态环境质量进行了评价, 划分了沿湖湖岸生态类型带。根据评价结果将湖区划分出轻污染、中污染、重污染和严重污染四个生态污染等级; 将湖岸和湖滩地划分出发展保护、恢复发展、发展控制和治理四个生态环境类型带。这项研究是开创性的, 解决了巢湖管理中遇到的许多关键性的问题。

2.3 巢湖流域水污染源调查与评价

1985 年至 1987 年根据原城乡建设环境保护部和国家经济贸易委员会的要求, 安徽省在巢湖流域同步开展了工业污染源调查与评价, 对流域内的工业用水基本情况、供水问题、废水排放现状、排放方式及去

^① 巢湖流域管理研究, 1995:1-6

^② 巢湖水域环境的生态评价及对策研究报告, 1986: 10-30

向、工业分行业废水排放情况、废水中主要污染物的排放特征及危害等进行了全面的调查分析和评价^①。这次研究查清了流域的几乎所有的工业门类及其污染情况，同时还掌握了生产过程中对资源、能源的利用情况，建立了工业废水污染源数据库。

2.4 巢湖富营养化机理研究

通过巢湖的水质监测和“六五”期间的生态评价研究表明巢湖已经变成典型的富营养化湖泊，并在不断的恶化。要控制巢湖的富营养化，必须首先要掌握富营养化发生发展的规律，因而对巢湖富营养化的机理研究被列入重点研究范围。国家“七五”重点科技攻关项目——《巢湖富营养化研究》基本上围绕这一主题开展的，取得了一批重要成果，包括：（1）营养盐来源及外负荷。分析测算了各种途径的营养盐出入湖总量及权重。根据营养盐平衡方程求得了巢湖对氮磷的滞留系数分别为 35.9% 和 37.0%，定量地分析了巢湖对营养盐的滞留量。由于受闸坝影响，大量的营养盐沉积于湖内，为湖体藻类的繁殖与生长提供了条件。（2）底泥沉积与水土界面交换规律。巢湖的营养盐部分来源于底泥的释放，该研究通过监测和模拟分析了氮磷的界面交换特征，得出了氮磷在底泥中释放的季节变化规律和条件。（3）建立了湖泊流场与浓度场之间的关系模型。营养物质进入湖泊以后，在湖流的作用下，不断地向不同方向扩散，并伴随一系列的物理、化学和生物变化，从而形成物质浓度在时空上的差异。该研究通过流场实测和模拟求出了巢湖在吞吐流、风生流和混合流三种流场情况下的浓度场分布。（4）浮游植物生态模型研究首先调查了浮游植物群落的组成，发现全湖存在 196 种、71 属、8 门的浮游植物，在藻类总量中，蓝藻占 94.36%，隐藻占 3.6%，硅藻各占 1.1%^[2]。描述了湖泊水生生态系统演化过程的内在联系，从生物学角度揭示了巢湖面临的生态问题和富营养化的原因。

2.5 巢湖水质区划与容量研究

水质功能区划是环境管理工作的重要依据，而各功能区的环境容量是实行区域总量控制的理论依据。对巢湖进行水质功能区划与容量研究便于利用湖泊自身的环境容量，因地制宜地制定各水域的环境保护措施。巢湖水质功能区划选择了自然条件指标、水污染指标和目标指标三大指标体系作为区划的依据。将巢湖划分出五个功能区，如在 2.2 节中所述。根据不同功能区的要求，计算了各功能区的水环境容量，即总磷和总氮的允许负荷量。针对水域使用功能、经济发展以及污染源总量控制的要求，划定了巢湖的水域功能区^[3]（主要包括自然保护区、饮用水水源保护区、渔业用水区、工农业用水区、景观娱乐用水区等）。

2.6 巢湖流域的非点源污染研究

非点源污染研究是“七五”攻关课题研究的主要内容之一。通过流域的实测，采用降水径流法和水土流失法两种计算方法求得的结果，把加权平均值作为区域径流流入巢湖的营养盐数量。结果表明大豆地、水稻田、菜地、草地、旱地、山地集镇等 13 种不同土地利用类型地表径流流失的氮磷和有机污染物（COD）的强度存在明显差异。在非点源入湖的总量上，流域内河道流入的，总磷占 68.5%，总氮占 76.9%。其它是区间直接流入巢湖的。该研究还对点源和面源入湖的营养盐比重进行了深入的分析对比，得出氮磷的面源入湖总量分别占全湖输入量的 74% 和 68%^[2]。由此可见，从全湖来看，面源是巢湖氮磷负荷的主要来源。但目前巢湖的富营养化发生最严重的区域在点源集中排放的合肥市和巢湖市附近。说明点源加重了巢湖的

^① 安徽省工业污染源调查报告，1987：125-129

富营养化程度。阎伍玖^[4]等人也探讨了不同土地类型和农业活动对巢湖流域非点源污染的影响, 比较了大豆地、水稻田、采地、小麦地、山芋地等 11 中土地利用类型地表径流流失的氮、磷和 COD 的强度和差异, 与巢湖富营养化研究的结果比较接近。

2.7 巢湖流域生态环境现状调查研究

本课题是安徽省生态环境现状调查工作的一部分。该研究采用现场实地调查、遥感解译和资料收集并举的技术路线, 流域各市县部门按照全国共采集 200 多张基础数据表格; 运用遥感技术对 80 年代中期和 2000 年巢湖流域生态环境状况进行了全面解译; 收集了大量相关科研成果、出版文献和专业部门的年报年鉴, 作为基础调查数据的补充和综合分析的基础。全部调查共计获得数据 3.5 万个, 涉及生态、资源、环境和社会经济等诸多领域。

以 1999 年为基准年, 对巢湖流域生态环境现状进行了全面描述与分析; 动态趋势中采用 1986 年及其他各相关历史年份数据进行比较, 深入分析了生态环境态势和存在问题, 从自然、社会经济和历史角度探索产生原因, 分析了巢湖流域生态环境破坏和生态系统退化的原因并提出相应管理和宏观调控对策; 利用遥感等技术分析了巢湖流域景观生态类型格局现状与动态变化, 运用可持续发展、生态系统评价理论和综合评价方法, 对巢湖流域生态环境现状进行了综合评价, 在对现状和发展趋势特征分析基础上, 针对巢湖流域生态环境存在的主要问题和产生原因, 提出了分阶段、全面的生态恢复、保护与重建的目标和宏观对策, 为巢湖流域生态环境保护与建设提供了技术支持和决策依据。

2.8 巢湖的内源污染控制研究

对湖泊的富营养化控制主要包括外源污染负荷的控制和内源污染负荷的控制。许多研究证明仅靠流域的外源污染控制, 由于湖泊内生物和底泥对 N、P 的释放, 湖泊的富营养化状况会出现反复波动^[5-8]。因此, 在湖泊管理上, 需要加强对湖泊的内源污染控制技术研究。这些研究包括物理的、化学的和生物的控制措施^[9-11]。巢湖的内源污染控制研究主要涉及物理的和生物的方法, 例如底泥清淤和生物控藻。底泥清淤是一种快速去除湖底沉积物中 N、P 等营养元素的物理方法, 但也有研究认为如果内源污染负荷不能有效降低, 清淤仅能产生暂时的效应, 不久, 湖泊就会恢复原状^[11]。巢湖底泥清淤工程可行性研究始于 1998 年, 一期工程主要对临近合肥市和巢湖市的饮用水源区进行疏浚。根据巢湖底泥中污染物的分布特征, 从表层向下依次为: 严重污染层、污染过度层和正常湖泥层^[12], 巢湖清淤工程着重清理严重污染层。由于湖体太大, 清淤范围有限 (仅 4km²), 从实施后的例行监测结果来看, 巢湖的富营养化状况没有明显改善^①。

生物操纵是利用湖泊中水生生物对营养元素进行吸收利用和代谢, 从湖中去除营养物质, 从而达到减轻湖中污染负荷或调节生态平衡的目的。在北美的大湖区进行了较多的相关研究, 取得了很多成果^[13-14]。巢湖的生物控藻试验研究从 1994 年开始, 利用围栏放养鲢鱼来控制藻类的大量繁殖, 通过对比试验结果表明, 围栏内放养鲢鱼可有效降低水体总磷、COD_{Mn} 和叶绿素 a 的浓度, 围栏内与围栏外湖区相比总磷、COD_{Mn} 和叶绿素 a 的浓度分别降低了 23.86%、8.53% 和 11.83%^②。由于试验研究的方法、重复性和范围等都不完善, 试验的结果是初步性的, 没有很强的说服力, 离实际应用还有一定差距, 因而, 对于巢湖的生物控藻需进一步开展研究。

3 存在问题与今后研究的重点

巢湖富营养化问题的出现虽然促使了一系列基础性研究的开展^[2,3], 取得的成果已经或正在为巢湖富

① 安徽省环境状况公报, 2000-2002

② 生物操纵治理巢湖富营养化可行性研究报告, 2000: 13-14

营养化的治理所应用。但已开展的研究随着时间的推移、社会经济发展的新要求和科学研究的深入,水环境、水生生态系统和流域社会经济结构均发生了较大的变化,已经不能满足巢湖生态环境问题彻底根治的需要,因此,针对巢湖的生态环境问题提出如下研究和治理课题:

3.1 巢湖湿地生态系统功能研究

巢湖及周边地区类型多样的湿地生态系统对于流域的水源调蓄、气候调节、水质净化、物种保存、野生动植物栖息地等以及对社会经济发展具有重要作用。大量的研究^[15,16]表明,湿地生态系统在维护流域生态系统平衡和生态安全方面尤为重要。长期以来,巢湖湿地受到了人为活动的剧烈影响,其生态系统服务功能正在退化,逆向演化现象严重,湿地生态系统对引起湖泊富营养化的污染物的削减和净化作用也正在日益萎缩。目前巢湖流域湿地生态系统的基础研究工作开展较少,湿地生态系统的类型、分布、功能以及它的价值仍然没有全面了解,水生生态系统的结构与变化特征不清,这对于充分发挥巢湖湿地生态系统的功能,延缓湖泊的衰退非常不利。因此,开展巢湖湿地生态系统服务功能及其机制研究,利用巢湖湿地生态系统物质和能量循环特征与分布规律,正确评估和认识巢湖及周边湿地生态系统在阴滞氮、磷方面的重要作用与价值,探索巢湖退化湿地生态系统的整治与恢复措施,对于遏制巢湖富营养化趋势,维持巢湖流域及安徽省生态安全具有重要意义。

3.2 生物操纵对巢湖富营养化控制的作用研究

生物操纵也称为食物网操纵、营养级联反应和下行影响等,是指通过对水生生物群及其栖息地的一系列调节,以增强其中的某些相互作用,促使浮游植物生物量下降。但是,由于人们普遍注重位于较高营养级的鱼类对水生生态系统结构与功能的影响,生物操纵的对象主要集中于鱼类,特别是浮游生物食性的鱼类,即通过改变鱼类的组成或多度来调整水体的营养结构,从而加速水质的恢复^[17]。国内外虽然都有成功的案例,巢湖也于近年来进行了试验^[18],但由于巢湖水域面积大,生态系统结构复杂且影响范围广,该项试验只获得初步的结果。生物操纵法的应用从渔业生产的角度出发,大规模在巢湖水生生态系统中实施放养鲢鳙,其生态适宜度、生态密度、富营养化控制效应以及水生生态系统的响应都需要进行深入的研究。

3.3 富营养化发生机制及防治措施研究

巢湖的富营养化发生过程与机制,曾进行过一些研究和报道,但巢湖富营养化的机理目前尚未完全明了^[19]。近年来,对巢湖富营养化的治理采取了大量措施,但是效果并不理想,这与我们对巢湖富营养化的发生机制缺乏了解关系较大。因此,必须从巢湖富营养化状态变化的条件、过程和因果机理及动态变化监测研究着手,加强富营养化发生机制与控制对策研究,从机制上掌握巢湖富营养化的变化规律,从而为恢复巢湖生态系统提供相应的参数和措施建议,为巢湖富营养化治理提供技术支持。

3.4 水生植被对巢湖富营养化恢复的作用与效果研究

研究表明^[20,21],大型水生植物具有拦截外源营养、吸收营养化湖泊内源氮磷的功能,某些植物的根茎能抑制底泥中营养物的释放,而在生长后期又能较方便地去除,带走湖泊中过多的营养物,同时,一些植物对藻类,包括形成水华的微囊藻有抑制作用。因此,恢复和重建巢湖水生植被,对于巢湖富营养化的控制具有重要作用。在实施水生植被恢复与重建之前,必须研究不同水生植被的净化效果,同时需要对相应高等水生植物的生理生态进行研究,研究生态因子对植物生长与分布的影响,确定不同的水生生态功能分区的水生植被组建种群和群落。

3.5 巢湖富营养化控制决策支持系统开发研究

决策支持系统(DSS)是一个计算机支持系统,在数据和模型的支持下,它能帮助决策者解决那些信息不够、系统复杂的决策问题。DSS常用于流域防洪、供水、水资源调度、河网水质管理等,翟淑华等人曾把DSS模型用于太湖流域河网的水质管理^[22],但把流域-湖泊作为一个整体系统来考虑,目前还未见报

道。关于巢湖的富营养化控制, 已经投入了数十亿元资金, 而从实际结果来看, 富营养化状况并没有得到很好改善。因为缺乏决策支持系统 (DSS), 项目的选择和投资偶然性很大。为了减少决策失误, 安徽省环保局拟与德国不伦瑞克工业大学(Braunschweig)合作开发一个甚至多个巢湖富营养化控制整体决策支持系统模型 (IDSS), 定性和定量地描述和评价巢湖流域的社会经济和环境状况, 例如, 生态可持续性评价、可持续发展目标和时空差异性等。在研究开发巢湖 DSS 时, 必须与需要解决的实际问题结合起来, 措施建议等要统筹考虑供水、航运、水质、渔业、旅游等。

3. 6 农业非点源污染控制技术研究

农业非点源污染是造成巢湖富营养化的主要原因之一。近年来国内外学者对农业非点源污染的产污机制、影响因素和污染危害等方面取得一定进展^[23], “七五”巢湖攻关课题也对该流域非点源进行过试验研究, 了解了不同土地类型非点源污染的影响, 但对农业非点源污染的控制技术研究的还不够。尽管“七五”研究结果表明巢湖流域的非点源贡献率占很大比例, 但目前为止, 在巢湖的富营养化控制方面, 未采取任何非点源控制措施, 主要原因是缺少实用控制技术。从巢湖的污染负荷来看, 非点源问题不解决, 巢湖的富营养化就不可能真正得到控制。农业非点源污染控制技术研究的重点应包括巢湖流域农业地区土壤科学施肥施药的调控方法、定量估算非点源发生负荷以及农业非点源污染物的流域生态学行为研究, 从机理上掌握此类污染物的生态控制技术, 最终实现减轻巢湖污染负荷的目的。

4 结语

巢湖的富营养化研究获得了大量的基础资料, 基本上掌握了富营养化的发生发展规律, 为巢湖的富营养化控制提供了有力的科学依据。一些研究成果在巢湖的污染防治中得到应用, 直接推动了巢湖的污染防治进程。如巢湖污染防治利用亚洲开发银行贷款项目、巢湖底泥清淤工程利用国债项目、巢湖流域水污染防治条例和巢湖流域禁止使用含磷洗涤剂政策的出台都应用了上述研究成果。但是近 10 多年来, 对巢湖的基础研究没有新的立项课题。前述研究虽然丰富了巢湖的背景资料, 但是基于当时条件的限制, 加上时间的推移, 研究成果必须不断完善和更新, 才能满足巢湖污染防治现今的需求。此外, 巢湖的富营养化研究还存在许多空白, 如巢湖周围的湿地功能研究、巢湖决策支持系统研究等。本文提出的关于巢湖富营养化研究的方向供有关巢湖富营养化防治深入研究立项时参考。

参 考 文 献

- 1 Xu Fuli, Shu Tao & Xu Zhuo-ran. The Restoration of riparian wetlands and macrophytes in Lake Chao, an eutrophic Chinese lake: possibilities and effects. *Hydrobiologia*, 1999, 405: 169-178
- 2 屠清瑛, 顾丁锡, 徐卓然等. 巢湖富营养化的研究. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1991: 82-114
- 3 汪水源等. 巢湖富营养化的控制. *生态学研究*. 1987, (1): 19-24
- 4 阎伍玖, 鲍强. 巢湖流域农业活动与非点源污染初步研究. *水土保持学报*, 15 (4), 2001: 130-131
- 5 Andreas Kleeberg & Hans-Peter Kozerski. Phosphorus release in Lake Müggelsee and its implication for lake restoration. *Hydrobiologia*, 1997, 343: 9-26
- 6 Agnieszka Pinowska, Effects of snail grazing and nutrient release on growth of the macrophytes *Ceratophyllum demersum* and *Elodea Canadensis* and the filamentous green alga *Cadophora* sp. *Hydrobiologia*, 2002, 479: 83-94
- 7 Frede Andersen & Peter Ring. Comparison of phosphorus release from littoral and profundal sediments in a shallow, eutrophic lake. *Hydrobiologia*, 1999, 408-409: 175-183
- 8 Martin Søndergaard, Jens Peder Jensen & Erik Jeppesen, Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes. *Hydrobiologia*, 1999, 408-409: 145-152
- 9 Anne-Mari Ventelä, Marianne Moilanen & Vesa Saarikari et al. What factors control planktonic ciliates during summer in a highly

- eutrophic lake? *Hydrobiologia*, 2001, 443(1-3):43-57
- 10 Hopkins G J , Lea C. A ten-year study of Phytoplankton Biomass and composition in the Nanticoke region of long point bay, Lake Erie. *J. Great Lakes Research*, 1982, 8(3): 428-438
- 11 Andreas Kleeberg & Johannes-Günter Kohl. Assessment of the long-term effectiveness of sediment dredging to reduce benthic phosphorus release in shallow Lake Müggelsee, *Hydrobiologia*, 1999, 394:153-161
- 12 刘伟, 徐南妮. 巢湖清淤合肥项目区域污染底泥调查研究. *环境导报*, 2000, (2): 30-31
- 13 Edwards Clayton J, Richard A, Marshall Terry R et al. Using lake trout as a surrogate of ecosystem health for oligotrophic waters of the Great Lakes. *J Great Lakes Research*, 1990, 16(4):591-608
- 14 Stapleton Heather M, Skubinna John, Baker Joel E et al. Seasonal Dynamics of PCB and Toxaphene Bioaccumulation within a Lake Michigan Food Web. *J Great Lakes Research*, 2002, 28(1):52-64
- 15 陈宜瑜. 湿地功能及湿地科学研究的方向. *中国基础科学*, 2002, 1: 17-19
- 16 辛琨, 肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算. *应用生态学报*, 2002, 22(8): 1345-1349
- 17 邱东茹, 吴振斌. 生物操纵、营养级联反应和下行影响. *生态学杂志*, 1998, 17(50): 27-32
- 18 李春雁, 崔毅. 生物操纵法对养殖水体富营养化防治的探讨. *海洋水产研究*, 2002, 23(1): 71-75
- 19 秦伯强. 长江中下游浅水湖泊富营养化发生机制与控制途径初探. *湖泊科学*, 2002, 14(3): 193-202
- 20 余国营, 刘永定等. 滇池水生植被演替及其与水环境变化关系. *湖泊科学*, 2000, 12(1): 73-80
- 21 王海珍, 陈德辉. 水生植被对富营养化湖泊生态恢复的作用. *自然杂志*, 2002, 24(1): 33-36
- 22 翟淑华, 秦佩英. 太湖流域河网水质管理决策支持系统. *水资源保护*, 2002, 3: 60-62
- 23 张水龙, 庄季屏. 农业非点源污染研究现状与发展趋势. *生态学杂志*, 1998, 17(6): 51-55

Survey of Chaohu Lake Eutrophication Research

YIN Fucui^{1,2} & ZHANG Zhiyuan²

(1: School of Environmental Science, Nanjing University China, Nanjing 210093, P. R. China ;

2: Anhui Environmental Protection Bureau, Hefei 230061, P. R. China)

Abstract

This paper describes the progress of Chaohu Lake eutrophication research in the past 20 years. In the light of characters of different researches in different periods, the study progresses are divided into three stages: initial investigation, detailed research and applied research. Eight main research areas are summarized in the paper including fact findings for natural and social environmental background, lake ecological investigation and assessment, investigation and evaluation for waste water sources in the lake basin, Chaohu eutrophication mechanical study, water function planning and its allowance pollution load study, non-point sources pollution research, study on ecological environmental status and internal loading pollution control. Since no any fundamental research for Chaohu lake eutrophication has been undertaken in recent 10 years, the results obtained decades ago can not satisfied the requirement of present eutrophication prevention and control. According to recent monitoring results, eutrophication issue still besets the lake. The paper points out that further study must start urgently and new countermeasures could be found consequently. Finally some main research facets are given for further study reference.

Keywords: Chaohu Lake, eutrophication, research, progress