

Ecological Restoration and Reconstruction Technology of Eutrophication Lakes

Qian Liu, Jie Li, Yiping Meng, Kun Li

Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan
Email: liuqian20504@163.com

Received: Feb. 23rd, 2013; revised: Mar. 9th, 2013; accepted: Mar. 24th, 2013

Copyright © 2013 Qian Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: With the increase of the global population, and rapid advance of the industrialization, urbanization and agricultural modernization, lake eutrophication is becoming a big concern for water pollution. At present, the restoration and management for eutrophication lake of our country over emphasize the local environment and ignore the whole lake's sewage disposal; Over emphasize lakes external emissions and ignore lakes endogenous cycle; Highlight engineering and ecological technology and neglect programming design and management. Based on the summarization and study of lake's ecological restoration, this article proposed the thought by classification, gradation, zone control strategy, and analyzed different lakes' ecological restoration technology system, finally we stressed the issue of early prevention and long-term protection management of lakes ecological restoration.

Keywords: Lakes; Eutrophication; Ecological Restoration; Technology System; Management

富营养化湖泊生态恢复与重建技术

刘倩, 李洁, 孟银萍, 李昆

湖北大学资源环境学院, 武汉
Email: liuqian20504@163.com

收稿日期: 2013年2月23日; 修回日期: 2013年3月9日; 录用日期: 2013年3月24日

摘要: 随着全球人口的不断增加, 工业化、城市化以及农业现代化的快速推进, 湖泊富营养化问题日趋严重。目前, 我国富营养化湖泊的治理和修复过于强调湖泊局部环境的治理而忽视流域整体的污水治理; 强调湖泊外源排放而忽视湖泊内源循环; 强调工程和生态技术而忽视规划设计和管理工作。本文在总结分析国内外现有湖泊生态修复研究的基础上, 提出分类、分级、分区控制的思路, 阐述不同类型湖泊生态修复的策略和技术体系, 并强调湖泊生态环境保护的前期预防和长效治理。

关键词: 湖泊; 富营养化; 生态修复; 技术体系; 管理

1. 引言

在现代的生产、生活中, 人类对环境资源的开发利用日益频繁, 工农业发展迅速, 大量的营养物质进

作者简介: 刘倩(1986-), 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 主要从事湖泊水质评价与水资源污染防治方面的研究。

入水体并在其中积累, 导致富营养化在短期内出现。目前, 由营养盐(主要是氮、磷)的过度输入而引起的水体富营养化是世界上最受广泛关注的水环境问题之一(EEA, 1999; Schindler, 2006)。

20 世纪初, 水体富营养化问题开始引起生态学

家、湖沼学家的注意,同时也得到一些国际组织、国家政府及社会各界人士的关注与重视。在20世纪60年代末,联合国粮农组织(FAO)、联合国教科文组织(UNESCO)、世界卫生组织(WHO)、欧洲经济共同体(EEC)以及经济合作与发展组织(OECD)等众多国际组织开始在其研究计划中设立研究专项。1973年,OECD曾在其18个成员国之间建立国际富营养化研究合作计划。经过几十年的研究,目前其成果主要体现在营养元素控制因素、富营养化水质改善、政策控制措施三个方面。

20世纪50年代到60年代初期,我国专家学者开始关注富营养化问题。我国是个湖泊众多的国家,现有湖泊2700余个,总面积达9.1万 km^2 ,其中约1/3为浅水湖泊,主要分在东部沿海与长江中下游地区。根据调查资料和国内外评价湖泊富营养化指标,我国比较典型的37个主湖泊中,中营养型和中富营养型的占55.8%,富营养型的占14.7%,重富营养型的占8.8%^[1]。目前,政府非常重视富营养化湖泊的治理和湖泊生态系统修复,投入了大量的人力、物力、财力,取得了一定的效果^[2]。国内外研究学者通过一系列研究,提出对尚未形成富营养化的湖泊,应以预防为主;对已产生富营养化的湖泊,应采取综合治理措施。概括起来,治理措施及应用情况大体包括控制外源性营养物质的输入,内源性营养盐的控制,水体中藻类的治理等。

2. 我国湖泊富营养化研究中存在的主要问题

目前看来,过去对富营养化湖泊的治理存在一些误区,对湖泊富营养化治理的复杂性和长期性缺乏足够的认识^[3],具体表现在仅考虑湖泊局部环境的治理而忽视流域整体的污水治理;仅强调湖泊外源排放而忽视湖泊内源循环;仅强调工程和生态技术而忽视规划设计和规划管理。经过总结分析,有关富营养化湖泊的生态修复研究存在以下不足:

1) 尚未揭示不同类型湖泊富营养化的发生机理,对富营养化预测、预警缺乏系统性研究,对于湖泊富营养化控制技术与工程实践更多地关注于某个单一要素,忽视了生态系统整体性功能的发挥;缺少对于各种技术的耦合和集成研究,对于工程措施的适用性,不同技术组合的集成应用以及工程技术措施对于湖泊生态系统整体性功能影响的研究尚不充分,这

导致了技术应用与工程实践缺乏系统性和长期性考虑。

2) 缺乏基于不同分区营养物基准的湖泊富营养化控制标准体系,对不同地域、不同类型湖泊缺乏分类指导方案。缺乏针对大型浅水湖泊、草湖、特殊湖泊的分区、分类污染防治的总体战略思路和技术路线。

3) 研究区域过于狭窄,对经济较发达的长江中下游湖区湖泊的富营养化研究多,对经济欠发达地区的湖泊研究少。

4) 缺乏湖泊富营养化综合防治达标技术评估体系,尚未形成适合我国国情的不同分区的湖泊富营养化防治成套技术和综合管理体系。如何制订湖库的营养状态标准已成为我国湖库富营养化控制亟待解决的重要问题。

5) 流域水环境管理制度需进一步完善。目前我国的流域管理体制存在诸多问题:各相关管理部门的职能定位不清;缺乏完善的流域管理政策体系,流域与区域之间、区域与区域之间、部门和部门之间缺乏统一的协调平台和机制;缺乏有法律地位的流域综合规划,规范流域综合管理的法规尚未健全等。

3. 我国湖泊富营养化控制策略分析

随着社会经济的增长和人口的增加,人类生活和生产活动加快了湖泊的富营养化进程,水生生态系统遭到了不同程度的破坏,既影响了水体的生态环境,又危害到了人类的健康。因此,有必要对富营养化湖泊实现湖泊生态系统恢复,即控制营养盐的输入。完全控制入湖的外源负荷无疑是不可能的,这样给我们提出的一个重要课题就是,将营养盐负荷控制在什么样的条件下湖泊可以实现生态系统恢复?由于湖泊富营养化是在不同区域的不同自然、社会条件下形成的,湖泊的富营养化不仅受到当地气候、水文、地质、地貌、生物等自然条件的影响,同时还受到区域土地利用方式、人口、农业现代化水平、城市化、工业化水平等社会经济因素的影响,从而导致湖泊富营养化具有区域分异的特点。所以,要控制湖泊富营养化,须实行分类、分级、分区控制策略。

3.1. 分类控制

3.1.1. 草湖和藻湖的控制

根据湖泊中浮游植物和水生高等植物的生产量

的不同, 我们把响应型湖泊分为草湖、藻湖和草藻混合型。草型和藻型都是浅水湖泊在一定条件下的稳定状态, 草湖指水生高等植物的生产量大于浮游植物的生产量的湖泊^[4], 草湖一般透明度较高, 水质较好。藻湖指水生高等植物的生产量小于浮游植物的生产量的湖泊, 当氮、磷营养盐超标时, 湖水透明度下降, 水质变差, 出现典型的富营养化现象^[5]。在富营养化湖泊治理中, 应根据草湖和藻湖的不同特征, 制定不同的控制策略。

草湖的生态恢复机理是减少大型水生植物中有机氮、有机磷向底质沉降; 减少大型水生植物死亡后矿化成氨态氮和正磷酸态磷。对许多草湖来说, 在内源性营养物负荷的储备量已经很高的情况下, 控制外源性营养物输入的恢复效应要在很长时间以后才能体现出来, 而且耗资巨大, 在这种情况下需要有效地抑制内源性营养物负荷的积累和释放, 通过合理地收割水草、放养草食性鱼类、捞取沉水植物等措施来阻止芦苇蔓延和减少内源的释放^[6], 再结合生物、工程措施来防止其沼泽化或向藻湖的转化。

藻湖的治理需要通过外源控制策略来削减营养盐外负荷^[7], 控制其入湖营养盐浓度及总量; 通过生物、工程措施相结合来降低内负荷; 在完成控源截污的前提下, 恢复水生植物和培植草型生态系统, 提高湖泊生态系统的自净能力; 然后结合湖滨带生态修复措施、工程措施和化学、机械措施治理藻类以达到湖泊水环境的修复^[5,8]; 结合生态修复、工程措施、流域综合管理调整湖泊生态系统的结构和功能关系, 使湖泊由藻湖向草湖转化。

3.1.2. 城市湖泊与远郊湖泊的控制

根据湖泊所处位置及受人类活动影响大小, 可以将湖泊分为城市湖泊和离城较远湖泊。城市湖泊是指位于大中城市城区或近郊的中小型湖泊^[9]。城市湖泊的流速普遍较小且无定向流动, 湖水滞留时间长, 不利于污染水体的稀释扩。城市湖泊位于人类活动密集区, 在面源污染进入以及引水所带来的大量营养物超过其自身自净能力时, 其生态脆弱性相较于其他湖泊更为显著^[9]。远郊湖泊指远离城市的、受人类活动影响较小的各种湖泊, 但目前, 这些湖泊也越来越多地受到人类活动干扰, 也逐渐面临营养化、咸化、泥沼化、面积大量缩小等问题^[10]。

城市湖泊 对于城市湖泊, 首先是治湖先治污。一般城市点源污染浓度高、总量大, 所以要特别加强措施: 清除排污口, 加强雨水、污水排放系统的分流改道, 加快建设污水处理厂和水网改造, 阻止污水入湖^[11,12]。要加大环境综合治理中消除污染物负荷的力度, 禁止各种垃圾直接或间接进入河湖, 对河湖中的污染物要及时清除。其次, 城市湖泊水域的生态恢复是一个长期的过程, 湖泊问题在水里, 根源在岸上, 而城市湖泊都是位于人口密集地区, 所以要保护城市湖泊水生态安全, 让湖泊休养生息, 就要加强整个水域的管理。通过生态水网工程建设来构建生态水网湿地群, 建立湖泊水系的良性循环系统, 提高湖泊水体自净能力^[13]。由于城市湖泊水体水源缺乏, 流动性很小, 还需要加大生态环境用水量, 确保湖泊的生态流量^[14]。

远郊湖泊 远郊湖泊污染物质来源于地面和地下, 如农田施用的化肥和农药, 雨水冲刷地面污物形成的地面径流等。对其富营养化的防治, 要重在面源污染的控制, 应该尽量削减周围的污染物来源, 加强池塘湖泊的环境整治, 对某些污染物如工业废水、农业生产污灌水或农田漫溢水等因地制宜采取相应措施进行必要的处理^[15]。在农业区大力发展生态农业, 大力推广农业新技术, 改进施肥方式和灌溉制度, 控制 N、P 肥的使用量, 开展精确施肥以减少化肥用量, 进行生物防虫降低农药投加量, 从食物链、物流循环等生态原理出发, 实施秸秆、有机肥等农业生产资源循环利用, 从而减少农业面源污染^[16]。

3.2. 分级治理

针对我国 130 余个湖泊调查资料显示, 高营养化湖泊调查占 43.5%, 中营养化湖泊占 45%^[17,18]。以藻型富营养化为主的湖泊主要分布在我国东南部经济发达地区, 超营养化湖泊主要分布在城市和城郊附近。我们可以将我国已富营养化的湖泊分为重度富营养、中度富营养、轻度富营养三级^[19-22]。对于没有受到破坏, 生态环境良好的非富营养湖泊要以预防为主, 维持湖泊现有的水环境质量状况, 在控制策略上应主要采用纯自然保护技术, 如划定禁止开发区等。对于重度富营养、中度富营养、轻度富营养三级湖泊则应采取不同类型、不同强度的措施进行生态恢复与重建。

3.2.1. 重度富营养湖泊治理

据现有调查资料表明,我国重度富营养化的湖泊主要分布在我国东部地区,以长江中下游地区最为严重,在东北湖泊区也有分布。由于人口密集、工业发达、农业现代化程度高、城市化水平高,使得这些地区成为我国湖泊富营养化问题最突出的地区,同时也一直是我国富营养化重点控制的地区,治理的难度很大。在控制策略上,应采取内、外源营养物控制并举,以外源控制为主^[14]。可考虑去除内源营养物质,深水曝气、湖水中磷的惰化沉淀和底质封闭、稀释和水洗等工程措施来清理湖泊营养盐。同时,还要结合生态修复和流域综合管理的治理策略,采用生物操纵等措施来控制湖泊内藻类生长,保护湖泊水生植物^[23,24],以改善水质,努力恢复湖泊生态环境。

3.2.2. 中度富营养湖泊治理

目前,我国大多数湖泊都有同程度的富营养化,且以重度富营养化和中度富营养化居多。中度富营养化湖泊主要分布于中部、东北、西北等经济稍欠发达地区,内陆地区工业不如东部发达,污染相对不太严重。但随着经济的不断发展和我国经济格局的变化,内陆湖泊也有向重度富营养化发展的趋势,必须采取果断措施进行治理。首先要切断外部污染源,对入湖水质要严格把关,控制农业面源污染,发展生态渔业,控制围网养殖面积,避免向水体投放化肥和农药。同时保护水生植物生长,做好湖滨带生态恢复^[25,26]。

3.2.3. 轻度富营养湖泊治理

此类湖泊主要分布在经济欠发达,比较偏远地区,如青藏高原、云贵高原地区。由于人类干扰较少,少有富营养化状况。但由于全球环境变化,温度升高,水体中藻类增多,透明度下降,加之区域地质条件影响,水体营养盐浓度升高,也易出现轻度富营养化。因此,应引起足够重视,首先,应严格限制向水体中排放污染物,入湖水质须达标。其次,保护湖泊水生植物,控制入湖营养盐水平。

3.3. 分区治理

根据自然环境的差异、湖泊资源开发利用和湖泊环境整治的区域特色,可将我国湖泊分为5个自然分布区:东部平原地区湖区、东北湖区、蒙新高原地区

湖泊、云贵高原地区湖泊、青藏高原地区湖泊^[27]。各区域内自然环境不同,经济发展水平也有显著差异,湖泊污染程度、污染类型也不相同,因此,有必要对各区域湖泊分别对待,分区治理。

3.3.1. 东部平原地区和东北湖区

本区指位于黄河、海河、淮河、长江、珠江等大江大河中下游平原丘陵地区、东北平原中央和东北山区的湖泊。由于人口密集、工业发达、农业现代化程度高、城市化水平高,本区成为我国湖泊富营养化问题最突出的地区。本区湖泊多为浅水湖,其内源磷释放量占整个磷负荷的相当比例^[28],甚至超过外源负荷,所以该区的湖泊一直是我国富营养化重点控制的地区,治理的难度很大。

在控制策略上,应采取内、外源营养物控制并举,以内源控制为主,结合生态修复和流域综合管理的治理策略。首先要做好外源污染控制;其次还要采用多种方法修复湖泊生态环境,结合本地区实际情况采取有效的恢复技术,如在富营养化湖泊中恢复高等水生植物^[29],重建草湖生态系统,从而降低底泥污染物再悬浮,吸收水体中的营养盐,抑制蓝藻生长和水华暴发^[30];采取生物控制技术,有针对性地选择鱼或浮游动物等有机体来控制藻类或其他食物链中的组成部分的生长;通过人工循环使湖水达到并维持等温状态;通过毒性效应来控制藻类等。

3.3.2. 蒙新高原地区湖泊

本区指分布在我国内蒙古自治区,新疆维吾尔自治区,河北省北部部分地区境内的湖泊。由于降水量稀少,本区的湖泊多为风蚀风积而成的矿化度高的浅水湖。由于人口密度较小,城市化水平较低,工农业水平也较低,人类经济活动对湖泊的直接影响较小,所以其富营养化程度总体较低,只有小部分湖泊达到了富营养化程度。但随着开发强度的日益增大,人口的大量涌入,盲目掠夺式开发,使得在脆弱环境背景下的湖泊生态系统的平衡被打破,湖面萎缩,水环境质量恶化,破坏了湖体原有生态系统的平衡,出现湿地面积大幅度锐减,部份水域溶解氧含量降低,湖泊生物多样性降低,群落结构变得简单,生态系统趋于不稳定,部份景观功能退化;湖体水环境中盐污染日益加重,同时也出现了盐污染这种不可逆转性的污染

形式。随着旅游资源的开发、农业面源、工业点源、流域村落等污染物排放总量的快速增加,湖体氮、磷污染问题也逐渐突出。因此,本区应针对典型湖泊,采取适应于干燥气候影响和抗盐化的生态修复技术的控制策略。

3.3.3. 云贵高原地区湖泊

云贵高原湖泊海拔高纬度低,且一般面积较小,相对深度较深,该区湖泊补给系数小,水量更新速度慢,一般2.5~3.5a才更新一次,有的深水湖甚至要在百年以上,进入湖泊水体的各种营养盐类很容易在湖中积累,枯水年份更甚。由于气候的关系,本区湖泊营养物质主要集中在雨季,随暴雨径流入湖。在人类活动加剧的情况下,本区的湖泊很容易发生富营养化,不过当前本区经济还比较落后,所以富营养化程度不如东部平原湖区、东北湖区和蒙新湖区湖区严重,但潜在的威胁还是很大的^[31]。因此,本区湖泊富营养化的趋势也是不容忽视的,在控制策略上主要应采取通过控制入湖河流营养盐含量的外源控制和湖滨带生态修复相结合的策略。

3.3.4. 青藏高原地区湖泊

青藏湖区系指分布在青藏高原上的湖泊,湖面高程都在4000 m以上,面积约占我国湖泊总面积的52%,是地球上海拔最高、数量最多和面积最大的高原内陆湖泊。由于本区湖泊位于我国人口密度最小、城市化水平最低、人类经济活动影响最小的地区,所以在五大湖区中本区湖泊的富营养化程度最低,但随着我国经济发展,人类活动对本区湖泊的影响也在不断增强,本区湖泊的氮、磷主要营养物的含量也在不断上升。因此,本区湖泊水质保护当前的主要任务是如何使本区的湖泊维持现有的水环境质量状况,在控制策略上应主要采用纯天然保护技术,如划定禁止开发区。

4. 结语

我国缺乏湖泊区域差异性调查、评价的系统资料,若完全照搬国外的标准进行指标值确定,显然缺乏科学根据^[32]。因此,需要通过对全国湖泊流域区域分异特点、水质、形态、水温、季节变化、水文、水动力、底质、水生态及湖泊功能等方面的系统调查,评价富营养化的现状,分析富营养化状态与不同影响

因子的相互关系,科学确定湖泊富营养化评价指标。通过典型湖泊营养物质基准确定,结合湖泊功能、社会经济和环境管理目标等制定富营养化控制标准,为湖泊富营养化问题识别、制定科学合理的管理计划和技术经济政策、开展项目绩效评估和富营养化演化趋势预测提供科学依据。

目前面临的最严峻的问题是缺乏湖泊治理与生态修复方面的各种技术集成与工程实践。本文认为非常有必要集中全国相关研究力量,开展系统研究,并通过项目实施,攻克关键技术难题并进行技术集成,在示范工程基础上开展生态修复和强化多元化控制技术集成,构建流域水环境政策与支撑体系和长效运行管理机制^[33],形成我国浅水湖泊富营养化控制的防治理论、成套技术和监管体系。

我国湖泊生态系统恢复应采取湖外环境建设与湖内环境治理相结合,根据受损湖泊的生态恢复需要根据实际情况,科学地规划、采取“一湖一策”和人性化管理与恢复思路^[34],确定恢复目标,综合使用多种技术措施,强化流域尺度的管理,以新标准、新要求制定防污治污的法规和政策措,调整流域内产业结构,提高全民的环保意识,鼓励公众参与。

参考文献 (References)

- [1] 胡耐根. 水体富营养化的成因及防治对策[J]. 科技信息, 2009, 33: T0334-T0335.
HU Naigen. The eutrophication cause of water bodies and prevention countermeasures. Science and Technology Information, 2009, 33: T0334-T0335. (in Chinese)
- [2] 金相灿, 稻森悠平, 朴俊大. 湖泊和湿地水环境生态修复技术与管理指南[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
JIN Xiangcan, DAOSSEN Youping and PIAO Junda. The ecological restoration technology and management guidelines of lake and wetland. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)
- [3] 许木启, 黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 547-558.
XU Muqi, HUANG Yuyao. Re-establishment of the damaged ecosystem of inland waters. Acta Ecologica Sinica, 1998, 18(5): 547. (in Chinese)
- [4] 李英杰, 胡小贞, 等. 草、藻湖水体生态及理化特性的实验对比[J]. 生态环境学报, 2009, 18: 1649-1654.
LI Yingjie, HU Xiaozhen, et al. Microcosmic experimental comparison of ecological and physicochemical characters between marphytic and algal lakes. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18: 1649-1654. (in Chinese)
- [5] 王国祥, 成小英, 濮培民. 湖泊藻型富营养化控制——技术、理论及应用[J]. 湖泊科学, 2002, 14: 273-282.
WANG Guoxiang, CHENG Xiaoying and PU Peimin. Lake eutrophication controlling technology, theory and application. Journal of Lake Sciences, 2002, 14: 273-282. (in Chinese)
- [6] 尚士友, 杜健民, 李旭英, 等. 草湖沉水植物收割工程对生态改善的试验[J]. 农业工程学报, 2003, 19: 95-100.

- SHANG Shiyu, DU Jianmin, LI Xuying, et al. Experimental study on improving ecological conditions through harvesting submerged plants in a vegetation rich lake. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2003, 19: 95-100. (in Chinese)
- [7] 聂发辉, 张伟. 富营养化水体藻类成因危害及治理技术[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2006, 15(2): 69-72.
NIE Fahui, ZHANG Wei. Summaries about cause and hazard of algae on entrophical water and removing methods. *Journal of Hunan City University: Natural Science*, 2006, 15(2): 69-72. (in Chinese)
- [8] 李雪梅, 杨中艺, 简曙光, 等. 有效微生物群控制富营养化湖泊蓝藻的效应[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(1): 81-85.
LI Xuemei, YANG Zhongyi, JIAN Shuguang, et al. Control of algae bloom in eutrophic water by effective microorganisms. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2000, 39(1): 81-85. (in Chinese)
- [9] 彭晶倩, 李琳, 等. 城市湖泊水环境安全评价研究[J]. 环境保护科学, 2010, 36(5): 62-64.
PENG Jingqian, LI Lin, et al. Evaluation for environment security of urban lakes. *Environmental Protection Science*, 2010, 36(5): 62-64. (in Chinese)
- [10] 曹磊, 谭林立. 城市湖泊富营养化的影响探讨[J]. 环境科学与管理, 2009, 34: 60-63.
CAO Lei, TAN Linli. An exploration on the preventing measures against the over-rich nutrient in city lakes. *Journal of Handan Polytechnic College*, 2009, 34: 60-63. (in Chinese)
- [11] 邓荣森, 苏春生, 肖海文, 等. 城市湖泊的生态治理试验研究——以重庆市渝北区棕榈湖为例[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(10): 141-165.
DENG Rongsen, SU Chunsheng, XIAO Haiwen, et al. Experimental study of ecological management on urban lakes—Take the palm lake at Yubei district in Chongqing city as an example. *Journal of Handan Polytechnic College*, 35(10): 141-165. (in Chinese)
- [12] 俞佳, 戴万宏, 鲍家泽. 城市景观湖泊水体总有机碳的研究[J]. 中国水土保持, 2009, 10: 33-44.
YU Jia, DAI Wanhong and BAO Jiase. Primary study on TOC of surface waters in the urban of Wuhu city. *Soil and Water Conservation in China*, 10: 33-44. (in Chinese)
- [13] 陈晓江. 我国城市湖泊富营养化状况与监测科教前沿[J]. 2010, 5: 416-465.
CHEN Xiaojiang. The urban lakes eutrophication status and monitoring. *Science & Technology in Formation*, 2010, 5: 416-465. (in Chinese)
- [14] 许文杰, 曹升乐. 城市湖泊生态环境需水量计算方法研究——以东湖为例[J]. 水力发电学报, 2009, 28(1): 102-107.
XU Wenjie, CAO Shengle. Calculation method of eco-environmental water demand of urban lake with an example of Dongchang Lake in Liaocheng city of China. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2009, 28(1): 102-107. (in Chinese)
- [15] 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[J]. 湖泊科学, 2002, 14(3): 193-202.
QIN Boqiang. Approaches to Mechanisms and control of eutrophication of shallow lakes in the middle and lower reaches of the Yangze River. *Journal of lake sciences* 2002, 14(3): 193-202. (in Chinese)
- [16] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
JIN Xiangcan. Control and management technology of eutrophication lake. Beijing: Chemical Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [17] 窦鸿身, 王苏民, 姜加虎, 等. 中国湖泊综合分类原则、级别划分及分类程序之初探[J]. 湖泊科学, 1996, 8: 173-178.
DOU Hongsheng, WANG Sumin, JIANG Jiahu, et al. On the principles scale division and procedures of comprehensive classification of Chinese Lakes. *Journal of Lake Sciences*, 8: 173-178. (in Chinese)
- [18] 孙小银, 周启星. 中国水生态分区初探[J]. 环境科学学报, 2010, 30: 415-423.
SUN Xiaoyin, ZHOU Qixing. Primary study of freshwater ecoregionalization in China. *Acta Scientiae Circumstantae*, 2010, 30: 415-423. (in Chinese)
- [19] ZUO, Q. T., LIANG, J. J. and DOU, M. Regionalization methodology systems of aquatic ecosystems in China and the case study of Huaihe River Basin. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1: 375-382.
- [20] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 45-49.
WANG Mingcui, LIU Xueqin and ZHANG Jianhui. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication. *Environmental Monitoring in China*, 2002, 18(5): 45-49. (in Chinese)
- [21] 田永杰, 唐志坚, 李世斌. 我国湖泊富营养化的现状和治理对策[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(5): 119-121.
TIAN Yongjie, TANG Zhijian and LI Shibin. Present of eutrophication of our country's lakes and control measures. *Environmental Science and Management*, 2006, 31(5): 119-121. (in Chinese)
- [22] 刘连成. 中国湖泊富营养化的现状分析[J]. 灾害学, 1997, 12(3): 5-19.
LIU Liancheng. Status quo analysis of lake nutrition abundance in China. *Journal of Catastrophology*, 1997, 12(3): 5-19. (in Chinese)
- [23] 顾宗廉. 中国富营养化湖泊的生物修复[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 42-45.
GU Zonglian. Bioremediation of eutrophied lakes in China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2002, 18(1): 42-45.
- [24] 秦伯强. 湖泊生态恢复的基本原理与实现[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4848-4858.
QIN Boqian. Principles and approach for lake ecological restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4848-4858. (in Chinese)
- [25] 石凤, 张雁秋, 李艳芬, 等. 水体富营养化的预防及治理办法[J]. 环境科学与管理 2008, 33(2): 144-147.
SHI Feng, ZHANG Yangqiu, LI Yanfen, et al. Prevention and treatment methods of water eutrophication. *Environmental Science and Management*, 2008, 33(2): 144-147. (in Chinese)
- [26] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 叶春, 王中琼. 湖滨带退化生态系统的恢复与重建[J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 360-364.
YAN Changzhou, JIN Xiangcan, ZHAO Jingzhu, YE Chun and WANG Zhongqiong. Ecological restoration and reconstruction of degraded lakeside zone ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 360-364. (in Chinese)
- [27] 王苏民, 窦鸿身, 陈克造, 等. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
WANG Sumin, DOU Hongshen, CHEN Kezao, et al. China lakes record. Beijing: Science Press Ltd., 1998. (in Chinese)
- [28] 孙亚敏, 董受玲, 汪家权. 内源污染对湖泊富营养化的作用及对策[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 210-213.
SUN Yamin, DONG Manling and WANG Jiaquan. Effects of internal pollution sources on the eutrophic lake and countermeasures. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 2000, 23(2): 210-213. (in Chinese)
- [29] 许秋瑾, 金相灿, 颜昌宙. 中国湖泊水生植被退化现状与对策[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1126-1130.
XU Qiujin, JIN Xiangcan and YAN Changzhou. Macrophyte degradation status and countermeasures in China. *Ecology and Environment*, 2006, 15(5): 1126-1130. (in Chinese)
- [30] 孙刚, 盛连喜. 湖泊富营养化治理的生态工程[J]. 应用生态学报 2001, 12(4): 590-592.
SUN Gang, SHENG Lianxi. Ecological engineering for eutrophication control in lake. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4): 590-592. (in Chinese)

- [31] 姜甜甜, 高如泰, 席北斗, 等. 云贵高原湖区湖泊营养物生态分区技术方法研究. [J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2599-2606.
JIANG Tiantian, GAO Rutai, XI Beidou, et al. Study on ecoregion techniques of lake nutrients in Yunnan-Guizhou plateau lake regions. *Environmental Science*, 2010, 31(11): 2599-2606. (in Chinese)
- [32] 吴丰昌, 孟伟, 宋永会, 等. 中国湖泊水环境基准的研究进展[J]. 环境科学学报, 2008, 28(12): 2385-2393.
WU Fengchang, MENG Wei, SONG Yonghui, et al. Research progress in lake water quality criteria in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(12): 2385-2393.
- [33] 赵永宏, 邓祥征, 战金艳, 等. 我国湖泊富营养化防治与控制策略研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 92-98.
ZHAO Yonghong, DENG Xiangzheng, ZHAN Jinyan, et al. Progress on preventing and controlling strategies of lake eutrophication in China. *Environmental Science & Technology*, 33(3): 92-98. (in Chinese)
- [34] 许木启, 黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 547-558.
XU Muqi, HUANG Yuyao. Restoration and reestablishment of the damaged ecosystem of inland waters. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 547-558. (in Chinese)