

太湖水环境管理与生态修复策略探讨

刘金根, 朱文婷 (苏州农业职业技术学院, 江苏苏州 215008)

摘要 在总结前人研究成果的基础上, 结合前期太湖水环境治理研究与实践成果, 对太湖水环境现状问题进行深入分析, 并从政策管理措施和治理技术方法 2 个维度提出太湖水环境综合治理的建议, 为提高太湖水环境综合治理效果及当地政府决策提供参考。

关键词 太湖; 水环境问题; 对策

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)08-0070-03

Discussion on Strategies for Aquatic Environment Management and Ecological Remediation in Tai Lake

LIU Jin-gen, ZHU Wen-ting (Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture, Suzhou, Jiangsu 215008)

Abstract On the basis of previous research results, combined with the Tai Lake water environment management research and practice, the current situation of water environment in Tai Lake was analyzed, and suggestions for the comprehensive management of water environment in Tai Lake were put forward from 2 dimensions of policy management measures and technical methods, so as to provide references for improving the comprehensive treatment effect of Tai Lake's water environment and local government's decision-making.

Key words Tai Lake; Aquatic environment problem; Strategy

太湖是我国第三大淡水湖泊, 水体面积约 2 338 km², 平均水深 1.9 m, 最大水深约 3.4 m, 是长江流域下游三角洲地区的重要水体, 也是整个流域水调节和水生态系统的中心, 具有水产养殖、农田灌溉、航运、旅游等多种功能与用途, 是苏州、无锡两市的主要饮用水源, 也是上海与浙东地区的水源补给地, 对长江下游地区的经济发展起着举足轻重的作用^[1-4]。然而, 自 20 世纪 60 年代以来, 太湖流域上下游区域产生的工业、农业、生活污水等污染物未经达标净化处理便直接汇聚进入太湖, 导致太湖流域水体质量明显下降。根据长期定位监测结果, 20 世纪 80 年代前水质虽受一定的污染, 但水质总体良好, 很少有蓝藻暴发现象。根据 1981 年调查结果, 太湖水域 69% 的面积为Ⅱ类水, 30% 为Ⅲ类水, 只有 1% 为Ⅳ类水; 83% 的面积为中营养状态, 只有 16.9% 为富营养状态。但是自 20 世纪 80 年代, 特别是 80 年代后期, 太湖北部的梅梁湾开始频繁暴发蓝藻水华, 并逐渐扩大到整个太湖西北部。基于无锡市环境监测中心站的监测数据, 近 30 年 (1985—2015 年) 太湖总氮 (TN) 浓度年均值在 1.79 ~ 3.63 mg/L, 30 年平均值为 (2.62 ± 0.03) mg/L。总磷 (TP) 浓度年均值在 0.04 ~ 0.15 mg/L, 30 年平均值为 (0.086 ± 0.001) mg/L。80 年代中后期至 90 年代, TN 在Ⅴ类至劣Ⅴ类之间波动, TP 由Ⅲ类向Ⅳ类转变。自 1994 年开始全湖氮、磷浓度迅速升高, 1996 年全太湖 TN (3.84 mg/L) 和 TP (0.15 mg/L) 浓度年均值达历史峰值; 1997—2006 年 TN 处于劣Ⅴ类, TP 在Ⅳ类至Ⅴ类波动; 2007—2017 年氮、磷浓度持续下降, 但 TN 仍处于劣Ⅴ类, TP 处于Ⅳ类水平^[1]。这种水质性水资源危机不但危及城乡居民的日常生活, 制约区域社会经济的可持续发展, 更直接影响到以上海为龙头的长江三角洲和长江经济带发展战略目标的实现。

太湖水体环境恶化的事实在 20 世纪 80 年代就引起科研工作者的关注, 并陆续开展了相关研究与实践^[2,5-8]。但是, 由于流域内经济高速发展和湖泊资源的过度开发利用, 以及人们在认识发展与环境保护关系上的误区, 水体污染防治研究与实践相对滞后, 导致太湖流域经济发展和资源环境之间的矛盾逐渐凸显且愈发尖锐, 水环境恶化对太湖流域工农业生产和城乡居民生活造成了严重影响。因此, 保护和改善太湖水质一直是全流域经济发展的关键和全社会关注的焦点之一。特别是从 20 世纪 90 年代后期太湖治理更是得到了高度重视, 1998 年底对重点污染工业实施的“零点达标行动”使流域污染物的输入得到一定控制, 但由于“零点达标行动”等措施属于应对性措施, 缺乏长期的治污战略统筹, 2003—2008 年太湖并未进入明显的水质恢复期, 反而呈现一定程度的恶化趋势, 更于 2007 年 5 月 29 日因太湖局部蓝藻暴发而酿成震惊中外的“无锡供水危机”事件^[2]。该事件给环湖各地敲响了警钟, 引起各级政府高度重视, 由此开启了“铁腕治污, 科学治太、依法治太”之路。太湖水体氮、磷浓度自 2008 年开始下降, 太湖地表水质呈好转趋势, 但水污染状况仍不容乐观。根据《中国环境状况公报 (2015 年)》, 2015 年太湖水体平均水质为Ⅳ类。在 20 个国控点位中, Ⅲ类水质点位占 20%, Ⅳ类占 75%, Ⅴ类占 5%。由此可见, 太湖仍处于亚健康状态, 存在富营养化和蓝藻暴发的风险, 故江苏省“263”专项行动中仍将太湖水环境治理列为工作重点, 太湖水环境保护工作仍然任重道远。

1 水环境问题分析

1.1 水体污染的历史性包袱较重 太湖水环境污染影响因素复杂, 但入湖河道输入的外源污染是造成太湖水质污染的主要原因^[9-12]。自改革开放以来, 以乡镇企业为主的“苏南模式”出现, 极大地推动了流域内工业化的发展, 化工、纺织印染、黑色冶金等重点污染企业的快速发展和布局的分散性、经营方式的多变性及其粗加工带来的污染物, 使工业污染迅速成为主要的污染因素之一, 曾使太湖流域水体污染严重。据统计, 太湖流域所覆盖的各行政区内受污染的河流占

基金项目 苏州农业职业技术学院特色专业建设工程资助项目; 苏州市科技计划项目 (SNG2017059); 太湖水污染治理专项资金 (第七期) 技术示范类科研项目 (JSZC-G2013-191)。

作者简介 刘金根 (1969—), 男, 江苏建湖人, 高级工程师, 博士, 从事生态修复、环境修复方面的教学与科研工作。

收稿日期 2017-12-19; **修回日期** 2018-01-05

水系总长的比例均在 80% 左右,如上海为 87%~92%,江苏省为 82%~87%,浙江省为 72%~79%^[5]。

1.2 生产、生活方式变化导致面源污染问题突出 研究显示,太湖水污染问题的本质不在于水体本身,其根源在陆地^[10]。随着点源污染逐渐得到控制和治理,太湖水体污染状况并未得到明显改善,这表明造成太湖水环境问题的污染物不仅来自于工业点源污染,农业面源污染及生活污染在太湖外源污染中也占据相当比重^[13-14]。有研究结果显示,农业面源污染 TN 的贡献率 34%~52%,TP 的贡献率 17%~54%^[5]。值得一提的是,太湖流域经济发展迅速,城镇化率高,居民生活方式和消费方式发生明显变化。尤其是随着城乡饮用水联网集中统一供水后,河水不再作为农村生活用水,生活垃圾和农业废弃物被随意排入河道水体的现象不再罕见。目前,太湖流域水污染不仅具有西方发达国家水污染第 1 阶段的特征,还具有其第 2 阶段以氮、磷为主要污染物引发水体富营养化的特征,更具有以微量毒害有机物为主要污染物的第 3 阶段的特征。

1.3 土地利用方式急剧变化,恶化流域水生态环境 太湖流域河道密集、河网交错,西部径流汇入太湖后,再主要经太湖调蓄后从东部流出,流域河网以太湖为中心,形成统一的河网湖泊系统,水生态系统功能相对稳定、健全。然而,改革开放以来,我国特别是长三角地区社会经济高速发展,城市化、工业化进程加快,人口不断增长,加剧了太湖流域土地利用与水环境保护之间矛盾,太湖流域水生态系统生物多样性受到破坏,流域水资源承载力和环境承载力不断下降^[2,15]。尤其是工业化、城市化过程中,大量基础设施建设破坏了水系原有的自然通路,水体自净能力下降,而且建设中水土流失导致河道淤积,大量土壤颗粒夹带着营养物质进入水体,成为水体富营养化的重要来源,致使水生态环境进一步恶化,太湖水生态环境保护压力持续加大。

1.4 水体治理中存在“重技术、轻管理”倾向 与其他流域水环境治理一样,太湖流域以往的水环境治理主要集中在技术层面上,轻视政策层面的调控措施。然而,解决太湖流域水环境问题却需要有效的跨行政区、跨部门的综合管理。造成太湖水污染的因素很多,但核心问题是水环境保护体制存在一定缺陷,政府管理部门多头管理,缺乏有效的协调政策措施。此外,习惯于“问题”后的“运动”式应急治理措施,缺少一套着眼于根本解决问题的长效维护与保障机制。

1.5 水体交换不畅,自净能力先天不足 太湖流域水网复杂、密集,环湖河道纵横交错,且流向顺逆不定,许多河道既是入湖河道,又是出湖河道,入湖河道水质污染严重是太湖水环境恶化的根本原因。太湖环湖进出河道 200 余条,受潮汐影响大部分为吞吐流,然而相对于太湖 2 338 km² 的水体面积,44.8 亿 m³ 的蓄水量,环湖吞吐流对整体湖流运动的影响较小,湖流运动主要受风生流的影响较多,1 年内随着不同季节主导风向的变化,受风场影响的湖泊环流也呈现不同环流方向和形式^[2,4,10]。目前,太湖水污染的重要问题是水流缓慢、动力掺混能力弱、水流交换不畅、水体自净能力差、纳

污能力小、入湖污染负荷量大,且远超部分湖湾的纳污能力,水体修复往往只有借助于外力作用才能成功。

1.6 水体内源性污染严重 水产养殖是导致太湖胥口湾和东太湖水体恶化的重要原因。此外,湖泊底泥的内源释放也是氮素污染的一个重要原因^[2]。富营养化治理通常是高强度消减营养负荷,但对太湖来说,即使在彻底控制外营营养源的情况下,底泥和生物营养库中营养物质不断释放,湖水营养水平下降也很缓慢。

2 对策与建议

水是基础性自然资源,也是太湖流域经济发展和社会进步的生命之源。近年来,太湖流域内各级政府坚持把太湖水环境综合治理作为经济社会发展和生态文明建设的重中之重,深入实施太湖治理国家总体方案和省级实施方案,扎实推进太湖治理应急防控各项工作,促进了太湖水质的持续改善。但是也应清醒地看到,太湖蓝藻暴发的生境条件尚未得到根本改变,湖体水质仍不稳定,主要入湖河道水质状况不容乐观,整个流域产业结构仍然偏重,入湖污染负荷较高。尽管自从 2007 年蓝藻大暴发以后,再未出现严重问题,但是太湖生态系统仍很脆弱,稍有不慎就会重遭覆辙^[7]。因此,在汲取前人研究成果的基础上,结合太湖流域经济社会发展现状,从制度管理和治理技术手段 2 方面提出切实可行的保护与修复措施,为太湖水环境治理提供有益参考。

2.1 完善管理制度,强化机制创新

2.1.1 完善法律法规体系,加大政策保障力度。 坚持“技术治理措施与管理措施相结合”原则,围绕水体保护积极开展立法调研,制定与完善管理制度,颁布政策法规,提高污染控制效率和效果。首先,扩大环境影响评价制度覆盖面。按照相关环评法律、法规,对于计划建设项目和规划引进严格的环评准入制度,确保从源头上预防新污染源的出现。其次,严格产业准入与退出机制。定期发布鼓励和淘汰产业目录,提高产业准入门槛,对于污染治理无望的劣质产业项目进行有序关、停、并、转。对于重点污染源点位,应设置在线监测系统,逐步实现流域水环境在线监测全覆盖。另外,健全生态补偿机制,提高政策执行效率。尽管江苏省率先在太湖流域建立了污染排放监测考核和生态补偿机制^[7],但生态补偿标准计量方法仍然相对粗放,有待进一步科学细化。

2.1.2 协调流域行政管理关系,明确职能部门责权界限。 太湖属于跨省界水体,但流域水生态系统却是不可分割的统一整体。因此,必须在流域层面上构思太湖的管理体制,彻底改变太湖流域水体多头管理的混乱格局。一方面,协调不同地区的执法关系,同时也要理顺同一地区不同部门之间的执法权限,防止污染事故处理时相互推诿责任。另一方面,全力推进新一轮太湖治理工作,对于入湖河流应借鉴“河长制”等管理工作机制,开展定期检查和逐级年度考核,强化责任追究。

2.1.3 加强农业面源污染全程监管,落实污染源头控制与治理。 太湖治理措施主要体现在湖外和湖内 2 部分。太湖水环境治理的关键是控源治污,故应坚持“源头控制与湖泊

水体生态修复相结合”原则,重视源头治理,将污染治理过程前移。因地制宜地推进农业生产规模化经营,推广农业清洁生产新技术,鼓励发展生态循环农业、有机农业。加强环太湖流域农区的农田林网建设,发挥林业和农区众多沟塘湿地在净化农业面源污染物方面的作用。此外,加快推进畜禽养殖产业园区化集中生产步伐,方便畜禽废弃物的资源化利用,减轻污染物控制难度。

2.1.4 合理规划与布局产业。太湖水环境问题在水中,根源却在岸上,因此产业改造、提升或者转型至关重要。按照“铁腕治污、科学治太”的总体要求,科学分析环湖地区各地的生态资源、环境、历史文化与风俗习惯等因素,明确各自的功能定位,优化产业布局。以生态要求作为产业空间规划布局的主要依据,大力发展低碳经济,改变居民的从业方式。在环太湖湖滨区大力发展观光休闲农林业和度假旅游业、会展中心、影视基地等环境友好型产业,加强环湖地区生态林建设力度,建立国家或省级森林公园、生物多样性教育基地,形成别具一格的区域经济格局,提升环太湖地区产业品味与档次。

2.1.5 探索水环境治理企业化运作模式。合理运营机制是环太湖生态建设与管理有效运行的必要条件。由于环太湖各地存在较大的复杂性和差异性。政府在环太湖生态建设和管理中要充分发挥市场机制的作用,创新运作模式与机制。例如,可以借鉴林权改革的成功经验,在目前“河长制”的基础上遵循“统一规划、分散经营”原则,将企业化运营模式引入环太湖农村河道治理与后期长期管护环节,秉持“保护中生产、生产中保护”理念,允许管理人利用河道进行约束性生产,有效化解现实水体管理困境,促进水生态系统健康、可持续发展。

2.2 加强生态治理技术应用,重视集成技术研发

2.2.1 推行农业清洁生产技术,强化面源污染治理技术研发。环太湖农区不科学的农业生产方式是太湖水体污染的一个重要原因,但是对于面广量大的农业面源污染问题,依靠传统的点源工业污染防治方法难以奏效。因此,应坚持“点源治理与面源治理相结合”原则,努力推进农业生产方式革新,在源头上加强对农业生产中污染物的控制,减少营养物质流失^[16]。重点加强农作物秸秆还田利用、测土配方施肥、科学灌溉等农业环保实用技术的研究与推广应用。对于环境容量耗损严重、生态系统发生质变、依靠自然恢复困难的特殊水体,应坚持“自净修复与外力干预相结合”原则,酌情设置工程控制手段作为应急措施,逐步改善水生态系统自净条件,实现水体污染标本兼治,确保流域水生态系统可持续发展。

2.2.2 加强环太湖湖滨岸带的生态防护林建设研究与实践。除加强流入太湖的沟、河污染物调控与管理外,太湖湖体生态修复和富营养化治理已成为当务之急。理论上,耐水(湿)植物均可有效净化水体污染物,尤其是沉水植物是河道、湖泊等水体生态系统有效恢复的关键。因此,沿湖岸带推广生态种植模式,利用植物吸收污染物和美化环境^[17-20]。优化植物修复技术方案,引种或选育优良水(湿)生植物,提

高湖滨林带和生物浮床吸收水体中营养物质的效率,特别是在适宜区域优先选择耐湿乔、灌木,减轻后期维护成本,破除水体植物修复技术产业化制约瓶颈。

2.2.3 重视水生动物在太湖治理中的作用。太湖水深1.5~2.0 m,水生植物丰富,水动力条件稳定,适宜于鱼类和水生动物生活^[1,3,21]。但迄今为止,太湖水体修复技术多集中于草本植物材料,因植物凋(落)谢物进入水体形成的二次污染问题突出,采用人工收集会增加修复成本。目前,国内外许多学者和研究人员正致力于利用水生动物对水体中有机和无机物质的吸收和利用来净化污水^[21]。尤其是利用湖泊生态系统食物链中的蚌、螺、草食性浮游动物和鱼类,直接吸收营养盐类、有机碎屑和浮游植物,取得明显效果。因此,在现实中应加大打击电捕鱼等违法犯罪活动力度,加强对水生动物在水体修复中的研究与实践,科学塑造一个近自然的水生态系统食物链。但需要指出的是生物操纵法存在两面性,需要关注水生态系统的稳定性和安全性问题。

2.2.4 深化太湖水文规律的研究,提高水体自净能力。近年来,采取“引清调水”措施治理湖泊水体污染应用广泛,短期内效果明显^[22]。然而,成本高,对水生态系统产生扰动也是问题,因此仅作为突发事件时的应急措施。太湖位于流域中部,水体相对封闭,与外界换水周期长。且周围河流入湖容易,出流通道少,湖面宽阔,湖泊内部生态系统处于较为稳定的动态平衡状态^[4]。但湖体具有较大的环境容量和生态自稳性作用,其内部生态结构在一定范围内仍具有很强的缓冲性。因此,在短期内外营力对于太湖水体的作用有限,其内部水生态系统在一定时间和范围内仍起主导作用。故应加强太湖水文规律研究,尽可能利用潮流自身动力学规律,提高太湖水体净化能力。

2.2.5 科学安排湖底淤泥清理,提高内源污染治理效果。太湖底泥中富含的营养物是湖体的内污染源,也是造成太湖水体富营养化和藻类暴发的营养盐来源之一^[23]。因此,实践中应根据太湖水体氮、磷环境容量和系统氮、磷库总体平衡要求确定淤泥清理计划,科学疏浚湖底淤泥。不仅可以减轻内源污染,同时还能扩大库容,增强该地区抵御水、旱灾的能力。但湖泊底泥清淤的工程投资大,清淤底泥余水处理、二次污染的防范等工程技术问题复杂,还要特别关注清淤措施对底栖动物和其他物种造成的负面影响,防止出现“湖底沙漠”现象。

参考文献

- [1] 戴秀丽,钱佩琪,叶京,等.太湖水体氮、磷浓度演变趋势(1985~2015年)[J].湖泊科学,2016,28(5):935-943.
- [2] 吴雅丽,许海,杨桂军,等.太湖水体氮素污染状况研究进展[J].湖泊科学,2014,26(1):19-28.
- [3] 袁和忠,沈吉,刘恩峰,等.太湖水体及表层沉积物磷空间分布特征及差异性分析[J].环境科学,2010,31(4):954-960.
- [4] 陈小锋,揣小明,曾巾,等.太湖氮素出入湖通量与自净能力研究[J].环境科学,2012,33(7):2309-2314.
- [5] 闫丽珍,石敏俊,王磊.太湖流域农业面源污染及控制研究进展[J].中国人口·资源与环境,2010,20(1):99-107.
- [6] 陆桂华,张建华.太湖水环境综合治理的现状、问题及对策[J].水资源保护,2014,30(2):67-69,94.

评价因子按不同重要性进行加权叠置,得出现有生态的适宜性评价。按评价等级及周边情况分为生态控制区、生态协调区、生态恢复区,并运用景观生态学原理,形成“一轴、四廊、四区、多点”的结构布局,建立生态廊道,进行林地单一性重植、道路林多样化、池塘生态化等。

3.4 乡村景观 在土地综合整治过程中,要遵循乡村自身发展规律,传承乡村传统文化,建设乡村生态文明,开展宜居农村生活环境建设;保护传统村落特色和历史文化,鼓励各地因地制宜建设本土特色的美丽宜居乡村。如湖北广水市杨寨镇打造美丽“桃园”建设,湖南安仁县永乐江镇构建“稻田公园”建设^[13],安徽省池州市推进美丽乡村建设^[14],均提出农村土地整治与美丽乡村建设联动,彰显了区域特有的乡村特色,充分体现自然环境、人文环境与生态环境的协调一致,突出生态和谐良好的乡村生态文明。

3.5 生物多样性 在土地综合整治过程中,要运用景观生态学原理,按照“斑块-廊道-基质”格局优化模式,建设农田斑块工程,适当保留农田中的人工林地、草地等斑块;建设生物廊道工程,适当保留道路、田坎、农渠两侧的防护性树篱廊道,为动植物提供稳定的栖息空间和生存环境;修复湿地生态系统,为物种提供生境^[15]。如浙江省嘉兴市七星镇将生态板、生态孔、生态岛屿和生态边界等规划设计运用于土地整理项目^[16],湖北省广水生态项目将生态沟渠、生态孔、生态池塘、道路林护岸林多样性等运用于项目设计,从而有效地保护和维持了整治区域的生物多样性。

4 小结

土地综合整治是一项系统全面的工程,在实施土地综合整治过程中,要遵循生态性、乡土性和景观性等原则,运用工程、生物技术和景观设计手法,推进田、水、路、林、村综合整

治,促进乡村生态环境和生态文明建设,提高乡村生态服务功能和景观价值功能,推动人与自然协调发展。

参考文献

- [1] 鄢文聚,宇振荣. 土地整治加强生态景观建设理论、方法和技术应用对策[J]. 中国土地科学,2011,25(6):4-9.
- [2] BRONSTERT A, VOLLMER S, IHRINGER J. A review of the impact of land consolidation on runoff production and flooding in Germany[J]. Physics & chemistry of the earth,1995,20(3/4):321-329.
- [3] BONFANTI P, FREGONESE A, SIGURA M. Landscape analysis in areas affected by land consolidation[J]. Urban landscape & planning,1997,37(1/2):91-98.
- [4] FUJIHARA M, HARA K, SHORT K M. Changes in landscape structure of “yatsu” valleys: A typical Japanese urban fringe landscape[J]. Landscape & urban planning,2005,70(3/4):261-270.
- [5] 蒋一军,王晓霞. 国内外土地整理比较研究[C]//张玉台. 科技、工程与经济社会协调发展:中国科协第五届青年学术年会议文集. 北京:中国科学技术出版社,2004.
- [6] 严金明. 国土开发利用的生态文明战略[J]. 中国国情国力,2013(4):10-11.
- [7] 叶艳妹,吴次芳,黄鸿鸣. 农地整理工程对农田生态的影响及其生态环境保育型模式设计[J]. 农业工程学报,2001,17(5):167-171.
- [8] 陈百明,谷晓坤,张正峰,等. 土地生态化整治与景观设计[J]. 中国土地科学,2011(6):10-14.
- [9] 魏祥,韩霖昌,张扬,等. 土地整治项目区的土壤改良办法:以白水县土地整治项目为例[J]. 陕西农业科学,2014,60(1):53-55.
- [10] 周丹,付成华. 土地整理工程设计方案分析:以巴中市上八庙镇土地整理项目为例[J]. 农学报,2014,4(11):92-95.
- [11] 刘文平,宇振荣,鄢文聚,等. 土地整治过程中农田防护林的生态景观设计[J]. 农业工程学报,2012,28(18):233-240.
- [12] 李红举,林坚,阎红梅. 基于农田景观安全格局的土地整理项目规划[J]. 农业工程学报,2009,25(5):217-222.
- [13] 梁成全. 基于乡土特色的安仁县稻田公园景观表达策略研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2015.
- [14] 张勇,包婷婷. 安徽省池州市农村土地整治与美好乡村建设耦合联动研究[J]. 国土资源情报,2014(4):41-46.
- [15] 谢苗苗,李超,刘喜福,等. 喀斯特地区土地整理中的生物多样性保护[J]. 农业工程学报,2011,27(5):313-319.
- [16] 鲍海君,徐保根. 生态导向的土地整治区空间优化与规划设计模式:以嘉兴市七星镇为例[J]. 经济地理,2009,29(11):1903-1906.

(上接第72页)

- [7] 吕振霖. 太湖水环境综合治理的实践与思考[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012,40(2):123-128.
- [8] 成芳,凌去非,徐海军,等. 太湖水质现状与主要污染物分析[J]. 上海海洋大学学报,2010,19(1):105-110.
- [9] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学,2008,20(1):21-26.
- [10] 林琳,吴敬祿,曾海莹,等. 人类活动对太湖水环境影响的稳定氮同位素示踪[J]. 湖泊科学,2012,24(4):546-552.
- [11] 李恒鹏,杨桂山,黄文钰,等. 太湖上游地区面源污染氮素入湖量模拟研究[J]. 土壤学报,2007,44(6):1063-1069.
- [12] 谷孝鸿,白秀玲,江南,等. 太湖渔业发展及区域设置与功能定位[J]. 生态学报,2006,26(7):2247-2254.
- [13] 盛学良,舒金华,彭补拙,等. 江苏省太湖流域总氮、总磷排放标准研究[J]. 地理科学,2002,22(4):449-452.
- [14] 沃飞,陈效民,吴华山,等. 太湖流域典型地区农村水环境氮、磷污染状况的研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):819-825.
- [15] 姜坤. 太湖水环境约束下的宜兴市土地利用分区研究[D]. 南京:南京

农业大学,2012.

- [16] 孔繁翔,胡维平,范成新,等. 太湖流域水污染控制与生态修复的研究与战略思考[J]. 湖泊科学,2006,18(3):193-198.
- [17] 孟亦奇,吴永波,朱颖,等. 利用河岸缓冲带去除径流水中氮的研究[J]. 湿地科学,2016,14(4):532-537.
- [18] 姚程,胡开明,卢少勇,等. 几种水陆交错带植物对底质氮磷释放的抑制作用[J]. 环境科学,2017,38(2):589-599.
- [19] 高敏,胡维平,邓建才,等. 太湖典型沉水植物生理指标对水质的响应[J]. 环境科学,2016,37(12):4570-4576.
- [20] 赵温. 苦草和伊乐藻对水体铵态氮、磷浓度的响应[D]. 武汉:华中农业大学,2013.
- [21] 蔡永久,龚志军,秦伯强. 太湖大型底栖动物群落结构及多样性[J]. 生物多样性,2010,18(1):50-59.
- [22] 王水,胡开明,周家艳. 望虞河引清调水改善太湖水环境定量分析[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(7):1035-1040.
- [23] 王佩,卢少勇,王殿武,等. 太湖湖滨带底泥氮、磷、有机质分布与污染评价[J]. 中国环境科学,2012,32(4):703-709.

科技论文写作规范——题名

以最恰当、最简明的词句反映论文、报告中的最重要的特定内容,题名应避免使用不常见的缩略语、首字母缩写词、字符、代号和公式等。一般字数不超过20字。英文与中文应相吻合。英文题名词首字母大写,连词及冠词除外。