

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第11期

Vol.38 No.11

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

天津市非道路移动源污染物排放清单开发 张意, Andre Michel, 李东, 张欣, 吴琳, 张衍杰, 马超, 邹超, 毛洪钧 (4447)
基于移动监测和土地利用回归模型的上海市近地面黑碳浓度空间模拟 彭霞, 余倩楠, 龙凌波, 刘敏, 徐茜, 魏宁, 周陶冶 (4454)
鄂东典型工业城市大气 PM₁₀ 中元素浓度特征和来源分析 占长林, 张家泉, 郑敬茹, 姚瑞珍, 刘红霞, 肖文胜, 刘先利, 曹军骥 (4463)
常州夏秋季 PM_{2.5} 中碳质气溶胶特征及来源 叶招莲, 刘佳澍, 李清, 马帅帅, 许澎 (4469)
徐州市冬季大气细颗粒物水溶性无机离子污染特征及来源解析 范美益, 曹芳, 张园园, 鲍孟盈, 刘晓妍, 张雯淇, 高嵩, 章炎麟 (4478)
南宁市一次污染过程大气颗粒物理化特性及来源 刘慧琳, 陈志明, 李宏姣, 蒋靖坤, 张强, 黄炯丽, 毛敬英, 梁桂云, 杨俊超, 张达标, 莫招育 (4486)
西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布 李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 王金龙, 范春兰, 刘鹏霞, 李彦鹏 (4494)
黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征 唐永, 孙语嫣, 石晓勇, 韩秀荣, 苏荣国 (4501)
华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价 张明, 鲍征宇, 陈国光, 雍太健, 朱意萍, 梁晓红 (4513)
基于地球化学特性的海州湾海洋牧场沉积物重金属研究 李大鹏, 张硕, 张中发, 罗娜, 魏青青, 张瑞, 黄宏 (4525)
尼洋河流域水化学特征及其控制因素 张涛, 蔡五田, 李颖智, 张智印, 耿婷婷, 边超, 赵森, 蔡月梅 (4537)
南亚热带地区水库夏季铁、锰垂直分布特征 杨思远, 赵剑, 余华章, 彭亮, 肖利娟 (4546)
辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估 张晓娇, 柏杨巍, 张远, 马淑芹, 郭昌胜, 张莉 (4553)
东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响 何肖微, 储瑜, 曾巾, 赵大勇, 陆建明, 曹萍, 吴庆龙 (4562)
浑太河不同水生态区营养盐对底栖硅藻的影响及阈值 张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 臧小苗, 张晓娇 (4570)
水环境条件对三峡库区消落带狗牙根根磷养分淹水浸泡释放的影响 肖丽微, 朱波 (4580)
野鸭湖湿地芦苇根际微生物多样性与磷素形态关系 滕泽栋, 李敏, 朱静, 宋明阳 (4589)
人为扰动背景下城市边缘溪流底质硝化-反硝化潜力分析 李如忠, 郑侠, 高苏蒂, 叶舟 (4598)
不同扰动下外源磷在形态磷间的分布规律 蔡顺智, 李大鹏, 唐鑫煜, 李浩冉, 朱伟, 黄勇 (4607)
伊乐藻-高效脱氮微生物协同作用对污染水体氮素脱除机制的影响 王浩, 李正魁, 张一品, 丁帮璟 (4617)
零价铁活化过硫酸钠去除废水中的砷(V) 周孜迈, 邓文娜, 杨艺琳, 孙艳秋, 王悦, 柳听义, 王中良 (4623)
nZVI/AC 复合材料对水中锑的去除 蒋婷, 鲍玥, 李威, 方荣业, 史惠祥 (4632)
流态对生物添加强化硝化效果的影响 于莉芳, 杜倩倩, 张茹, 杨秀玲, 李初, 滑思思, 冯云堂 (4641)
温度对 SBR 生物脱氮效能及胞外聚合物的影响 孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (4648)
温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响 刘宏, 彭永臻, 卢炯元, 李慧, 南彦斌, 王瑾, 陈永志 (4656)
不同诱导模式下 CAST 工艺的亚硝酸盐型反硝化除磷能力 马娟, 王谨, 俞小军, 张伟, 魏雪芬, 陈永志, 田文清 (4664)
污水处理厂 CANON 工艺小试 李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (4673)
SBR 加载不同粒径活性炭对其污泥颗粒化进程的影响机制 信欣, 管蕾, 郭俊元, 刘洁, 冯梅, 余婷婷 (4679)
常温下厌氧氨氧化污泥的储存及活性恢复 黄佳路, 王小龙, 高大文 (4687)
同步脱氮除磷好氧颗粒污泥培养过程微生物群落变化 高景峰, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲, 张丽芳, 张树军, 高永青, 张帅 (4696)
硫酸盐和 Fe(II) EDTA-NO₃⁻/Fe(III) EDTA 厌氧还原过程特性及微生物群落分析 张玉, 万方, 周集体 (4706)
SBR 系统外加磁场对微生物群落多样性和处理效果的影响 耿淑英, 付伟章, 王静, 郑书联 (4715)
安徽某铁矿排土场废矿石中产酸微生物群落 杜泽瑞, 郝春博, 裴理鑫, 卫朋飞, 张鑫, 鲁艳春 (4725)
典型集雨人饮地区窖水微生物群落多样性及差异解析 杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (4733)
表层沉积物中 6:2 氟调醇生物降解对细菌群落结构的影响 王丹, 侯珍, 张琪, 周莹, 卢晓霞 (4747)
外源环烷酸在土壤中的降解过程及对微生物群落结构的影响 刘艳秋, 赵嫣然, 刘梦娇, 樊灏, 黄艺 (4756)
1 株异养硝化-好氧反硝化细菌 DK1 的分离鉴定及其脱氮特性 牟东阳, 靳鹏飞, 彭永臻, 李夕耀, 张琼, 何建中 (4763)
重庆缙云山 4 种典型植被覆盖下汞的释放通量及影响因素 杨光, 孙涛, 安思危, 马明 (4774)
模拟氮沉降对闽江口淡水感潮沼泽湿地 CO₂、CH₄ 排放通量的短期影响 李冬冬, 仝川, 谭立山, 陈坤龙, 孙东耀, 黄佳芳 (4782)
地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 石将求, 郝庆菊, 冯迪, 张凯莉, 石孝均, 江长胜 (4790)
西安市公园土壤多环芳烃污染特征、来源及风险评价 周燕, 卢新卫 (4800)
不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征 代豫杰, 郭建英, 董智, 李锦荣, 李红丽 (4809)
不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响 蒋梦蝶, 王秋敏, 徐鹏, 周维, 邱磊, 胡荣桂 (4819)
喀斯特灌丛土壤丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响因素 梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧, 胡亚军 (4828)
生物炭和草酸活化磷矿粉对镉镍复合污染土壤的应用效果 段然, 胡红青, 付庆灵, 寇长林 (4836)
反复冻融与高温老化对砷污染土壤固化稳定化效果的影响 杨洁, 钱赵秋, 王旌 (4844)
皂角苷和柠檬酸联合对污泥中 Cu、Pb 和 Zn 的去除及其稳定性特征 叶涛, 黄丽, 张克强, 张斌, 常红, 刘智杰, 杜连柱 (4850)
针铁矿与胡敏酸的交互作用及其复合物的稳定性 王锐, 朱朝菊, 向文军, 方敦, 杨小洪, 吴少尉, 魏世勇 (4860)
塑胶跑道中有机磷酸酯的含量及健康风险 印红玲, 刘琴, 廖林群, 王震, 罗怡, 邓旭, 丁浚刚, 唐铭 (4868)
农业废物堆肥中理化参数对 GH6 家族基因影响 陈耀宁, 苟宇, 黎媛萍, 伍艳馨, 陈艳容, 李辉, 刘耀, 汪元南, 张道利, 朱福造, 曾光明 (4874)
F/M 及 HRT 对果蔬垃圾厌氧发酵产氢的影响 李标, 孔晓英, 李连华, 李颖, 袁振宏, 孙永明, 吕鹏梅 (4882)
环境模型中敏感性分析方法评述 陈卫平, 涂宏志, 彭驰, 侯鹰 (4889)
《环境科学》征稿简则(4662) 《环境科学》征订启事(4672) 信息(4647, 4705, 4789)

东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响

何肖微^{1,2}, 储瑜^{1,2}, 曾巾^{2*}, 赵大勇¹, 陆建明³, 曹萍³, 吴庆龙²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 3. 江苏省太湖渔业管理委员会办公室, 苏州 215004)

摘要: 湖泊渔业是我国淡水渔业的重要组成部分. 传统的渔业养殖模式对湖泊生态系统产生了严重的负面影响. 近年来, 东太湖的围网养殖模式进行了优化调整. 本文通过对比东太湖不同区域(养殖网围内、养殖网围外、蟹草养殖区、混养养殖区、恢复区与对照区), 不同时间(1、3、4、8 与 11 月), 以及沉积物不同深度(0~1 cm 与 9~10 cm)的理化指标数据, 来分析湖泊水产养殖对沉积物理化性质的影响. 结果表明, 养殖网围内沉积物中总氮、总磷含量略高于网围外; 与蟹草养殖区相比, 混养养殖区沉积物中总氮、总磷含量更低, 造成的污染更小; 恢复区生长和分布大量水生植物, 对已污染湖泊的生态恢复有一定的帮助; 在水生植物生长的旺季, 沉积物中总氮、总磷含量最低, 说明水生植物能有效控制沉积物中的氮磷.

关键词: 东太湖; 渔业养殖; 沉积物; 理化指标; 氮磷富集

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4562-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201705088

Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu

HE Xiao-wei^{1,2}, CHU Yu^{1,2}, ZENG Jin^{2*}, ZHAO Da-yong¹, LU Jian-ming³, CAO Ping³, WU Qing-long²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Taihu Fishery Management Committee Office, Suzhou 215004, China)

Abstract: The farming of lake fisheries is an important part of the freshwater fishery industry in China. However, farming patterns of traditional fisheries maintain serious negative effects on the ecosystem of Eastern Lake Taihu. In recent years, the enclosure culture model of this lake has been optimized. In order to investigate the effects of aquaculture on the sediment properties, samples were collected from different areas of the lake (i. e. within the culture areas, outside the culture areas; from the crab-plant co-culture areas, mixed culture areas, ecological restoration areas, and control areas), in different months (January, March, April, August, and November), and at different depths (0-1 cm and 9-10 cm). The results of this sampling indicates that ① the concentrations of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in the sediments samples collected within the culture areas are slightly higher than samples collected outside the culture areas; ② compared to the crab-plant co-culture areas, lower concentrations of TN and TP are found in the samples collected from the mixed culture areas; ③ in the ecological restoration areas, aquatic plants exhibit certain positive effects with decreasing concentrations of TN and TP in the sediment. The lowest concentrations of TN and TP are detected in the sediment during the growing season of aquatic plants.

Key words: Eastern Lake Taihu; aquaculture; sediments; physicochemical characteristics; nitrogen and phosphorus enrichment

东太湖是长江中下游典型草型湖泊,水质良好,渔业资源丰富,饵料生物尤其是水生高等植物和大型底栖动物丰富,是我国最早开始网围养殖渔业开发的湖泊之一^[1]. 但是,由于对传统渔业养殖规模缺乏科学的指导和系统全面的规划,过度追求养殖经济效益而投放大量饵料. 残留饵料腐烂后导致湖泊水体氮、磷污染严重^[2,3]. 同时,单一的养殖模式引发水体环境质量下降,东太湖沼泽化和富营养化现象渐趋严重^[4~6].

2007 年太湖蓝藻事件发生后,东太湖大量养殖网围被拆除,同时开始进行一系列新型养殖模式的研究与尝试. 比如:建立了湖泊养殖优化区和养殖污染物控制区^[7]. 东太湖养殖模式优化后水质变

化以及其对环境的影响已有相关报道. 已有的研究表明:新的养殖模式下,东太湖的水质及湖泊环境已经得到了较大的改善^[8,9]. 但是,关于新型养殖模式下沉积物理化性质方面的研究报道较少. 沉积物是水中各种污染物的源和汇,记录着湖区环境变化的丰富信息^[10]. 因而,研究沉积物理化性质的变化规律对了解湖泊生态环境变化特征具有重要意义.

收稿日期: 2017-05-10; 修订日期: 2017-06-03

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD13B01, 2015BAD13B00)

作者简介: 何肖微(1993~),女,硕士研究生,主要研究方向为湖泊水产养殖污染控制及水生态修复, E-mail: Daisy_hxw@outlook.com

* 通信作者, E-mail: jzeng@niglas.ac.cn

为了探讨网围养殖以及不同优化功能区对湖泊环境产生的影响,在不同月份(1、3、4、8与11月)采集了东太湖不同区域(网围内、网围外,蟹草养殖区、混养养殖区、恢复区与对照区)以及不同深度(0~1 cm与9~10 cm)的沉积物样品,进行理化指标分析,研究优化模式下渔业养殖对湖泊沉积物理化性质的影响,以期对淡水湖泊渔业养殖模式的优化和推广提供一定的参考和依据。

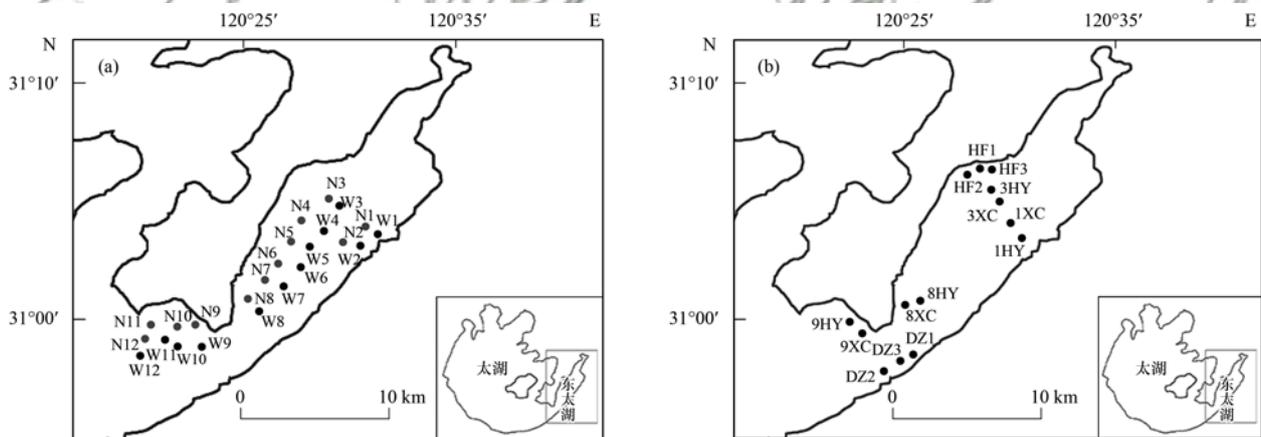
1 材料与方法

1.1 样点布设

研究区域及样点布设如图1所示。东太湖目前设有12个养殖区,养殖区1~12区自东向西分布。其中,1~8养殖区位于东太湖湖湾内,9~12养殖区位于东太湖湾外,接近大太湖[图1(a)]。在1、3、8和9养殖区选择有代表性的湖泊养殖污染控制示范区(蟹草养殖区,称蟹草区)和湖泊网围养殖模式优化示范区(混养养殖区,称混养区)[图1(b)]进行研究。蟹草区中人工种植沉水植物,一方面可对养殖污染物进行吸收、转化;另一方面,养殖生物可以沉水植物为食,提高养殖生物的产量^[11]。混养

区中合理搭配不同生物品种及数量比例,主要包括:河蟹青虾混养、河蟹鳊鱼混养、河蟹罗氏沼虾混养等,利用虾、蟹、鱼及水生植物的共生原理,调整生态布局,可以取得较为理想的经济效益^[12]。此外,本研究区域还包括网围养殖基地生态恢复示范区(恢复区)和对照区。恢复区即针对已经受到水产养殖污染的湖区,通过人工维护水体环境,构建沉水植物、浮叶植物和挺水植物等优质水生植被自然生长的区域;对照区样点布设选择在距离养殖区以及修复区约3~5 km的范围内,是历史上从未进行水产养殖的区域。

于2016年1月和8月,在1~12养殖区网围内(N1~N12)、网围外(W1~W12)各设置12个采样点[图1(a)],采集湖泊表层(0~1 cm)和深层(9~10 cm)沉积物。另外,于2016年的1、3、4、8和11月,在该研究区域各进行一次采样,每次设置14个采样点采集湖泊表层(0~1 cm)沉积物[图1(b)]。其中,蟹草区设置4个采样点(1XC、3XC、8XC、9XC),混养区设置4个采样点(1HY、3HY、8HY、9HY),恢复区设置3个采样点(HF1、HF2、HF3),对照区设置3个采样点(DZ1、DZ2、DZ3)。



(a) 养殖区网围内、外各12个采样点(N:网围内;W:网围外);(b) 蟹草区、混养区、恢复区及对照区14个采样点(XC:蟹草区;HY:混养区;HF:恢复区;DZ:对照区)

图1 东太湖研究区域及样点布设示意

Fig. 1 Map of the study area and sampling sites of Eastern Lake Taihu

1.2 沉积物样品采集与实验处理

使用柱状采泥器采集0~15 cm的柱状沉积物,使用分样环分出表层(0~1 cm)和深层(9~10 cm)沉积物样品,冷藏保存后运回实验室进一步处理分析。

沉积物在冻干机(ALPHA1-2,德国CHRIST)中冻干,研磨成粉状置于密封袋中,然后进行理化指标测定。在进行沉积物理化指标测定之前要进行预处理。沉积物pH使用pH计(pHB-4,雷磁,上海)测

定。沉积物样品经消解后测定总磷(TP)含量。氨氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)和亚硝氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)的含量使用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl溶液浸提后,通过SKALAR流动注射仪(San++,SKALAR,荷兰)进行测定。用元素分析仪(EA3000,意大利)通过燃烧法测定总氮(TN)、总碳(TC),而后计算出碳氮比(C:N)。

1.3 数据处理方法

使用SigmaPlot 12.0软件进行均值方差对比分析

析以及柱状图和折线图的生成,使用 SPSS 17.0 进行 One-Way ANOVA 分析,使用 R 语言中的 vegan 工具包进行主成分分析 (principle components analysis, PCA).

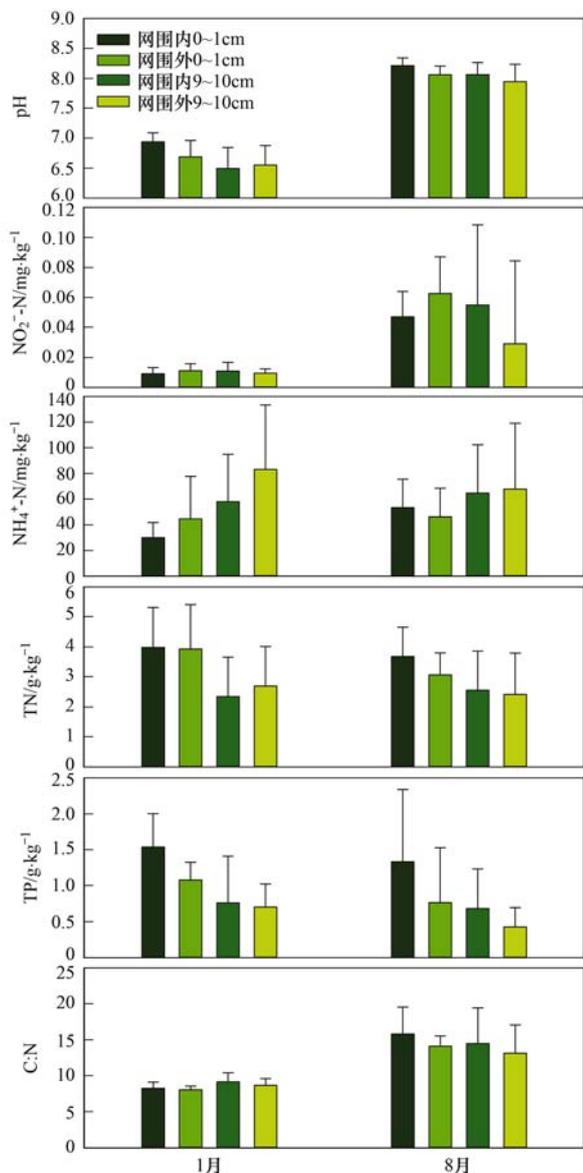


图2 1月和8月养殖网围内、外及垂向深度沉积物理化指标
Fig. 2 Physicochemical characteristic of lake sediment within and outside the culture areas at different depths in January and August

2 结果与分析

2.1 养殖网围内、外理化指标分析

1月和8月12个养殖区网围内、外及垂向深度沉积物各个样点的理化指标如图2和图3所示。8月(夏季),12个养殖区内、外的表层(0~1 cm)和深层(9~10 cm)沉积物pH值和亚硝氮含量均高于1月(冬季)。1月,深层沉积物中的氨氮含量高于表层沉积物。同一深度时,养殖网围外的氨氮

含量高于网围内。不同养殖区TN和TP含量波动比较大,但总体上养殖网围内沉积物中的TN含量 $[(3.14 \pm 1.40) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 要略高于养殖网围外 $[(3.03 \pm 1.35) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 。养殖网围内沉积物中的TP含量 $[(1.08 \pm 0.77) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 也要略高于养殖网围外 $[(0.74 \pm 0.50) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}]$ 。同时,表层沉积物中TN含量高于底层沉积物,而氨氮含量在底层沉积物中更高。养殖网围内、外沉积物的C:N无明显差异,但总体上,8月沉积物中C:N高于1月沉积物。

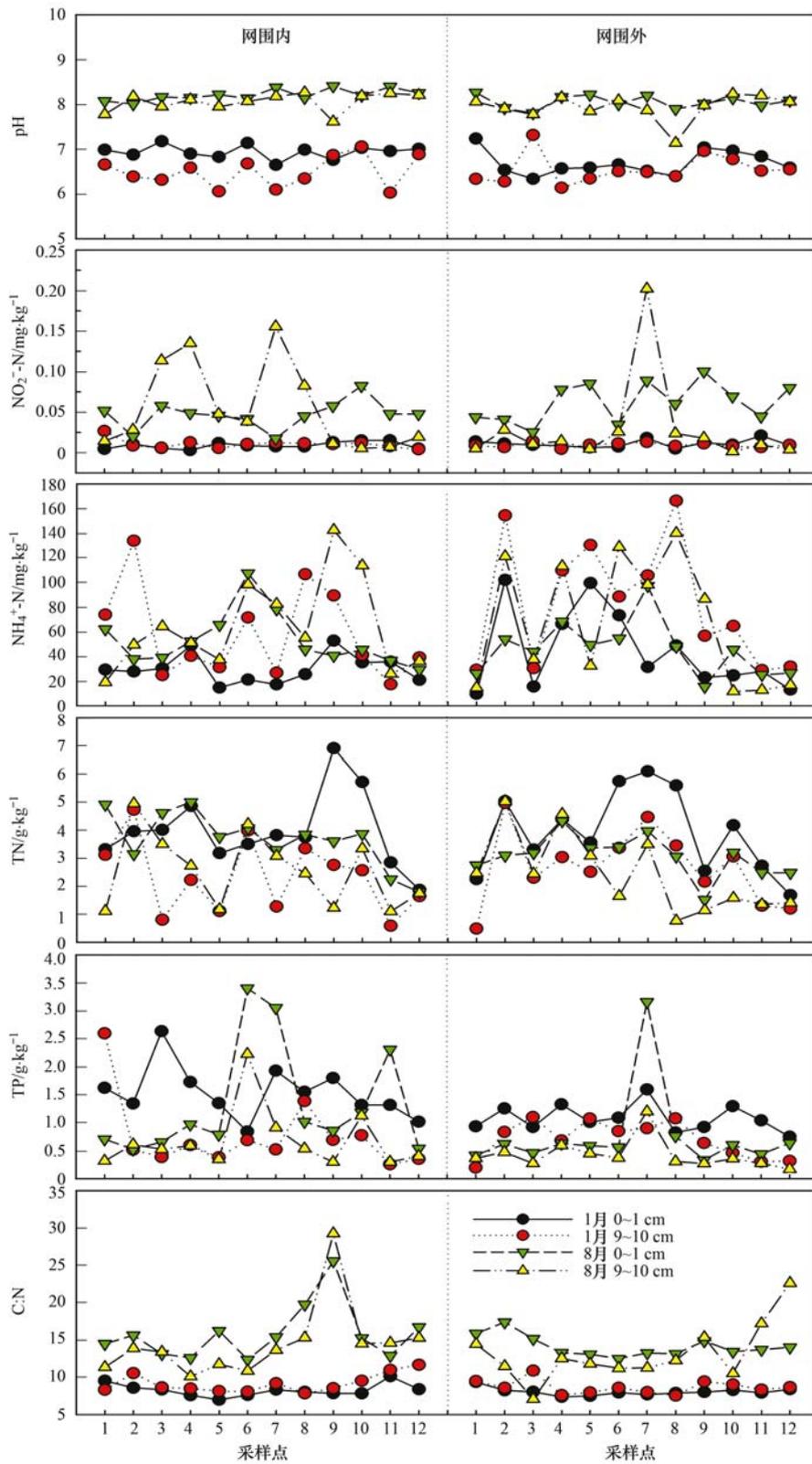
2.2 不同月份不同区域表层沉积物理化指标

1、3、4、8和11月不同区域沉积物各个样点间的理化指标如图4和表1所示。8月和11月pH略高于其他月份,这与前文中夏季pH高于冬季的结论相似。蟹草区和混养区沉积物中TN和TP含量均显著高于对照区($P < 0.05$)。全年中不同区域的C:N无显著差异($P > 0.05$)。全年中蟹草区、混养区和恢复区表层沉积物中亚硝氮含量显著高于对照区($P < 0.05$),蟹草区和混养区表层沉积物中氨氮含量显著高于对照区($P < 0.05$)。

2.3 主成分分析(PCA)

1月与8月养殖网围内、外及垂向深度沉积物理化性质PCA分析结果表明,两个主轴所占整体环境因子的主成分百分比分别为36.1%和27%,总计63.1%(图5)。其中,环境因子氨氮和TP箭头夹角较小,说明这两个环境因子对样点分布的影响是较为相似的,且相互影响作用较大。1月与8月的样点分别聚集,说明12个养殖区内、外沉积物的理化性质无明显差别,但是不同采样时间沉积物理化性质差别明显。TN、TC、pH和C:N对样点差异性的影响较其他指标大,且8月网围内外有更高的pH和C:N,这与图2和图3的结果一致。

不同月份不同养殖区域表层沉积物环境因子PCA结果显示,两个主轴所占整体环境因子的主成分百分比分别为35.4%和28.1%,总计63.5%(图6)。受不同环境因子影响,蟹草区和混养区的样点混在一起,说明这两个养殖区域的沉积物理化性质显著区别于恢复区和对照区。此外,环境因子亚硝氮和pH箭头方向较为一致,说明这两个环境因子对样点分布的影响是较为相似的。TN、TP、TC和C:N对不同区域理化性质的差异性有更重要的影响,且恢复区和对照区的C:N高于养殖区。8月养殖区域沉积物中TN、TP和TC含量显著高于对照区和恢复区。



TN: 总氮, TP: 总磷, C: N: 碳氮比, $\text{NO}_2^- \text{-N}$: 亚硝氮, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$: 氨氮, 下同

图3 1月和8月各个养殖区域网围内、外及垂向深度沉积物理化指标

Fig. 3 Physicochemical characteristic of lake sediment within and outside the each culture areas at different depths in January and August

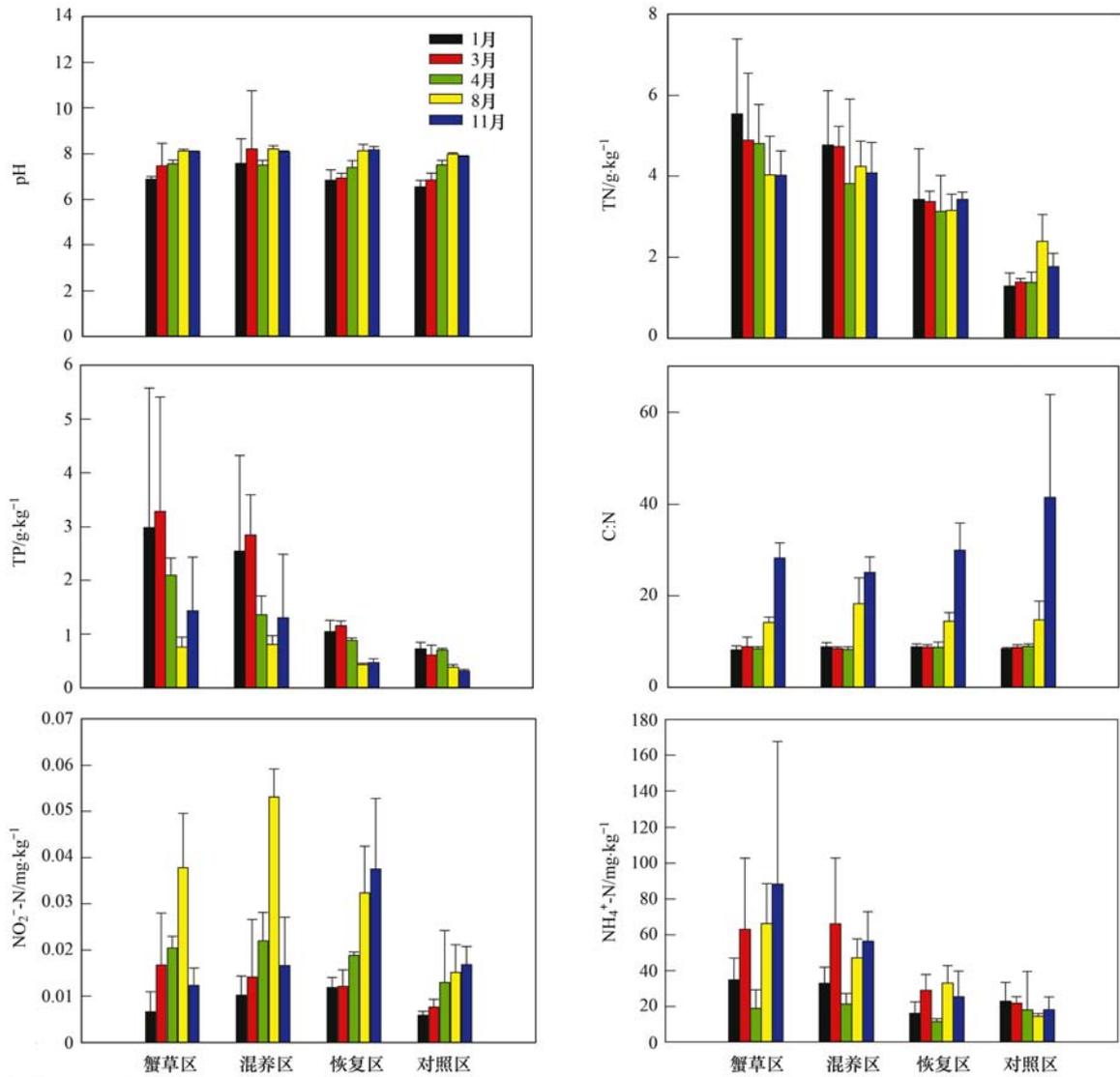


图 4 1、3、4、8 和 11 月不同区域表层沉积物理化指标

Fig. 4 Physicochemical characteristic from surface sediment from different areas in January, March, April, August, and November

表 1 东太湖不同区域沉积物理化指标¹⁾

Table 1 Physicochemical characteristics of surface sediments in different areas of Eastern Lake Taihu

区域	pH	TN/g·kg ⁻¹	TP/g·kg ⁻¹	C:N	NO ₂ ⁻ -N/mg·kg ⁻¹	NH ₄ ⁺ -N/mg·kg ⁻¹
蟹草区	7.62 ± 0.62a	4.66 ± 1.29c	2.11 ± 1.70b	13.59 ± 8.01a	0.019 ± 0.013a,b	54.11 ± 44.69b
混养区	7.91 ± 1.15a	4.33 ± 1.14c	1.77 ± 1.21b	13.78 ± 7.46a	0.023 ± 0.018b	44.61 ± 23.74b
恢复区	7.49 ± 0.64a	3.31 ± 0.62b	0.80 ± 0.32a	14.14 ± 8.81a	0.023 ± 0.013b	22.87 ± 11.33a
对照区	7.35 ± 0.61a	1.64 ± 0.53a	0.55 ± 0.20a	16.47 ± 15.72a	0.012 ± 0.007a	18.93 ± 10.03a

1) 同一列理化指标数据中不同字母表示显著差异性 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 东太湖养殖网围内、外沉积物理化性质的差异

不同养殖区沉积物中 TN 和 TP 含量波动比较大,但总体上养殖网围内外沉积物理化指标无显著差异.网围内的沉积物中 TN 和 TP 含量略高于网围

外.在网围内,蟹、鱼正常新陈代谢过程中会产生一些排泄物,养殖过程中也不可避免地会产生部分残饲,除了以可溶性营养盐形式存在于水中外,还会以有机碎屑形式存在于底泥中,造成氮、磷富集于网围内沉积物中^[12].由于网围阻滞水流的作用,阻隔了部分营养盐迁移到网围外^[4].另一方面,由于

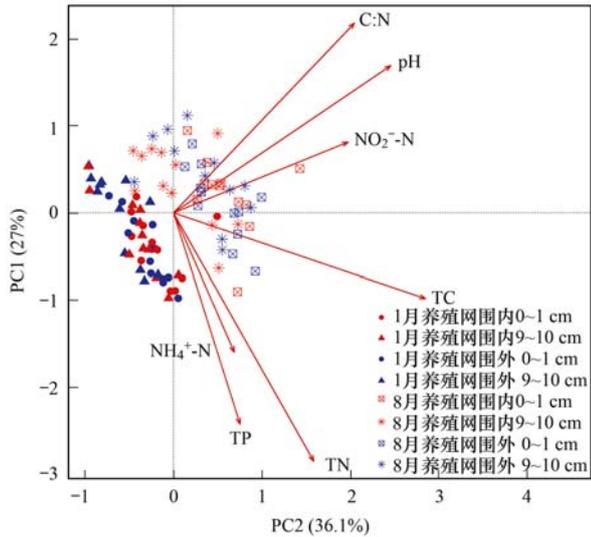


图5 1月、8月养殖网围内、外及垂向深度沉积物环境因子PCA分析

Fig. 5 Principle component analysis (PCA) of lake sediment within and outside the culture areas at different depths in January and August

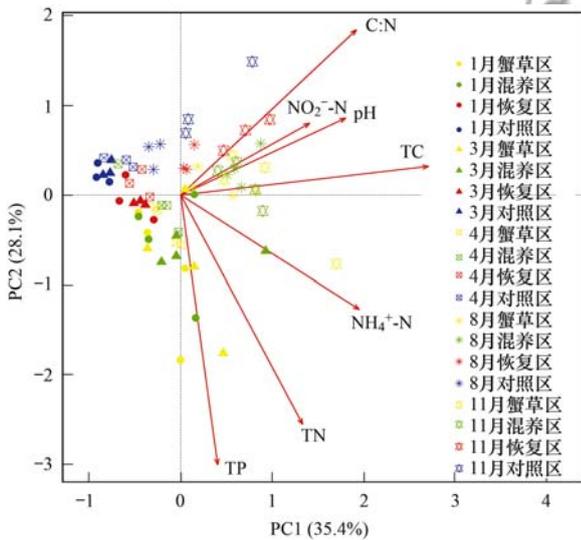


图6 1月、3月、4月、8月和11月份不同养殖区域表层沉积物环境因子PCA分析

Fig. 6 Principle component analysis (PCA) of surface lake sediment in different areas in January, March, April, August, and November

养殖区内种植大量沉水植物,植物可以对水体和沉积物中氮、磷等营养元素进行吸收,一部分营养盐还可能被底栖生物所利用^[4,12],从而导致了网围内的氮、磷含量只是略高于网围外。此外,在水体中有机氮被微生物利用,形成铵态氮,其中一部分被植物吸收,通过离子交换被固定在沉积物中,而表层沉积物中的氮易被水生植物重新利用和在固液相之间交换,从而导致表层沉积物中氨氮含量低于底层沉积物中^[13]。

C:N 比值被认为是判定有机质来源的指标^[14]。C:N 比值越高,说明湖泊高等植物越多。养殖网围内、外沉积物的 C:N 无显著差异。东太湖养殖网围内、外都生长大量的水生植物,这与野外调查中观察到的结果一致。水生植物由于个体大、生命周期长、吸附和储存营养盐能力强,能够对光环境和营养盐竞争,分泌化感物质抑制藻类生长,从而对富营养化水体和沉积物均有较好的净化和修复作用^[15~17]。

3.2 东太湖不同区域理化性质差异

不同区域沉积物的理化性质对比结果表明,蟹草区和混养区沉积物的理化性质显著区别于恢复区和对照区。蟹草区和混养区的 TN 和 TP 含量均显著高于对照区 ($P < 0.05$),说明养殖区内的氮磷负荷较高。沉积物是氮、磷等营养元素的重要储存库,养殖过程中所输出的残饵、代谢产物及排泄物等都是营养源^[18~21]。有研究表明,网箱养殖中沉积物有机质来源主要由残饵和鱼类粪便组成,在总有机质中的比例分别占到 47.70% 和 27.71%^[22],这说明在渔业养殖过程中残饵和水产品排泄物是沉积物中营养盐的重要来源。投入饵料中大约有 23% 的碳、21% 的氮和 53% 的磷会累积于底部沉积物中,在潮流、风浪等作用下会再释放易形成二次污染^[23]。

恢复区实施退渔还湖,可沉降到湖底的营养物质减少,同时种植的大量水生植物吸收了沉积物中过量的营养盐物质,起到了一定的生态修复作用^[23]。这解释了恢复区与对照区的总磷含量无明显差异。无机氮含量较高,说明表层沉积物受到较高的氮污染。恢复区的氨氮含量与对照区无显著差异,但亚硝氮和总氮含量高于对照区,说明恢复区水生植物对氮污染的去污能力仍然有限。

蟹草区 TN、TP 含量略高于混养区。而混养区由于设置了更加优化的养殖结构,使得营养物质能够被充分利用,提高饵料利用率^[24]。大量实验结果表明,淡水系统中生物种类的合理搭配,可使系统中的营养结构和水质状况发生显著的变化^[25,26]。

3.3 东太湖各区域沉积物理化性质随时间的变化

1、3、4、8 和 11 月不同区域沉积物理化性质对比表明,不同区域的沉积物理化性质呈现一定的时间变化规律,这可能和水生植物生长的季节性规律有关。大量研究证明,水生植物的存在能有效控制沉积物营养盐的释放^[27]。水生植物在生长过程中可直接吸收环境中的氮、磷等营养物质来维持自身生长^[28,29]。温度是植物季节生长的重要影响因

子^[30,31]. 4月养殖网围中水生植物生长良好,水生植物生长可加速其对水体和沉积物中氮、磷营养盐的吸收,从而降低环境中的营养盐含量^[4]. 而1月、3月水生植物生长缓慢,无法对氮、磷等营养物质进行快速吸收,从而导致沉积物中TP含量相对较高.

4 结论

(1)养殖网围内TN、TP含量高于网围外,这是由于网围内进行的养殖活动会积累大量的氮、磷等营养盐,但种植水生植物能有效缓解沉积物中营养盐的累积.

(2)混养区搭配不同生态位的养殖产品,同时种植大量水生植物,具有相对完整的生态布局,相较蟹草区更能降低氮、磷等营养物质的负荷. 恢复区的生态修复效果显著,TP含量与对照区相比无明显差异.

(3)在水生植物的生长旺季,沉积物中的氮、磷等营养盐含量可以得到较好地控制. 水生植物通过吸收营养物质来生长,既降低了沉积物中的营养负荷,同时也为养殖产品提供了天然的食物.

参考文献:

- [1] 吴庆龙. 东太湖养殖渔业可持续发展的思考[J]. 湖泊科学, 2001, **13**(4): 337-344.
Wu Q L. On the sustainable development of fishery in East Taihu Lake[J]. Journal of Lake Sciences, 2001, **13**(4): 337-344.
- [2] 陈家长, 胡庚东, 瞿建宏, 等. 太湖流域池塘河蟹养殖向太湖排放氮磷的研究[J]. 农村生态环境, 2005, **21**(1): 21-23.
Chen J Z, Hu G D, Qu J H, et al. TN and TP from pond crab farming in the Taihu Valley[J]. Rural Eco-Environment, 2005, **21**(1): 21-23.
- [3] 郑丙辉, 汪星. 基于湖库生态安全的水产养殖模式研究[J]. 环境保护, 2015, **43**(11): 47-50.
Zheng B H, Wang X. The study of aquaculture model based on the lake ecological security pattern [J]. Environmental Protection, 2015, **43**(11): 47-50.
- [4] 何俊, 谷孝鸿, 刘国锋. 东太湖水生植物及其与环境的相互作用[J]. 湖泊科学, 2008, **20**(6): 790-795.
He J, Gu X H, Liu G F. Aquatic macrophytes in East Lake Taihu and its interaction with water environment[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, **20**(6): 790-795.
- [5] 马荣华, 孔维娟, 段洪涛, 等. 基于MODIS影像估测太湖蓝藻暴发期藻蓝素含量[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(3): 254-260.
Ma R H, Kong W J, Duan H T, et al. Quantitative estimation of phycocyanin concentration using MODIS imagery during the period of cyanobacterial blooming in Taihu Lake [J]. China Environmental Science, 2009, **29**(3): 254-260.
- [6] 吴庆龙, 胡耀辉, 李文朝, 等. 东太湖沼泽化发展现状及驱动因素分析[J]. 环境科学学报, 2000, **20**(3): 275-279.
Wu Q L, Hu Y H, Li W C, et al. Tendency of swampiness of East Taihu Lake and its causes [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2000, **20**(3): 275-279.
- [7] 吴庆龙, 陈开宁, 胡耀辉, 等. 东太湖河蟹网围养殖的环境效应[J]. 农业环境保护, 2001, **20**(6): 432-434.
Wu Q L, Chen K N, Hu Y H, et al. Impacts of pen crab farming on environment in East Taihu Lake [J]. Agro-Environmental Protection, 2001, **20**(6): 432-434.
- [8] 曾庆飞, 谷孝鸿, 周露洪, 等. 东太湖水质污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2001, **31**(8): 1355-1360.
Zeng Q F, Gu X H, Zhou L H, et al. Water quality pollution characteristics in East Taihu Lake [J]. China Environmental Science, 2001, **31**(8): 1355-1360.
- [9] 何俊, 谷孝鸿, 刘国锋. 东太湖网围养蟹效应及养殖模式优化[J]. 湖泊科学, 2009, **21**(4): 523-529.
He J, Gu X H, Liu G F. Effect and optimization model of enclosure crab culture in East Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, **21**(4): 523-529.
- [10] 李志建. 南四湖沉积物内源污染释放规律与水质响应的关系研究[D]. 济南: 山东大学, 2011. 7-8.
- [11] 张晓伟, 周刚, 林海, 等. 蟹草共生系统对主要养殖水质因子及河蟹免疫活性的影响[J]. 水产养殖, 2010, **31**(9): 33-39.
Zhang X W, Zhou G, Lin H, et al. Effects of ecosystems which compounded with different submerged plants and crab (*Eriocheir sinensis*) on water quality and immunocompetence of the crabs [J]. Journal of Aquaculture, 2010, **31**(9): 33-39.
- [12] 施炜纲, 王博, 周昕. 蟹、鱼网围混养对草型湖泊氮磷平衡的影响[J]. 湖泊科学, 1999, **11**(4): 363-368.
Shi W G, Wang B, Zhou X. Effects of pen fish and crab polyculture on burden of nitrogen and phosphorus in aquatic environment of weed-type lakes [J]. Journal of Lake Sciences, 1999, **11**(4): 363-368.
- [13] 宋厚燃, 马利民, 闵真真. 梁滩河沉积物中氮磷垂直分布研究[J]. 环境污染与防治, 2012, **34**(6): 42-45, 50.
Song H R, Ma L M, Min Z Z. Study on the vertical distribution of nitrogen and phosphorus in the sediments of Liangtanhe River [J]. Environmental Pollution and Control, 2012, **34**(6): 42-45, 50.
- [14] 孙伟伟, 沈吉, 张恩楼, 等. 日本大沼湖沉积物碳氮比值、有机碳同位素特征及其近400年的古气候环境意义[J]. 第四纪研究, 2014, **34**(6): 1306-1313.
Sun W W, Shen J, Zhang E L, et al. Characteristics of organic stable carbon isotope and C/N ratio of sediments in Lake Onuma, Japan and their environmental implications for the Last 400 years [J]. Quaternary Sciences, 2014, **34**(6): 1306-1313.
- [15] Hilt S, Gross E M. Can allelopathically active submerged macrophytes stabilise clear-water states in shallow lakes? [J]. Basic and Applied Ecology, 2008, **9**(4): 422-432.
- [16] 童昌华, 杨肖娥, 濮培民. 富营养化水体的水生植物净化试验研究[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(8): 1447-1450.
Tong C H, Yang X E, Pu P M. Purification of eutrophicated water by aquatic plant [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, **15**(8): 1447-1450.
- [17] 金刚, 李钟杰, 刘伙泉, 等. 保安湖沉水植被恢复及其渔业效益[J]. 湖泊科学, 1999, **11**(3): 260-266.

- Jin G, Li Z J, Liu H Q, *et al.* Recovery of submerged vegetation and its fishery benefit in Bao'an Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1999, **11**(3): 260-266.
- [18] 李学刚, 宋金明, 李宁, 等. 胶州湾沉积物中氮与磷的来源及其生物地球化学特征[J]. *海洋与湖沼*, 2005, **36**(6): 562-571.
- Li X G, Song J M, Li N, *et al.* Source and biogeochemical characteristics of nitrogen and phosphorus in Jiaozhou Bay Sediments[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2005, **36**(6): 562-571.
- [19] 戚晓红, 刘素美, 张经, 等. 东海赤潮高发区沉积物中营养盐再生速率的研究[J]. *应用生态学报*, 2009, **14**(7): 1112-1116.
- Qi X H, Liu S M, Zhang J, *et al.* Nutrients regeneration speed of sediment in harmful algae blooms (HAB) area of East China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, **14**(7): 1112-1116.
- [20] Murphy T P, Lawson A, Kumagai M, *et al.* Review of emerging issues in sediment treatment[J]. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1999, **2**(4): 419-434.
- [21] Zoumis T, Schmidt A, Grigorova L, *et al.* Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation[J]. *Science of the Total Environment*, 2001, **266**(1-3): 195-202.
- [22] 蒋增杰, 方建光, 毛玉泽, 等. 海水鱼类网箱养殖水域沉积物有机质的来源甄别[J]. *中国水产科学*, 2012, **19**(2): 348-354.
- Jiang Z J, Fang J G, Mao Y Z, *et al.* Identification of aquaculture-derived organic matter in the sediment associated with coastal fish farming[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(2): 348-354.
- [23] 俞海桥. 西五里湖不同生态修复措施对沉积物营养盐的影响[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007. 28-32.
- [24] 李杰. 碳氮比调控对虾蟹混养系统细菌群落结构及其功能多样性影响的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015. 33-48.
- [25] 罗虹. 沉水植物、挺水植物、滤食性动物对富营养化淡水生态系统的修复效果研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009. 12-64.
- [26] 孙成渤, 李建国, 赵冬艳, 等. 循环养殖系统中多级生物处理对水质的调控作用[J]. *淡水渔业*, 2010, **40**(3): 36-43.
- Sun C B, Li J G, Zhao D Y, *et al.* Controlling effect of multiple bio-treatments on water quality in a recirculating aquaculture system[J]. *Freshwater Fisheries*, 2010, **40**(3): 36-43.
- [27] 秦伯强, 胡维平, 刘正文, 等. 太湖水源地水质净化的生态工程试验研究[J]. *环境科学学报*, 2017, **27**(1): 5-12.
- Qin B Q, Hu W P, Liu Z W, *et al.* Ecological engineering experiment on water purification in drinking water source in Meiliang Bay, Lake Taihu[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, **27**(1): 5-12.
- [28] 暴丽媛. 东北地区几种水生植物对氮磷吸收性能的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011. 13-33.
- [29] 王丽卿, 李燕, 张瑞雷. 6种沉水植物系统对淀山湖水质净化效果的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27**(3): 1134-1139.
- Wang L Q, Li Y, Zhang R L. The purification of Lake Dianshan water quality with six species of submerged macrophyte systems [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, **27**(3): 1134-1139.
- [30] Garratt J R. Boundary layer climates [J]. *Earth-Science Reviews*, 1990, **27**(3): 265.
- [31] Cetinić I, Viličić D, Burić Z, *et al.* Phytoplankton seasonality in a highly stratified karstic estuary (Krka, Adriatic Sea) [J]. *Hydrobiologia*, 2006, **555**(1): 31-40.

CONTENTS

Development of a Non-Road Mobile Source Emissions Inventory for Tianjin	ZHANG Yi, Andre Michel, LI Dong, <i>et al.</i> (4447)
Spatial Simulation of Black Carbon Concentrations Based on a Land Use Regression Model and Mobile Monitoring over Shanghai, China	PENG Xia, SHE Qian-nan, LONG Ling-bo, <i>et al.</i> (4454)
Characteristics and Sources of Elements of a PM ₁₀ Measurements from a Typical Industrial City in Eastern Hubei Province	ZHAN Chang-lin, ZHANG Jia-quan, ZHENG Jing-ru, <i>et al.</i> (4463)
Characteristics and Source Identification of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} Measurements During Summer and Fall in Changzhou	YE Zhao-lian, LIU Jia-shu, LI Qing, <i>et al.</i> (4469)
Characteristics and Sources of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter During Winter in Xuzhou	FAN Mei-yi, CAO Fang, ZHANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (4478)
Physicochemical Properties and Sources of Atmospheric Particulate Matter During Pollution Monitoring in Nanning, China	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, LI Hong-jiao, <i>et al.</i> (4486)
Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels During Fall and Winter in Xi'an, China	LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, <i>et al.</i> (4494)
Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn	TANG Yong, SUN Yu-yan, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (4501)
Characteristics and Risks of Heavy Metals Content in Surface Sediment of Tidal Flat Areas in Eastern China	ZHANG Ming, BAO Zhen-yu, CHEN Guo-guang, <i>et al.</i> (4513)
Heavy Metals in Sediments from the Haizhou Bay Marine Ranching Based on Geochemical Characteristics	LI Da-peng, ZHANG Shuo, ZHANG Zhong-fa, <i>et al.</i> (4525)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Water of the Niyang River Basin	ZHANG Tao, CAI Wu-tian, LI Ying-zhi, <i>et al.</i> (4537)
Vertical Distribution Characteristics of Fe and Mn in Subtropical Reservoirs During Summer	YANG Si-yuan, ZHAO Jian, YU Hua-zhang, <i>et al.</i> (4546)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water in the Liaohe River Basin, China	ZHANG Xiao-jiao, BAI Yang-wei, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4553)
Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu	HE Xiao-wei, CHU Yu, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4562)
Responses of the Benthic Diatom Community to Nutrients and the Identification of Nutrient Thresholds in Three Aquatic Ecoregions of the Huntai River, Northeast China	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4570)
Impacts of Environmental Conditions on the Soaking Release of Nitrogen and Phosphorus from <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers. in the Water-level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region	XIAO Li-wei, ZHU Bo (4580)
Effects of Soil Microbial Diversity on the Phosphate Fraction in the Rhizosphere of <i>Phragmites communis</i> in the Yeyahu Wetland in Beijing, China	TENG Ze-dong, LI Min, ZHU Jing, <i>et al.</i> (4589)
Nitrification and Denitrification Potential of Benthic Sediments in a Suburban Stream under Intense Human Disturbance Scenarios	LI Ru-zhong, ZHENG Xia, GAO Su-di, <i>et al.</i> (4598)
Distribution of External Phosphorus in the Sedimentary Phosphorus forms Under Different Disturbances	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, TANG Xin-yu, <i>et al.</i> (4607)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on the Mechanism of Nitrogen Removal in Polluted River Water	WANG Hao, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (4617)
Zero-Valent Iron (ZVI) Activation of Persulfate (PS) for Oxidation of Arsenic (V) Form Aqueous Solutions	ZHOU Zi-mai, DENG Wen-na, YANG Yi-lin, <i>et al.</i> (4623)
Removal of Antimony from Water by Nano Zero-Valent Iron/Activated Carbon Composites	JIANG Ting, BAO Yue, LI Wei, <i>et al.</i> (4632)
Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation	YU Li-fang, DU Qian-qian, ZHANG Ru, <i>et al.</i> (4641)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) in a Sequencing Batch Reactor (SBR)	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (4648)
Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor	LIU Hong, PENG Yong-zhen, LU Jiong-yuan, <i>et al.</i> (4656)
Nitrite Type Denitrifying Phosphorus Removal Capacity of Cycle Activated Sludge Technology Processes Under Different Inducing Patterns	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (4664)
Laboratory-scale CANON Processes Applied to Wastewater Treatment Plants	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (4673)
Effects of Magnetic Activated Carbon with Different Particle Sizes on Sludge Granulation in a SBR System	XIN Xin, GUAN Lei, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (4679)
Storage and Reactivation of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) Sludge at Room Temperature	HUANG Jia-lu, WANG Xiao-long, GAO Da-wen (4687)
Microbial Population Dynamics During Sludge Granulation in a Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal System	GAO Jing-feng, WANG Shi-jie, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (4696)
Anaerobic Reduction Process Characteristics and Microbial Community Analysis for Sulfate and Fe(II)/EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA	ZHANG Yu, WAN Fang, ZHOU Ji-ti (4706)
Treatment Efficiency and Microbial Community Diversity in a Magnetic Field Enhanced Sequencing Batch Reactor (SBR)	GENG Shu-ying, FU Wei-zhang, WANG Jing, <i>et al.</i> (4715)
Molecular Research of Acid-Generating Microbial Communities in Abandoned Ores in the Waste Dump of an Iron Mine in Anhui Province	DU Ze-ru, HAO Chun-bo, PEI Li-xin, <i>et al.</i> (4725)
Microbial Community Diversity and Differences in Cellar water of Typical Rainwater Harvesting Area	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (4733)
Impact of the Biodegradation of 6:2 Fluorotelomer Alcohol on the Bacterial Community Structure of Surface Sediment	WANG Dan, HOU Zhen, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4747)
Degradation Process of Exogenous Naphthenic Acids and Their Effects on Microbial Community Structure in Soil	LIU Yan-qiu, ZHAO Yan-ran, LIU Meng-jiao, <i>et al.</i> (4756)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of the Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterial Strain DK1	MU Dong-yang, JIN Peng-fei, PENG Yong-zhen, <i>et al.</i> (4763)
Mercury Release Flux and Its Influencing Factors Under Four Typical Vegetation Covers at Jinyun Mountain, Chongqing	YANG Guang, SUN Tao, AN Si-wei, <i>et al.</i> (4774)
Short-term Effects of Nitrogen Deposition on CO ₂ and CH ₄ Fluxes from Wetlands in the Minjiang River Estuary	LI Dong-dong, TONG Chuan, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (4782)
Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation	SHI Jiang-lai, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (4790)
Assessment of Pollution, Sources, and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil from Urban Parks in Xi'an City, China	ZHOU Yan, LU Xin-wei (4800)
Spatial Distribution of Soil Particles and Heavy Metals Under Different Psammophilic Shrubs in the Ulan Buh Desert	DAI Yu-jie, GUO Jian-ying, DONG Zhi, <i>et al.</i> (4809)
Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields	JIANG Meng-die, WANG Qiu-min, XU Peng, <i>et al.</i> (4819)
Various effects on the Abundance and Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Soils in Karst Shrub Ecosystems	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (4828)
Remediation of Cd/Ni Contaminated Soil by Biochar and Oxalic Acid Activated Phosphate Rock	DUAN Ran, HU Hong-qing, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (4836)
Effects of Repeated Freezing and Thawing and High Temperature Aging on the Solidification and Stabilization of Arsenic Contaminated Soil	YANG Jie, QIAN Zhao-qiu, WANG Jing (4844)
Evaluation of the Combined Removal of Heavy Metals by Saponin and Citric Acid from Municipal Sewage Sludges and Metal Stability Features	YE Tao, HUANG Li, ZHANG Ke-qiang, <i>et al.</i> (4850)
Interactions between Goethite and Humic Acid and the Stability of Goethite-Humic Acid Complex	WANG Rui, ZHU Chao-ju, XIANG Wen-jun, <i>et al.</i> (4860)
Contents and Health Risks of Organic Phosphorus Esters in Plastic Runway Products	YIN Hong-ling, LIU Qin, LIAO Lin-qun, <i>et al.</i> (4868)
Effects on Physico-chemical Parameters of Glycoside Hydrolase Family 6 Genes During Composting of Agricultural Waste	CHEN Yao-ning, GOU Yu, LI Yuan-ping, <i>et al.</i> (4874)
Effect of the Food to Mass Ratio and Hydraulic Retention Time on Hydrogen Production from Fruit and Vegetable Waste	LI Biao, KONG Xiao-ying, LI Lian-hua, <i>et al.</i> (4882)
Comment on Sensitivity Analysis Methods for Environmental Models	CHEN Wei-ping, TU Hong-zhi, PENG Chi, <i>et al.</i> (4889)