

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第11期

Vol.34 No.11

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京不同污染事件期间气溶胶光学特性 施禅臻, 于兴娜, 周斌, 项磊, 聂皓浩 (4139)

秋季渤海、北黄海大气气溶胶中水溶性离子组成特性与来源分析 张岩, 张洪海, 杨桂朋 (4146)

中国北部湾地区夏季大气碳气溶胶的空间分布特征 杨毅红, 陶俊, 高健, 李雄, 施展, 韩保新, 谢文彰, 曹军骥 (4152)

改进的大气 CO₂、CH₄、N₂O、CO 在线观测 FTIR 系统 夏玲君, 刘立新, 周凌晔, 方双喜, 王红阳, 张振波 (4159)

长沙市郊大气 CH₄ 浓度变化特征 刘鲁宁, 王迎红, 徐小娟, 王卫东, 王跃思 (4165)

麦草及其烟尘中正构烷烃的组成 刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹 (4171)

过二硫酸盐降解碱液吸收的甲硫醇恶臭 杨世迎, 王雷雷, 冯琳玉, 赵腊娟, 石超 (4178)

污泥堆肥及其土地利用全过程的温室气体与氨气排放特征 钟佳, 魏源送, 赵振凤, 应梅娟, 周国胜, 熊建军, 刘培财, 葛振, 丁刚强 (4186)

长江口滨岸及近海水体中胶体的分布和理化性质研究 顾丽军, 杨毅, 刘敏, 聂明华, 李涛, 侯立军 (4195)

海河流域主要河口区域沉积物中重金属空间分异及生态风险评价 吕书丛, 张洪, 单保庆, 李立青 (4204)

汾河流域太原段河水及沉积物中 PFOS 和 PFOA 的浓度分布特征 东口朋宽, 史江红, 张晖, 刘晓薇 (4211)

基于 L-THIA 模型的市桥河流域非点源氮磷负荷分析 李凯, 曾凡棠, 房怀阳, 林澍 (4218)

合流制排水系统雨天溢流污染 CMB 法源解析 戴梅红, 李田, 张伟 (4226)

微藻脂肪酸在中国近海缺氧海水-沉积物界面中的降解模拟研究 随伟伟, 丁海兵, 杨桂朋, 陆小兰, 李文娟, 孙立群 (4231)

太湖两种水生植物群落对沉积物中氮素的影响 马久远, 王国祥, 李振国, 许宽, 周锋, 张佳 (4240)

表面流人工湿地中硫丹的去除规律研究 秦晶, 高甫威, 谢慧君 (4251)

带菌盐藻对不同形态砷的富集和转化研究 王亚, 张春华, 王淑, 申连玉, 葛滢 (4257)

镧改性沸石活性覆盖控制重污染河道底泥溶解性磷酸盐和铵释放研究 李佳, 林建伟, 詹艳慧 (4266)

底栖动物扰动对河床渗透性的影响研究 任朝亮, 宋进喜, 杨小刚, 薛健 (4275)

铜绿微囊藻胞内物消毒副产物生成: 氯化化和溴化比较 田川, 郭婷婷, 刘锐平, William Jefferson, 刘会娟, 曲久辉 (4282)

天然有机物对混凝效果影响机制及絮体特性分析 徐磊, 俞文正, 梁亮, 王彤 (4290)

DOM 纳滤膜污染及对膜截留卡马西平性能的影响 丰桂珍, 董秉直 (4295)

零价铁去除废水中的汞 周欣, 张进忠, 邱昕凯, 王定勇 (4304)

Fe₃O₄ 稳定化纳米 Pd/Fe 对水中 2,4-D 的催化还原脱氯研究 周红艺, 梁思, 曹思思, 雷双健 (4311)

不同粒径粉末活性炭对水中天然有机物吸附性能的比较研究 李政剑, 石宝友, 王东升 (4319)

氯化十六烷基吡啶改性活性炭对水中硝酸盐的吸附作用 郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 方巧, 杨孟娟, 王虹 (4325)

改性石墨烯对水中亚甲基蓝的吸附性能研究 吴艳, 罗汉金, 王侯, 张子龙, 王灿, 王雨微 (4333)

经典等温吸附模型在重金属离子/硅藻土体系中的应用及存在问题 朱健, 吴庆定, 王平, 李科林, 雷明婧, 张伟丽 (4341)

硝酸盐对矿化垃圾中兼/厌氧甲烷氧化的影响 刘妍妍, 龙焰, 尹华, 叶锦韶, 何宝燕, 张娜 (4349)

硫酸盐/氨的厌氧生物转化试验研究 张丽, 黄勇, 袁怡, 李祥, 刘福鑫 (4356)

硫酸盐还原-氨氧化反应的特性研究 袁怡, 黄勇, 李祥, 张春蕾, 张丽, 潘杨, 刘福鑫 (4362)

UASB 系统低 pH 运行时对产氢性能的分析 赵健慧, 张百惠, 李宁, 王兵, 李永峰 (4370)

响应面法优化赤泥负载 Co 催化剂制备及活性评价 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 孙德智 (4376)

高浓度氨氮胁迫对纤细裸藻的毒性效应 刘炎, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (4386)

NAPLs 污染物垂向指流迁移分形表征中图像处理的影响研究 李慧颖, 杜晓明, 杨宾, 伍斌, 徐竹, 史怡, 房吉敦, 李发生 (4392)

近 50 年浙江省耕作土壤有机质和酸碱度的变化特征 章明奎, 常跃畅 (4399)

浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨 黄春雷, 宋明义, 魏迎春 (4405)

黄河口新生湿地土壤 Fe 和 Mn 元素的空间分布特征 孙文广, 甘卓亭, 孙志高, 李丽丽, 孙景宽, 孙万龙, 牟晓杰, 王玲玲 (4411)

崇明岛土壤中 MCCPs 的污染水平、组成与来源研究 孙阳昭, 王学彤, 张媛, 孙延枫, 李梅, 马中 (4420)

福建戴云山山脉土壤有机氯农药残留及空间分布特征 瞿程凯, 祁士华, 张莉, 黄焕芳, 张家泉, 张原, 杨丹, 刘红霞, 陈伟 (4427)

电子垃圾拆解地周边土壤中二噁英和二噁英类多氯联苯的浓度水平 邵科, 尹文华, 朱国华, 巩宏平, 周欣, 王玲, 刘劲松 (4434)

外源水溶性氟在茶园土壤中赋存形态的转化及其生物有效性 蔡荟梅, 彭传燧, 陈静, 侯如燕, 宛晓春 (4440)

丛枝菌根真菌在不同类型煤矸石山植被恢复中的作用 赵仁鑫, 郭伟, 付瑞英, 赵文静, 郭江源, 毕娜, 张君 (4447)

丛枝菌根真菌在矿区生态环境修复中应用及其作用效果 李少朋, 毕银丽, 孔维平, 王瑾, 余海洋 (4455)

超积累植物垂序商陆 (*Phytolacca americana* L.) 吸收锰机制的初步探讨 徐向华, 李仁英, 刘翠英, 施积炎, 林佳 (4460)

Shewanella oneidensis MR-1 对硫化汞的生物利用性研究 陈艳, 王卉, 司友斌 (4466)

基于我国西南地区儿童行为模式的 IEUBK 模型本地化研究 蒋宝, 崔晓勇 (4473)

不同结构有机磷在(氢)氧化铝表面的吸附与解吸特征 柳飞, 张延一, 严玉鹏, 刘凡, 谭文峰, 刘名茗, 冯雄汉 (4482)

煤中铁元素赋存状态的超声逐级化学提取研究 熊金钰, 李寒旭, 董众兵, 张颂, 钱宁波, 武成利 (4490)

植物对纳米颗粒的吸收、转运及毒性效应 杨新萍, 赵方杰 (4495)

《环境科学》征订启事 (4239) 《环境科学》征稿简则 (4369) 信息 (4225, 4265, 4303, 4375)

太湖两种水生植物群落对沉积物中氮素的影响

马久远¹, 王国祥^{1*}, 李振国^{1,2}, 许宽^{1,3}, 周锋¹, 张佳¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 湖南科技大学地理系, 湘潭 411201; 3. 徐州市环境保护科学研究所, 徐州 221000)

摘要: 2012年6月对太湖贡湖湾、南部湖区以及东西山之间水域的两种水生植物——马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)和荇菜(*Limnathemum nymphoides*)群落内外的沉积物进行样品采集, 调查了沉积物中的氮素分布现状。结果表明: ①草藻过渡型湖区(贡湖湾)马来眼子菜群落内部0~25 cm的沉积物中Org-N和TN的含量分别比群落外部高38.06%和25.65%。②草型湖区新生植物群落的形成可以促进沉积物(0~25 cm)中各形态氮含量的降低, 其中马来眼子菜群落内沉积物(0~25 cm)中TN、Org-N、NH₄⁺-N和NO₃⁻-N的含量较群落外平均降低了43.29%, 50.78%, 7.09%和10.86%; 荇菜群落内部比外部分别降低了4.65%, 4.63%, 5.01%和2.76%, 可以发现马来眼子菜群落的促进作用比荇菜群落明显。③植物群落的存在可以影响沉积物的理化性质。相关性分析显示, 植物群落外沉积物的pH与TN显著正相关($P < 0.05$, $n = 24$), 植物群落内部沉积物中pH与沉积物中NH₄⁺-N呈显著负相关($P < 0.05$, $n = 24$), 与硝态氮呈显著正相关($P < 0.05$, $n = 24$); 植物群落内部和外部沉积物的Eh均与TN显著正相关(GMN, $P < 0.01$, $R = 0.9228^{**}$; NMN, $P < 0.01$, $R = 0.8277^{**}$; GMW, $P < 0.05$, $R = 0.7489^*$; NMW, $P < 0.05$, $R = 0.6637^*$), 但较群落外部而言内部的相关性更强。

关键词: 沉积物; 氮素; 马来眼子菜; 荇菜; 群落; 太湖

中图分类号: X173 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)11-4240-11

Influence of Two Different Species of Aquatic Plant Communities on the Concentration of Various Nitrogen Forms in Sediment of Lake Taihu

MA Jiu-yuan¹, WANG Guo-xiang¹, LI Zhen-guo^{1,2}, XU Kuan^{1,3}, ZHOU Feng¹, ZHANG Jia¹

(1. School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Department of Geography, Science and Technology of Hunan University, Xiangtan 411201, China; 3. Xuzhou Research Institute of Environmental Protection, Xuzhou 221000, China)

Abstract: To investigate the spatial distribution of nitrogen in the sediment from both internal and external sites of *Potamogeton malaianus* and *Limnathemum nymphoides* communities, levels of various forms of nitrogen were quantified in sediment samples collected from Gonghu Bay, the southern region and the intermediate area between East and West mountains of Lake Taihu in June 2012. The results showed that: ① Within the algae-type region in Gonghu Bay, the contents of organic (Org-N) and total nitrogen (TN) in the internal sediment (0-25 cm) from *P. malaianus* communities were higher than those of the external sediment, by 38.06% and 25.65%, respectively. ② In the non-algal region, the contents of TN, Org-N, NH₄⁺-N and NO₃⁻-N in the internal sediments from *P. malaianus* communities were lower by 43.29%, 50.78%, 7.09% and 10.86% compared to those in the external sediments; for *L. nymphoides* communities, the contents of TN, Org-N, NH₄⁺-N and NO₃⁻-N in the external sediments were lower by 4.65%, 4.63%, 5.01% and 2.76% compared to the internal sediments. These values suggested that the promotion in reducing sedimentary nitrogen was more effective by the *P. malaianus* community than by the *L. nymphoides* community. ③ A significant positive correlation ($P < 0.05$, $n = 24$) was found between pH and TN within the external sediments and between pH and NO₃⁻-N within the internal sediments ($P < 0.05$, $n = 24$), while a significant negative correlation ($P < 0.05$, $n = 24$) was found between pH and NH₄⁺-N of both aquatic plant communities. The redox potential (Eh) was also found to be significantly positively correlated with TN in both the internal and external sediments of *P. malaianus* communities (GMN, $P < 0.01$, $R = 0.9228^{**}$; NMN, $P < 0.01$, $R = 0.8277^{**}$; GMW, $P < 0.05$, $R = 0.7489^*$; NMW, $P < 0.05$, $R = 0.6637^*$). It is therefore concluded that the presence of aquatic plant communities could impact the physical and chemical properties of the sediments.

Key words: sediment; nitrogen; *Potamogeton malaianus*; *Limnathemum nymphoides*; community; Lake Taihu

沉积物是湖泊生态系统的重要部分, 其在控制 湖泊氮循环和氮素的生物可利用性等方面起着非常

收稿日期: 2012-12-27; 修订日期: 2013-04-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41173078); 科技部国际合作专项(2010DFB33960); 江苏省太湖水环境治理专项基金项目(TH2011207); 江苏省科技厅科技支撑计划项目(BE2011690)

作者简介: 马久远(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境生态修复, E-mail: majiuyuan@126.com

* 通讯联系人, E-mail: wangguoxiang@njnu.edu.cn

重要的作用^[1]. 各种营养物质在物理和生物的作用下沉积到底泥中,使底泥成为湖泊生态系统中营养物质的主要沉积库^[2]. 其中氮素作为水生态系统主要的营养元素之一,对湖泊富营养化具有非常重要的影响^[3,4].

目前,将水生植被的恢复和重建作为国内外浅水湖泊的生态调控及控制内源污染负荷的重要手段,已有一定的探索和研究^[5-7]. Rattray 等^[5]研究发现水生根着植物根系具有很强的吸收功能,它们可以直接从底泥中吸收生长所需要的氮、磷及部分微量元素. 包先明等^[8]利用太湖五里湖污染底泥在实验室中培养荇菜,发现植物根系对沉积物和间隙水中营养盐的直接吸收,使表层(0~5 cm)沉积物与间隙水中氮磷营养盐的含量有明显下降. 以上研究都是探讨水生植物的生长吸收作用导致沉积物和间隙水中营养盐含量下降,而植物吸收量毕竟有限,且沉积物中氮素的变化是由底栖动物^[9]、微生物作用^[10,11]、有机质的氧化分解^[12]及植物的生长吸收等综合因素共同作用的结果,所以仅研究水生植物对沉积物中氮素的作用是不全面的.

本研究选择野外原位条件下,将水生植物群落作为研究单位,探讨水生植物群落对沉积物中氮素的影响作用,并进一步分析水生植物群落对氮素在沉积物中垂直空间分布的影响,以期为进一步揭示水生植物群落的环境效应提供野外实验支持.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

太湖是长江中下游流域最典型的大型浅水湖泊,水面面积2 338 km²,平均水深 1.89 m. 它的生态类型较复杂,有藻型湖区、草型湖区,也有草藻过渡型湖区^[13]. 草型湖区水生植物生长茂盛,藻类相对较少,叶绿素含量低,如东太湖、胥湖、南部湖区部分地区和东西山之间的湖区等^[14];藻型湖区几乎无水生植物的生长,藻类较多,叶绿素含量高,如北部湖区靠近苏锡常经济发达地区的梅梁湾、竺山湾等^[15-17]. 草藻过渡型湖区藻类和水生植物混合交替,是草型向藻型过渡的区域,如贡湖湾湾口^[14].

本次荇菜群落的采样点在东西山之间的水域,藻类较少,水生植物生长茂盛,荇菜的生物量可达到 185 g·m⁻²,高于太湖荇菜平均生物量. 南部湖区马来眼子菜群落采样点区域,离受蓝藻轻度污染的南太湖浙江新塘沿岸地区较远^[16],群落呈斑块状分布,夏季平均生物量有 192 g·m⁻²^[18],正逐渐成为优

势种,这 2 个采样区域都处于草型湖区. 贡湖湾湾口属于草藻过渡型湖区,素有马来眼子菜的生长,是该区域的优势种,夏季生长茂盛,平均生物量可达到 286 g·m⁻²^[18].

1.2 实验方法及样品的采集

2012 年 6 月在太湖中选择两种典型的浮叶、沉水植物荇菜(*Limnathemum nymphaoides*)和马来眼子菜(*Potamogeton malaianus*)群落,分别在其群落内部和外部分层采集沉积物样品. 共选取 6 个采样点(图 1)分别采集沉积物样品,采样点分别为 GMN(贡湖湾,马来眼子菜群落内,31°22'35.14"N,120°16'32.78"E),GMW(贡湖湾,马来眼子菜群落外,31°22'15.08"N,120°16'53.62"E),NMN(南部湖区,马来眼子菜群落内,30°59'28.57"N,120°8'18.95"E),NMW(南部湖区,马来眼子菜群落外,30°59'33.98"N,120°8'7.37"E),DXN(东西山之间水域,荇菜群落内,31°6'39.83"N,120°20'37.06"E),DXW(东西山之间水域,荇菜群落外,31°6'10.82"N,120°21'22.21"E),每个采样点采集 3 个样品作为平行. 使用沉积物柱状取样器(HYDRO-BIOS,德国),采集柱状样品,现场分层切割,每层 5 cm,共分 8 层,装入聚乙烯自封袋中,放入冷藏箱 4℃保存. 同时现场测定沉积物 Eh(PHBJ-260,501 型 ORP 复合电极)和 pH(PHBJ-260, E-301-C-型 pH 复合电极).

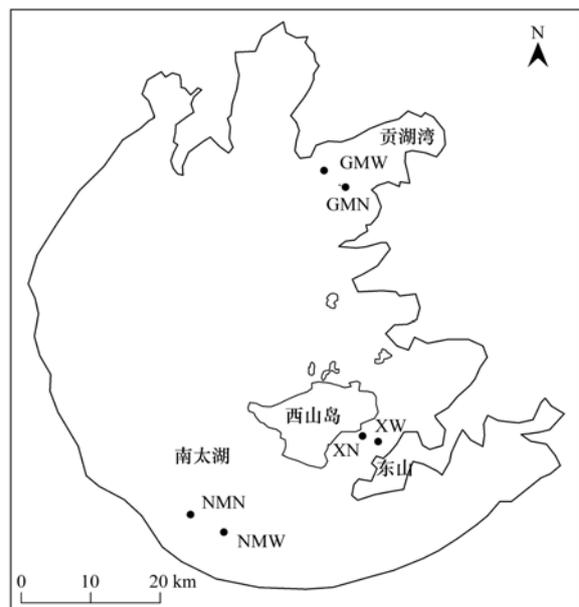


图 1 采样点位布示意图

Fig. 1 Schematic graph of sampling sites

1.3 分析测定方法

含水率通过测定 105℃ 烘干至恒重时的失重获

得(GB 7172-87);烧失率通过 950℃灼烧 1 h 达恒定质量后,测定失重获得(GB 7876-87);沉积物样品在烘箱中 60℃烘干,经过充分研磨后,过 100 目筛,待用. 总氮采用过硫酸钾消煮法^[19]测定, NH_4^+ -N和 NO_3^- -N采用浸提法(选用1 mol·L⁻¹的 KCl 溶液为浸提液,液土比为 100:1)测定^[20]. 有机氮采用差减法. 每个样品做 3 个平行,文中数据均采用平均值,误差控制在 10% 以内. 数据采用 SPSS 18.0 等软件处理.

2 结果与分析

2.1 理化指标

沉积物的理化指标如表 1 所示. 可以看出,含水率呈有规律性变化(表层 > 中层 > 下层),因为表层沉积物中的有机质经过分解后可以产生水;其次,有机质分解产生大量的 CO_2 ,且有有机质矿化产生的 CH_4 和 NH_3 等气体向泥水界面散发,使沉积物空隙增大、间隙水增多^[21],另外植物根系作用和底栖动物的扰动等因素也能影响底泥的孔隙度.

烧失率一定程度上反映出有机质含量,一般表

层沉积物的烧失率较高. 表中各样点间沉积物烧失率的空间变化不明显,但是表层沉积物的烧失率普遍比中层高,随着深度的增加,下层沉积物烧失率又慢慢增大. 主要的原因可能是太湖的污染负荷较大,同时蓝藻也是频频暴发,大量悬浮颗粒物及死亡后的蓝藻富集在表层沉积物中,使得表层有机质含量上升.

Eh 的空间分布不均,但表层沉积物的 Eh 值几乎比其它层的小. 经相关性分析得出, Eh 与烧失率显著相关($P < 0.05$),表明沉积物中有机质含量越高,其分解消耗的氧就越多,沉积物的还原性就越强. 沉积物中 pH 值的范围是在 7 上下波动,可能和沉积物的异质性有关^[22],此外还与沉积物中有机质的分解、植物的呼吸作用以及底栖动物和微生物的异化作用等因素有关. 值得注意的是, pH 与 Eh 呈极显著相关($P < 0.01$), Eh 的下降是由于动植物的呼吸作用及有机质的分解消耗氧元素,同时产生 CO_2 , CO_2 溶于水后电离出 H^+ 和 HCO_3^- ; 其次有机质分解后产生的有机酸、 CO_2 等物质也都为沉积物中 Eh 的下降作出了部分贡献.

表 1 沉积物理化指标

Table 1 Physical and chemical indicators of fresh sediment

| 采样区域 | 编号 | 表层(0 ~ 10 cm) | 中层(10 ~ 25 cm) | 下层(25 ~ 40 cm) |
|------|-------|---------------|----------------|----------------|
| GMN | 含水率/% | 63.74(±1.29) | 60.20(±1.08) | 48.46(±9.84) |
| | 烧失率/% | 3.63(±0.11) | 2.72(±0.33) | 2.79(±0.76) |
| | Eh/mV | -157(±2) | -174(±7) | -147(±33) |
| | pH | 6.87(±0.39) | 6.76(±0.10) | 7.06(±0.11) |
| GMW | 含水率/% | 61.57(±1.05) | 57.17(±0.32) | 51.82(±2.59) |
| | 烧失率/% | 5.23(±0.09) | 4.19(±0.29) | 3.30(±0.57) |
| | Eh/mV | -152(±8) | -182(±7) | -181(±13) |
| | pH | 7.33(±0.13) | 6.69(±0.04) | 6.42(±0.12) |
| NMN | 含水率/% | 69.72(±0.92) | 64.31(±1.90) | 61.35(±0.58) |
| | 烧失率/% | 2.50(±0.33) | 2.36(±0.39) | 2.55(±0.49) |
| | Eh/mV | -147(±16) | -142(±20) | -132(±6.33) |
| | pH | 7.17(±0.13) | 6.94(±0.38) | 7.47(±0.11) |
| NMW | 含水率/% | 71.34(±0.92) | 54.70(±1.06) | 51.10(±2.85) |
| | 烧失率/% | 3.23(±0.33) | 4.58(±0.18) | 4.71(±2.55) |
| | Eh/mV | -144(±24) | -148(±28) | -139(±55) |
| | pH | 6.22(±0.4) | 6.57(±0.42) | 6.19(±0.74) |
| DXN | 含水率/% | 58.29(±0.58) | 56.51(±0.37) | 51.70(±4.19) |
| | 烧失率/% | 3.97(±0.25) | 3.36(±0.59) | 2.75(±0.22) |
| | Eh/mV | -153(±10) | -184(±14) | -209(±8) |
| | pH | 6.79(±0.05) | 6.40(±0.12) | 6.33(±0.06) |
| DXW | 含水率/% | 69.92(±1.27) | 61.18(±5.30) | 43.57(±5.31) |
| | 烧失率/% | 3.83(±0.11) | 3.63(±0.35) | 3.06(±0.22) |
| | Eh/mV | -135(±41) | -194(±20.67) | -220(±20) |
| | pH | 6.92(±0.10) | 6.38(±0.04) | 6.00(±0.29) |

2.2 群落内部和外部沉积物中 TN 垂直分布

图 2 是本次采集的沉积物(表、中、下层) TN 平均含量. 沉积物表层 TN 含量为贡湖湾 > 东西山之间湖区 > 南部湖区. 贡湖湾马来眼子菜群落和荇菜群落内、外的沉积物中 TN 含量高低顺序为表层 > 中层 > 下层, 呈现一种“表层富集”的现象; 南部湖区马来眼子菜群落内的沉积物 TN 含量表现为下层 > 表层 > 中层, 而群落外则表现为中层 > 表层 > 下层.

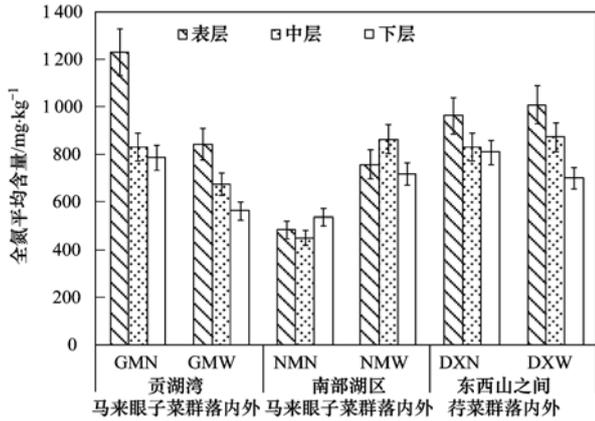


图 2 沉积物表、中、下层全氮的平均含量
Fig. 2 Contents of TN in the sediments in the surface, middle and lower layer

沉积物中 TN 含量的垂直分布显示, 在 0 ~ 25 cm 深度范围内, 南部湖区马来眼子菜群落 (NM) 和东西山之间水域荇菜群落 (DX) 的 TN 含量均表现为群落外部高于群落内部的现象, 其中南部湖区马来眼子菜群落内部沉积物的 TN 含量平均比群落外部的沉积物低 43.30%, 而荇菜群落内部沉积物的

TN 含量比群落外部的沉积物低 4.65%; 贡湖湾马来眼子菜群落 (GM) 内部和外部沉积物中 TN 含量则正好相反, 0 ~ 25 cm 深的沉积物中群落内部的 TN 含量比群落外部高 25.65% (图 3). 但是所有群落内部和外部下层沉积物中的 TN 含量分布无规律, 这可能与底层沉积物的来源及动植物残体被埋没后早期成盐速率有关^[23].

2.3 群落内部和外部沉积物中无机氮的垂直分布

沉积物中无机氮的主要形式为 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N, 3 个采样点 GM、NM 以及 DX 外部沉积物中 NH₄⁺-N 含量的平均值分别为 140.17、111.25 和 133.57 mg·kg⁻¹, 分别占其 TN 的质量分数为 20.70%、14.17% 以及 15.81%; 群落内部沉积物中 NH₄⁺-N 含量分别是 125.03、103.83 和 133.25 mg·kg⁻¹, 分别占其 TN 的质量分数为 13.63%、21.00% 和 15.53%. 如图 4 所示, 3 个植物群落(包括群落内部和外部)中沉积物的 NH₄⁺-N 在表层大量聚集, 随着深度的增加, 含量迅速减少, 到底层又逐渐升高. 在沉积物的中层, 植物群落内沉积物的 NH₄⁺-N 含量整体高于群落外沉积物中的含量; 底层沉积物中 NH₄⁺-N 呈现不规则的现象, 即两个马来眼子菜群落内沉积物的 NH₄⁺-N 含量高于群落外的含量, 但荇菜群落正好相反, 群落外沉积物中 NH₄⁺-N 的含量高于群落内的含量.

沉积物中 NO₃⁻-N 的含量总体较低. 3 个植物群落中 NO₃⁻-N 含量平均值分别为 22.63 (GM)、22.84 (NM) 和 22.11 mg·kg⁻¹ (DX), 分别占其 TN 的质量

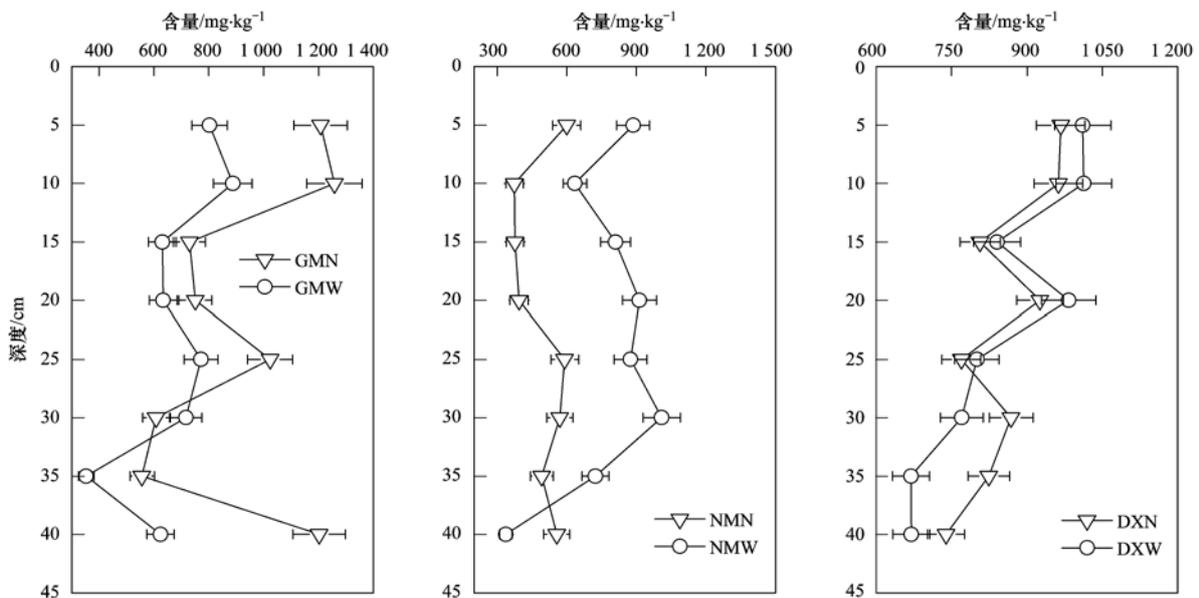


图 3 太湖水生植物群落内部和外部沉积物中全氮的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution characteristic of TN in the sediments of the internal and external of aquatic plant community in Lake Taihu

分数为 3.34%、3.16% 和 2.71%；群落内部沉积物中 NO_3^- -N 含量分别 23.83、22.84 和 22.11 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，分别占其 TN 的质量分数为 2.60%、4.62% 和 2.58%。在沉积物的表层和中层，水生植

物群落内部沉积物中 NO_3^- -N 的含量低于外部沉积物中的含量(图 5)，但是总体相差不大。在沉积物的底层，群落内部和外部的 NO_3^- -N 含量高低不等，其含量呈不规则分布。

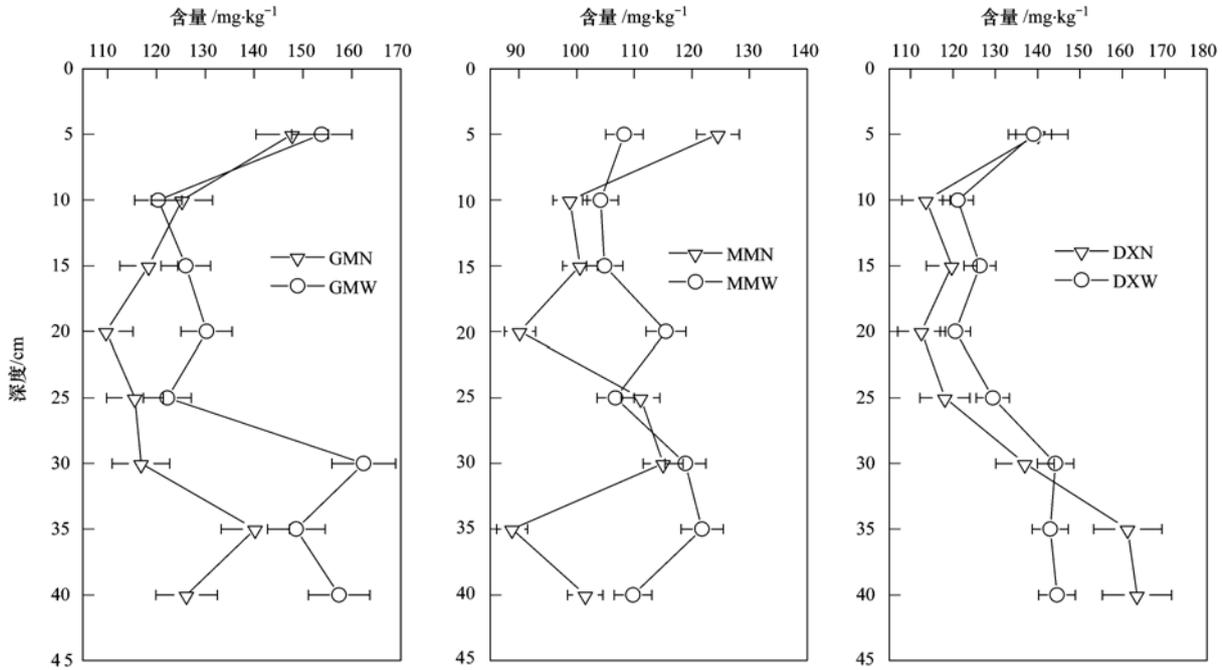


图 4 太湖水生植物群落内部和外部沉积物中 NH_4^+ -N 的垂直分布

Fig. 4 Vertical distribution characteristic of NH_4^+ -N in the sediments of the internal and external of aquatic plant community in Lake Taihu

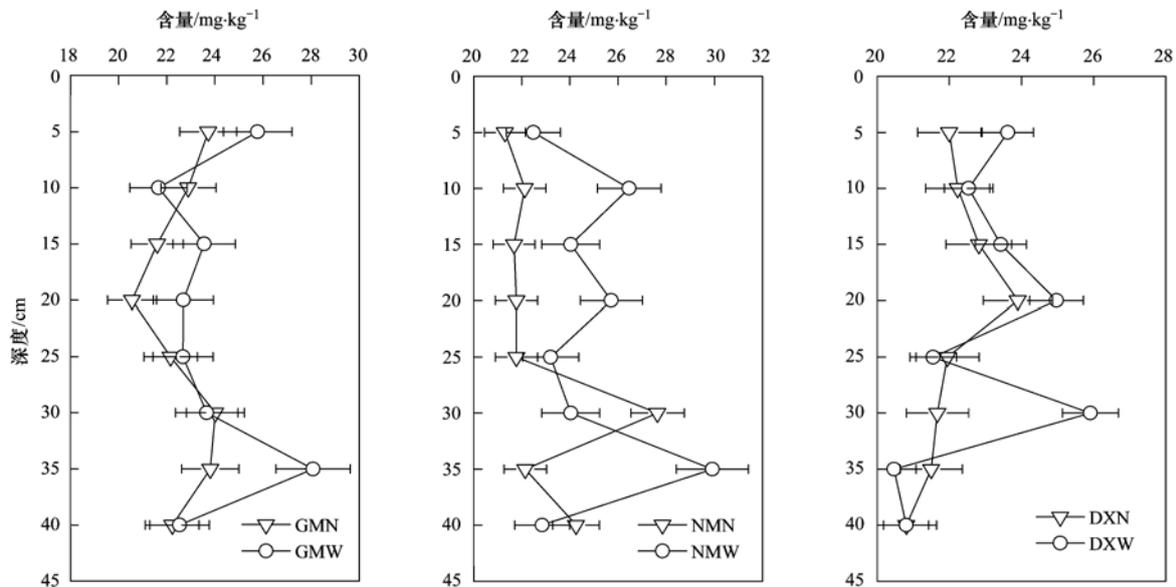


图 5 太湖水生植物群落内部和外部沉积物中 NO_3^- -N 的垂直分布

Fig. 5 Vertical distribution characteristic of NO_3^- -N in the sediments of the internal and external of aquatic plant community in Lake Taihu

表层沉积物可以在泥水界面进行氮素的交换，同时植物和动物的残体可以在表层堆积，经过硝化细菌的作用后，无机态氮在表层沉积物中升高并富

集；下层沉积物缺氧程度高，有利于氨化和反硝化作用，自高价态氮向低价态转化，下层沉积物中 NO_3^- -N 的含量相对较少，而 NH_4^+ -N 含量上升，同时

底层受水力因素影响小,更有利于 NH_4^+ -N在沉积物中的保存.但是无机氮的含量还与每年的沉积量,环境条件及外源污染等因素有关^[24],因此下层沉积物中的无机氮含量分布规律性不强.由于中层动植物残体和外源污染的堆积较少,使得有机氮矿化及氨化作用产生的无机氮含量也较少,同时马来眼子菜和荇菜的根系主要分布在沉积物的中上层^[25],部分无机氮被植物生长吸收利用,综合导致中层沉积物的无机氮含量最小.

2.4 群落内部和外部沉积物中 Org-N 的垂直分布

Org-N 是湖泊沉积物氮素的重要组成部分,它

可经微生物作用转化成生物可利用的氮形态^[26].如图 6 所示,本次采集的沉积物样品中 Org-N 平均含量为 $626.33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,占 TN 的 81.12%. 在 0~25 cm 深的沉积物中,南部湖区马来眼子菜群落和东西山之间水域荇菜群落内部沉积物中的 Org-N 平均含量分别为 $340.37 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $42.91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,分别平均比群落外部低 50.78% 和 4.63%;贡湖湾马来眼子菜群落内部沉积物中 Org-N 平均含量为 $592.28 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,比外部沉积物中有机氮含量高 38.06%,结果恰与南部湖区情况相反.

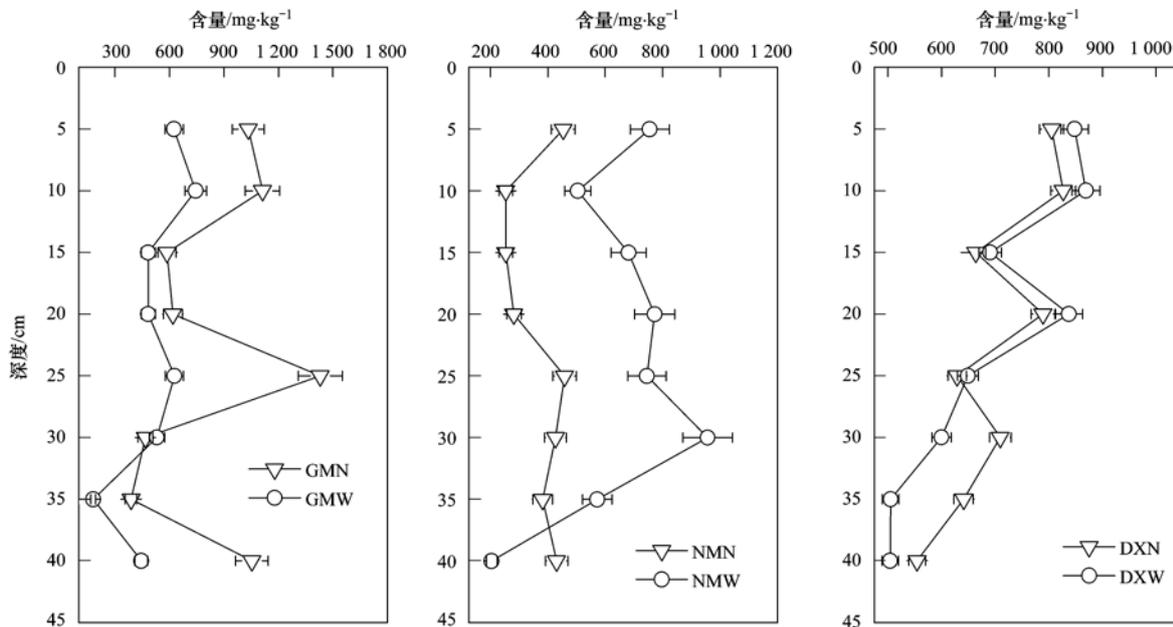


图 6 太湖水生植物群落内部和外部沉积物中有机氮的垂直分布

Fig. 6 Vertical distribution characteristic of organic nitrogen in the sediments of the internal and external of aquatic plant community in Lake Taihu

3 讨论

3.1 理化性质和氮素关系

不少学者研究发现,烧失率可以反映沉积物中有机质的含量^[22],而且在 TN 中 Org-N 占有较大比例.本研究也发现,烧失率与 TN、Org-N 均呈极显著正相关($P < 0.01$, $n = 24$),见图 7.但是烧失率与 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 相关性不显著,进一步证明了沉积物中的有机质含量可以通过烧失率反映.有机氮可经过矿化、氨化等作用生成无机氮,但由于无机氮之间的相互转化关系复杂,并且无机氮也可以通过反硝化作用形成 N_2 ,可能是导致烧失率与 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 相关性不显著的主要原因.

3 个湖区的植物群落外部沉积物的 pH 与 TN、Org-N 呈显著正相关($P < 0.05$, $n = 24$,图 8(a)、

8(b)],而植物群落内部沉积物中 pH 与沉积物中 NH_4^+ -N 呈显著负相关($P < 0.05$, $n = 24$,图 8(c)],与 NO_3^- -N 呈显著正相关($P < 0.05$, $n = 24$,图 8(d)].pH 与各形态氮素之间的关系是一个复杂的物理化学过程.研究表明沉积物中有机质含有大量的 Org-N,可以通过氨化、矿化及厌氧氨氧化作用分解成 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N,最后经过反硝化作用生成 N_2 ,在整个过程中伴随着有机酸物质的释放^[27],使 TN、Org-N 均和 pH 呈正相关.而在植物群落内部,植物体的呼吸作用和根系泌氧作用会改变沉积物的 pH,打乱与有机质之间的正常代谢关系,导致相关性变弱.然而,硝化作用是 NH_4^+ -N 借助氨氧化细菌(AOB)生成 NO_2^- -N,而 NO_3^- -N 又借助硝化杆菌生成 NO_3^- -N 的连续氧化生物过程,其过程中伴随 H^+ 的

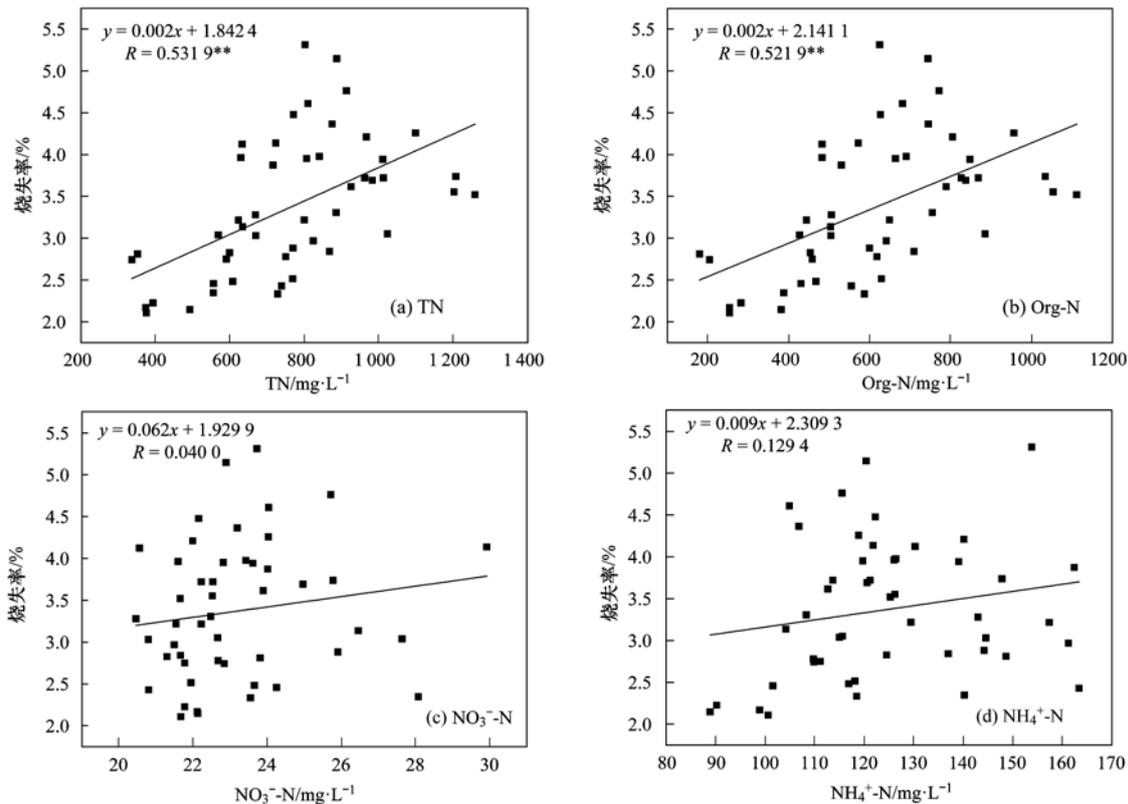


图7 烧失率与氮素的关系

Fig. 7 Correlations between Ignition loss and various nitrogen forms

产生,但是植物根系的呼吸作用增加了沉积物中 H^+ 的含量,另外植物系统为了维护体内阴阳离子的平衡也会分泌出 H^+ ,造成细胞外 H^+ 的聚集^[28],导致 pH 降低,从而抑制硝化作用的进行,抑制 NO_2^- 和 NO_3^- 含量增加,促进 NH_4^+ 聚集,使 pH 与 NH_4^+ 负相关,与 NO_3^- -N 正相关。

本研究发现,所有马来眼子菜群落内部沉积物的 Eh 与 TN 极显著相关 ($P < 0.01$, $n = 24$),而外部沉积物的 Eh 与 TN 显著相关 ($P < 0.05$, $n = 24$),不难发现较群落外部,内部的相关性更强(图9)。表明植物群落的存在可以影响沉积物的 Eh。在湖泊沉积物处于厌氧状态,有机质矿化生成 NH_4^+ 后,由于厌氧氨氧化作用使得 NH_4^+ 直接转化为 N_2 ,而植物群落中由于植物根系泌氧^[29],在根系周围形成局部的兼性厌氧区,促进 NH_4^+ 向 NO_3^- 的转化,增加了 NH_4^+ 的汇,根据化学平衡原理,从而反过来促进有机质的分解。该研究中植物群落内外沉积物的 Eh 与无机氮相关性不显著,可能和沉积物的空间异质性有关,无机氮在 TN 中占得比例较少,同时无机氮也能够被水生植物吸收利用,两者之间的关系有待进一步的研究。

3.2 草型湖区两种不同植物群落内外沉积物中氮素的变化

根据植物群落内外沉积物中氮素含量的分析,发现相较于群落外部,两种植物群落内部 0 ~ 25 cm 深的沉积物中氮素的含量都有不同程度的降低(图10),其中马来眼子菜群落内沉积物中 TN、Org-N、 NH_4^+ -N 以及 NO_3^- -N 的含量较群落外分别平均降低了 43.29%、50.78%、7.09% 和 10.86%;而荇菜群落内沉积物中氮素较群落外分别平均降低了 4.65%、4.63%、5.01% 以及 2.76%。发现植物群落内部氮素含量下降,其中 TN 和 Org-N 含量下降的幅度最大。原因可能是夏季水生植物生长旺盛,生物量增长较快,对氮素等营养物质需求较大。水生植物根系放氧可以改变根系周围沉积物的微环境,有利于沉积物中氮素矿化产生 NH_4^+ -N。另外微生物的代谢活动可以利用有机质,而植物的生长可为微生物生长提供适合的生存环境^[2],促进沉积物中 Org-N 迅速分解。这些因素共同导致植物群落内部沉积物中 Org-N 含量的降低。植物群落内沉积物中无机氮的含量下降幅度较小。原因是群落内部沉积物中的无机氮的汇主要是扩散进上覆水中、反硝化形成 N_2 以及植物的吸收利用,其中植物的吸收利

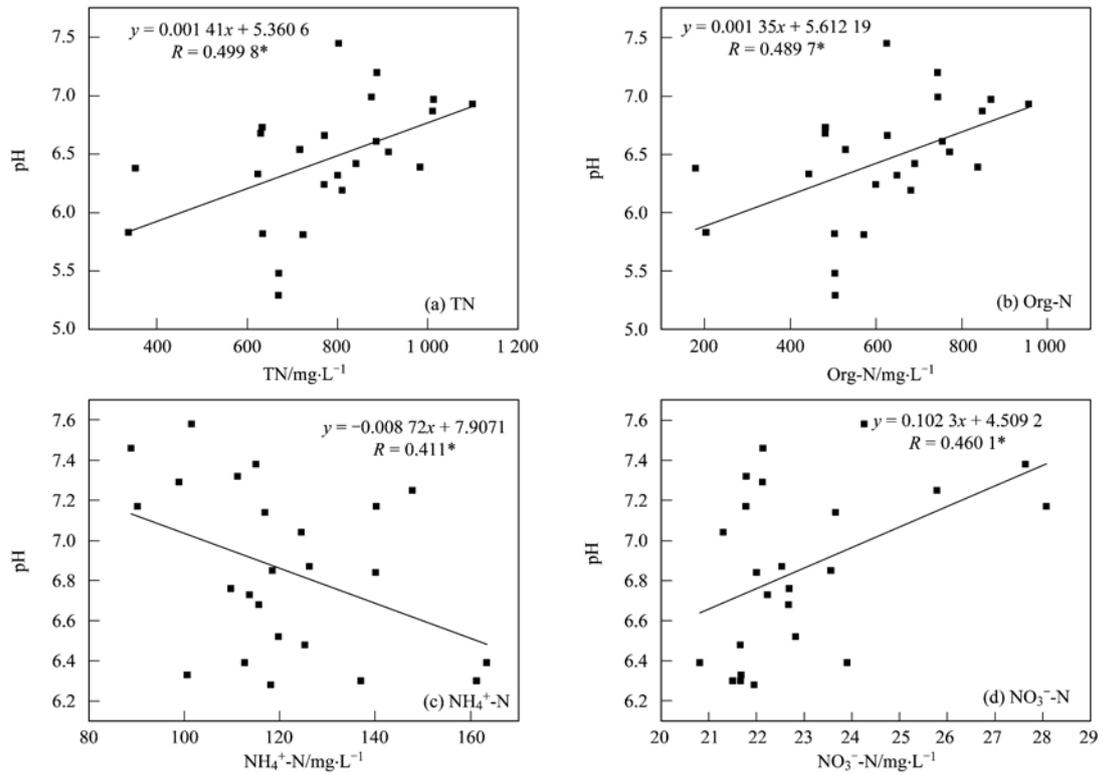


图 8 pH 与氮素的关系

Fig. 8 Correlations between pH and various nitrogen forms

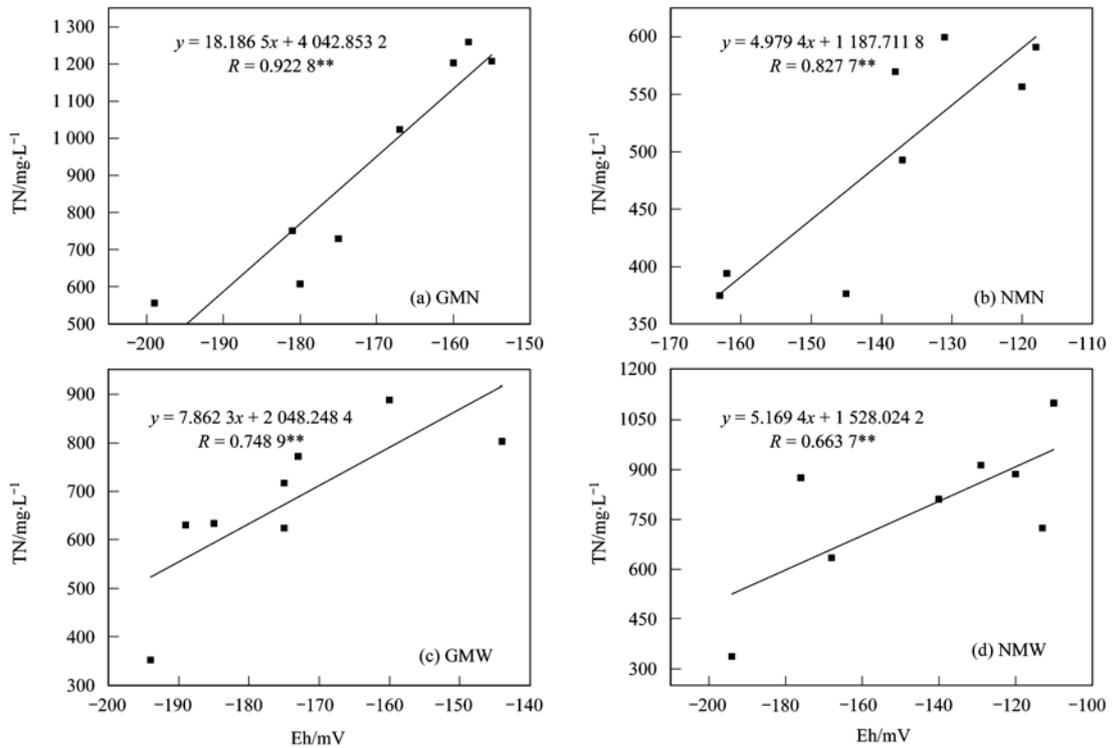


图 9 Eh 与 TN 的关系

Fig. 9 Correlations between Eh and TN

用是群落外部所没有的,因此植物内部沉积物中无机氮的含量较群落外部稍低.

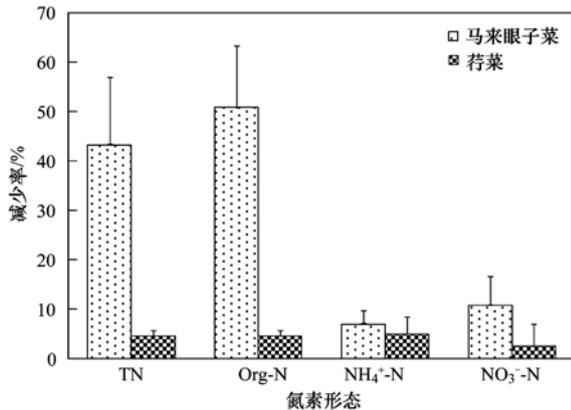


图 10 南部湖区马来眼子菜群落和东西山荇菜群落内沉积物中氮素的减少率

Fig. 10 Reduction rate of the contents of various nitrogen forms in sediment

但是从图 10 可以看出,马来眼子菜群落对沉积物中氮素含量降低的促进作用比荇菜群落的更加明显,尤其对 TN 和 Org-N 的影响最大. 原因可能是马来眼子菜和荇菜的生态型不同,有研究表明马来眼子菜的根系比较发达,根系的生物量可占整个植株的 20%,具有较强的锚定能力^[31],根系的主要作用是吸收沉积物中的营养物质以及固定植株;而荇菜茎上生有大量不定根用于吸收营养物质,定根主要起固定植株的作用,对沉积物中营养物质的吸收作用较少. 所以马来眼子菜群落发达的地下根茎系统不论在对沉积物中氮素的吸收作用方面,还是在改变沉积物理化微环境方面都优于荇菜群落,这些因素共同导致南部湖区马来眼子菜群落对沉积物中氮素的影响较大.

有研究表明水生植物的衰亡会引起沉积物中氮素的升高^[32, 33],这与本研究结果不同. 2004 年有学者对太湖水生植物的分布进行了调查,发现南部湖区没有水生植物的生长^[33],因此南部湖区马来眼子菜群落采样点极可能是新生不久的群落. 另外,在东西山之间的区域围网养殖已经形成一定的规模,渔民为了养殖的需要会对该区域的植物进行收割捕捞^[18],所以荇菜群落,也极可能是新生群落. 由于两个区域的群落都是属于新生的群落,所以水生植物的衰亡对沉积物中氮素贡献很少,而植物的吸收利用及与水生植物共生的微生物的作用等因素可能是导致植物群落内部沉积物中氮素含量减少的主要原因. 综上,在草型湖区,新生植物群落的形成可以

吸收沉积物中的氮素,同时通过根系泌氧改变沉积物的理化性质,为微生物生长提供适合的生存环境,从而促进沉积物中有机质的矿化及氮素的转化,有效降低氮素的含量.

3.3 不同湖区马来眼子菜群落内外沉积物中氮素的变化

根据对南部湖区和贡湖湾的两个马来眼子菜群落内外沉积物中氮素的分析,发现两个群落内 0 ~ 25cm 深的沉积物中的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量普遍低于群落外,但是差异不明显,说明植物的生长对沉积物中无机氮的影响不明显. 有研究表明底栖动物的扰动^[34]和微生物的分解^[11, 35]有利于沉积物中有机质的矿化形成无机氮,所以有机物的矿化分解补充了植物吸收利用的部分氮素,导致群落内外无机氮的差异不明显.

贡湖湾马来眼子菜群落内中上层沉积物的 TN 和 Org-N 的含量高于群落外,南部湖区马来眼子菜群落则正好相反. 贡湖湾位于太湖北部草藻过渡型湖区,由于太湖风浪的影响与湖湾效应^[36],引起藻类和部分有机悬浮物在群落内停留、聚集并沉淀. 有研究发现部分水生植物具有化感抑藻效应^[37],且胡陈艳等^[38]提取出了马来眼子菜植物体内的抑藻物质. 化感物质能破坏藻类细胞膜的完整性,最终导致藻类死亡. 在藻类高发时段,贡湖湾大量藻类在马来眼菜群落内被抑制,并沉降到底泥中,引起沉积物中 TN 和 Org-N 含量升高. 另外,夏季贡湖湾马来眼子菜群落生长密集,生物量大^[18],可达到 286 g·m⁻²,植物衰亡后,残体被截留在群落中,最终沉积到底泥中,也是导致群落内沉积物中的 Org-N 和 TN 含量高于群落外沉积物的原因之一. 南部湖区马来眼子菜群落的分布较零散,植物生物量较贡湖湾少,藻类和植物残体易随风浪而转移到群落之外,很难在群落内部沉积. 另外,该区域马来眼子菜群落是新生群落,植物的衰亡对沉积物中氮素的贡献较少. 而 6 月马来眼子菜生长较旺盛,植物对沉积物中营养盐的吸收作用较强. 另外,朱梦圆^[39]等发现藻类的死亡会导致沉积物中部分氮素的释放,并且草型湖区的释放量较大. 所以推论南部湖区马来眼子菜群落内部沉积物中 TN 和 Org-N 的释放量较大,这些因素最终导致群落内部沉积物中氮素的含量较群落外部的低.

4 结论

(1) 植物群落的存在可以改变沉积物的理化性

质. 植物群落外沉积物的 pH 与 TN、Org-N 显著正相关 ($P < 0.05$, $n = 24$), 而植物群落内部沉积物中 pH 与沉积物中铵态氮呈显著负相关 ($P < 0.05$, $n = 24$), 与硝态氮呈显著正相关 ($P < 0.05$, $n = 24$); 植物群落内部和外部沉积物的 Eh 均与 TN 显著相关 (GMN, $P < 0.01$, $R = 0.9228^{**}$; NMN, $P < 0.01$, $R = 0.8277^{**}$; GMW, $P < 0.05$, $R = 0.7489^*$; NMW, $P < 0.05$, $R = 0.6637^*$), 但较群落外部而言内部的相关性更强. 表明植物群落的存在可以影响沉积物的理化性质.

(2) 草藻过渡型湖区 (贡湖湾湾口) 植物群落内部沉积物中的 Org-N 和 TN 含量高于群落外部. 贡湖湾马来眼子菜群落内部 0 ~ 25 cm 的沉积物中 Org-N 和 TN 的含量分别比群落外部高 38.06% 和 25.65%. 可能原因是植物衰亡后在群落中沉积, 另外, 在藻类暴发时, 大量藻类在植物群落中停留、聚集沉淀所致.

(3) 草型湖区中新生植物群落都能够改变根系周围沉积物的微环境, 从而促进 0 ~ 25 cm 的沉积物中各形态氮含量的降低, 其中对全氮和有机氮含量降低的促进作用更加明显, 另外马来眼子菜群落的促进作用比荇菜群落明显. 马来眼子菜群落内 0 ~ 25 cm 深的沉积物中 TN、Org-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量较群落外分别平均降低了 43.29%、50.78%、7.09% 和 10.86%; 而荇菜群落内沉积物中各形态氮素较群落外平均仅分别降低了 4.65%、4.63%、5.01% 以及 2.76%.

参考文献:

- [1] Giblin A E, Weston N B, Banta G T, *et al.* The effects of salinity on nitrogen losses from an oligohaline estuarine sediment [J]. *Estuaries and Coasts*, 2010, **33**(5): 1054-1068.
- [2] 胡小贞, 许秋瑾, 金相灿, 等. 湖泊底质与水生植物相互作用综述[J]. *生物学杂志*, 2011, **28**(2): 73-76.
- [3] Gross A, Boyd C E, Wood C W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds[J]. *Aquacultural Engineering*, 2000, **24**(1): 1-14.
- [4] Nowlin W H, Evarts J L, Vanni M J. Release rates and potential fates of nitrogen and phosphorus from sediments in a eutrophic reservoir[J]. *Freshwater Biology*, 2005, **50**(2): 301-322.
- [5] Rattray M R, Howard-Williams C, Brown J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes[J]. *Aquatic Botany*, 1991, **40**(3): 225-237.
- [6] 王娟, 王圣瑞, 金相灿, 等. 沉水植物黑藻对沉积物氨氮吸附/释放特征的影响[J]. *生态环境*, 2007, **16**(2): 336-341.
- [7] 王立志, 王国祥, 俞振飞, 等. 沉水植物生长期对沉积物和上覆水之间磷迁移的影响[J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 385-392.
- [8] 包先明, 陈开宁, 范成新. 浮叶植物重建对富营养化湖泊氮磷营养水平的影响[J]. *生态环境*, 2005, **14**(6): 807-811.
- [9] 吴方同, 陈锦秀, 闫艳红, 等. 水丝蚓生物扰动对洞庭湖沉积物氮释放的影响[J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(5): 731-737.
- [10] 白洁, 陈春涛, 赵阳国, 等. 辽河口湿地沉积物硝化细菌及硝化作用研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 3011-3017.
- [11] 周丽华, 陈士超, 邓志瑞, 等. 太湖沉积物中的可培养细菌: I. 细菌多样性初步分析[J]. *湖泊科学*, 2009, **21**(1): 27-35.
- [12] 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.
- [13] 徐徽, 张路, 商景阁, 等. 太湖水土界面氮磷释放通量的流动培养研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2009, **25**(4): 66-71.
- [14] 胡志新, 胡维平, 谷孝鸿, 等. 太湖湖泊生态系统健康评价[J]. *湖泊科学*, 2005, **17**(3): 256-262.
- [15] 金相灿, 姜霞, 徐玉慧, 等. 太湖东北部沉积物可溶性氮、磷的季节性变化[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(4): 409-413.
- [16] 马荣华, 孔繁翔, 段洪涛, 等. 基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识[J]. *湖泊科学*, 2008, **20**(6): 687-694.
- [17] 尚琳琳, 马荣华, 段洪涛, 等. 利用 MODIS 影像提取太湖蓝藻水华的尺度差异性分析[J]. *湖泊科学*, 2011, **23**(6): 847-854.
- [18] 刘伟龙, 胡维平, 陈永根, 等. 西太湖水生植物时空变化[J]. *生态学报*, 2007, **27**(1): 159-170.
- [19] Smart M M, Rada R G, Donnermeyer G N. Determination of total nitrogen in sediments and plants using persulfate digestion. An evaluation and comparison with the Kjeldahl procedure[J]. *Water Research*, 1983, **17**(9): 1207-1211.
- [20] 许宽, 刘波, 王国祥, 等. 城市污染河道沉积物可提取态氮的提取方式比较[J]. *湖泊科学*, 2012, **24**(4): 541-545.
- [21] 朱广伟, 陈英旭. 沉积物中有机质的环境行为研究进展[J]. *湖泊科学*, 2001, **13**(3): 273-279.
- [22] Gorham E, Lund J W G, Sanger J E, *et al.* Some relationships between algal standing crop, water chemistry, and sediment chemistry in the English Lakes [J]. *Limnology and Oceanography*, 1974, **19**(4): 601-617.
- [23] 宋金明, 李学刚, 邵君波, 等. 南黄海沉积物中氮、磷的生物地球化学行为[J]. *海洋与湖沼*, 2006, **37**(4): 370-376.
- [24] 倪兆奎, 李跃进, 王圣瑞, 等. 太湖沉积物有机碳与氮的来源[J]. *生态学报*, 2011, **31**(16): 4661-4670.
- [25] 刘伟龙, 胡维平, 陈桥. 不同底质和透明度下马来眼子菜的表型可塑性研究[J]. *生态环境*, 2007, **16**(2): 363-368.
- [26] 卢少勇, 远野, 金相灿, 等. 7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律[J]. *环境科学*, 2012, **33**(5): 1497-1502.
- [27] 陈文新. 土壤和环境微生物学[M]. 北京: 北京农业大学出

- 版社, 1996. 75-78.
- [28] Kleiner D. The transport of NH_3 and HN_4^+ across biological membranes[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1981, **639**(1): 41-52.
- [29] Siobhan Fennessy M, Cronk J K, Mitsch W J. Macrophyte productivity and community development in created freshwater wetlands under experimental hydrological conditions [J]. *Ecological Engineering*, 1994, **3**(4): 469-484.
- [30] 王圣瑞, 金相灿, 崔哲, 等. 沉水植物对水-沉积物界面各形态氮含量的影响[J]. *环境化学*, 2006, **25**(5): 533-538.
- [31] 刘伟龙, 胡维平, 谷孝鸿. 太湖马来眼子菜 (*Potamogeton malaianus*) 生物量变化及影响因素[J]. *生态学报*, 2007, **27**(8): 3324-3333.
- [32] 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.
- [33] 雷泽湘, 徐德兰, 顾继光, 等. 太湖大型水生植物分布特征及其对湖泊营养盐的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27**(2): 698-704.
- [34] Landrum P F, Gedeon M L, Burton G A, *et al.* Biological responses of *Lumbriculus variegatus* exposed to fluoranthene-spiked sediment [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, **42**(3): 292-302.
- [35] 沈李东, 郑平, 胡宝兰. 自然生态系统中的厌氧氨氧化[J]. *生态学报*, 2011, **31**(15): 4447-4454.
- [36] Barko J W, Gunnison D, Carpenter S R. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics[J]. *Aquatic Botany*, 1991, **41**(1-3): 41-65.
- [37] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M. *Myriophyllum spicatum*-released allelopathic polyphenols inhibiting growth of blue-green algae *Microcystis aeruginosa* [J]. *Water Research*, 2000, **34**(11): 3026-3032.
- [38] 胡陈艳, 葛芳杰, 张胜花, 等. 马来眼子菜体内抑藻物质分离及常见脂肪酸抑藻效应[J]. *湖泊科学*, 2010, **22**(4): 569-576.
- [39] 朱梦圆, 朱广伟, 王永平. 太湖蓝藻水华衰亡对沉积物氮、磷释放的影响[J]. *环境科学*, 2011, **32**(2): 409-415.

CONTENTS

| | |
|---|--|
| Aerosol Optical Properties During Different Air-Pollution Episodes over Beijing | SHI Chan-zhen, YU Xing-na, ZHOU Bin, <i>et al.</i> (4139) |
| Characteristics and Source Analysis of Atmospheric Aerosol Ions over the Bohai Sea and the North Yellow Sea in Autumn | ZHANG Yan, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (4146) |
| Spatial Distribution Characteristics of Carbonaceous Aerosol During Summer in Beibu Gulf Zone, China | YANG Yi-hong, TAO Jun, GAO Jian, <i>et al.</i> (4152) |
| Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Greenhouse Gas by an Improved FTIR | XIA Ling-jun, LIU Li-xin, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (4159) |
| Distribution of CH ₄ in the Suburb of Changsha City, China | LIU Lu-ning, WANG Ying-hong, XU Xiao-juan, <i>et al.</i> (4165) |
| Chemical Composition of <i>n</i> -Alkanes in Wheat Straw and Smoke | LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (4171) |
| Degradation of the Absorbed Methyl Mercaptan by Persulfate in Alkaline Solution | YANG Shi-ying, WANG Lei-lei, FENG Lin-yu, <i>et al.</i> (4178) |
| Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from the Full Process of Sewage Sludge Composting and Land Application of Compost | ZHONG Jia, WEI Yuan-song, ZHAO Zhen-feng, <i>et al.</i> (4186) |
| Distribution and Physicochemical Properties of Aquatic Colloids in the Yangtze Estuarine and Coastal Ecosystem | GU Li-jun, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4195) |
| Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Estuaries Surface Sediments from the Haihe River Basin | LÜ Shu-cong, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing, <i>et al.</i> (4204) |
| Distribution of Perfluorooctanesulfonate and Perfluorooctanoate in Water and the Sediment in Fenhe River, Shanxi Province | Higashiguchi Tomohiro, SHI Jiang-hong, ZHANG Hui, <i>et al.</i> (4211) |
| Analysis on Nitrogen and Phosphorus Loading of Non-point Sources in Shiqiao River Watershed Based on L-THIA Model | LI Kai, ZENG Fan-tang, FANG Huai-yang, <i>et al.</i> (4218) |
| Pollutant Source Apportionment of Combined Sewer Overflows Using Chemical Mass Balance Method | DAI Mei-hong, LI Tian, ZHANG Wei (4226) |
| Simulated Study of Algal Fatty Acid Degradation in Hypoxia Seawater-Sediment Interface Along China Coastal Area | SUI Wei-wei, DING Hai-bing, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4231) |
| Influence of Two Different Species of Aquatic Plant Communities on the Concentration of Various Nitrogen Forms in Sediment of Lake Taihu | MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (4240) |
| Study on Removal Rule of Endosulfan in Surface Flow Constructed Wetland | QIN Jing, GAO Fu-wei, XIE Hui-jun (4251) |
| Accumulation and Transformation of Different Arsenic Species in Nonaxenic <i>Dunaliella salina</i> | WANG Ya, ZHANG Chun-hua, WANG Shu, <i>et al.</i> (4257) |
| Evaluation of <i>in situ</i> Capping with Lanthanum-Modified Zeolite to Control Phosphate and Ammonium Release from Sediments in Heavily Polluted River | LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui (4266) |
| Effects of Invertebrate Bioturbation on Vertical Hydraulic Conductivity of Streambed for a River | REN Chao-liang, SONG Jin-xi, YANG Xiao-gang, <i>et al.</i> (4275) |
| Formation of Disinfection By-products by <i>Microcystis aeruginosa</i> Intracellular Organic Matter; Comparison Between Chlorination and Bromination | TIAN Chuan, GUO Ting-ting, LIU Rui-ping, <i>et al.</i> (4282) |
| Effect of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency and Characterization of the Floes Formed | XU Lei, YU Wen-zheng, LIANG Liang, <i>et al.</i> (4290) |
| DOM Membrane Fouling and Effects on Rejection Behaviors of NF Membranes | FENG Gui-zhen, DONG Bing-zhi (4295) |
| Removal of Hg in Wastewater by Zero-Valent Iron | ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, QIU Xin-kai, <i>et al.</i> (4304) |
| Catalytic Dechlorination of 2,4-D in Aqueous Solution by Fe ₃ O ₄ -Stabilized Nanoscale Pd/Fe | ZHOU Hong-yi, LIANG Si, ZENG Si-si, <i>et al.</i> (4311) |
| Comparative Study on Adsorption Behaviors of Natural Organic Matter by Powered Activated Carbons with Different Particle Sizes | LI Zheng-jian, SHI Bao-you, WANG Dong-sheng (4319) |
| Removal of Nitrate from Aqueous Solution Using Cetylpyridinium Chloride (CPC)-Modified Activated Carbon as the Adsorbent | ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4325) |
| Adsorption Properties of Modified Graphene for Methylene Blue Removal from Wastewater | WU Yan, LUO Han-jin, WANG Hou, <i>et al.</i> (4333) |
| Application of Classical Isothermal Adsorption Models in Heavy Metal Ions/Diatomite System and Related Problems | ZHU Jian, WU Qing-ding, WANG Ping, <i>et al.</i> (4341) |
| Effects of Nitrate on Anoxic/Anaerobic Oxidation of Methane in the Aged Refuse | LIU Yan-yan, LONG Yan, YIN Hua, <i>et al.</i> (4349) |
| Study on the Biotransformation of Sulfate and Ammonia in Anaerobic Conditions | ZHANG Li, HUANG Yong, YUAN Yi, <i>et al.</i> (4356) |
| Characteristics of Sulfate Reduction-Ammonia Oxidation Reaction | YUAN Yi, HUANG Yong, LI Xiang, <i>et al.</i> (4362) |
| Analysis of Hydrogen-production Performance in a UASB System at Low pH | ZHAO Jian-hui, ZHANG Bai-hui, LI Ning, <i>et al.</i> (4370) |
| Preparation of Red Mud Loaded Co Catalysts; Optimization Using Response Surface Methodology (RSM) and Activity Evaluation | LI Hua-nan, XU Bing-bing, QI Fei, <i>et al.</i> (4376) |
| Toxic Effects of High Concentrations of Ammonia on <i>Euglena gracilis</i> | LIU Yan, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (4386) |
| Influence of Image Process on Fractal Morphology Characterization of NAPLs Vertical Fingering Flow | LI Hui-ying, DU Xiao-ming, YANG Bin, <i>et al.</i> (4392) |
| Changing Characteristics of Organic Matter and pH of Cultivated Soils in Zhejiang Province over the Last 50 Years | ZHANG Ming-kui, CHANG Yue-chang (4399) |
| Study on Selenium Contents of Typical Selenium-rich Soil in the Middle Area of Zhejiang and Its Influencing Factors | HUANG Chun-lei, SONG Ming-yi, WEI Ying-chun (4405) |
| Spatial Distribution Characteristics of Fe and Mn Contents in the New-born Coastal Marshes in the Yellow River Estuary | SUN Wen-guang, GAN Zhuo-ting, SUN Zhi-gao, <i>et al.</i> (4411) |
| Level, Composition and Sources of Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soils from Chongming Island | SUN Yang-zhao, WANG Xue-tong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4420) |
| Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides in Soil from Daiyun Mountain Range in Fujian, China | QU Cheng-kai, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (4427) |
| Levels of PCDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Soils Near E-Waste Dismantling Sites | SHAO Ke, YIN Wen-hua, ZHU Guo-hua, <i>et al.</i> (4434) |
| Chemical Form Changes of Exogenous Water Solution Fluoride and Bioavailability in Tea Garden Soil | CAI Hui-mei, PENG Chuan-yi, CHEN Jing, <i>et al.</i> (4440) |
| Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Vegetation Restoration of Different Types of Coal Mine Spoil Banks | ZHAO Ren-xin, GUO Wei, FU Rui-ying, <i>et al.</i> (4447) |
| Effects of the Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Environmental Phytoremediation in Coal Mine Areas | LI Shao-peng, BI Yin-li, KONG Wei-ping, <i>et al.</i> (4455) |
| Preliminary Analysis of Manganese Uptake Mechanism in the Hyperaccumulator <i>Phytolacca americana</i> L. | XU Xiang-hua, LI Ren-ying, LIU Cui-ying, <i>et al.</i> (4460) |
| Research on the Bioaccessibility of HgS by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1 | CHEN Yan, WANG Hui, SI You-bin (4466) |
| Study on IEUBK Model Localization Based on Behavior Parameters of Children from Southwestern China | JIANG Bao, CUI Xiao-yong (4473) |
| Sorption and Desorption Characteristics of Different Structures of Organic Phosphorus onto Aluminum (Oxyhydr)Oxides | LIU Fei, ZHANG Yan-yi, YAN Yu-peng, <i>et al.</i> (4482) |
| Study on the Occurrence of Ferrum in Coal by Ultrasound-assisted Sequential Chemical Extraction | XIONG Jin-yu, LI Han-xu, DONG Zhong-bing, <i>et al.</i> (4490) |
| A Review of Uptake, Translocation and Phytotoxicity of Engineered Nanoparticles in Plants | YANG Xin-ping, ZHAO Fang-Jie (4495) |

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年11月15日 34卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 11 Nov. 15, 2013

| | | | | |
|---------|--|------------------|----|---|
| 主 管 | 中国科学院 | Superintended | by | Chinese Academy of Sciences |
| 主 办 | 中国科学院生态环境研究中心 | Sponsored | by | Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences |
| 协 办 | (以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院 | Co-Sponsored | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University |
| 主 编 | 欧阳自远 | Editor-in -Chief | | OUYANG Zi-yuan |
| 编 辑 | 《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn | Edited | by | The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版 | 科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717 | Published | by | Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China |
| 印 刷 装 订 | 北京北林印刷厂 | Printed | by | Beijing Bei Lin Printing House |
| 发 行 | 科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com | Distributed | by | Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com |
| 订 购 处 | 全国各地邮电局 | Domestic | | All Local Post Offices in China |
| 国外总发行 | 中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱) | Foreign | | China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China |

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行