

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化 祁建华, 武丽娟, 高冬梅, 金川 (801)

基于重庆本地碳成分谱的 PM_{2.5} 碳组分来源分析 张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)

重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)

基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析 王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)

基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)

典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析 徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)

火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究 王占山, 潘丽波 (853)

国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性 楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)

稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)

河口湿地近地面大气 CO₂ 浓度日变化和季节变化 张林海, 仝川, 曾从盛 (879)

三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量 李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)

施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH₄、N₂O 和 NH₃ 排放特征 万合锋, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)

干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响 张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究 吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)

汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析 王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)

基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究 陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)

三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征 李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)

黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析 于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)

太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素 揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)

黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系 董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)

纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究 杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)

铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究 唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)

磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响 张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)

预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响 赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)

陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行 付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)

冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征 黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)

烷基多苷促进污泥水解产酸的研究 陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)

高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响 操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)

兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价 李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)

珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价 郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)

海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价 李飞, 徐敏 (1035)

再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险 吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)

瓦埠湖流域庄集镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估 李如忠, 邹阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)

三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评估 张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)

基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评估 陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)

干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究 薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)

缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入 孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)

三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)

黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)

天然林土壤有机碳及矿化特征研究 杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)

不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化 张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)

硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响 杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)

6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应 山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)

基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究 张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)

人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究 吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)

农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)

中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态 宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)

苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析 周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)

UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响 刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)

Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响 张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)

对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究 宋彩霞, 邓新平, 厉阆, 肖伟 (1176)

克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用 刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)

铅元素人为循环环境释放物形态分析 梁静, 毛建素 (1191)

污染排放与环境质量关系模型构建与应用 李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)

微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展 闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)

《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)

太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素

揣小明^{1,2}, 杨柳燕^{2*}, 程书波¹, 陈小锋², 穆云松³

(1. 河南理工大学应急管理学院, 安全与应急管理研究中心, 焦作 454000; 2. 南京大学环境学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210046; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要: 为了探索我国南北方湖泊沉积物对磷吸附特征的差异性, 选取太湖和呼伦湖为研究对象, 通过室内模拟实验, 研究我国南北方典型代表湖泊沉积物对磷的吸附特征及其影响因素. 结果表明: ① 太湖和呼伦湖沉积物对磷的最大吸附量分别为 1 428.57 mg·kg⁻¹ 和 56.81 mg·kg⁻¹, 前者对磷吸附容量远远高于后者, 对上覆水体中磷削减发挥更重要的作用; ② 与呼伦湖相比, 太湖沉积物颗粒直径更小, 比表面积更大, 其对磷吸附能力更强; ③ 两个湖泊沉积物磷吸附平衡时对磷的吸附量与 Al、Fe、Mn 总含量呈正相关关系 ($P < 0.05$), 与活性 Al、Fe、Si、Mn 呈显著正相关 ($P < 0.01$), 与 Si 元素含量呈显著负相关 ($P < 0.01$), 故 Al、Fe、Mn 总含量相对较高、Si 含量相对较低的太湖沉积物对磷的吸附能力更强; ④ 随着上覆水 pH 值的上升, 两个湖泊沉积物对磷吸附能力均呈现下降的趋势, 且 pH 上升对太湖沉积物磷吸附行为影响更大, 因此, 沉积物特性和上覆水 pH 值影响湖泊水体磷行为.

关键词: 太湖; 呼伦湖; 沉积物; 磷; 吸附; pH

中图分类号: X131.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0951-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.03.019

Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun

CHUAI Xiao-ming^{1,2}, YANG Liu-yan², CHENG Shu-bo¹, CHEN Xiao-feng², MU Yun-song³

(1. Safety and Emergency Management Research Center, Emergency Management School, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210046, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China)

Abstract: Lake Taihu and Lake Hulun in southern and northern China were selected for the investigation of differences in the characteristics and influencing factors of phosphorus (P) adsorption on the sediments of these two lakes by laboratory simulation experiment. The results showed that: ① The P adsorption capacity of sediment in Lake Taihu was much higher than that in Lake Hulun, and the maximum adsorption capability for the sediments in these two lakes was 1 428.57 mg·kg⁻¹ and 56.81 mg·kg⁻¹, respectively; ② Compared with the sediments in Lake Hulun, the particle diameters from sediments in Lake Taihu were much smaller, and their specific surface areas were much larger, so their P adsorption capacity were much higher; ③ The equilibrium adsorbed amounts in these two lakes were correlated with the total amounts of Al, Fe, Mn ($P < 0.05$) and significantly correlated to the contents of active Al, Fe, Si, Mn ($P < 0.01$). However, there was significant negative correlation between the equilibrium adsorbed amounts and total Si contents for the sediments in these two lakes ($P < 0.01$); ④ The P adsorption capacity decreased as pH values in the overlying water increased, and the increase of pH values affected the adsorption behavior of phosphorus on the sediments in Lake Taihu much more obviously. Therefore, the characteristics of sediments and the variations of pH values in the overlying water affected the adsorption behavior of P on sediments in lake water body.

Key words: Lake Taihu; Lake Hulun; sediment; phosphorus; adsorption; pH

磷(P)是水生物生长所必需的营养元素,也被认为是控制湖泊富营养化的重要营养元素^[1-4]. 有研究表明,湖泊水-沉积物界面发生的P吸附-解吸行为影响其上覆水体中磷生物地球化学循环^[4-9]. 国内外学者针对湖泊水-沉积物界面氮(N)、P吸附-解吸方面进行了大量研究,主要集中在吸附等温线、吸附动力学和吸附热力学参数等方面^[10-21]. 然而,对于我国南北方湖泊沉积物磷吸附特征及其影响因素的对比研究还相对较少.

太湖和呼伦湖是我国南北方大型浅水富营养化

湖泊,近年来这两个湖泊的营养盐(N、P)含量一直处于很高的水平^[4, 22-25],而导致湖泊富营养化的成因众多. 其中,沉积物内源释放是一个重要的原因. 沉积物对N、P吸附-解吸行为显著影响沉积物对其

收稿日期: 2013-07-25; 修订日期: 2013-10-18

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07106-001-02, 2012ZX07101-006); 国家自然科学基金项目(41001119); 河南省教育厅项目(2013-QN-027); 河南理工大学博士基金项目(B2012-008)

作者简介: 揣小明(1982~),男,博士,讲师,主要研究方向湖泊生态学, E-mail: chuaixm@hpu.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: yangly@nju.edu.cn

的释放. 有研究表明, 沉积物特性显著影响沉积物对营养盐 N、P 的吸附-解吸过程, 进而影响其在水-沉积物的迁移转化过程^[12,13,15, 18,19]. 因此, 本文选取太湖和呼伦湖为研究对象, 对比分析两个湖泊沉积物对磷吸附特征的异同, 探讨两个湖泊沉积物磷吸附特征的影响因素, 以期为更好地理解营养物磷在不同水-沉积物界面的生物地球化学过程提供重要的理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况及样品采集

太湖 (48°30'40" ~ 49°20'40"N, 117°00'10" ~ 117°41'40"E) 位于江苏省南部, 是我国的第三大淡水湖, 面积为 2 338 km², 平均水深 1.89 m, 具有供水、防洪、抗旱、旅游、养殖、航运等多种功能^[24]. 随着社会经济的不断发展, 太湖已经由 20 世纪 80 年代的中营养水平转变为目前的富营养或重度富营养化水平, 特别是近年来太湖蓝藻水华的频发引起了国内外学者广泛关注^[4, 22, 24-26]. 呼伦湖 (30°56' ~ 31°34'N, 119°54' ~ 120°36'E) 位于内蒙古东北部呼伦贝尔大草原, 是我国北方第一大湖, 面积为 1 918.8 km², 平均水深 2.45 m, 对于我国北方的生态安全发挥着不容忽视的作用. 然而, 高氮磷水平使得呼伦湖自 20 世纪 80 年代开始便表现出富营养化的特征^[22,23, 27,28].

本研究分别于 2009 年 7 月和 2009 年 8 月采集太湖和呼伦湖的各 3 个位点 (见图 1), 用柱状采泥器采集沉积物柱样, 取顶部 1 cm 厚作为表层沉积物样品 (每个采样位点采集 3 个平行样品, 混合均匀). 样品采集后立即冷藏保存运回实验室. 真空冷冻干燥表层沉积物, 并置于 -80℃ 保存直至 2011 年 12 月进行模拟实验.

1.2 检测方法

1.2.1 湖泊上覆水指标的检测方法

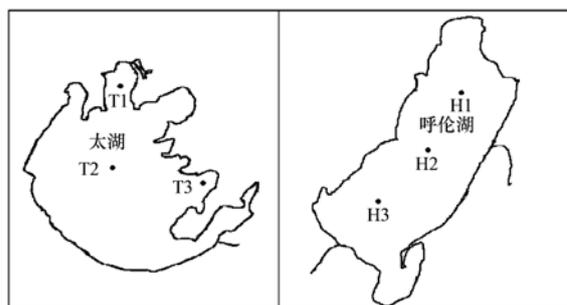


图 1 太湖和呼伦湖采样位点分布

Fig. 1 Sampling sites of Lake Taihu and Lake Hulun

湖泊上覆水的浊度、电导率、pH 和溶解氧 (DO) 指标利用多功能水质分析仪 YSI6600V2 现场检测获得; 塞氏深度利用塞氏圆盘现场测得; 利用 1L 采水器在水下 50 cm 处采集 100 mL 的水样, 酸化利用保温箱冷藏保存并运回实验室 (其中, 呼伦湖水样通过空运运回污染控制与资源化研究国家重点实验室, 太湖水样就近运送到南京地理与湖泊研究所野外工作站), 分别检测总磷 (TP)、溶解态总磷 (TDP)、溶解态无机磷 (DIP) 和叶绿素 a (Chl-a) 含量, 其中, 过硫酸钾消解后采用 Shimadzu UV 2450 分光光度计利用钼蓝比色法测定 TP 和 TDP 的含量 (测定 TDP 时, 消解前先将水样通过 0.45 μm 混合纤维滤膜过滤处理), 通过 0.45 μm 混合纤维滤膜过滤后, 利用钼蓝比色法检测水样中 DIP 含量 (如果 DIP 含量过低, 将过滤后的水样送中国科学院南京地理与湖泊研究所通过流动注射分析仪进行检测), Chl-a 含量采用 UV-Vis 分光光度计进行检测, 具体分析测试方法参照文献 [4], 具体检测结果见表 1.

1.2.2 沉积物相关指标的检测方法

利用 S-3400N II 扫描电子显微镜 (SEM) 进行沉积物的表面分析; 沉积物中总磷 (TP)、总铝 (Total-Al)、总铁 (Total-Fe)、总硅 (Total-Si) 和总

表 1 太湖和呼伦湖采样点位置及状况

Table 1 Location and status of sampling sites in Lake Taihu and Lake Hulun

编号	GPS 位点	上覆水									
		TP /mg·L ⁻¹	TDP /mg·L ⁻¹	DIP /mg·L ⁻¹	Chl-a /μg·L ⁻¹	SD /m	浊度 /NTU	EC g·L ⁻¹	pH	DO /mg·L ⁻¹	
T1	N31°27'07", E120°10'30"	0.35	0.12	0.061	21.8	0.27	34.1	0.53	7.23	8.5	
T2	N31°19'34", E120°09'19"	0.31	0.13	0.024	15.2	0.28	35.6	0.47	7.53	8.9	
T3	N31°03'37", E120°28'13"	0.09	0.05	0.003	1.7	0.58	0.5	0.45	8.94	8.6	
H1	N49°16'10.91", E117°36'23.83"	0.39	0.13	0.080	15.5	0.27	209.2	2.99	8.95	8.0	
H2	N48°58'46.99", E117°26'6.79"	0.41	0.13	0.036	10.7	0.23	85.3	3.15	9.07	8.5	
H3	N48°46'55.78", E117°15'49.98"	0.36	0.11	0.013	14.3	0.31	88.2	3.25	9.02	10.6	

锰 (Total-Mn) 采用 ARL 9800X 荧光检测仪进行分析; 沉积物用酸性草酸铵溶液浸提^[29]后, 活性铝 (Active-Al)、活性铁 (Active-Fe)、活性硅 (Active-Si) 和活性锰 (Active-Mn) 采用美国

Perkin-Elmer 公司 SCIEX ELAN9000 电感耦合等离子体质谱仪进行检测; 沉积物中的有机质含量采用土壤有机质测定方法 (GB 9834-88). 具体检测结果见表 2.

表 2 太湖和呼伦湖沉积物的理化性质

Table 2 Physicochemical properties of sediments in Lake Taihu and Lake Hulun

项目	T1	T2	T3	H1	H2	H3
TP/mg·g ⁻¹	0.524	0.475	0.808	0.305	0.206	0.218
Total-Al/mg·g ⁻¹	92.04	78.42	69.55	64.80	58.39	57.60
Total-Fe/mg·g ⁻¹	39.73	34.46	23.85	8.26	6.93	6.72
Total-Si/mg·g ⁻¹	296.75	305.53	317.77	356.72	361.90	363.25
Total-Mn/mg·g ⁻¹	0.67	0.57	0.39	0.23	0.18	0.16
Active-Al/mg·g ⁻¹	0.729	1.270	0.931	0.054	0.055	0.058
Active-Fe/mg·g ⁻¹	7.321	7.361	7.737	0.253	0.278	0.282
Active-Si/mg·g ⁻¹	0.588	0.540	0.446	0.031	0.040	0.046
Active-Mn/mg·g ⁻¹	0.612	0.543	0.359	0.026	0.022	0.019
有机质/%	0.36	1.36	2.73	0.04	0.04	0.05

1.3 室内模拟实验

1.3.1 吸附动力学实验

将滤过湖水配置的 1.0 mg·L⁻¹ 磷溶液 150 mL 装入 250 mL 锥形瓶中, 调节 pH 至 8.0 左右, 加入 0.2 g 沉积物干样, 于 (25 ± 0.5) °C 在恒温水浴振荡器上振荡, 并于 0.5、1、1.5、2.5、3.5、6、9、12、24 和 48 h 采集 5 mL 水样, 利用 0.45 μm 混合纤维滤膜过滤后, 采用钼蓝比色法测定磷含量^[4]. 每个实验做 3 个平行样, 相对标准偏差小于 5%.

1.3.2 等温吸附平衡实验

称取一系列 0.2 g 的悬浮沉积物干样于 50 mL 康宁离心管中, 加入 25 mL 浓度分别为 0、0.2、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0、10.0、15.0 和 20.0 mg·L⁻¹ 的 KH₂PO₄ 溶液, 于 (25 ± 0.5) °C 振荡 48 h 后, 以 4 000 r·min⁻¹ 的转速离心, 将上清液用 0.45 μm 混合纤维滤膜过滤后测定其磷含量.

1.3.3 pH 影响实验

配制 1.0 mg·L⁻¹ 含磷湖水, 利用 1 mol·L⁻¹ 盐酸或 NaOH 溶液调节 pH 值分别为 4、5、6、7、8、9 和 10 的含磷湖水, 分装至 50 mL 康宁离心管后进行吸

附实验, 实验方法同 1.3.2 节.

1.4 数据处理方法

1.4.1 吸附量计算

在 t 时刻, 沉积物对磷吸附量 Q (mg·kg⁻¹) 按下式进行计算^[30]:

$$Q = (c_0 - c_t) \times V/W \quad (1)$$

式中, V 为加入离心管中溶液的体积, L; c_0 为初始浓度, mg·L⁻¹; c_t 为 t 时刻的磷浓度, mg·L⁻¹; W 为沉积物的重量, kg.

1.4.2 等温吸附动力学曲线

有研究表明, 可以利用 Langmuir 吸附等温曲线方程来计算沉积物对磷的吸附-解吸平衡浓度^[10, 31], 具体计算方程如下:

$$c/Q = c/Q_{\max} + K/Q_{\max} \quad (2)$$

式中, c 为平衡浓度, mg·L⁻¹; Q 为吸附量, mg·kg⁻¹; K 为吸附强度, Q_{\max} 为最大吸附量, mg·kg⁻¹.

将太湖和呼伦湖不同位点的各参数数值分别代入式 (2), 其相关性均达到了显著的水平 (R^2 为 0.890 7 ~ 0.999 4), 表明可以用该方程来表征这两个湖泊沉积物对磷的吸附特征, 计算结果见表 3.

表 3 湖泊沉积物对磷吸附等温曲线方程参数

Table 3 Parameters of the phosphate adsorption isotherm equation of lake sediments

参数	T1	T2	T3	H1	H2	H3
Q_{\max}	1 428.57	454.55	833.33	52.08	55.56	56.81
K	17.00	5.68	9.42	0.33	0.35	0.34
R^2	0.890 7	0.947 7	0.971 5	0.999 4	0.999 2	0.999 3

1.4.3 数据分析方法

采用 Sigmpilot 10.0 拟合等温吸附动力学方程, 并绘制吸附特征曲线和吸附动力学曲线. 利用 SPSS 17.0 软件分析各采样位点沉积物化学组成 (包括 Total-Al、Total-Fe、Total-Si、Total-Mn、Active-Al、Active-Fe、Active-Si、Active-Mn 和有机质含量) 与不同初始磷浓度下的最大吸附量之间的相关性关系.

2 结果与讨论

2.1 太湖和呼伦湖沉积物磷吸附动力学

太湖和呼伦湖沉积物对磷吸附动力学曲线见图 2. 研究表明, 两个湖泊沉积物对磷吸附均为复合动力学过程^[10]: ① 两个湖泊沉积物对磷快吸附过程. 呼伦湖沉积物对磷快吸附过程基本在 1 h 内完成, 平均吸附速率为 $10.03 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$; 太湖沉积物对磷快吸附在 9 ~ 12 h 之内完成, 平均吸附速率为 $12.58 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$, 这与王圣瑞等^[10]的研究结论相一致. 可见, 呼伦湖沉积物对磷快吸附的完成周期比太湖短, 而太湖沉积物对磷吸附速率比呼伦湖要快; ② 两个湖泊沉积物对磷慢吸附过程. 呼伦湖慢吸附过程完成的吸附量为总吸附量的 33.08% ~ 35.88%, 平均吸附速率为 $0.21 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$, 太湖慢吸附过程完成的吸附量为吸附总量的 20.1% ~ 36.7%, 平均吸附速率为 $0.96 \text{ mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{h})^{-1}$, 故慢吸附过程中太湖沉积物对磷吸附速率比呼伦湖要快. 因此, 与太湖沉积物对磷吸附行为相比较, 呼伦湖沉积物对磷吸附在较短的时间内完成, 且吸附速率相对较低.

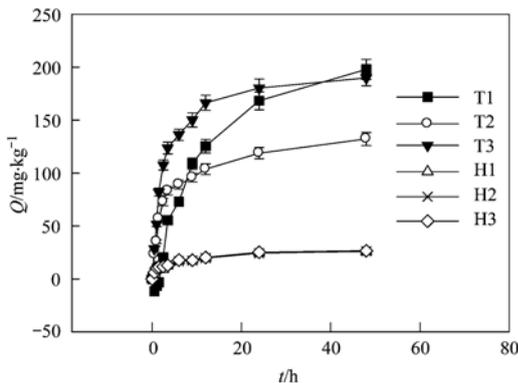


图 2 太湖和呼伦湖沉积物的磷吸附动力学曲线

Fig. 2 Kinetic curves of phosphorus adsorption on the sediment in Lake Taihu and Lake Hulun

2.2 太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附等温线

沉积物特性影响两个湖泊沉积物对磷吸附行

为. 由图 3 可以看出, 太湖和呼伦湖沉积物对磷吸附特征显著不同, 主要表现在以下两个方面: 一方面, 相同条件下, 太湖沉积物对磷最大吸附量 (Q_{\max}) 远远大于呼伦湖沉积物的 Q_{\max} . 其主要原因有 3 个: 一是太湖沉积物比呼伦湖沉积物更细, 比表面积更大, 接触吸附的位点多 (详见 2.3 节), 故其对磷吸附量也更大; 二是太湖沉积物中活性铁、铝等含量更高, 这在一定程度上增加了其与 PO_4^{3-} 结合的几率; 三是太湖沉积物上覆水 pH 相对较低, 低 pH 条件下, 沉积物对磷吸附能力较强 (详见 2.3 节). 另一方面, 太湖沉积物的最大吸附量呈现显著的空间差异性, 而呼伦湖沉积物磷吸附特性的空间差异性不显著 ($P > 0.05$). 这可能与两个湖泊的气候、水文、地质和营养盐 N、P 的分布情况有关^[22].

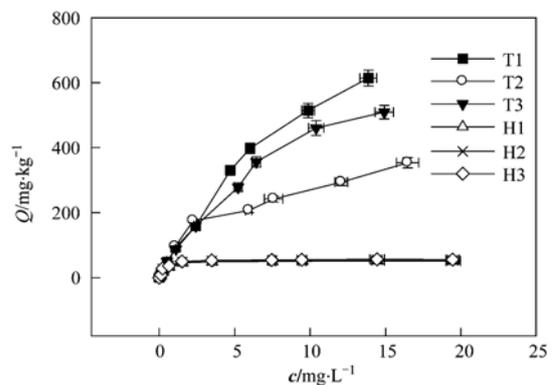


图 3 太湖和呼伦湖沉积物对磷吸附等温曲线

Fig. 3 Phosphate adsorption isotherm curves of sediment in Lake Taihu and Lake Hulun

综上, 太湖沉积物对磷吸附能力比呼伦湖沉积物更强, 这表明颗粒直径相对小、比表面积较大、Fe、Al 等元素含量相对较高和 Si 含量相对较低的南方湖泊沉积物对磷吸附容纳能力比北方湖泊更强. 在湖泊生态系统中, 沉积物既是容纳磷的一个重要的库, 同时也是上覆水体中磷的一个重要的“汇”^[32], 其对于削减上覆水体中磷含量发挥着极其重要的作用. 本研究结果表明, 太湖沉积物对于削减上覆水中磷含量发挥着极其重要的作用. 相反地, 呼伦湖沉积物相对较差的磷容纳吸附能力决定了其在削减上覆水体磷含量的作用相对较小, 这也是呼伦湖水体中磷含量长期处于高水平的一个重要原因.

2.3 沉积物特性对磷吸附特征的影响

沉积物的表面特征显著地影响其自身对磷的吸附能力^[15,33]. SEM 分析表明, 太湖沉积物组成颗粒直径小, 在干燥的条件下容易结团 (见图 4), 比表面

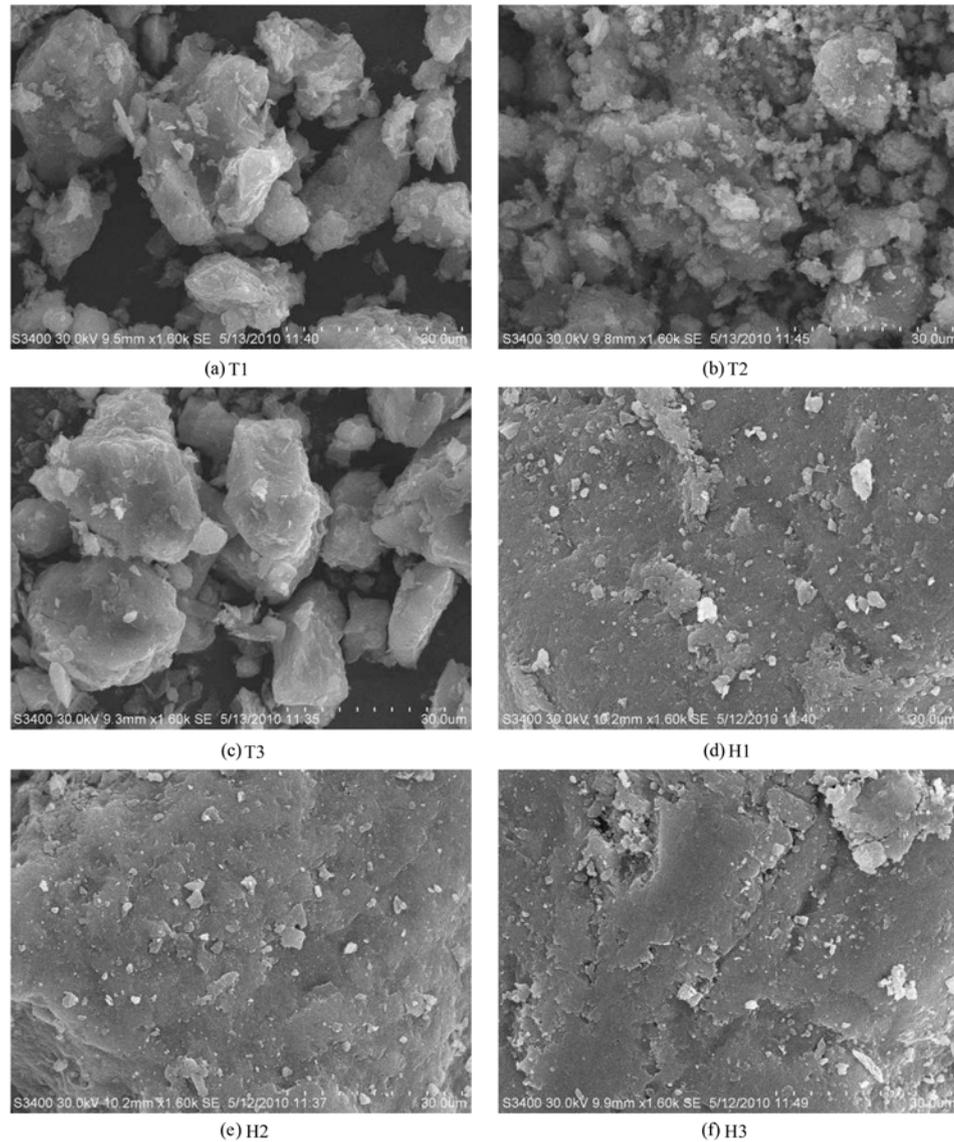


图4 太湖和呼伦湖沉积物 SEM 分析

Fig. 4 SEM profiles of sediments in Lake Taihu and Lake Hulun

积大,吸附的活性位点多,故其对磷的吸附能力强.如太湖梅梁湾(T1)沉积物磷最大吸附量为 $1\,428.57\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而呼伦湖沉积物组成颗粒直径大,含有大量石英石,在干燥条件下不易结团,因此,其对磷吸附能力弱,因此,呼伦湖小河口(H1)沉积物最大磷吸附量仅为 $52.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

沉积物的化学组成同样显著影响其自身对磷的吸附能力^[12, 13, 34, 35].相关性分析表明,两个湖泊沉积物吸附平衡时磷吸附量与Al、Fe、Mn总含量呈正相关关系,与总Si元素含量呈现显著负相关,与活性Al、Fe、Si、Mn呈显著正相关(见表4).因为Al、Fe等元素(特别是活性Al、Fe、Si、Mn)可以通过化学作用与P结合在一起,增强沉积物对磷化学吸附,这与Zhou等^[12]和Wang等^[34]的结论相一

致.而Si是石英砂的主要成分,Si含量越多,沉积物中石英砂含量越高,沉积物表面越光滑,比表面积越小,接触吸附的活性位点越少,导致沉积物对磷吸附能力相对较弱.呼伦湖沉积物中石英砂含量相对较高,其对磷吸附主要为物理吸附,故磷吸附能力相对较差,如呼伦湖沉积物对磷最大吸附量仅为 $56.81\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.而太湖沉积物中的石英砂含量相对较低,Al、Fe等元素含量相对较高,对磷吸附表现为物理吸附、化学吸附和复合吸附,故太湖沉积物对磷吸附能力更强,T2采样点(太湖沉积物吸附能力最小位点)的最大吸附量为 $454.55\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.也高于呼伦湖沉积物对磷最大吸附量.

2.4 pH值对磷吸附特征的影响

上覆水酸碱度也会影响沉积物对磷吸附行

表 4 沉积物化学组成与最大磷吸附量的相关关系¹⁾

Table 4 Correlation relationship between phosphorus adsorption capacity and chemical compositions of sediments

	Total-Al	Total-Fe	Total-Si	Total-Mn	Active-Al	Active-Fe	Active-Si	Active-Mn	有机质
0.2 mg·L ⁻¹	0.953 **	0.965 **	-0.921 **	0.975 **	0.767	0.800	0.904 *	0.952 **	0.214
0.5 mg·L ⁻¹	0.834 *	0.924 **	-0.961 **	0.888 *	0.875 *	0.985 **	0.972 **	0.938 **	0.696
1.0 mg·L ⁻¹	0.818 *	0.890 *	-0.932 **	0.854 *	0.816 *	0.961 **	0.941 **	0.903 *	0.688
2.0 mg·L ⁻¹	0.810	0.887 *	-0.931 **	0.849 *	0.823 *	0.964 **	0.940 **	0.901 *	0.702
4.0 mg·L ⁻¹	0.836 *	0.904 *	-0.942 **	0.870 *	0.819 *	0.962 **	0.949 **	0.916 *	0.667
8.0 mg·L ⁻¹	0.837 *	0.898 *	-0.935 **	0.865 *	0.800	0.952 **	0.941 **	0.908 *	0.653
10.0 mg·L ⁻¹	0.839 *	0.897 *	-0.934 **	0.865 *	0.796	0.950 **	0.939 **	0.907 *	0.649
15.0 mg·L ⁻¹	0.833 *	0.887 *	-0.925 *	0.855 *	0.781	0.943 **	0.930 **	0.897 *	0.647
20.0 mg·L ⁻¹	0.836 *	0.892 *	-0.929 **	0.859 *	0.789	0.947 **	0.934 **	0.902 *	0.649

1) * 代表 $P < 0.01$ 水平上显著相关; * 代表 $P < 0.05$ 水平上显著相关

为^[11, 12]. 实验表明,随着 pH 增加,两个湖泊沉积物对磷吸附量总体呈现逐渐减小的趋势(如图 5). 主要原因如下:① 酸性条件有利于活性铁、铝的释放^[12, 17],活性铁、铝释放后在溶液中形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶体,有利于其对磷的吸附;② 酸性条件下,活性铁、铝释放后与磷酸根结合生成 AlPO_4 和 FePO_4 沉淀,有利于沉积物对磷的吸附. 野外调研数据表明,太湖沉积物各采样位点上覆水 pH 变化范围为 7.23 ~ 8.94 之间,呼伦湖沉积物各采样位点上覆水 pH 变化范围为 8.95 ~ 9.07 之间(见表 1),两个湖泊湖水的天然 pH 值不利于沉积物对磷的吸附.

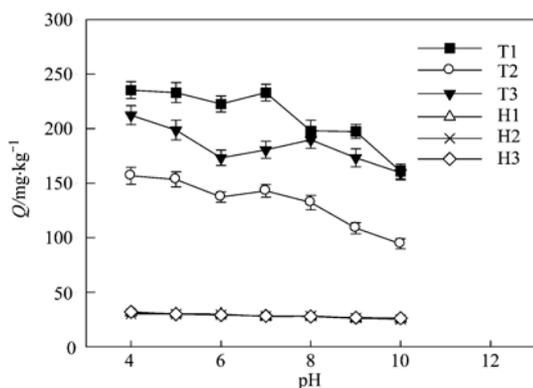


图 5 pH 对太湖和呼伦湖沉积物磷吸附过程的影响

Fig. 5 Effects of pH values on the phosphorus adsorption of sediments in Lake Taihu and Lake Hulun

相比较而言,太湖沉积物对磷的吸附行为受上覆水 pH 值的影响更大,分析其原因是呼伦湖沉积物中石英砂含量相对较高,其对磷的吸附中物理吸附所占的比例较大,物理吸附受 pH 值的影响相对较少. 相反地,太湖沉积物中 Al、Fe 等含量相对较高,其对磷的化学吸附所占的比例相对较高,化学吸附受 pH 影响相对较大,故上覆水的 pH 值变化对太湖沉积物磷吸附行为的影响更大.

3 结论

(1) 与呼伦湖(北方代表湖泊)相比,太湖(南方代表湖泊)沉积物对磷吸附能力更强,吸附速率更高,且其吸附能力的空间差异性更显著.

(2) 沉积物表面特征和化学组成显著影响其对磷吸附能力. 与呼伦湖相比,比表面积更大,Al、Fe 等元素含量更高,Si 含量更低的太湖沉积物对磷吸附能力更强,故其对削减水体中磷含量发挥的作用更大.

(3) 上覆水 pH 的变化影响沉积物对磷的吸附-解吸过程. 随着上覆水 pH 值的升高,两个湖泊沉积物对磷的吸附能力呈现下降的趋势,且 pH 值升高使得太湖沉积物对磷吸附能力下降得更快.

参考文献:

- [1] Smith V H. Responses of estuarine and coastal marine phytoplankton to nitrogen and phosphorus enrichment [J]. *Limnology and Oceanography*, 2006, **51**(1): 377-384.
- [2] Schlusser J, Baker L A, Chester-Jones H. Whole-system phosphorus balances as a practical tool for lake management [J]. *Ecological Engineering*, 2007, **29**(3): 294-304.
- [3] Toothman B R, Cahoon L B, Mallin M A. Phosphorus and carbohydrate limitation of fecal coliform and fecal enterococcus within tidal creek sediments [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **636**(1): 401-412.
- [4] Chuai X M, Ding W, Chen X F, et al. Phosphorus release from cyanobacterial blooms in Meiliang Bay of Lake Taihu, China [J]. *Ecological Engineering*, 2011, **37**(6): 842-849.
- [5] Hu W P, Jorgensen S E, Zhang F B. A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China [J]. *Ecological Modelling*, 2006, **190**(3-4): 367-398.
- [6] Rodrigues M, Oliveira A, Queiroga H, et al. Three-dimensional modeling of the lower trophic levels in the Ria de Aveiro (Portugal) [J]. *Ecological Modelling*, 2009, **220**(9-10): 1274-1290.
- [7] Huang L D, Qiu W, Xu X F, et al. Opposite response of

- phosphorus sorption to pH and ionic strength: a comparative study in two different shallow lake sediments [J]. *Chemistry and Ecology*, 2013, **29**(6): 519-528.
- [8] Li Z J, Yue Q Y, Gao B Y, *et al.* Phosphorus release potential and pollution characteristics of sediment in downstream Nansi Lake, China [J]. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 2012, **6**(2): 162-170.
- [9] Dong L M, Yang Z F, Liu X H. Phosphorus fractions, sorption characteristics, and its release in the sediments of Baiyangdian Lake, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, **179**(1-4): 335-345.
- [10] 王圣瑞, 金相灿, 庞燕. 湖泊沉积物对磷的吸附特征及其吸附热力学参数[J]. *地理研究*, 2006, **25**(1): 19-26.
- [11] 张斌亮, 张昱, 杨敏, 等. 长江中下游平原三个湖泊表层沉积物对磷的吸附特征[J]. *环境科学学报*, 2004, **24**(4): 595-600.
- [12] Zhou A M, Tang H X, Wang D S. Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition [J]. *Water Research*, 2005, **39**(7): 1245-1254.
- [13] Li T, Wang D S, Zhang B, *et al.* Characterization of the phosphate adsorption and morphology of sediment particles under simulative disturbing conditions [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, **137**(3): 1624-1630.
- [14] Jin X D, He Y L, Kirumba G, *et al.* Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics of the sediment in the Yangtze River estuary reservoir [J]. *Ecological Engineering*, 2013, **55**(6): 62-66.
- [15] Fang H W, Chen M H, Chen Z H, *et al.* Effects of sediment particle morphology on adsorption of phosphorus elements [J]. *International Journal of Sediment Research*, 2013, **28**(2): 246-253.
- [16] 何宗健, 刘文斌, 王圣瑞, 等. 洱海表层沉积物吸附磷特征[J]. *环境科学研究*, 2011, **24**(11): 1242-1248.
- [17] 王振华, 王圣瑞, 刘元英, 等. Fe 和 Al 对湖泊沉积物中磷赋存形态的影响 [J]. *环境科学研究*, 2012, **25**(5): 556-562.
- [18] 王而力, 王嗣淇. 西辽河沉积物有机组分对磷的吸附影响[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(4): 687-694.
- [19] 王而力, 王嗣淇. 西辽河不同粒级沉积物对磷的吸附特征[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(6): 1054-1061.
- [20] 姜霞, 王秋娟, 王书航, 等. 太湖沉积物氮磷吸附/解吸特征分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(5): 1285-1291.
- [21] 李大鹏, 王晶, 黄勇. 反复扰动下磷在沉积物和悬浮物以及上覆水间的交换[J]. *环境科学*, 2013, **34**(6): 2191-2197.
- [22] Chuai X M, Chen X F, Yang L Y, *et al.* Effects of climatic changes and anthropogenic activities on lake eutrophication in different ecoregions [J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2012, **9**(3): 503-514.
- [23] Chen X F, Chuai X M, Yang L Y, *et al.* Climatic warming and overgrazing induced the high concentration of organic matter in Lake Hulun, a large shallow eutrophic steppe lake in northern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2012, **431**: 332-338.
- [24] Qin B Q, Xu P Z, Wu Q L, *et al.* Environmental issues of Lake Taihu, China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **581**(1): 3-14.
- [25] Zhu G. W, Qin B Q, Gao G. Effects of hydrodynamics on phosphorus concentrations in water of Lake Taihu, a large, shallow, eutrophic lake of China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **581**(1): 53-61.
- [26] Guo L. Doing battle with the green monster of Taihu lake [J]. *Science*, 2007, **317**(5842): 1166.
- [27] 韩向红, 杨持. 呼伦湖自净功能及其在区域环境保护中的作用分析[J]. *自然资源学报*, 2002, **17**(6): 684-690.
- [28] 李志刚, 张志波, 姜凤元, 等. 呼伦湖志(续志二)[M]. 海拉尔: 内蒙古文化出版社, 2008.
- [29] Martinez C M, Marcos M L F, Rodriguez E A. Factors influencing phosphorus adsorption in mine soils in Calicia, Spain [J]. *Science of the Total Environment*, 1996, **180**(2): 137-145.
- [30] Yenkie M K N, Natarajan G S. Adsorption equilibrium studies of some aqueous aromatic pollutants on granule activated carbon samples [J]. *Science and Technology*, 1991, **26**(5): 661-674.
- [31] 高超, 张桃林, 吴蔚东. 不同利用方式下农田土壤对磷的吸附与解吸特征[J]. *环境科学*, 2001, **22**(4): 67-72.
- [32] 范成新, 周易勇, 吴庆龙, 等. 湖泊沉积物界面过程与效应[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [33] Lin C J, Lo S L. Effects of iron surface pretreatment on sorption and reduction kinetics of trichloroethylene in a closed batch system [J]. *Water Research*, 2005, **39**(6): 1037-1046.
- [34] Wang S R, Jin X C, Pan Y, *et al.* Phosphorus fractions and phosphate sorption characteristics in relation to the sediment compositions of shallow lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River region, China [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, **289**(2): 339-346.
- [35] 张宪伟, 潘纲, 王晓丽, 等. 内蒙古段黄河沉积物对磷的吸附特征研究[J]. *环境科学*, 2009, **30**(1): 172-177.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron: Debromination Kinetics and Pathway	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangnu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Xiong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《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)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

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