

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.10
第40卷 第10期

目次

京津冀区域重污染期间 PM_{2.5}垂直分布及输送 肖致美, 徐虹, 李鹏, 唐遵, 陈魁, 杨宁, 郑乃源, 杨文, 邓小文 (4303)

肇庆市一次典型污染天气的污染物来源解析 常树诚, 廖程浩, 曾武涛, 杨柳林, 俞绍才, 陈雪, 郑剑平 (4310)

聊城市冬季 PM_{2.5}中水溶性化合物的昼夜变化特征及来源解析 衣雅男, 侯战方, 孟静静, 燕丽, 王心培, 刘晓迪, 伏梦璇, 魏本杰 (4319)

沈阳市国三和国四排放标准不同车型柴油车 PM_{2.5}和 PM₁₀排放因子及碳组分源谱 赵雪艳, 王静, 祝胜男, 卞思思, 张宇, 王歆华, 殷宝辉, 杨文, 白志鹏 (4330)

城市生活垃圾露天焚烧排放 PM_{2.5}中重金属污染特征及其暴露健康风险 程轲, 季婉婉, 郝炜伟, 王艳, 易鹏, 支国瑞, 张佳羽, 张洋, 张诗澜 (4337)

某工业城市大气颗粒物中 PAHs 的粒径分布及人体呼吸系统暴露评估 王娟, 郭观林, 秦宁, 侯荣, 杨敏, 康艺瑾, 段小丽 (4345)

南京城市大气氨-铵的高频演化及其气粒转化机制 邵生成, 常运华, 曹芳, 林煜棋, 范美益, 谢锋, 洪一航, 章炎麟 (4355)

广州地区大气棕色碳气溶胶吸收特性 李铸杰, 谭浩波, 郑军 (4364)

郑州市春季大气挥发性有机物污染特征及源解析 张翼翔, 尹沙沙, 袁明浩, 张瑞芹, 张猛, 于世杰, 李一丹 (4372)

基于原料类型及末端治理的典型溶剂使用源 VOCs 排放系数 梁小明, 陈来国, 孙西勃, 赵伟, 卢清, 孙家仁, 陈朋龙, 叶代启 (4382)

北京市典型溶剂使用行业 VOCs 成分谱 方莉, 刘明文, 陈丹妮, 李国昊, 王迪, 邵霞, 聂磊 (4395)

民用固体燃料源的 IVOCs 排放特征及燃烧温度的影响 卢雅静, 冯艳丽, 钱哲, 韩勇, 陈颖军 (4404)

利用地面观测资料和 AIRS 卫星资料评估 MACC 再分析臭氧数据中国地区的适用性 王闰芳, 马晓丹, 赵天良, 王红磊, 丁涵, 郑小波 (4412)

镁铝水滑石衍生复合氧化物的 COS 水解性能 魏征, 张鑫, 张凤莲, 蒋国霞, 张雨萌, 周化兵, 郝郑平, 解强 (4423)

长江源区大气降水化学特征及离子来源 汪少勇, 何晓波, 吴锦奎, 丁永建, 胡召富, 王利辉, 杨贵森 (4431)

连续极端降雨对东江流域水质影响分析 车蕊, 林澍, 范中亚, 李文静, 曾凡棠, 毛本健, 石雷, 黄志伟 (4440)

基于湖泊与出入湖水水质关联性研究:以鄱阳湖为例 黄冬凌, 倪兆奎, 赵爽, 张波涛, 冯明雷, 陈宏文, 李晓秀, 王圣瑞 (4450)

金泽水库上游来水及库区水质变化时空分布特征 刘明坤, 童俊, 胡波, 朱慧峰, 白晓慧 (4461)

太湖不同介质电导率时空变化特征 王瑞, 代丹, 张弛, 邓义祥, 何成达, 于涛 (4469)

大型浅水湖泊磷模型参数不确定性及敏感性分析 施媛媛, 李一平, 程月, 程一鑫 (4478)

基于 MODIS 影像的洪泽湖水生植被覆盖时空变化特征及影响因素分析 李娜, 施坤, 张运林, 龚志军, 查勇, 张毅博 (4487)

草型湖区沉积物营养盐分布与污染评价 张杰, 汪院生, 郭西亚, 朱金格, 邓建才 (4497)

太湖草型湖区沉积物中生物易降解物质组成与分布规律 祁闻, 方家琪, 张利民, 司泽君, 黄和笑, 王卓森, 李翔, 王磊, 王国祥 (4505)

淀山湖浮游动物群落时空分布特征及其与环境因子的关系 杜彩丽, 杨丽, 赵诣, 吴晓敏, 徐慕, 王丽卿, 张玮 (4513)

岩溶区不同土地利用地下水碳同位素地球化学特征及生态意义 任坤, 潘晓东, 曾浩, 焦友军, 彭聪, 梁嘉鹏 (4523)

岩溶地下水化学对城镇化进程的时序响应 杨应增, 何守阳, 吴攀, 吴起鑫, 韩志伟, 罗维 (4532)

巴中北部岩溶山区地下水化学特征及演化分析 唐金平, 张强, 胡漾, 邵江, 何文君, 张宇 (4543)

δ-MnO₂/沸石纳米复合材料同时去除地下水中的铁锰氨氮 马文婕, 陈天虎, 陈冬, 刘海波, 程鹏, 张泽鑫, 陶琼, 张玉珠 (4553)

不同香蒲预处理方式对水平潜流人工湿地脱氮的强化效果 熊家晴, 卢学斌, 郑于聪, 王晓昌 (4562)

不同控制策略下短程硝化启动及运行工况优化 刘安迪, 赵凯亮, 刘宏, 黄利, 倪蓉, 陈永志 (4569)

启动三级 PN/A 颗粒污泥反应器处理高浓度氨氮废水 吉晓庆, 齐泽坤, 钱飞跃, 沈耀良, 王建芳 (4578)

聚丙烯环生物滴滤塔去除实际市政污水厂硫化氢性能及微生物群落分析 孙事昊, 贾沛沛, 陈凯琦, 彭永臻, 张亮 (4585)

典型工业区土壤多环芳烃污染特征及影响因素 冉宗信, 陈靖宇, 王亚婷, 邢智, 魏威, 余江 (4594)

5 种典型有机磷酸酯在水-土壤界面吸附特征及影响因素 何明靖, 杨志豪, 魏世强 (4604)

Cu²⁺ 和 Pb²⁺ 在 BS-12 两性修饰膨润土上的吸附及其交互作用 卜帅宾, 孟昭福, Sambath Yek, 张梦飞, 王腾, 任爽, 张凌恺 (4611)

滇东南峰丛洼地土壤重金属含量、来源及潜在生态风险评价 洪涛, 孔祥胜, 岳祥飞 (4620)

贵州罗甸北部喀斯特地区耕地土壤镉含量特征与风险评价 唐启琳, 刘秀明, 刘方, 汪花, 王世杰 (4628)

渝西地区镉轻度污染稻田安全利用技术 李娜, 贺红周, 冯爱煊, 李伟, 蒋珍茂, 魏世强 (4637)

不同作物对土壤中 Cd 的富集特征及低累积品种筛选 陈小华, 沈根祥, 白玉杰, 郭春霞, 钱晓雍, 顾海蓉, 胡双庆, 赵庆节, 王振旗, 付侃 (4647)

小麦和水稻对纳米硒的吸收和转运 王雅琦, 朱丽娜, 李奎, 王琪, 王康, 郭岩彬, 李花粉 (4654)

微塑料对小麦生长及生理生化特性的影响 廖苑辰, 娜孜依古丽·加合甫别克, 李梅, 王晓琳, 蒋丽娟 (4661)

药渣生物炭基质联合麦饭石对土壤-黑麦草体系的调控与机制 肖亮亮, 丁园 (4668)

磺胺甲噁唑污染土壤中微生物群落结构与抗生素抗性基因的分布特征 张海丰, 史明明, 孙艳梅, 程首涛, 高浩泽, 王旭明 (4678)

生活垃圾渗滤液处理过程中抗生素抗性基因的变化特征 黄福义, 周曙仝聃, 颜一军, 苏建强, 朱永官, 张炯 (4685)

有机肥施用量对土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响 邵慧芸, 李紫玥, 刘丹, 李熠凡, 鲁璐, 王旭东, 张阿凤, 王彦丽 (4691)

灌水和生物炭施用对水稻土呼吸温度敏感性的影响 周鹏, 祁乐, 牛海东, 王子芳, 高明 (4700)

柑橘/大蒜盖套作下土壤 CO₂ 排放及其效率对秸秆还田量的响应 游璟, 倪九派, 黄容, 张洋, 谢德体 (4708)

增温及秸秆施用对豆-麦轮作土壤微生物量碳氮及细菌群落结构的影响 张婷婷, 陈书涛, 王君, 王朝辉, 胡正华 (4718)

O₃ 胁迫下冬小麦总初级生产力的损耗模拟 徐静馨, 郑有飞, 王圣, 王立稳, 赵秀勇, 麦博儒 (4725)

2000~2015 年中国地级市化肥使用量的时空变化特征 潘晓东, 李品, 冯兆忠, 段昌群 (4733)

《环境科学》征订启事 (4394) 《环境科学》征稿简则 (4449) 信息 (4584, 4593, 4653)

太湖不同介质电导率时空变化特征

王瑞¹, 代丹^{2,3}, 张弛¹, 邓义祥², 何成达¹, 于涛^{1*}

(1. 扬州大学环境科学与工程学院, 扬州 225127; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 3. 北京师范大学水科学学院, 北京 100875)

摘要: 电导率是表征水体溶解性固体物质或盐度的重要参数, 也是水体常规监测参数之一。为揭示太湖不同介质电导率的时空变化特征, 对太湖水体水质历史数据(1980~2009年)以及近10年来野外监测数据(2009~2018年)进行统计分析。结果表明, 近40年来太湖水体电导率呈显著上升趋势, 并在1996~1997年发生突变。太湖水体电导率由1980~1996年的 $(239.43 \pm 70.60) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 增长到目前的 $(477.31 \pm 23.47) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, 年均增长率 $10.40 \mu\text{S}\cdot(\text{cm}\cdot\text{a})^{-1}$; 空间上, 西北湖区水体电导率显著高于东南湖区; 水体电导率变化以主要离子变化为主导, 氮营养盐的贡献基本可忽略; 流域人类活动是引起水体电导率变化的主要因素。此外, 太湖水体电导率受季节性径流的影响更为显著。与湖水电导率变化规律相比, 西北湖区表层沉积物、孔隙水(0~10 cm)电导率均低于东南湖区, 深层(>10 cm)则相反。剖面上, 西北湖区表层沉积物、孔隙水(0~10 cm)电导率和深层(>10 cm)无显著差异, 但东南湖区表层沉积物、孔隙水(0~10 cm)电导率高于深层(>10 cm)。沉积物电导率与有机质呈显著正相关($P < 0.01$), 与pH呈负相关($P < 0.05$), 表明有机质对金属离子活化迁移具有明显的促进作用, 而酸性环境下更有利于离子的活化。对不同介质间电导率分析发现, 表层沉积物和孔隙水(0~10 cm)电导率均与上覆水电导率呈显著正相关($P < 0.01$), 而深层(>10 cm)沉积物及孔隙水电导率与上覆水电导率没有相关性, 表明表层沉积物和孔隙水(0~10 cm)对上覆水电导率有明显影响。此外, 整个剖面上(0~50 cm)沉积物电导率和孔隙水电导率呈显著正相关($P < 0.01$), 说明沉积物和孔隙水之间进行着比较充分的离子迁移交换, 两者之间的相互影响总体上高于对上覆水的影响。

关键词: 太湖; 电导率; 时空变化; 水体; 沉积物; 孔隙水

中图分类号: X524; X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)10-4469-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.201904194

Temporal and Spatial Variations in the Conductivity in Different Media in Taihu Lake, China

WANG Rui¹, DAI Dan^{2,3}, ZHANG Chi¹, DENG Yi-xiang², HE Cheng-da¹, YU Tao^{1*}

(1. College of Environmental Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225217, China; 2. State Key Laboratory of Environment Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Conductivity is an important parameter for characterizing dissolved solids and salinity in water, and is also one of the routinely measured parameters in water quality monitoring. To reveal temporal and spatial variations in conductivity in different media in Taihu Lake, historical data (1980-2009) were collected and field monitoring data (2009-2018) were analyzed. The results indicated that water conductivity in Taihu Lake has shown a significant increasing trend over the past 40 years and diverged in 1996-1997. Conductivity values increased from $(239.43 \pm 70.60) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ in the period 1980-1996 to $(477.31 \pm 23.47) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ in the present day, with an average annual increase of $10.40 \mu\text{S}\cdot(\text{cm}\cdot\text{a})^{-1}$. Spatially, the conductivity of water in the northwest part of the lake was significantly higher than the southeast part. These changes in conductivity are dominated by changes in major ions, and the contribution of nitrogen was essentially negligible. Human activities in the basin have been the main factors causing changes in water conductivity. In addition, conductivity is significantly affected by seasonal runoff. Compared with the water, the conductivity of the surface sediments and pore water (0-10 cm) in the northwest part of the lake were lower than in the southeast part, while this trend was opposite in the deeper sediments (>10 cm). The conductivity of the sediment and pore water were no different between surface (0-10 cm) and deeper (>10 cm) sediments in the northwest lake, while these were higher in the surface sediments in the southeast part of the lake. Sediment conductivity was positively correlated with organic matter ($P < 0.01$) and was negatively correlated with pH ($P < 0.05$). This indicated that organic matter promotes the activation and migration of metal ions, which are more activated under acidic conditions. We found that conductivity in the surface sediments and pore water (0-10 cm) were significantly positively correlated with conductivity in the overlying water ($P < 0.01$). In contrast, the conductivity of overlying water was not correlated with the conductivity of deeper sediments and pore water (>10 cm). These patterns indicated that surface sediments and pore water have a significant effect on the conductivity of overlying waters. In addition, there was a significant positive correlation between the conductivity of sediment and pore water ($P < 0.01$) within the entire sedimentary section (0-50 cm), indicating efficiency ion-exchange between the two. The interaction between sediment and pore water was generally stronger than their interaction with the overlying water.

收稿日期: 2019-04-22; 修订日期: 2019-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871079); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07301-003)

作者简介: 王瑞(1994~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境化学, E-mail: 529672247wr@sina.com

* 通信作者, E-mail: yutao0325@sina.com

Key words: Taihu Lake; conductivity; temporal and spatial variation; water; sediment; pore water

电导率是地表水体最基本的水质参数,是水体水质的重要衡量指标之一,同时也是评价水环境健康的重要参数^[1],因此是国内外水质监测中重要的监测指标.电导率可以反映水体可溶性固体的总量(total dissolved solids, TDS)^[2~4],通常用于推测水中 TDS 的含量,尤其是水体各溶解固形物数据缺失的情况下.此外,由于溶解离子的导电性,电导率也可作为水体盐度的度量指标^[5].天然淡水体电导率一般在 50 ~ 500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 之间,矿化水可达 500 ~ 1 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,海水电导率则可达 30 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 以上.在没有人为影响的情况下,天然水体的电导率主要反映流域岩石风化情况^[5].但自有人类以来,人为活动导致的次生盐渍化现象越来越严重,地表水体电导率或含盐量普遍升高,对水体生物多样性和生态服务功能产生显著影响^[6].国外研究发现氯离子持续输入引起的河流电导率升高会影响鱼类的繁殖、幼苗发育和捕食^[1,7~9].Biggs 指出^[10],电导率在某种程度上也可以反映营养盐的富集情况,且电导率和流域土地利用密切相关.Leland^[11]的研究进一步表明:流域农业活动强度能更好地解释水体电导率的变化,这与我国黄河流域的情况类似^[12].受强烈的人为活动的影响,我国大部分地表水体也面临类似的问题,例如陈静生等对黄河和松花江半个世纪水质变化趋势的研究发现:黄河水体有盐渍化趋势,松花江水体有碱化趋势^[12,13]等,其根本原因是人为活动引起的水体中各离子组分及 TDS 的升高,导致水体电导率发生显著变化,同时也使水体的物理化学特征发生变化.

湖泊水体通常对人为活动的响应更为敏感^[14].已有研究表明中国西北部湖泊存在普遍盐渍化的迹象^[15~17].目前蒙新高原湖泊湖水 TDS 平均值超过 10 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,相应地湖水电导率也超过了 20 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$,是北美五大湖区平均电导率的 84 倍^[18].有研究表明长江中下游的太湖水体离子总量和硬度也有显著升高趋势^[14].太湖作为我国的第三大淡水湖,受强烈的人为活动影响,湖水各主要离子浓度较 60 年前均呈现数倍增长^[14],湖水电导率也显著升高,从长远来看,湖水存在潜在的盐渍化风险.

目前对太湖水环境和污染物方面已经开展了大量的研究,但尚未见针对太湖电导率变化的专门研究.本文在收集太湖近 40 年来的电导率和相关历史数据基础上,同时结合近 10 年来野外观测数据、太湖水文、水化学等相关数据,分析太湖不同介质

中电导率的时空分布和变化特征,探究其变化的原因,以期预测太湖水体可能的盐渍化进程及湖泊流域的综合管理提供科研依据.

1 材料与方法

1.1 数据收集与野外采样

太湖水体电导率和水化学历史数据收集自全球水质监测系统(GEMS, 1980 ~ 1999 年)和中国生态系统定位观测与研究数据集(2000 ~ 2009 年)^[19],以及本研究多年来的现场采样监测数据(2009 ~ 2018 年).历史数据采样频率为每两月一次(1980 ~ 1989 年)或每月一次(1990 ~ 2009 年).多年现场监测数据频率为不同水期至少一次.太湖水文数据来源于太湖网的收集(<http://www.tba.gov.cn/channels/43.html>),流域污水排放量数据来自太湖流域各省市的统计年鉴.

本研究自 2015 年以来每年于枯水期(11 ~ 12 月)和丰水期(6 ~ 8 月)采集太湖不同湖区水和沉积物样品进行测试相关参数,主要采样湖区为西北湖区(I)和东南湖区(II)(图 1),太湖流域雨水主要采集于宜兴市大埔村.水样储存在 500 mL 预先处理的塑料瓶中;沉积物使用直径为 5 cm,长度为 50 cm 柱状采样器进行采集,并在现场对沉积物按每 2 cm 进行分割,分割后的沉积物分别装入聚乙烯密封袋中,低温冷藏后带回实验室进行下一步处理.

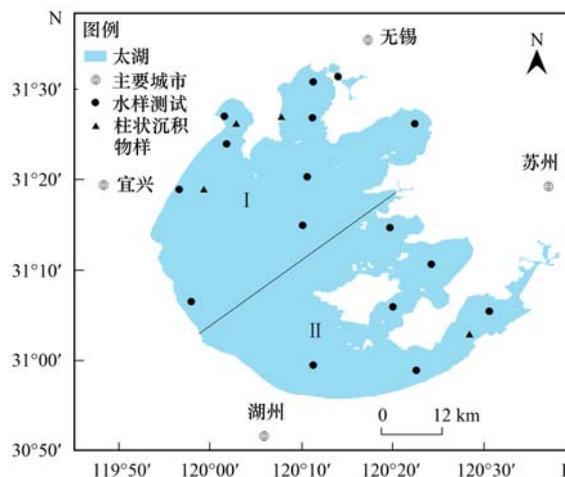


图 1 太湖采样点位示意

Fig. 1 Sampling sites in Taihu Lake

1.2 样品处理与测试分析

太湖水体电导率使用哈希(HQ30d)水质参数仪现场测试.所有水样在野外经过 0.45 μm 醋酸纤维滤膜过滤后于 4 $^{\circ}\text{C}$ 保存带回实验室对主要离子和

营养盐进行分析测试. 其中钾(K^+)、钠(Na^+)、钙(Ca^{2+})和镁(Mg^{2+})采用火焰原子吸收分光光度法(GB 11904-89, GB 11905-89), 氯(Cl^-)采用硝酸银滴定法(GB 11896-89), 硫酸根(SO_4^{2-})采用铬酸钡分光光度法(HJ/T 342-2007), 碳酸氢根(HCO_3^-)和碳酸根(CO_3^{2-})采用酸碱指示剂滴定法^[20], 氨氮(NH_4^+)采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535-2009), 硝氮(NO_3^-)采用紫外分光光度法(HJ 346-2007)测试. 所有样品均做一组平行实验, 相对误差控制在 20% 以内.

沉积物分析首先离心获取孔隙水. 将现场按 2 cm 分层的沉积物样装入 100 mL 离心管中以 8 000 $r \cdot \min^{-1}$ 离心 15 min, 取上清液测试孔隙水电导率. 离心后固体沉积物经冷冻干燥后研磨, 然后过 100 目筛子进行筛分. 筛分后的每个沉积物样准确称取 10 g 置于 100 mL 离心管中, 加入 50 mL 超纯水(沉积物: 水 = 1: 5), 混合物以 250 $r \cdot \min^{-1}$ 振荡 24 h, 之后以 8 000 $r \cdot \min^{-1}$ 离心 5 min, 取上清液测试沉积物的电导率和 pH. 沉积物有机质采用重铬酸钾氧化法(NY/T 1121. 6-2006)测定.

1.3 数据计算与处理

为了分析太湖不同水期电导率的变化, 根据太湖流域情况分为枯水期(1~2月、11~12月)、平水期(3~4月、10月)和丰水期(5~9月)分别讨论. 考虑到降雨是太湖水体径流量的重要来源, 对太湖水体离子和电导率可能存在影响, 为估算此可能的影响, 采用如下公式计算 2010~2018 年直接落入湖泊的年降雨量对太湖水体电导率的平均贡献:

$$P = \frac{(C_{rain} \cdot R_{rain} \cdot A \cdot T)}{365 \cdot V_{lake} \cdot C_{lake}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P 为由 2010~2018 年降水直接输入对太湖水体电导率的平均贡献率, C_{rain} 是 2010~2018 年降水的平均电导率($\mu S \cdot cm^{-1}$), R_{rain} 是 2010~2018 年平均降雨量(mm), 为 1 325 mm, A 是太湖水面面积($2\,338\ km^2$), T 为湖水交换周期(309 d)^[14], V_{lake} 是太湖多年平均储水量, 取 44.23 亿 m^3 , C_{lake} 是水体 2010~2018 年的平均电导率($\mu S \cdot cm^{-1}$), 为 465.17 $\mu S \cdot cm^{-1}$.

TDS 表示水体中可溶性离子总量, 是水体电导率的物质基础. 为了探讨对比主要离子和营养盐对太湖水体电导率的贡献, 本研究分别研究了包括和不包括营养盐条件下的 TDS 与电导率的关系. 其中水体中常量离子的 TDS 计算为:

$$TDS = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [K^+] + [Na^+] + [SO_4^{2-}] + [Cl^-] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \quad (2)$$

式中, 离子浓度均以毫克当量计算, 单位 $meq \cdot L^{-1}$.

本研究运用 Mann-Kendall 趋势检验和突变点分析方法研究太湖水体电导率长期变化趋势, 并用 Sen's 斜率估计法^[21] 计算水体电导率变化趋势的斜率. 运用 SPSS 19.0 对数据进行均值、标准差的计算和正态性检验. 在正态性检验的基础上选择合适的统计方法, 显著性水平选择 0.05. 运用 Arcgis 10.4 进行太湖采样点的绘制, 采用 Origin 2015 进行绘图.

2 结果与讨论

2.1 太湖水体电导率时空变化特征

太湖水体电导率近 40 年来呈显著上升趋势($P < 0.01$, 图 2), 目前水体电导率较 1980 年相比升高了 1.5 倍以上, 年平均增长率为 10.40 $\mu S \cdot (cm \cdot a)^{-1}$. 根据 Mann-Kendall 突变点分析方法, 绘制电导率正向统计量 UF 和反向统计量 UB 曲线, 并给出显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时的临界值 $Z = \pm 1.96$ (具体方法见文献[22]). 当 $UF > 0$, 表示序列呈上升趋势, 反之则呈下降趋势, 大于或小于 ± 1.96 表示上升或下降趋势明显, 趋势不变则为 0. 如图 2 所示: 从 UF 曲线可以看出, 除 1984 年以外, 1980~2018 年的 UF 值均大于 0, 表明太湖水体电导率呈现上升趋势. 其中在 1994 年突破 $\alpha = 0.05$ 的临界值区域, 说明自 1994 年, UF 的值呈现显著的上升趋势. 进一步观察 UF-UB 曲线的交点即突变点, 发现在 1996~1997 年之间发生突变, 这与太湖水体水化学, 生态系统状况的突变时间基本一致^[14]. 总体来看, 太湖水体电导率变化大致可以分为 3 个阶段. 第一阶段为 1996 年以前, 水体电导率较低, 平均值为 $(239.43 \pm 70.60) \mu S \cdot cm^{-1}$, 该阶段水体电导率增长较缓慢, 年均增长率为 11.79 $\mu S \cdot (cm \cdot a)^{-1}$, 可以认为此阶段水体电导率受人为活动影响较小. 第二阶段为 1996~2006 年, 水体电导率增长较快, 年平均增长率为 27.77 $\mu S \cdot (cm \cdot a)^{-1}$, 处于快速增长阶段. 相较于第一阶段, 该阶段水体平均电导率升高了 0.87 倍, 说明人为活动已成为水体电导率增长的主导因素. 第三阶段为 2007 年至今, 水体电导率增长缓慢, 年平均增长率为 3.76 $\mu S \cdot (cm \cdot a)^{-1}$, 并处于相对稳定阶段. 根据世界卫生组织的水质标准^[23, 24], 水体电导率超过 800 $\mu S \cdot cm^{-1}$ 就不适合作为饮用水水源. 尽管目前太湖水体电导率远未达到此阈值, 但太湖水体电导率的显著升高趋势说明, 太湖也面临潜在的盐渍化趋势, 因此太湖水体电导率的增长应该引起足够的重视.

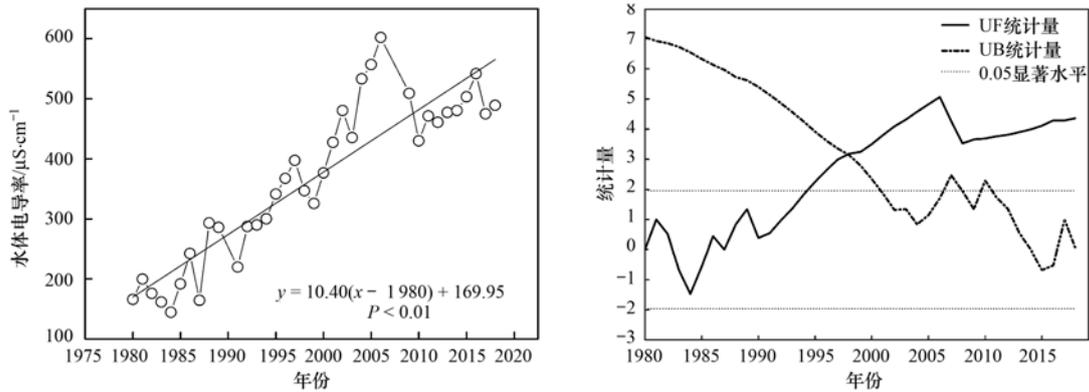


图2 太湖水体电导率长期变化趋势及其突变性分析

Fig. 2 Long-term trends and mutation analysis of the conductivity of Taihu Lake water

对太湖不同年代不同湖区水体电导率统计分析发现,西北湖区水体电导率均大于东南湖区($P < 0.01$,图3),这是由于西北湖区是主要的入流区,受外源输入影响大;而东南湖区是主要的出流区,受外源影响小^[25],导致两湖区间水体电导率有明显的差异.这在其它水质特征上也有明显的体现^[26].

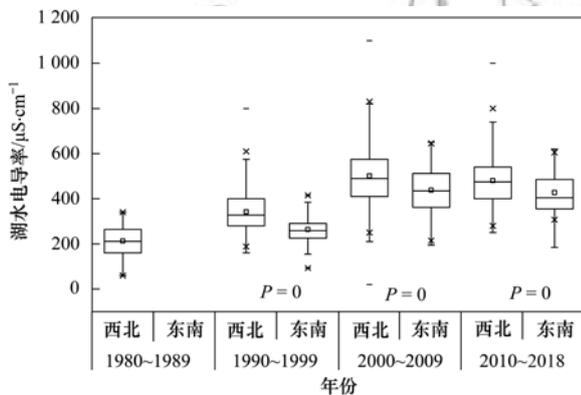


图3 太湖水体电导率时空变化统计

Fig. 3 Summary statistics for the temporal and spatial variation of conductivity of Taihu Lake water

2.2 水体电导率变化的主要影响因素

电导率作为水质的基本参数,可直接反映水体中可溶性离子总量(TDS)^[2~4].由图4可知,湖水电导率与水体中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 和 $(NH_4^+ + NO_3^-)$ 均呈显著正相关关系($P < 0.01$,图4),说明水体中这些离子含量的变化是引起电导率变化的主要原因.值得注意的是,这些离子和营养盐中 K^+ 、 Na^+ 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- 与水体电导率有更高的相关系数($R > 0.8$),而这些离子是水体盐渍化过程典型升高速率更快的离子^[14].由于太湖富营养化程度较高,其营养盐含量的升高对水体生态环境产生了显著影响,但对比氮营养盐和其它主要离子对电导率的贡献发现,在考虑氮营养盐($TDS + NH_4^+ + NO_3^-$)和不考虑的情况下

(TDS),水体TDS和电导率的长期关系(1985~2018年)基本不变(图4),说明尽管氮营养盐在太湖水体中含量较高,但对水体电导率的贡献可以忽略.因此,可以认为,太湖水体主要离子变化是电导率变化的主导因素.

对不同年代水体中各离子浓度和离子浓度占TDS的比值分析发现,近40年来湖水中各离子浓度均呈现显著的增长趋势($P < 0.05$,图5),阳离子中, Na^+ 占TDS的比值增加最为显著,而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 占TDS比值却有所降低, K^+ 占TDS比值基本不变;阴离子以 Cl^- 占TDS的比值增加最为显著, HCO_3^- 占TDS比值有所降低, SO_4^{2-} 占TDS的比值在1980~2009年显著增加,但在2010~2018年占比有所降低(图5),说明与湖水中其它离子相比,水体中 Na^+ 和 Cl^- 对电导率的贡献增加最为显著,这与太湖水体水化学特征的变化相对应^[14].同时进一步说明,这是水体盐渍化趋势的一个重要特征^[27,28].

水体中的离子根据其输入途径一般可分为外源性和内源性.其中外源性离子主要通过大气沉降、地表径流和人为排放等途径进入湖泊水体^[29,30].本研究长期监测结果表明:太湖流域雨水电导率(2010~2018年)为 $(33.61 \pm 26.86) \mu S \cdot cm^{-1}$,变化范围在 $6.03 \sim 93.3 \mu S \cdot cm^{-1}$,由公式(1)可计算大气沉降对太湖湖水电导率的贡献率仅为4.28%,说明大气沉降对水体电导率变化影响非常小.此外,水体电导率与入湖河流电导率、流域污水排放量呈显著正相关($P < 0.01$,图6),说明流域人为排放和河流径流输入是引起水体电导率变化的主要外源性因素.

对太湖不同水期电导率的变化对比分析发现,1980~1999年不同水期湖水电导率不存在显著性差异(图7),但之后的2000~2018年不同水期水体电导率存在显著性差异($P < 0.05$,图7),其中2000~2009年平水期和丰水期湖水电导率均显著

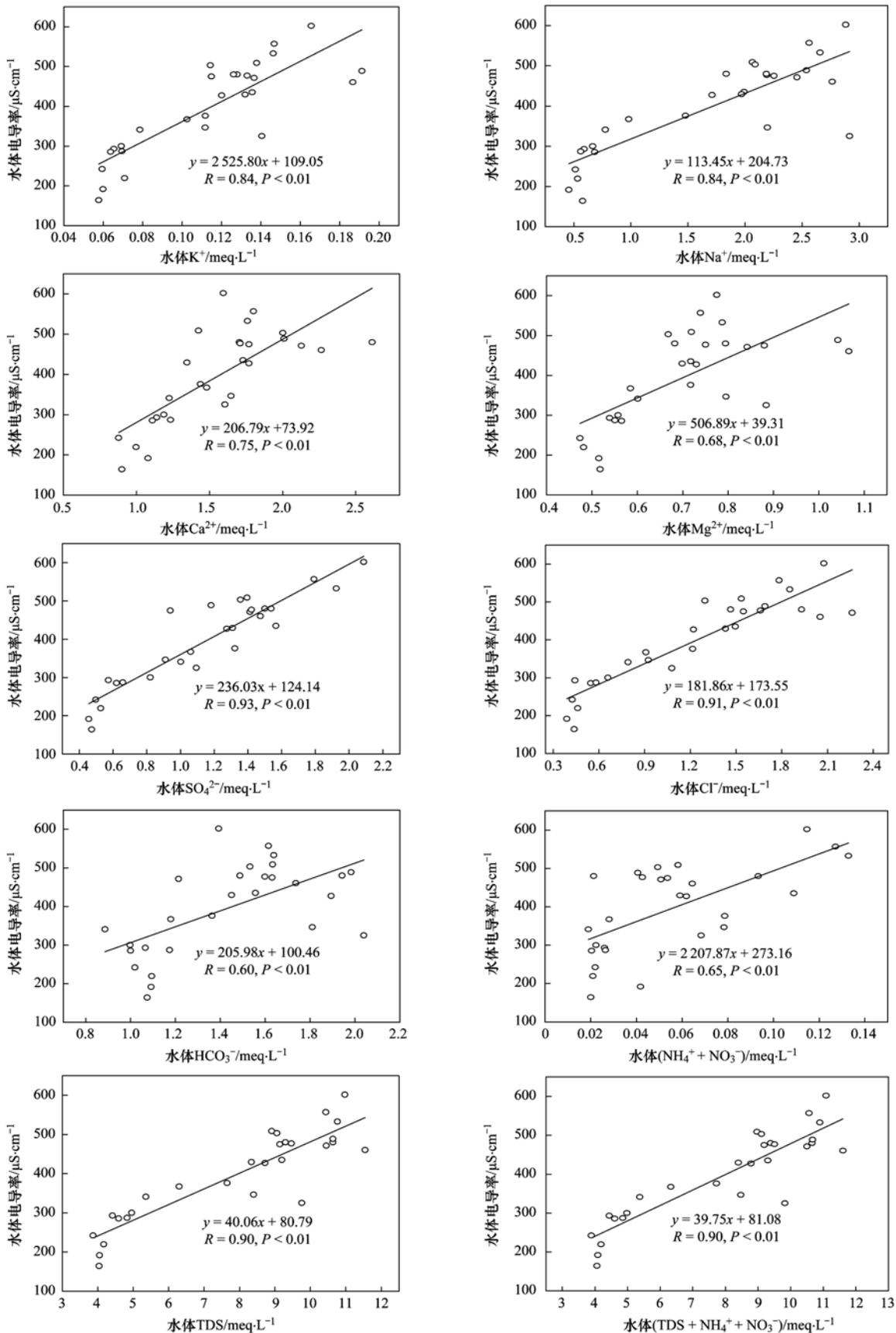


图4 水体电导率与主要离子的相关性分析(1985~2018年)

Fig. 4 Correlations between conductivity and major ions in water(1985-2018)

高于枯水期($P < 0.05$), 但平水期和丰水期湖水电导率不存在明显变化, 而2010~2018年不同水期

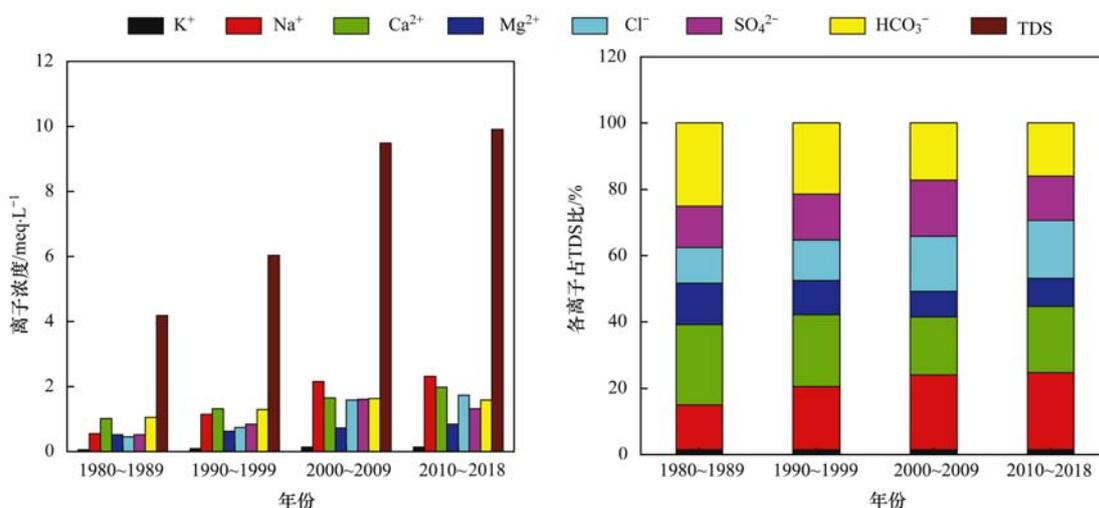


图5 不同年份各离子浓度及占比分析

Fig. 5 Analysis of major ions concentration and the proportions of major ions in the past decades

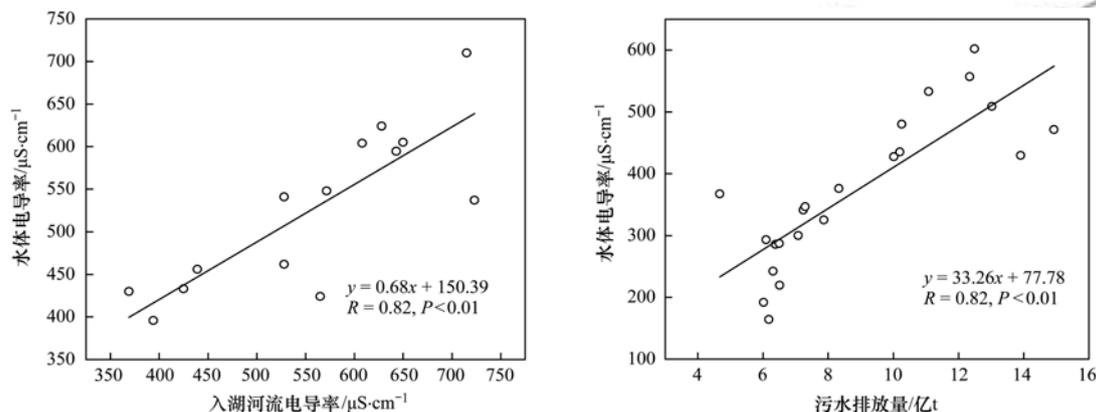


图6 水体电导率与入湖河流电导率(2013~2018年)和污水排放量(1985~2017年)相关性分析

Fig. 6 Correlations between conductivity in the incoming river (2013-2018), the amount of wastewater discharged to the basin (1985-2017), and the conductivity of the water

间湖水电导率的关系为丰水期 > 平水期 > 枯水期, 这说明 2010~2018 年湖水电导率受季节性径流输入影响更为明显。

2.3 太湖沉积物和孔隙水电导率时空变化特征和影响因素

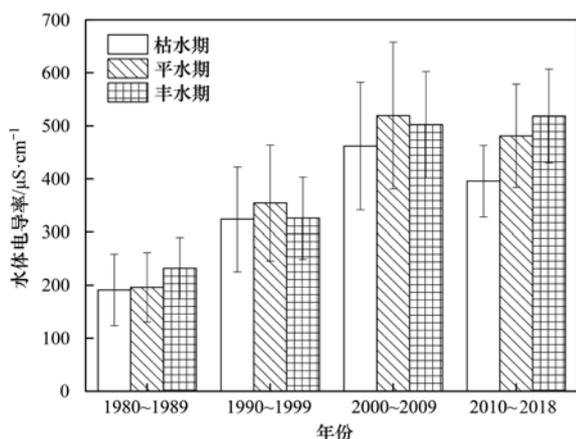


图7 不同水期太湖水体电导率变化

Fig. 7 Changes in the conductivity of lake water during different water periods

图 8(a) 为太湖不同水期和不同湖区沉积物电导率变化情况。空间上, 枯水期西北湖区表层沉积物(0~10 cm)电导率 $[(295.00 \pm 86.77) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ 显著低于东南湖区表层沉积物(0~10 cm)电导率 $[(505.00 \pm 190.38) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ [$P < 0.05$, 图 8(a)], 深层(>10 cm)则相反。剖面上, 枯水期西北湖区表层沉积物(0~10 cm)电导率与深层沉积物(>10 cm)电导率 $[(284.62 \pm 92.24) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ 无显著差异, 但东南湖区表层沉积物(0~10 cm)电导率明显高于深层沉积物(>10 cm)电导率 $[(176.10 \pm 97.96) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ [$P < 0.05$, 图 8(a)], 说明东南湖区表层沉积物(0~10 cm)更易受水体扰动。丰水期沉积物电导率空间和剖面变化规律与枯水期基本相同, 但比较不同水期沉积物电导率发现, 丰水期表层沉积物(0~10 cm)电导率均显著高于枯水期($P < 0.05$), 说明丰水期表层沉积物(0~10 cm)更易受水体扰动。

孔隙水作为沉积物和上覆水进行交换的一个重

要通道^[31], 在水体扰动的作用下, 最易表现出变化, 因此探究孔隙水电导率时空变化特征对进一步研究水-沉积物界面电导率的关系有重要意义. 图 8(b) 为太湖不同水期和不同湖区孔隙水电导率变化情况. 空间上, 枯水期西北湖区表层孔隙水(0~10 cm)电导率 $[(963.33 \pm 343.87) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ 显著低于东南湖区表层孔隙水(0~10 cm)电导率 $[(1461.00 \pm 424.60) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ [$P < 0.05$, 图 8(b)], 深层(>10 cm)则相反. 剖面上, 枯水期西北湖区表层孔隙水(0

~10 cm)电导率与深层孔隙水(>10 cm)电导率 $[(898.02 \pm 338.61) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ 无显著差异, 但东南湖区表层孔隙水(0~10 cm)电导率明显高于深层孔隙水(>10 cm)电导率 $[(742.00 \pm 385.21) \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}]$ [$P < 0.05$, 图 8(b)]. 然而对比不同水期孔隙水电导率发现, 丰水期西北湖区表层(0~10 cm)孔隙水电导率高于枯水期. 孔隙水电导率在不同水期空间和剖面变化规律与沉积物基本相同, 说明两种介质的电导率之间可能存在一定关系(具体见 2.4 节).

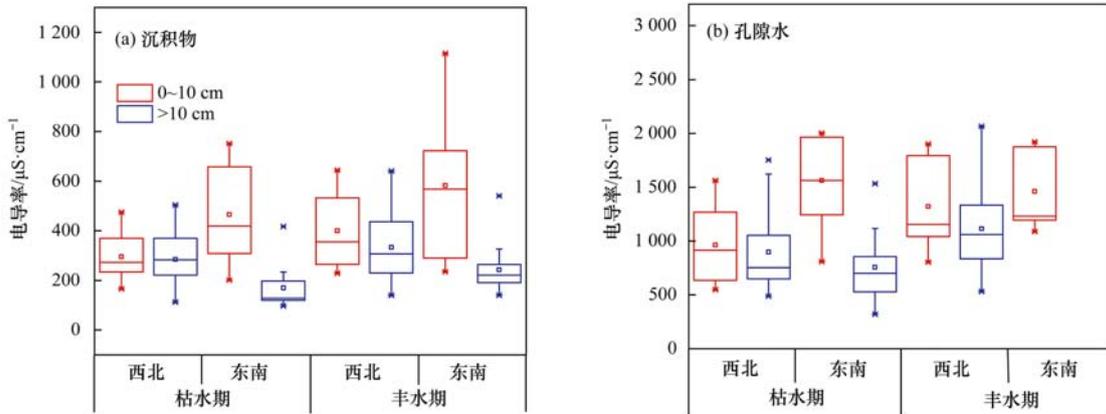


图 8 太湖沉积物和孔隙水不同湖区和水期的电导率对比

Fig. 8 Comparison of the conductivity of sediment and pore water in different lake districts and during different water periods

沉积物的电导率不仅决定于其主要离子含量, 还受沉积物理化性质的影响. 对沉积物电导率与沉积物有机质进行相关性分析发现, 沉积物电导率与有机质呈显著正相关($P < 0.01$, 图 9), 说明有机质对沉积物中的离子活化和迁移有显著促进作用. 有研究表明沉积物可以通过静电作用吸附金属离子^[32, 33], 使其能够带电荷并迁移. 沉积物电导率与其 pH 呈显著负相关($P < 0.05$, 图 9), 这是由于酸性条件更易促进金属离子的释放, 促进其迁移性.

2.4 不同介质电导率的关系

上覆水、孔隙水和沉积物中的离子在不同条件下会进行迁移交换. 一方面上覆水中的离子可通过

沉淀作用进入沉积物, 另一方面, 沉积物和孔隙水中的离子可通过扩散作用进入上覆水, 因此太湖水体各介质的电导率会通过迁移转化相互影响. 对各介质电导率之间相关性分析发现, 表层沉积物、孔隙水(0~10 cm)电导率与上覆水电导率呈显著正相关($P < 0.01$, 图 10), 并且孔隙水电导率远高于上覆水($P < 0.05$), 说明表层沉积物、孔隙水(0~10 cm)易受水力扰动释放进入上覆水中, 并导致上覆水电导率的升高. 但深层沉积物及孔隙水(>10 cm)电导率与上覆水电导率没有相关性(图 10), 说明上覆水电导率受深层孔隙水(>10 cm)影响较小. 此外, 整个剖面上(0~50 cm)沉积物电导率和

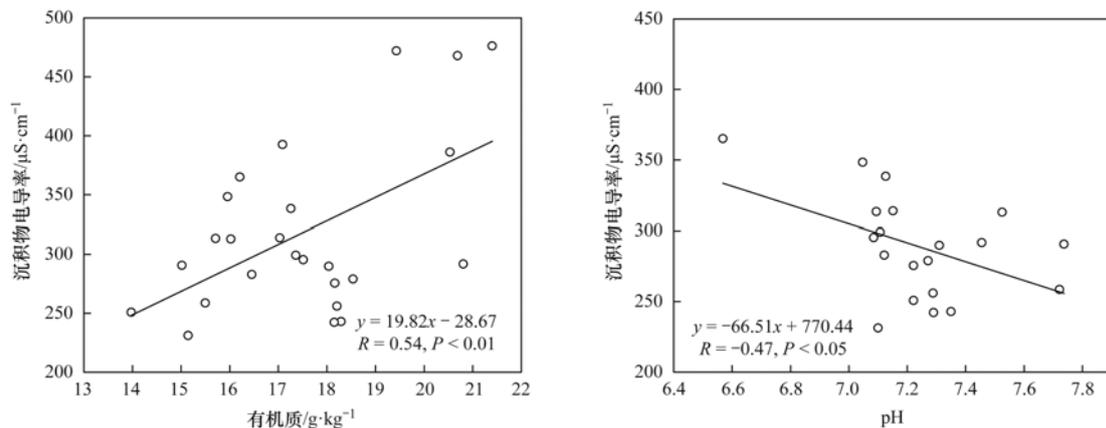


图 9 沉积物电导率与有机质、pH 的相关性分析

Fig. 9 Correlations between conductivity and the organic matter content and pH of lake sediment

孔隙水电导率呈显著正相关($P < 0.01$, 图 10), 说明沉积物和孔隙水之间进行着比较充分的离子迁移交换, 两者之间的相互影响总体上高于对上覆水的影响.

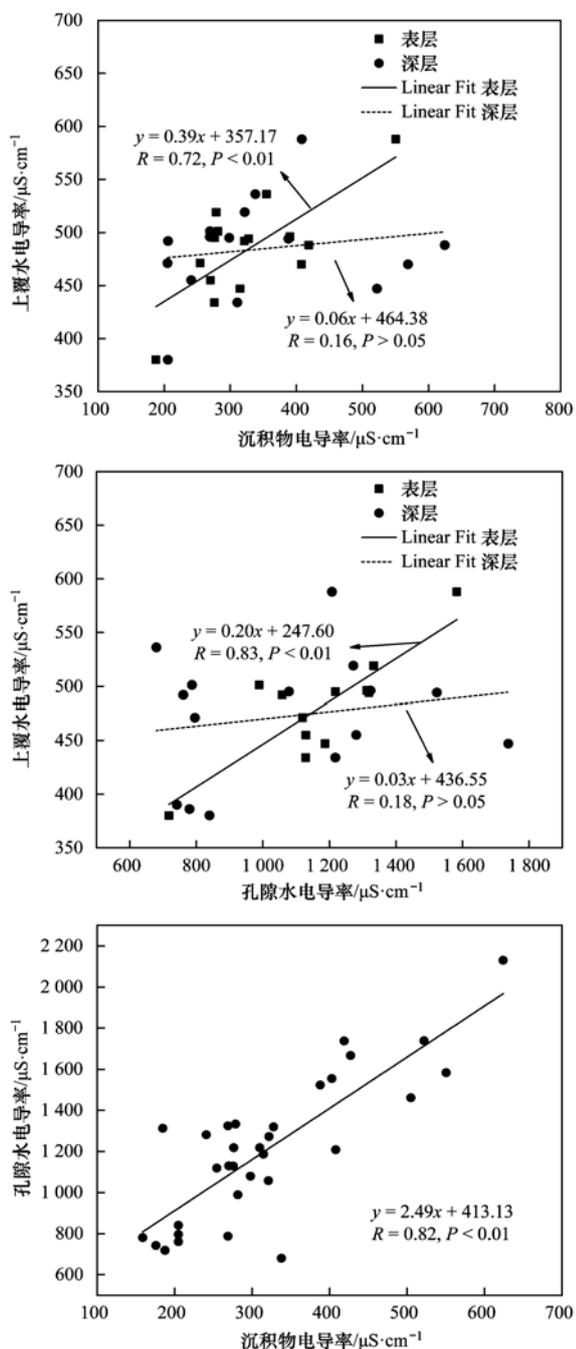


图 10 不同介质电导率相关性分析

Fig. 10 Relationship the conductivity of different media

3 结论

(1) 太湖水体电导率近 40 年来呈显著上升趋势, 并在 1996 ~ 1997 年发生突变. 总体上由 1980 ~ 1996 年的 $(239.43 \pm 70.60) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 增长到目前的 $(477.31 \pm 23.47) \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, 年均增长率为 $10.40 \mu\text{S} \cdot (\text{cm} \cdot \text{a})^{-1}$. 空间上, 西北湖区的水体电导率显著高于东南湖区. 水体电导率变化主要由水体主要

离子变化导致, 氮营养盐的影响可忽略. 流域人为排放和河流径流输入是以引起水体电导率变化的主要外源性因素, 并且水体电导率受季节性径流的影响更为显著.

(2) 孔隙水的电导率显著高于上覆水, 且西北湖区表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率低于东南湖区表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率, 深层(> 10 cm)则相反. 剖面上, 西北湖区表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率和深层(> 10 cm)无显著差异, 但东南湖区表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率高于深层(> 10 cm). 不同水期的变化显示, 丰水期表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率高于枯水期, 深层(> 10 cm)无显著差异. 理化性质对沉积物电导率有显著影响, 即沉积物电导率与有机质呈显著正相关($P < 0.01$), 与 pH 呈负相关($P < 0.05$).

(3) 太湖不同介质中的电导率存在相互影响的特征. 表层沉积物、孔隙水(0 ~ 10 cm)电导率与上覆水电导率呈现显著正相关($P < 0.01$), 但深层沉积物及孔隙水(> 10 cm)电导率与上覆水电导率没有相关性. 整个剖面上(0 ~ 50 cm)沉积物电导率和孔隙水电导率呈显著正相关($P < 0.01$).

参考文献:

- [1] Morgan II R P, Kline K M, Kline M J, et al. Stream conductivity: relationships to land use, chloride, and fishes in Maryland streams [J]. North American Journal of Fisheries Management, 2012, **32**(5): 941-952.
- [2] Rodhe W. The ionic composition of lake waters [J]. SIL Proceedings, 1922-2010, 1949, **10**(1): 377-386.
- [3] 陈静生. 河流水质原理及中国河流水质[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [4] 李娣, 李旭文, 牛志春, 等. 太湖浮游植物群落结构及其与水质指标间的关系[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(11): 1814-1820.
Li D, Li X W, Niu Z C, et al. Structure of phytoplankton community and relationship between phytoplankton community and water quality in Taihu Lake[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, **23**(11): 1814-1820.
- [5] Cañedo-Argüelles M, Kefford B J, Piscart C, et al. Salinisation of rivers: an urgent ecological issue [J]. Environmental Pollution, 2013, **173**: 157-167.
- [6] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [7] Jackson R B, Jobbágy E G. From icy roads to salty streams[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, **102**(41): 14487-14488.
- [8] Megan M H, Nash M S, Neale A C, et al. Biological integrity in mid-atlantic coastal plains headwater streams[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, **124**(1-3): 141-156.
- [9] Kelly V R, Lovett G M, Weathers K C et al. Long-term sodium chloride retention in a rural watershed: legacy effects of road salt on streamwater concentration [J]. Environmental Science &

- Technology, 2008, **42**(2): 410-415.
- [10] Biggs B J F. Patterns in benthic algae of streams [A]. In: Stevenson R J, Bothwell M L, Lowe R L (Eds.). *Algal Ecology* [M]. San Diego, California: Academic Press, 1996.
- [11] Leland H V. Distribution of phyto-benthos in the Yakima River basin, Washington, in relation to geology, land use and other environmental factors [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, **52**(5): 1108-1129.
- [12] 陈静生, 夏星辉, 张利田, 等. 长江、黄河、松花江 60—80 年代水质变化趋势与社会经济发展的关系 [J]. *环境科学学报*, 1999, **19**(5): 500-505.
Chen J S, Xia X H, Zhang L T, *et al.* Relationship between water quality changes in the Yangtze, Yellow and Songhua rivers and the economic development in the river basins [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1999, **19**(5): 500-505.
- [13] 陈静生, 夏星辉, 蔡旭始. 川贵地区长江干支流河水主要离子含量变化趋势及分析 [J]. *中国环境科学*, 1998, **18**(2): 131-135.
Chen J S, Xia X H, Cai X Y. Evolution trend and analysis of major ion contents in the mainstream and some tributaries of Yangtse River in Sichuan and Guizhou Provinces [J]. *China Environmental Science*, 1998, **18**(2): 131-135.
- [14] Yu T, Zhang Y, Wu F C, *et al.* Six-decade change in water chemistry of large freshwater Lake Taihu, China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(16): 9093-9101.
- [15] 席北斗, 张亚丽, 许秋瑾. 矿化度作为蒙新高原湖泊营养物基准影响指标的可行性 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(10): 3308-3313.
Xi B D, Zhang Y L, Xu Q J. Possibility of total dissolved solid as one of nutrient baselines in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(10): 3308-3313.
- [16] 曾海鳌, 吴敬禄. 蒙新高原湖泊水质状况及变化特征 [J]. *湖泊科学*, 2010, **22**(6): 882-887.
Zeng H A, Wu J L. Lake status of water quality and the changes in Inner Mongolia-Xinjiang Plateau [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2012, **22**(6): 882-887.
- [17] 王亚俊, 李宇安, 王彦国, 等. 20 世纪 50 年代以来博斯腾湖水盐变化及趋势 [J]. *干旱区研究*, 2005, **22**(3): 355-360.
Wang Y J, Li Y A, Wang Y G, *et al.* Study on the change of inflow and salt content of the Bosten Lake, Xinjiang since the 1950s [J]. *Arid Zone Research*, 2005, **22**(3): 355-360.
- [18] Chapra S C, Dove A, Warren G J. Long-term trends of Great Lakes major ion chemistry [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2012, **38**(3): 550-560.
- [19] 秦伯强, 胡春华. 中国生态系统定位观测与研究数据集: 湖泊湿地海湾生态系统卷 (江苏太湖站 1991-2006) [M]. (第一版). 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [20] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 120-121
- [21] Gocic M, Trajkovic S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia [J]. *Global and Planetary Change*, 2013, **100**: 172-182.
- [22] Xu D L, Cai Y, Wu X Q, *et al.* Regime shifts and resilience of the Lake Taihu social-ecological system under long-term external disturbance (1960s-2000s) [J]. *Clean-Soil, Air, Water*, 2015, **43**(4): 561-568.
- [23] MDBMC. The salinity audit of the Murray-darling basin: a 100-year perspective [M]. Canberra: Murray-Darling Basin Commission, 1999.
- [24] WHO. Guidelines for drinking water quality (4th ed.) [M]. Geneva: World Health Organization, 2011.
- [25] 朱广伟, 秦伯强, 张运林, 等. 2005-2017 年北部太湖水体叶绿素 a 和营养盐变化及影响因素 [J]. *湖泊科学*, 2018, **30**(2): 279-295.
Zhu G W, Qin B Q, Zhang Y L, *et al.* Variation and driving factors of nutrients and chlorophyll *a* concentrations in northern region of Lake Taihu, China, 2005-2017 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2018, **30**(2): 279-295.
- [26] Lei K, Han X J, Zhao J, *et al.* Characterization of metal kinetics and bioavailability using diffusive gradients in thin films technique in sediments of Taihu Lake, China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2016, **128**: 153-160.
- [27] Dugan H A, Bartlett S L, Burke S M, *et al.* Salting our freshwater lakes [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, **114**(17): 4453-4458.
- [28] Kaushal S S, Likens G E, Pace M L, *et al.* Freshwater salinization syndrome on a continental scale [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, **115**(4): E574-E583.
- [29] 韩贵琳, 刘丛强. 贵州乌江水系的水文地球化学研究 [J]. *中国岩溶*, 2000, **19**(1): 35-43.
Han G L, Liu C Q. Hydrogeochemistry of Wujiang river water in Guizhou Province [J]. *Carsologica Sinica*, 2000, **19**(1): 35-43.
- [30] 查慧铭, 朱梦圆, 朱广伟, 等. 太湖出入湖河道与湖体水质季节差异分析 [J]. *环境科学*, 2018, **39**(3): 1102-1112.
Zha H M, Zhu M Y, Zhu G W, *et al.* Seasonal difference in water quality between lake and inflow/outflow rivers of Lake Taihu, China [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(3): 1102-1112.
- [31] Yu T, Zhang Y, Meng W, *et al.* Characterization of heavy metals in water and sediments in Taihu Lake, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2012, **184**(7): 4367-4382.
- [32] 张立成, 董文江, 郑建勋, 等. 湘江河流沉积物重金属的形态类型及其形成因素 [J]. *地理学报*, 1983, **38**(1): 55-64.
Zhang L C, Dong W J, Zheng J X, *et al.* The metalform and form factors of heavy metals in the Xiangjiang river sediments [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, **38**(1): 55-64.
- [33] 翟雨翔, 葛森. 水系沉积物重金属研究进展 [J]. *江西农业学报*, 2009, **21**(1): 127-130.
Zhai Y X, Ge M. Research advance in heavy metals in stream sediment [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, **21**(1): 127-130.

CONTENTS

Vertical Distribution and Transport of PM _{2.5} During Heavy Pollution Events in the Jing-Jin-Ji Region	XIAO Zhi-mei, XU Hong, LI Peng, <i>et al.</i> (4303)
Source Apportionment of Air Pollutants for a Typical Pollution Event in Zhaoqing	CHANG Shu-cheng, LIAO Cheng-hao, ZENG Wu-tao, <i>et al.</i> (4310)
Diurnal Variations and Source Analysis of Water-soluble Compounds in PM _{2.5} During the Winter in Liaocheng City	YI Ya-nan, HOU Zhan-fang, MENG Jing-jing, <i>et al.</i> (4319)
Emission Characteristics of Exhaust PM and Its Carbonaceous Components from China III to China IV Diesel Vehicles in Shenyang	ZHAO Xue-yan, WANG Jing, ZHU Sheng-nan, <i>et al.</i> (4330)
Characteristics of Heavy Metal Pollutants of PM _{2.5} from Open Burning of Municipal Solid Waste (MSW) and the Associated Exposure Health Risks	CHENG Ke, JI Wan-wan, HAO Wei-wei, <i>et al.</i> (4337)
Size Distribution Characteristics and Inhalation Exposure of Particle-Bound PAHs in an Industrial City	WANG Juan, GUO Guan-lin, QIN Ning, <i>et al.</i> (4345)
High-frequency Evolution of Urban Atmospheric Ammonia and Ammonium and Its Gas-to-Particle Conversion Mechanism in Nanjing City	SHAO Sheng-cheng, CHANG Yun-hua, CAO Fang, <i>et al.</i> (4355)
Optical Absorption Properties of Brown Carbon Aerosols in Guangzhou	LI Zhu-jie, TAN Hao-bo, ZHENG Jun (4364)
Characteristics and Source Apportionment of Ambient VOCs in Spring in Zhengzhou	ZHANG Yi-xiang, YIN Sha-sha, YUAN Ming-hao, <i>et al.</i> (4372)
Raw Materials and End Treatment-based Emission Factors for Volatile Organic Compounds (VOCs) from Typical Solvent Use Sources	LIANG Xiao-ming, CHEN Lai-guo, SUN Xi-bo, <i>et al.</i> (4382)
Source Profiles of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Typical Solvent-based Industries in Beijing	FANG Li, LIU Wen-wen, CHEN Dan-ni, <i>et al.</i> (4395)
Emission Characteristics of IVOCs from the Combustion of Residential Solid Fuels and the Impact of Burning Temperature	LU Ya-jing, FENG Yan-li, QIAN Zhe, <i>et al.</i> (4404)
Evaluation of MACC Reanalysis Ozone Data over China Using Ground-based and AIRS Satellite Observations	WANG Run-fang, MA Xiao-dan, ZHAO Tian-liang, <i>et al.</i> (4412)
Hydrolysis of COS over MgAl Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites	WEI Zheng, ZHANG Xin, ZHANG Feng-lian, <i>et al.</i> (4423)
Chemical Characteristics and Ionic Sources of Precipitation in the Source Region of the Yangtze River	WANG Shao-yong, HE Xiao-bo, WU Jing-kui, <i>et al.</i> (4431)
Effects of Continuous Extreme Rainfall on Water Quality of the Dongjiang River Basin	CHE Rui, LIN Shu, FAN Zhong-ya, <i>et al.</i> (4440)
Correlation Analysis of Water Quality Between Lake Inflow and Outflow: A Case Study of Poyang Lake	HUANG Dong-ling, NI Zhao-kui, ZHAO Shuang, <i>et al.</i> (4450)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of the Water Quality in the Jinze Reservoir and Its Inflow	LIU Ming-kun, TONG Jun, HU Bo, <i>et al.</i> (4461)
Temporal and Spatial Variations in the Conductivity in Different Media in Taihu Lake, China	WANG Rui, DAI Dan, ZHANG Chi, <i>et al.</i> (4469)
Uncertainty and Sensitivity Analysis of Phosphorus Model Parameters in Large Shallow Lakes	SHI Yuan-yuan, LI Yi-ping, CHENG Yue, <i>et al.</i> (4478)
Spatio-temporal Variations in Aquatic Vegetation Cover and the Potential Influencing Factors in Lake Hongze Based on MODIS Images	LI Na, SHI Kun, ZHANG Yun-lin, <i>et al.</i> (4487)
Distribution and Pollution Assessment of Nutrients in the Surface Sediments of a Macrophyte-Dominated Zone in Lake Taihu	ZHANG Jie, WANG Yuan-sheng, GUO Xi-ya, <i>et al.</i> (4497)
Composition and Distribution of Biodegradable Compounds in the Macrophyte Dominated Zone of Lake Taihu	QI Chuang, FANG Jia-qi, ZHANG Li-min, <i>et al.</i> (4505)
Temporal and Spatial Variation of Zooplankton Community Structure and Its Relationship with Environmental Factors in Dianshan Lake, Shanghai	DU Cai-li, YANG Li, ZHAO Yi, <i>et al.</i> (4513)
Geochemical Characteristics and Ecological Significance of Carbon Isotopes in Groundwater Under the Influence of Different Land Use Types in Karst Areas	REN Kun, PAN Xiao-dong, ZENG Jie, <i>et al.</i> (4523)
Temporal Response of Subterranean Karst Stream Hydrochemistry to Urbanization	YANG Ying-zeng, HE Shou-yang, WU Pan, <i>et al.</i> (4532)
Hydrochemical Characteristics of Karst Groundwater in the Mountains of Northern Bazhong City, China	TANG Jin-ping, ZHANG Qiang, HU Yang, <i>et al.</i> (4543)
Removal of Fe(II), Mn(II), and NH ₄ ⁺ -N by Using δ-MnO ₂ Coated Zeolite	MA Wen-jie, CHEN Tian-hu, CHEN Dong, <i>et al.</i> (4553)
Strengthening Effect of Different Cattail Pretreatment Methods on the Denitrification of Horizontal Subsurface Flow in a Constructed Wetland	XIONG Jia-qing, LU Xue-bin, ZHENG Yu-cong, <i>et al.</i> (4562)
Short-cut Nitrification Start-up and Optimization of Operating Conditions Under Different Control Strategies	LIU An-di, ZHAO Kai-liang, LIU Hong, <i>et al.</i> (4569)
Start-up of a Three-stage PNA Granular Sludge Reactor for Treating Wastewater with High Concentrations of Ammonia	Ji Xiao-qing, Qi Ze-kun, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (4578)
Removal of Hydrogen Sulfide Produced in a Municipal WWTP Using a Biotrickling Filter with Polypropylene Rings as the Packing Material and Microbial Community Analysis	SUN Shi-hao, JIA Ti-pei, CHEN Kai-qi, <i>et al.</i> (4585)
Characteristics and Influencing Factors of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Typical Industrial Areas of Chengdu	RAN Zong-xin, CHEN Jin-yu, WANG Ya-ting, <i>et al.</i> (4594)
Absorption Characterization and the Identification of Factors Influencing Five Organophosphate Esters in Water-Soil System	HE Ming-jing, YANG Zhi-hao, WEI Shi-qiang (4604)
Adsorption and Interaction of Cu ²⁺ and Pb ²⁺ on BS-12 Amphoteric Modified Bentonites	BU Shuai-bin, MENG Zhao-fu, Sambath Yek, <i>et al.</i> (4611)
Concentration Characteristics, Source Analysis, and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in a Peak-cluster Depression Area, Southeast of Yunnan Province	HONG Tao, KONG Xiang-sheng, YUE Xiang-fei (4620)
Cd Accumulation and Risk Assessment for Arable Soils in the Karst Region of Northern Luodian, Guizhou	TANG Qi-lin, LIU Xiu-ming, LIU Fang, <i>et al.</i> (4628)
Safe Utilization of Paddy Soils Lightly Polluted with Cadmium in Western Chongqing	LI Na, HE Hong-zhou, FENG Ai-xuan, <i>et al.</i> (4637)
Accumulation of Cd in Different Crops and Screening of Low-Cd Accumulation Cultivars	CHEN Xiao-hua, SHEN Gen-xiang, BAI Yu-jie, <i>et al.</i> (4647)
Absorption and Transportation of Selenium Nanoparticles in Wheat and Rice	WANG Ya-qi, ZHU Li-na, LI Kui, <i>et al.</i> (4654)
Effects of Microplastics on the Growth, Physiology, and Biochemical Characteristics of Wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	LIAO Yuan-chen, Nazgul-Jahitbek, LI Mei, <i>et al.</i> (4661)
Regulation and Mechanism of a Dregs Biochar Matrix Combined with Maifanite on a Soil-Ryegrass System	XIAO Liang-liang, DING Yuan (4668)
Microbial Community Structure and the Distribution of Antibiotic Resistance Genes in Soil Contaminated by Sulfamethoxazole	ZHANG Hai-feng, SHI Ming-ming, SUN Yan-mei, <i>et al.</i> (4678)
Dynamics of Antibiotic Resistance Genes During the Municipal Solid Waste Leachate Treatment	HUANG Fu-yi, ZHOU Shu-yi-dan, YAN Yi-jun, <i>et al.</i> (4685)
Effects of Manure Application Rates on the Soil Carbon Fractions and Aggregate Stability	SHAO Hui-yun, LI Zi-yue, LIU Dan, <i>et al.</i> (4691)
Effects of Irrigation and Biochar Application on the Respiratory Temperature Sensitivity of Paddy Soil	ZHOU Peng, QI Le, NIU Hai-dong, <i>et al.</i> (4700)
Response of Soil CO ₂ Emissions to Straw-returning in Citrus/Mushroom Intercropping Systems	YOU Jing, NI Jiu-pai, HUANG Rong, <i>et al.</i> (4708)
Effects of Warming and Straw Application on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen and Bacterial Community Structure	ZHANG Ting-ting, CHEN Shu-tao, WANG Jun, <i>et al.</i> (4718)
Simulated Ozone Damage on Gross Primary Productivity (GPP) in a Winter Wheat Field	XU Jing-xin, ZHENG You-fei, WANG Sheng, <i>et al.</i> (4725)
Spatial and Temporal Variations in Fertilizer Use Across Prefecture-level Cities in China from 2000 to 2015	PAN Xiao-dong, LI Pin, FENG Zhao-zhong, <i>et al.</i> (4733)