

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

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

16 届亚运会期间广州城区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响	陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)
北京地区秋季雾霾天 PM _{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析	赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究	王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)
杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征	谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别	李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究	周变红, 张承中, 王格慧 (448)
华东区域高山背景点 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 背景值及污染特征	苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估	田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征	张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究	徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究	欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素	刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)
降尘收集方法对降尘效率的影响	张正偲, 董治宝 (499)
海河流域水生生态功能一级二级分区	孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究	时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究	黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响	邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究	张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制	周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)
高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征	崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析	董雯, 李怀恩, 李家科 (561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果	任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔红杰, 王为进 (570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究	郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)
1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用	李三华, 张奇亚 (583)
水生植物热解生物油中对肋骨藻抗氧化酶活性的影响	姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)
TiO ₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学	张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究	王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)
链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究	谢练武, 方继前, 郭亚平 (611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究	杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 培养研究	嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响	陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH ₄ 的影响	姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征	青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)
区域地下水污染风险评价方法研究	杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范	王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究	朱凌宇, 潘剑君, 张威 (668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应	骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平 (676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响	张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究	罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)
外源 Cr(Ⅲ) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究	郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征	潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析	刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征	姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定	吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析	姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究	王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)
2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性	倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)
嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究	厉阗, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响	唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)
16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性	刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗杰 (767)
氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响	刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)
筒青霉 (<i>Penicillium simplicissimum</i>) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征	沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究	杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响	王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究	李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化	吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)

自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究

张华兵^{1,2}, 刘红玉^{1*}, 李玉凤¹, 安静¹, 薛星宇¹, 侯明行¹

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 南京 210046; 2. 盐城师范学院城市与资源环境学院, 盐城 224051)

摘要: 以盐城国家级自然保护区核心区为案例, 根据2011年4~5月对海滨湿地土壤采样分析结果, 结合2011年ETM+遥感影像, 运用典范对应分析(CCA)、线性回归模拟和地统计学方法, 探索自然条件下盐城海滨湿地土壤水分和盐度的空间分异特征及其与植被类型的关系。结果表明: ①土壤水分平均值在36.820%~46.333%之间; 土壤盐度平均值在0.347%~1.328%之间, 具体表现为米草滩>光滩>碱蓬滩>芦苇滩。②土壤水分和盐度的空间变异具有一致性, 东西海陆方向上的变异大于南北海岸延伸方向上的变异。土壤水分和盐度最高值出现在西南部米草滩; 最低值出现在芦苇滩内。将土壤水分和盐度从低到高分成I到V级, 其中IV级比重最高, 分别占36.156%和28.531%。③不同植被类型的土壤水分和盐度的组合呈现高盐度高水分到低盐度低水分的“双高到双低”组合特征。具体表现为: 芦苇滩土壤水分<40.116%, 盐度<0.676%; 碱蓬滩土壤水分38.162%~46.403%, 盐度0.471%~1.295%; 米草滩土壤水分>43.214%, 盐度>1.090%; 光滩的土壤水分>43.214%, 盐度>0.677%。

关键词: 土壤水分; 土壤盐度; 空间分异; 海滨湿地; 盐城自然保护区

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0540-07

Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland

ZHANG Hua-bing^{1,2}, LIU Hong-yu¹, LI Yu-feng¹, AN Jing¹, XUE Xing-yu¹, HOU Ming-hang¹

(1. Key Laboratory of Environment Change and Ecology Construction in Jiangsu Province, College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China; 2. College of Urban and Resource Environment, Yancheng Teachers University, Yancheng 224051, China)

Abstract: Taking the core part of Yancheng national nature reserve as the study area, according to soil sampling analysis of coastal wetlands in April and May 2011 and the 2011 ETM+remote sensing image, the spatial difference characteristic of coastal wetlands soil moisture and salinity, and the relationship with vegetation under natural conditions, were investigated with the model of correspondence analysis (CCA), linear regression simulation and geo-statistical method. The results showed: Firstly, the average level of the soil moisture was fluctuating between 36.820% and 46.333%, and the soil salinity was between 0.347% and 1.328%, in a more detailed sense, the *Spartina* swamp was the highest, followed by the mudflats swamp, the *Suaeda salsa* swamp, and the *Reed* marsh. Secondly, the spatial variation of soil moisture was consistent with that of the salinity, and the degree of variation in the east-west direction was greater than that in the north-south. The maximum soil moisture and salinity were found in the southwest *Spartina* swamp. The minimum was in the *Reed* swamp. The soil moisture and salinity were divided into 5 levels, from I to V. Level IV occupied the highest proportion, which were 36.156% and 28.531%, respectively. Finally, different landscape types with the combination of soil moisture and salinity showed a common feature that the moisture and salinity were from both high to low. The soil moisture value of *Reed* marshes was lower than 40.116% and the salinity value was lower than 0.676%. The soil moisture value of *Suaeda salsa* marshes was between 38.162% and 46.403% and the salinity value was between 0.471% and 1.295%. The soil moisture value of *Spartina* swamp was higher than 43.214% and the salinity was higher than 1.090%. The soil moisture value of beach was higher than 43.214% and the salinity was higher than 0.677%.

Key words: soil moisture; soil salinity; spatial variation; coastal wetlands; Yancheng nature reserve

土壤是具有高度变异性的时空连续体, 其变异程度与地理环境要素及植被类型息息相关^[1]。水文条件是湿地得以维持的决定性因子, 湿地水文情势制约着湿地土壤诸多生物化学特征, 从而影响到湿地生物区系的类型、湿地生态系统结构和功能

收稿日期: 2012-04-21; 修订日期: 2012-07-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071119); 江苏省高校自然科学研究重大项目(10KJA170029)

作者简介: 张华兵(1979~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为湿地景观及遥感/GIS应用, E-mail: jszhbing@163.com

* 通讯联系人, E-mail: liuhongyu@nynu.edu.cn

等^[2]. 海滨湿地水盐条件, 控制着土壤的性状和发育方向, 影响植被的生长和更替, 决定海滨湿地生态演替趋向^[3,4]. 海滨湿地位于陆地生态系统和海洋生态系统的过渡地带, 是脆弱的生态敏感区, 也是重要的环境资源^[5], 辨识海滨湿地土壤水分和盐度特征及其与植被类型之间的关系是科学认识湿地生态过程, 维护海滨湿地功能的前提.

盐城海滨湿地拥有盐城自然保护区、大丰麋鹿自然保护区两个国家级保护区, 是我国乃至世界为数不多的典型原始海岸湿地之一, 基本保持了天然的生态系统结构和功能^[6], 其研究已引起了学者们的广泛关注. 其中, 围绕盐城海滨湿地土壤理化特征的研究已开展较多, 但是许多研究侧重从微观的角度, 以某一个断面比较盐城海滨湿地土壤理化性质在海陆方向上的差异^[7~14], 而从地学的角度, 宏观与微观相结合、体现环境要素空间分异的研究尤为缺乏. 地统计学是土壤空间变异研究最普遍、最有效的方法之一^[15~19]. 土壤水分和盐度是海滨湿地演变的关键控制因子, 本研究选择盐城自然保护区核心区为调查区域, 利用地统计学方法结合 GIS 技术研究海滨湿地土壤水分和盐度空间分异特征及其与植被类型关系, 对于深刻认识海滨湿地演变, 揭示海滨湿地生态变化, 实现海滨湿地的合理开发与利用

具有重要的科学价值和现实意义.

1 研究区概况

盐城自然保护区, 地处江苏中部沿海地区, 位于北纬 $32^{\circ}20' \sim 34^{\circ}37'$, 东经 $119^{\circ}29' \sim 121^{\circ}16'$, 拥有海岸线 582 km, 滩涂湿地面积为 $45.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 其中保护区面积为 $24.726 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 是太平洋西岸、亚洲大陆边缘面积最大的沿海淤泥质海滨湿地. 盐城国家级自然保护区核心区, 北至新洋港, 南至斗龙港, 西至海堤, 为江苏典型淤长型潮滩湿地, 总面积为 $1.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$. 目前, 保护区以中路港为界分为南北两部. 北部区域面积约 $0.52 \times 10^4 \text{ hm}^2$. 由于该保护区以保护丹顶鹤越冬生境为重点, 为了给丹顶鹤等珍稀物种创造良好的人工栖息地, 自 1993 年来在其核心区建立了一些人工湿地, 并进行了芦苇植被恢复实验, 成为典型的人工管理区域. 南部区域面积约 $1.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (包括养殖区 $0.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$). 该区受人类活动干扰比较微弱, 其景观格局与演变主要受气候、地形、水文、土壤、植被等自然因素影响, 成为典型的自然条件控制下的湿地区域^[20,21]. 本实验选择南部自然条件控制下的湿地区域为研究区, 从陆地向海洋依次表现为芦苇滩、碱蓬滩、米草滩和光滩, 如图 1 所示.

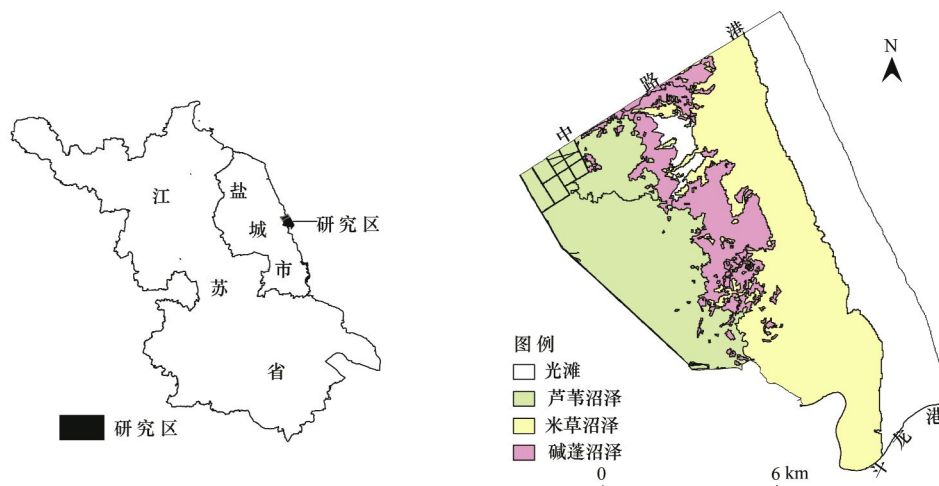


图 1 研究区位置及植被分布示意

Fig. 1 Location and distribution of vegetation of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

由于自然保护区植被呈现显著的带状平行格局, 土壤水分和盐度表现出明显的梯度特征, 所以土壤采样通常取某一个断面即可. 2011 年 4 ~ 5 月, 在

盐城自然保护区核心区中路港南侧, 沿海陆方向设置 21 个样地, 并采用 GPS 定位. 每个样地设置 3 个样点, 现场运用 PICO-BT (德国) 水分便携式测量仪测量土壤水分 (体积分数/%), 并取其平均值, 另采集 0 ~ 20 cm 表层土样进行混合, 带回实验室. 土样经风干、研磨后进行测定, 采用电导法测量土壤盐

度(质量分数/%).

研究利用区域 1:5 万地形图和 2011 年 9 月 24 日的 ETM+ 影像为基本数据源. ETM+ 影像包括了来自同一传感器的 7 个多光谱波段(分辨率 30 m)与 1 个 B8 全色波段(分辨率 15 m),两种分辨率数据可以实现高精度融合^[22]. 为了更准确地提取信息,还采用了其他相关辅助资料,包括 1:400 000 江苏省海岸土地利用图以及野外调查时 60 个点 GPS 数据. 在 ENVI 4.7 中运用非监督分类和决策树分类方法,结合野外调查,对 ETM+ 影像进行解译,提高了解译精度,达到了 95% 以上,分类结果见图 1.

2.2 区域土壤水分/盐度确定

盐城海滨湿地土壤盐分布与海陆位置、植被类型息息相关. 运用典范对应分析法(CCA)分析植被类型与土壤水分/盐度的关系. 但在植被类型与土壤水分/盐度的关系研究中,由于海滨湿地植被类型,属于类型变量,需要进行合理的赋值才能纳入定量分析中,因此,设置虚拟变量对其赋值^[23]. 在研究中海滨湿地分为芦苇滩、碱蓬滩、米草滩和光滩等 4 个类型,故设置 3 个虚拟变量(x_1 、 x_2 、 x_3),分别进行 0、1 赋值,将植被类型转化为定量变量. 以每个点的土壤水分(y_1)和盐度(y_2)为因变量,以每个点距海堤的距离(x_0)和 3 个虚拟变量做自变量. 在 SPSS 17.0 中对土壤水分和盐度运用单因素方差分析,进行差异显著性检验,并比较变异系数,利用回归分析模块构建多元回归方程,见公式(1)和(2). 在 ArcGIS 9.3 中,采用 1 km × 1 km 的格网将研究区划分成 146 个斑块,计算每个斑块的质心,同时统计每个质心的植被类型,并计算每个质心到海堤的距离(x_0). 并进一步运用公式(1)和(2)计算出 146 个斑块质心的土壤水分和盐度.

$$y_1 = 47.335 - 0.254x_0 - 9.957x_1 - 3.371x_2 + 1.318x_3 \quad (1)$$

$$y_2 = 1.285 - 0.021x_0 - 0.891x_1 - 0.196x_2 + 0.239x_3 \quad (2)$$

2.3 区域土壤水分/盐度空间变异分析

土壤水分和盐度的空间分布利用地统计分析方法来实现. 在已经得出的每个网格质心的水分和盐度基础上,计算半变异函数[公式(3)]; 然后进行理论半变异函数的拟合,再进行土壤水分和盐度空间分析;最后通过球状模型验证,结果表明,拟合精度符合要求. 本研究中,运用 ArcGIS 9.3 中的 Geostatistical Analyst 模块,选择 Ordinary Kriging 插值来生成土壤水分和盐度空间分布图,如图 3、图 4

所示.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(y_i) - Z(y_i + h)]^2 \quad (3)$$

式中, $\gamma(h)$ 为样本距为 h 的半方差; h 为样本距; $Z(y_i)$ 为位置 y_i 处的土壤水分或盐度; $Z(y_i + h)$ 为在距离为 $y_i + h$ 处的土壤水分或盐度; $N(h)$ 为间距为 h 的样本对的总个数^[24].

3 结果与分析

3.1 不同植被类型的土壤水分/盐度差异

从表 1 中可以看出,土壤水分和盐度表现出高度的同一性,在植被带表现出从陆地向海洋递增的趋势. 芦苇滩,属于淡水生态系统,土壤盐度最低,平均值 0.347%,海水是海滨湿地土壤水分和盐度的主要来源,芦苇滩高程最高,离海最远受到海水影响最低,所以土壤水分最低. 而碱蓬滩位于芦苇滩与米草滩的中间地带,互花米草的促淤功能致使米草滩高程提升,海水很难进入到碱蓬滩,所以其土壤水分和盐度低于米草滩;而相对于芦苇滩,碱蓬滩位于地势低洼处,水分含量又高于芦苇滩. 互花米草滩受到海水潮侵的频率最高,所以其盐度明显高于碱蓬滩和芦苇滩,而其离海洋最近,所以土壤水分含量最高. 通过变异系数计算,土壤水分和盐度的变异系数分别为 10.624% 和 60.634%,都属于中等变异性(10% ~ 100%)^[23],土壤盐度的变异系数明显大于水分. 单因素方差分析结果,表明土壤盐度和水分在不同植被类型之间差异性显著($n=4$, $P<0.05$).

表 1 不同植被类型的土壤盐特征/%

Table 1 Soil moisture and salinity properties of different vegetations in Yancheng nature reserve/%

项目	指标	芦苇	碱蓬	米草	光滩
土壤水分	平均值	36.820	42.349	46.333	44.785
	最大值	36.985	45.200	50.970	47.635
	最小值	36.665	38.690	35.065	41.935
土壤盐度	平均值	0.347	0.953	1.328	1.070
	最大值	0.611	1.666	2.389	1.070
	最小值	0.233	0.612	0.709	1.069

3.2 基于 CCA 的土壤水分/盐度与植被的关系

在 Canoco for Windows 4.5 中进行土壤水/盐和植被类型排序(图 2),分别作植被类型与土壤水分、盐度的垂线,与土壤水分、盐度的交点到箭头的长短,分别反映了土壤水分、盐度与植被类型的相关性大小,与箭头距离越近,植被类型与土壤水分、盐度的相关性高. 图 2 表明,土壤水分与碱蓬滩的相关性最大,依次为芦苇滩、米草滩和光滩;土壤盐度

与碱蓬滩的相关性最大,依次为米草滩、芦苇滩、光滩.从 CCA 排序图可以看出,盐城海滨湿地植被类型在排序轴上依次分布于 4 个象限,与海滨湿地植被分布具有一致性,所以说土壤水分和盐度是控制海滨湿地植被演变的关键因子;在 CCA 排序图中,每一个象限代表不同的土壤水分与盐度组合,即不同植被类型有着不同的土壤水分和盐度组合特征.

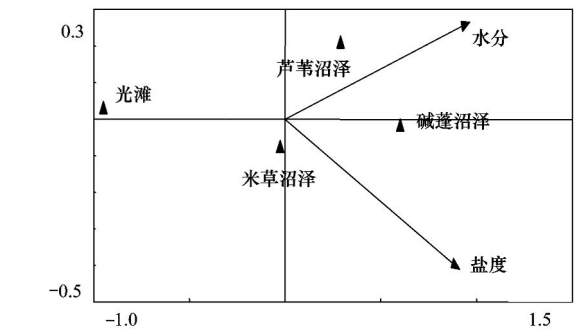


图2 土壤水分/盐度与植被类型的 CCA 排序图
Fig. 2 Ordination diagram for the CCA of the relationship between soil water/salinity and vegetation types

3.3 湿地土壤水分/盐度的空间分异特征

变异函数的基本参数有块金值、基台值、变程,是用于定量地描述各要素的空间异质性程度、组成、尺度和格局的特征参数^[25,26](表 2).块金值与基台值的比值反映了不同区域土壤水分/盐度空间变异的相关程度,也反映了空间变异的成分中区域因素(自然因素)和非区域因素(人为因素)谁占主导作用.参考 Cambardella 提出的分级标准,土壤水分和盐度的块金值与基台值的比值分别为 0 和 1.32%,均小于 25%,说明保护区核心区土壤水分/盐度空间变异的相关程度强,在所研究的尺度上具有很强的空间自相关格局;块金值与基台值的比值为 0 和 1.32%,说明由非区域因素引起的变异非常微弱,可以说是完全自然条件控制下引起的变异^[26~29].

表 2 土壤水分和盐度空间变异函数及相关参数
Table 2 Spatial semivariogram function and corresponding parameters of soil moisture and salinity

项目	块金值	基台值	步长	块金值/基台值 /%	拟合优度 /%
水分	0	0.013	1.230	0	90.84
盐度	0.003	0.227	1.230	1.32	88.42

通过空间插值可以直观的显示土壤水分和盐度在空间上的变化趋势(图 3 和图 4).同时,运用 Trend Analysis(趋势分析)工具分析土壤水分和盐

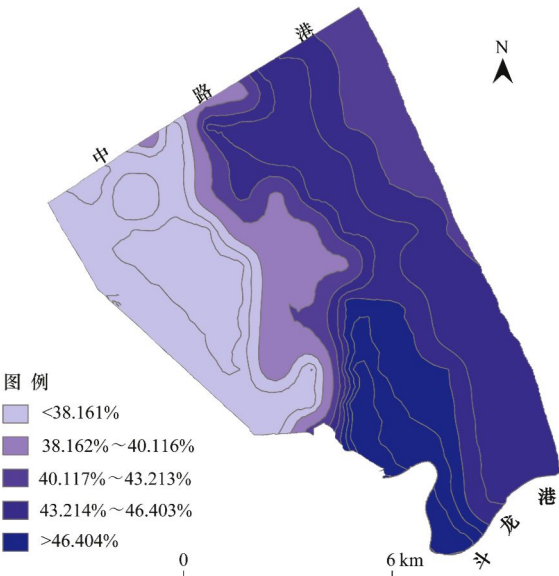


图3 海滨湿地土壤水分空间分异图
Fig. 3 Spatial variation of soil moisture in coastal wetland

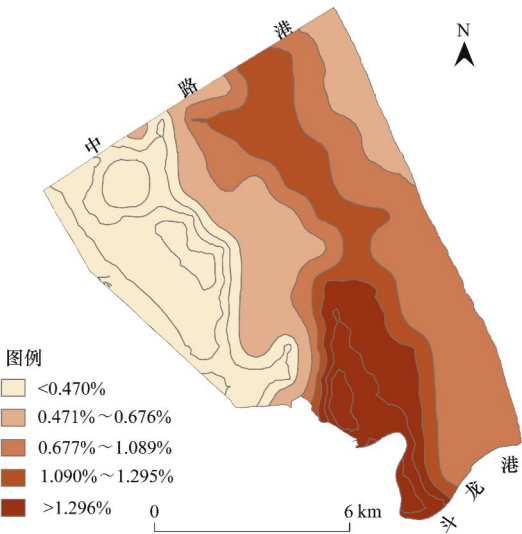


图4 海滨湿地土壤盐度空间分异图
Fig. 4 Spatial variation of soil salinity in coastal wetland

度的全局趋势,并将生成的全局趋势图旋转 30°,使之与实际空间方向一致(图 5 和图 6).土壤水分和盐度的空间变异具有一致性.空间变异性均呈现东西海陆方向上的变异大于南北海岸延伸方向上的变异,空间变异的延伸方向与海岸带延伸方向一致.在海陆方向上,土壤水分和盐度呈现典型的抛物线形,先升高然后又降低,即从米草滩向海陆两侧递减.在南北方向上,土壤水分和盐度呈上升趋势.土壤水分和盐度最高值出现在西南部米草滩,主要因为该区互花米草滩发育时间最久,虽然无法辨别基年的引种面积,但是从 1997 年 TM 影像解译结果中,可以看出互花米草沼泽已形成了较大面积的斑块,该区

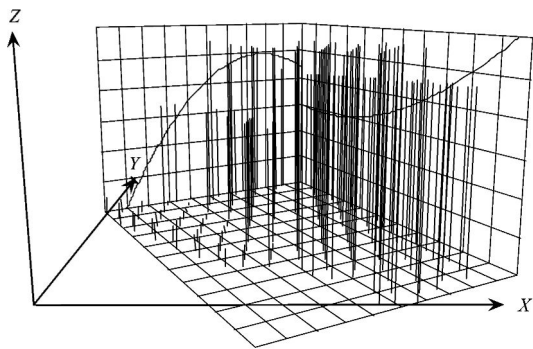


图 5 海滨湿地土壤水分空间变化趋势

Fig. 5 Spatial change trend of soil moisture in coastal wetland

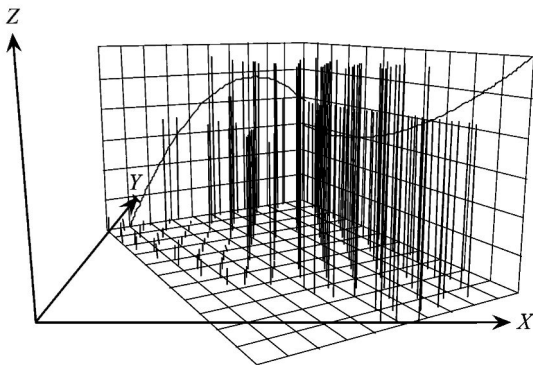


图 6 海滨湿地土壤盐度空间变化趋势

Fig. 6 Spatial change trend of soil salinity in coastal wetland

域互花米草滩斑块是保护区核心区内面积最大的. 最低值出现在芦苇滩内, 一是因为芦苇滩为淡水生态系统, 土壤盐度固然最低; 二是芦苇滩最靠近海堤, 离海最远, 高程最高, 地下水潜水位低, 所以表层土壤水分最低.

为较好地保持数据的统计特性, 相似性大的数据分在同一级, 差异性大的数据分在不同级的原则, 在 ARCGIS 9.3 中, 运用 Classification 功能, 通过聚类分析将海滨湿地土壤水分和盐度分为 5 级, 从 I ~ V 级表征土壤水分和盐度逐渐增大(表 3). 从分布面积看, 土壤水分和盐度都是 IV 级(土壤水分 43.214% ~ 46.403%, 土壤盐度 1.090% ~ 1.295%) 最大, 分别为 4 136.028 hm² 和 3 263.836 hm², 各占研究区面积的 36.156% 和 28.531%; 依次为 V 级、I 级、III 级和 II 级.

3.4 湿地不同植被类型土壤水分/盐度的组合特征

土壤水分和盐度的空间分布具有高度的一致性, 土壤水分和盐度的组合呈现高盐度高水分与低盐度低水分的“双高双低”组合特征. 在 ARCGIS 9.3 中, 将 2011 年植被类型图与土壤水分/盐度空间分布图进行叠加分析(表 4 和表 5), 得出芦苇滩土壤水分和盐度值为 I ~ III 级(土壤水分 < 43.213%, 土壤盐度 < 1.089%), 其中土壤水分在 I

表 3 土壤水分和盐度分级统计

Table 3 Classification statistics of soil water and salinity

分级	水分/%	分布面积/hm ²	分级	盐度/%	分布面积/hm ²
I	<38.161	2 510.185	I	<0.470	2 320.559
II	38.162 ~ 40.116	559.160	II	0.471 ~ 0.676	675.015
III	40.117 ~ 43.213	1 120.628	III	0.677 ~ 1.089	2 052.776
IV	43.214 ~ 46.403	4 136.028	IV	1.090 ~ 1.295	3 263.836
V	>46.404	3 113.526	V	>1.296	3 127.339

表 4 不同植被类型土壤水分值分布特征

Table 4 Distribution characteristics of soil moisture value in different vegetation types

项目	I	II	III	IV	V	阈值/%
芦苇滩/hm ²	2 444.995	414.277	158.161	0.000	0.000	<40.116
面积比/%	81.029	13.729	5.242	0.000	0.000	
碱蓬滩/hm ²	52.801	119.188	784.234	420.783	60.567	38.162 ~ 46.403
面积比/%	3.673	8.291	54.553	29.270	4.213	
米草滩/hm ²	12.389	25.695	168.870	921.884	2 870.398	>43.214
面积比/%	0.310	0.642	4.223	23.052	71.774	
光滩/hm ²	0.000	0.000	9.363	2 793.361	182.561	>43.214
面积比/%	0.000	0.000	0.314	93.571	6.115	

级(<38.161%) 的分布面占芦苇滩面积的 81.029%, I ~ II 级(<40.116%) 分布面积近 95%; 土壤盐度在 I 级(<0.470%) 的分布范围占芦苇滩面积的 76.226%, I ~ II 级(<0.676%) 分

布面积近 94%. 所以, 在参照植被分布的基础上, 界定芦苇滩土壤水分阈值 < 40.116%, 盐度阈值 < 0.676%. 碱蓬滩的土壤水分和盐度值范围比较宽, I ~ V 级(土壤水分 > 36.147%, 土壤盐度

>0.292%)都有.其中,Ⅲ级(土壤水分40.117%~43.213%,土壤盐度0.677%~1.089%)分布面积最广,分别占碱蓬滩面积的54.553%和67.586%,但主要集中在Ⅱ~Ⅳ级(土壤水分38.162%~46.403%,土壤盐度0.471%~1.295%),在这区间土壤水分和盐度的分布面积达到了碱蓬滩面积的92.114%和92.816%.所以,界定碱蓬滩土壤水分阈值为38.162%~46.403%,盐度阈值为0.471%~1.295%.米草滩的土壤水分值在Ⅰ~Ⅴ级(>36.147%)都有,主要在Ⅳ~Ⅴ级(>43.214%),二者比重之和为94.826%,在Ⅴ级(>46.404%)分布范围最大,达到米草滩面积的71.774%;米草滩的

土壤盐度值在Ⅱ~Ⅴ级(>0.471%)都有,同样主要在Ⅳ~Ⅴ级(>1.090%),二者比重之和为92.694%,盐度也在Ⅴ级(>1.296%)分布范围最大,达到米草滩面积的73.489%.所以,界定米草滩土壤水分阈值>43.214%,盐度阈值>1.090%.光滩的土壤水分和盐度值在Ⅲ~Ⅴ级(土壤水分>40.117%,土壤盐度>0.677%),其中土壤水分以Ⅳ级(>43.214%)为主,占光滩面积的93.571%;土壤盐度以Ⅲ~Ⅳ级(0.677%~1.295%)为主,二者面积之和占光滩面积的96.465%,其中Ⅳ级占75.541%.所以,光滩的土壤水分域值>43.214%,盐度域值>0.677%.

表 5 不同植被类型土壤盐度组合

Table 5 Distribution characteristics of soil salinity value in different vegetation types						
项目	I	II	III	IV	V	阈值/%
芦苇滩/hm ²	2 300.075	524.403	192.955	0.000	0.000	<0.676
面积比/%	76.226	17.379	6.395	0.000	0.000	
碱蓬滩/hm ²	20.484	122.006	971.594	240.690	82.798	0.471~1.295
面积比/%	1.425	8.487	67.586	16.743	5.760	
米草滩/hm ²	0.000	28.606	263.578	768.043	2 939.009	>1.090
面积比/%	0.000	0.715	6.591	19.205	73.489	
光滩/hm ²	0.000	0.000	624.649	2 255.104	105.532	>0.677
面积比/%	0.000	0.000	20.924	75.541	3.535	

4 结论

(1)海滨湿地土壤水分和盐度表现出高度的同一性,海陆分异明显,通过单因素方差分析,土壤水分和盐度存在中等程度的变异性.具体表现为米草滩>光滩>碱蓬滩>芦苇滩,土壤水分平均值从46.333%降至36.820%;土壤盐度平均值从1.328%降至0.347%.

(2)海滨湿地土壤水分和盐度的空间变异具有一致性,其特点表现为:东西海陆方向上的变异大于南北海岸延伸方向上的变异.在海陆方向上,土壤水分和盐度呈现典型的抛物线形,即从米草滩向海陆两侧递减.在南北方向上,土壤水分和盐度呈上升趋势.土壤水分和盐度最高值出现在西南部米草滩;最低值出现在芦苇滩内.

(3)湿地水分和盐度条件是控制海滨区域植被类型分异的主要影响因子.其中芦苇滩土壤水分阈值<40.116%,盐度阈值<0.676%;碱蓬滩土壤水分阈值为38.162%~46.403%,盐度阈值为0.471%~1.295%;米草滩土壤水分阈值>43.214%,盐度阈值>1.090%;光滩的土壤水分范围为>43.214%,盐度范围为>0.677%.

参考文献:

[1] 孙玉冰,邓守彦,李德志,等.崇明县土壤主要理化指标的空间分布与变异特征[J].生态与农村环境学报,2010,26(4):306-312.

[2] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

[3] 唐彬,谢小,彭英湘,等.红壤丘岗坡地土地利用与土壤水分的时空变化关系[J].生态与农村环境学报,2006,22(4):8-13.

[4] 杨桂山.中国海岸环境变化及其区域响应[M].北京:高等教育出版社,2002.

[5] 张晓龙,李培英,李萍,等.中国滨海湿地研究现状与展望[J].海洋科学进展,2005,23(1):87-95.

[6] 刘青松,李杨帆,朱晓东.江苏盐城自然保护区滨海湿地生态系统的特征与健康设计[J].海洋学报,2003,25(3):143-148.

[7] 高建华,欧维新,杨桂山.潮滩湿地N、P生物地球化学过程研究[J].湿地科学,2004,2(3):220-227.

[8] Gao J H, Yang G S, Ou W X. Analyzing and quantitatively evaluating the organic matter source at different ecologic zones of tidal salt marsh, North Jiangsu Province, China[J]. Frontiers of Environmental Science and Engineering in China, 2008, 2(1): 81-88.

[9] 刘广明,杨劲松,姜艳.江苏典型滩涂区地下水及土壤的盐分特征研究[J].土壤,2005,37(2):163-168.

[10] 沈永明,曾华,王辉,等.江苏典型淤长岸段潮滩盐生植被

- 及其土壤肥力特征[J]. 生态学报, 2005, **25**(1): 1-6.
- [11] 毛志刚, 王国祥, 刘金娥, 等. 盐城海滨湿地盐沼植被对土壤碳氮分布特征的影响[J]. 应用生态学报, 2009, **20**(2): 293-297.
- [12] 任丽娟, 王国祥, 仇乐, 等. 江苏潮滩湿地不同生境互花米草形态与生物量分配特征[J]. 生态与农村环境学报, 2010, **26**(3): 220-226.
- [13] 仲崇庆, 王进欣, 邢伟, 等. 不同植被和水文条件下苏北盐沼土壤 TN、TP 和 OM 剖面特征[J]. 北京林业大学学报, 2010, **32**(3): 186-190.
- [14] Liu J E, Zhou H X, Qin P. Effects of *Spartina alterniflora* salt marshes on organic carbon acquisition in intertidal zones of Jiangsu province, China[J]. Ecological Engineering, 2007, **30**(3): 240-249.
- [15] Trangmar B B, Yost R S, Uehara G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties[J]. Advances in Agronomy, 1986, **38**(2): 45-94.
- [16] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of the Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Environments, 2001, **49**(4): 723-750.
- [17] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, **89**(1-2): 1-45.
- [18] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas I. Semivariograms[J]. Soil Science Society America Journal, 1982, **46**(10): 1028-1037.
- [19] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. Advances in Soil Science, 1985, **3**(1): 1-70.
- [20] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. 生态学报, 2012, **32**(1): 101-110.
- [21] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋. 苏北侵蚀型海岸湿地景观时空演变特征及驱动机制[J]. 生态与农村环境学报, 2011, **27**(4): 46-50.
- [22] 沈明霞, 何瑞银, 丛静华. 植被信息提取过程中 ETM⁺ 遥感影像融合和分类试验[J]. 农业机械学报, 2007, **38**(8): 109-112.
- [23] 杨艳丽, 史学正, 于东升, 等. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究[J]. 地理科学, 2008, **28**(6): 788-792.
- [24] 徐建华. 现代地理学中的数学方法 [M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [25] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华, 等. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究[J]. 应用生态学报, 2005, **16**(11): 2053-2059.
- [26] 王波, 毛任钊, 曹健, 等. 海河低平原区农田重金属含量的空间变异性——以河北省肥乡县为例[J]. 生态学报, 2006, **26**(12): 4082-4090.
- [27] 胡克林, 张凤荣, 吕贻忠, 等. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报, 2004, **24**(3): 463-468.
- [28] 路鹏, 彭佩钦, 宋变兰, 等. 洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和 GIS 分析[J]. 中国农业科学, 2005, **38**(6): 1204-1212.
- [29] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, **58**(5): 1501-1511.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jing, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-zheng, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-ben, <i>et al.</i> (810)

《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2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 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