

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, 刘苗苗 (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)
《环境科学》征订启事 (447)	《环境科学》征稿简则 (493)
信息 (508, 588, 610, 731)	专辑征稿通知 (788)

海河流域水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*

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085)

摘要: 水生态功能分区是实现流域水环境“分区、分级、分期和分类”管理的基础。通过分析海河流域的陆地和水生态系统特点,确定了一级二级分区的指标体系,一级分区指标包括地貌类型、径流深、年降水量、年蒸发量,反映水资源供给功能的空间格局特征,共划分了6个一级水生态功能区;二级分区利用植被类型和土壤类型的空间异质性,反映流域生态水文过程及水质净化功能的空间格局特征,共划分了16个二级水生态功能区。最后,通过野外调查各个分区的水生态系统结构和生境差异性(水量、水质、河流生境、水生动植物等),对一级和二级分区结果进行了评价。分区结果能够为海河流域的水质目标管理和区域生态环境建设提供支持,分区方法和指标体系也可以为国内其它类似流域的水生态功能分区提供参考。

关键词: 水生态系统;生态功能;功能分区;水质;水资源;海河

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0509-08

Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China

SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, ZHANG Hai-ping, CHEN Li-ding

(State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: There is a growing concern about the ecological conditions in the Haihe River which have been profoundly impacted by the growing human population and intensifying development over the past several decades. By identifying the spatial characteristics of terrestrial and fluvial landscapes, we propose the guidelines and criteria for regionalizing the freshwater ecosystems in the Haihe River basin. The first-level and second-level zones reflect the spatial patterns of the natural backgrounds which could impact the surface water quantity and quality. The 6 first-level zones are regionalized according to topographic characteristics, runoff depth, annual precipitation and evaporation. They represent the spatial pattern of water resource quantity. The 16 second-level zones are regionalized according to the vegetation and soil types overlaid by the first-level zones. They represent the spatial patterns of eco-hydrological processes and water purifying functions of terrestrial landscapes. Finally, the eco-regions are evaluated by the field survey data including water quality, aquatic vegetation and zoobenthos communities. This study could potentially be used to guide the decision-making process for the management of water resources and local ecological projects in the Haihe River basin. The methods formulated in this research can possibly provide important references for other watersheds in China.

Key words: freshwater ecosystem; ecological functions; functional regionalization; water quality; water resource; Haihe River

联合国环境与发展会议在1992年签署的《21世纪议程》,要求按照流域对水资源进行统一管理,成功的案例包括西班牙和葡萄牙在瓜迪亚纳河流域的联合管理^[1],美国的田纳西河、澳大利亚墨累-达令河和天鹅河等流域管理模式^[2~4]。国内也在流域统一管理模式下成功解决了黄河、塔里木河、黑河断流的问题,说明流域综合管理对实现水资源可持续利用十分必要。对水生态功能进行辨识和分区是进行流域水资源管理的科学基础和重要依据^[5,6],也是实现水资源管理从单一的水质管理到流域综合管理转变的重要保障,在“十一五”启动的水体污染控制与治理科技重大专项中专门开展了对重点流域的水生态功能分区研究。水生态功能一方面表现为河道系统为各种动植物提供了其生存所必须的淡水和栖息环境,另一方面表现为河道及其沿岸的植被具有调节水文循环、输水泄洪、调节气候、净化水

体、补给地下水的功能^[7~9]。水生态功能受到自然和人为因素影响,尤其是土地利用强度、土地覆盖组成、景观格局和斑块连通性^[10,11]、以及城市化水平等^[12]。水生态功能分区是基于流域水生态系统的特点,以流域内不同尺度的水生态系统及其影响因素为研究对象,为方便流域水生态系统的统一管理而提出的^[13~16],与传统的生态功能分区有所区别^[17]。

海河流域在我国政治、经济和文化中具有举足轻重的地位,但“有河皆干,有水皆污”的现象日益严峻^[18~20],传统的以行政区为单元的管理模式很难

收稿日期: 2012-04-12; 修订日期: 2012-06-19

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002-002); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2008-1)

作者简介: 孙然好(1981~),男,博士,助理研究员,主要研究方向为景观规划与空间模型, E-mail: rhsun@rcees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: liding@rcees.ac.cn

有效对海河流域进行科学管理,对其水生态功能进行分区,并依此制定流域科学的水资源管理体系和标准显得尤为迫切^[21,22]. 本研究通过系统总结海河流域的地形、水文、气候、植被、土壤等生态特征,基于流域完整性和水陆耦合进行水生态功能一级二级分区,构建适合于海河流域的指标体系和分区方案,以期为实现海河流域“分类、分期、分级、分区”的水资源管理提供重要保障,为水质目标管理奠定基础.

1 海河流域生态概况

海河流域位于 $112^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $35^{\circ} \sim 43^{\circ}\text{N}$ 之间(图1),流域总面积 $3.18 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占国土面积的 3.3%, 支撑了全国 10% 的人口、11% 的耕地、13% 的 GDP 和 12% 的粮食生产总量. 海河流域涉及 8 个省区, 包括北京、天津全部、河北省大部、山西省东部、河南、山东两省北部、以及内蒙古自治区和辽宁省小部分地区, 这为流域统一管理提出了巨大的挑战.

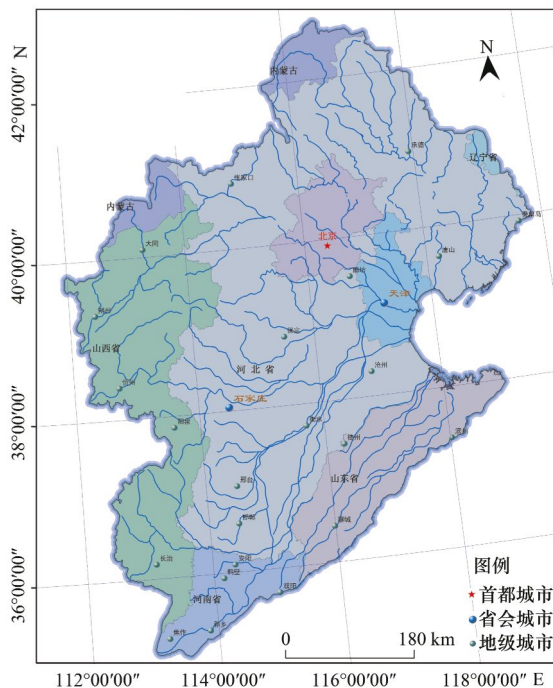


图1 海河流域在中国的位置

Fig. 1 Location of the Haihe River in China

1.1 地貌特征对水生态系统的影响

海河流域山地和平原面积分别占 60% 和 40%. 太行山、燕山西北分布面积较广的黄土高原, 水土流失严重. 平原大致可分为山前洪冲积平原、中部河流泛滥平原和滨海平原. 海河流域由 3 个水系构成, 包括滦河水系、海河水系和徒骇马颊河水系. 滦

河水系位于海河流域的东北部, 包括冀东丘陵区多条独流入海的小河. 海河水系位于滦河水系的中部, 包括蓟运河、潮白河、北运河、永定河、大清河、子牙河、漳卫南运河、海河干流和黑龙港运东地区诸河. 徒骇马颊河水系位于流域最南部, 属平原排涝河流. 地貌特征能够直接影响降雨、径流等水资源的形成和分配特征, 同时也影响到水的流速、含沙量等水文特征, 从而影响流域的供水功能、生态水文效应的发挥.

1.2 气候和水文特征对水生态系统的影响

海河流域年均降水量的 80% 集中在汛期, 丰枯年降水量相差悬殊. 降水量由东南向西北逐渐减少, 流域大部分地区的干燥度 > 1 , 山地干燥度低于平原区. 流域多年平均水资源总量 $3.7 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 水资源占全国的 1.3%, 人均水资源仅为全国平均的 13%, 属于资源型严重缺水地区, 流域水资源开发利用率达到了 98%, 耗水率达 70%. 近年来, 在各级支流近 10 000 km 河长中, 已有 4 000 km 河道长年干涸, 主要河道中下游年均断流达 300 d 左右. 气候因子中的降水量制约着流域水资源的空间分布, 干燥度反映了流域水资源的收支盈亏状况. 水文特征及其过程会影响水生态功能的类型和强度差异, 河道断流还导致河床沙化, 成为风沙源. 受河道干枯、地下水位下降、土地干化、蒸发潜热减少等多方面的影响, 海河流域生态系统正朝着恶性循环的方向发展.

1.3 植被和土壤特征对水生态系统的影响

海河流域从东到西地带性植被依次为森林、灌丛、稀疏灌草丛等. 流域西北部多为钙层土, 中北部淋溶土、半淋溶土, 中南部半淋溶土、初育土, 中东部水成土、半水成土, 东部沿海盐碱土. 植被覆盖可以截留水分并影响地表径流, 具有一定的调蓄洪水的功能, 植被通过生长时自身的生物化学作用, 吸收水体污染物, 兼具有净化水质的作用. 植被还可以吸附重金属污染物, 从而起到降解水污染的效果. 在没有人干扰的情况下, 河流水质主要受制于土壤中的养分类型和水文过程差异. 土壤的物理性质也影响到土壤水的运动状态, 不同土壤类型的下渗速率不同, 影响水的汇流过程.

1.4 人类活动特征对水生态系统的影响

海河流域平均人口密度为 $371 \text{ 人} \cdot \text{km}^{-2}$, 为全国平均人口密度的 3.47 倍. 作为全国主要粮食产区之一, 共有耕地 $1.09 \times 10^5 \text{ km}^2$, 约占全国的 11%. 生产生活用水和农田耗水已成为导致海河流域水资源日益缺乏的重要诱因. 历史上的三大淀洼群(大陆

泽-宁晋泊淀洼群、白洋淀-文安洼淀群、黄庄洼-七里海淀洼群),正在面临干涸的危险.流域内多数河流受到围垦、筑坝、河网改造、岸边工程等影响,季节性淹没区域减少,天然湿地和植被大量丧失,洄游通道不畅,生物栖息地被大量压缩,致使许多河流生态系统退化.海河流域矿产资源丰富,煤蕴量达到 2.03×10^{12} t,石油蕴藏量约 1.5×10^{10} t,煤炭、石油、钢铁、化工等产业的发展产生了大量工业三废,使众多河流遭受严重污染.流域 72% 的河流水质劣于Ⅱ类,49 条河流严重污染,有 76% 浅层地下水水质劣于Ⅲ类.

1.5 水生生物类群及退化特征

海河流域水生生物类群受到流域水环境变化的直接影响,也对流域水环境变化起到指示作用.以白洋淀鱼类为例,1958 年调查共有 16 科 54 种,鲤鱼科为优势类群,此外尚有溯河和顺河入淀鱼类,如青鱼、鲂鱼和草鱼等.1975 年调查仅有 12 科 35 种,溯河鱼类和顺河入淀鱼类基本消失或绝迹.1989 ~ 1990 年白洋淀重新蓄水后调查共有鱼类 11 科 24 种.1998 年调查记录发现 19 种.随着调水补淀工程以及污染治理措施的实施,白洋淀鱼类的种群数量有所增多,2001 ~ 2002 年调查有 12 科 33 种.海河上游污染较轻,底栖动物显示出正常的群落结构特征.河流中下游受到污染后,耐污种类的数量增加,主要以颤蚓科为主,蚌类和贝类等很少.在污染极为严重的下游河段和排污口,几乎没有底栖动物存在.海河流域浮游藻类中绿藻、硅藻为主要优势种,浮游动物以原生动物、轮虫类为主要优势种群,原生动物以球形砂壳虫、针棘匣壳虫为主.海河流域中下游河湖耐污性强的浮游生物的数量和种类明显高于上游地区,显示海河流域中下游地区的水域已经受到严重污染.

2 材料与方法

2.1 分区指标体系及数据来源

美国的水环境生态分区,主要按照土地利用、

地貌类型、潜在植被和土壤类型进行四级划分^[23~25].欧盟的水环境生态分区,也主要基于地形、生物、生态要素的异质性特征,“从上到下”按等级框架研究水生态系统^[26].澳大利亚的水环境生态分区,综合考虑了气候(周期变化和降雨量)、地理(海拔和地形)和植被(结构和组成)因子对水生态系统的影响^[27].国内的水生态功能分区处在起步阶段,孟伟等^[28]和张楠等^[29]在辽河流域进行了探讨,并对其它重要流域也进行了探索性工作^[30~33].从国内外水生态功能分区研究可以看出,分区指标的选择主要是要求指标具有时间上的稳定性、空间上的异质性、空间上的尺度性、生态要素因果关联性等.海河流域一级二级分区要求反映水生态系统的自然背景和生态特征,根据已有研究和文献知识^[14,24,34,35],确定地貌、气候、水文作为海河流域一级分区因子,植被、土壤作为二级分区因子,然后结合海河流域特点,进一步筛选出针对性的指标体系.

一级区指标中,海河流域平原地貌和山地地貌界线分明,高程和坡度可作为区分这两种地貌的主要指标.气候指标中降水、蒸发具有显著空间异质性,因此采用干燥度指标(年蒸发量/年降水量)作为分区具体指标.一级分区强调水量,而年径流深表示人们可以支配的水资源量,因此将其作为一级分区的指标.二级区指标中,植被可用类型、盖度、长势等多种指标进行描述,而空间规律性最显著的是植被类型.土壤属性包括类型、质地、以及其它理化特征等,空间规律性最显著的是土壤类型,可将海河流域划分为 7 个类型,符合宏观分区的级别要求.

通过对每种分区指标进行空间制图,根据多次对比其空间异质性差异,确定了各个指标的分级标准(表 1).海河流域 1:25 万 DEM 来自于国家基础地理信息中心,采用 90 m 栅格.基于该 DEM 数据,提取了海河流域 176 个子流域,面积从 403 ~ 11 962 km²,子流域界线是进行分区界线调整的依据之一.蒸发量和降水量数据来源于海河流域 40 个气象站 1960 ~ 2000 年的年均数据,利用 CoKriging 插值方

表 1 海河流域一级二级水生态功能分区指标体系
Table 1 Index system of the freshwater eco-regions in the Haihe River basin

级别	环境因子	分区指标	分级标准
一级分区	地貌	高程、坡度	分 2 个类型,山地(海拔 > 500 m,坡度 > 30°),其余为平原
	气候	干燥度(年蒸发/年降水量)	分 4 个类型(<1.2, 1.2 ~ 1.4, 1.4 ~ 1.8, >1.8)
	水文	年均径流深	分 4 个类型(<50 mm、50 ~ 100 mm、100 ~ 200 mm、>200 mm)
二级分区	植被	植被类型	分 4 个类型(林地植被、草地植被、耕地植被和城乡建设用地)
	土壤	土壤类型	分 7 个类型(钙层土、淋溶土、半淋溶土、初育土、水成土、半水成土和滨海盐碱土)

法生成干燥度栅格图层. 径流深数据来源于《中国水利年鉴》(1997 年)的 1:400 万中国年径流深等值线图. 1:100 万土壤类型数据和 1:100 万植被数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所. 2007 年 1:10 万土地利用图是中国环境科学研究院根据 TM 遥感图像解译获得, 笔者结合植被图和土地利用图, 将植被斑块边界进行调整, 得到林地、草地、耕地和城乡建设用地这 4 个植被覆盖类型. 将栅格图层按照表 1 的分级标准进行分级并矢量化处理.

2.2 分区技术方法

自上而下的分区方法是根据对区域环境的地域分异规律以及水生态系统的异质性分析, 按区域内相对一致性和区域共轭性划分出最高级分区单位, 在大的分区单元内从高到低逐级揭示其内部存在的差异性, 逐级向下划分低级的单元, 适合于大尺度的宏观格局分区. 自下而上的分区方法是基于生态系统结构的分类指标, 并根据各指标反映的水生态功能信息对其进行筛选, 通过空间聚类获得分区结果^[36]. 海河流域的水生态功能一级二级分区属于大尺度流域的高级别分区, 适合自上而下的分区方法, 可以集成已有研究成果和专家经验, 体现水生态功能的宏观规律性. 按照自上而下分区方法的基本原则和海河流域特点, 确定分区的基本原则包括: ①水陆耦合的原则, 分区结果要体现水陆联系; ②层次性原则, 高级分区单元的空间规模最大, 次级分区单元包含在其内; ③主导因子原则, 每一级分区都反映一个主导水生态功能, 一级分区体现水资源供给功能, 二级分区反映生态水文和水质净化功能; ④空间一致性原则, 每个分区单元内部, 水生态系统的结构、过程和功能等相对一致.

2.3 分区单元的水生态系统评价方法

完成不同水生态功能单元划分以后, 利用水文特征、河流生境、水质、底栖动物和水生植物等对不同单元的水生态系统特征进行综合评价. 在海河流域共设置了 100 个水质和水生生物采样点, 从 2009 年 8~9 月、2010 年 5~6 月、8~9 月进行了 3 次全流域的调查和采样(图 2). 这些采样点均设置在常年有水的河段, 较大的河流(如滦河、桑干河、徒骇河、马颊河、京杭运河、海河干流等)在上中下游具有布设, 较小的河流在出口位置设置代表性样点.

河流水文和生境特征现场记录, 水生植物和底栖动物优势物种是根据各个二级区中的所有采样点的数据进行综合计算^[37]. 利用不同物种的重要值大

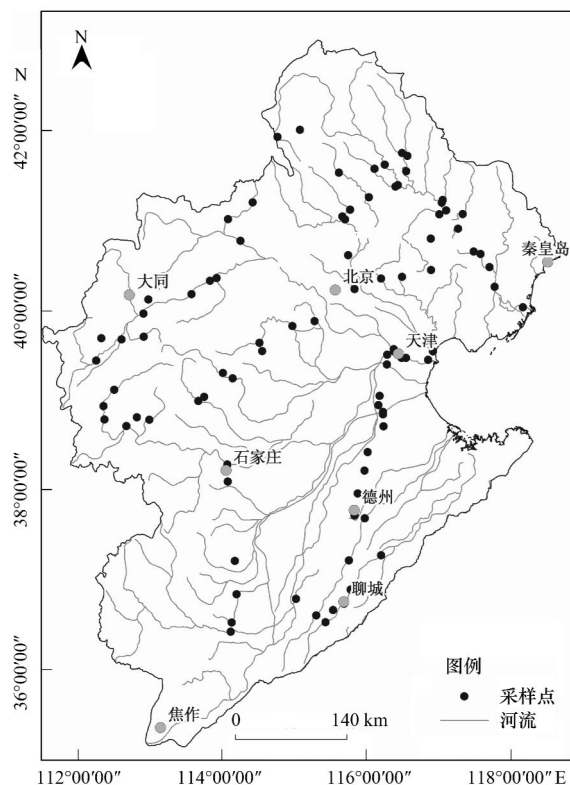


图 2 海河流域采样点

Fig. 2 Sampling sites in the Haihe River

小筛选出优势类群, $W = 100 \times (f + a + b) / 3$. 式中, W 为重要性值; f 为相对频度, 物种出现频率占总频率的百分比; a 为相对密度, 某物种的个体数占全部物种个体数的百分比; b 为底栖动物指的是相对生物量(某物种生物量占总生物量的百分比), 水生植物则利用相对盖度(某物种的分盖度占总盖度的百分比). 水生植物和底栖动物多样性指数也是根据不同二级区中的所有样点进行综合计算, 利用 Simpson 多样性指数 $D = 1 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$ 表示. 式中, n_i 为种 i 的个体数, N 为群落中全部物种的个体数.

3 结果与分析

3.1 一级分区结果与水生态系统特征

一级分区是通过叠加地貌类型、干燥度和年径流深这 3 个矢量图得到. 当这几个叠置因子的空间界线接近时, 将地貌作为主导因子, 调整干燥度和径流深的界线, 参考子流域边界对分区界线进行微调, 维持子流域的完整性. 海河流域共分成 6 个水生态功能一级区(图 3). 通过野外调查的河流生境和水文特征, 可以发现不同的一级区之间存在较为明显差异, 而同区内部的异质性较弱(表 2、3).

RC-I: 太行山北部燕山山地欠水区 RC-IV: 海河北部平原少水区
RC-II: 燕山山地丰水区 RC-V: 太行山山前平原缺水
RC-III: 太行山山地少水区 RC-VI: 海河南部平原欠水区

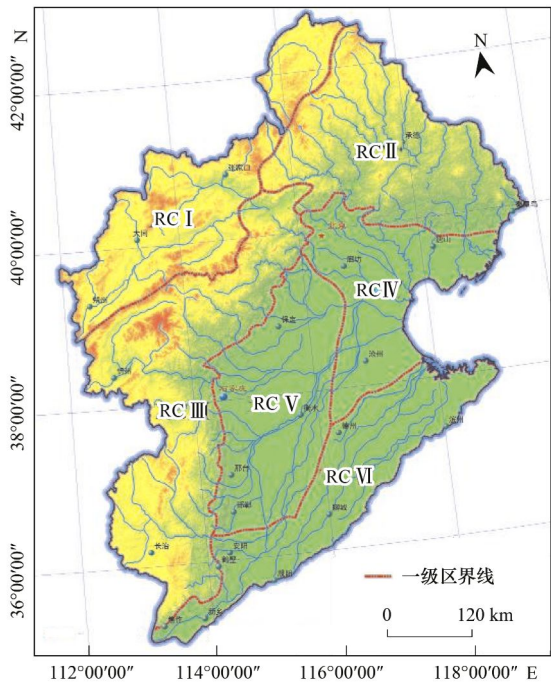


图3 海河流域水生态功能一级分区

Fig. 3 Map of the first-level freshwater eco-regions in the Haihe River basin

3.2 二级分区结果与水生态系统特征

按照同样的标准和指标,在一级区内将植被类型和土壤类型矢量图进行叠加分析,海河流域共分成16个水生态功能二级区,界线也参考子流域边界进行了微调(图4).通过野外河流生境特征、区域生态背景特征和水生生物特征的综合对比(表4、5),可以发现同区内部的差异较小,而不同区之间存在较为明显的差异.将每个二级区内的水质特征与水生生物多样性指标进行相关性分析,底栖动物多样性与总氮、总磷浓度的相关性比较明显,分别为0.71和0.51,而水生植物多样性与COD的相关性比较明显,达到0.52.水生生物多样性是水生态系统特征的重要指标,它们与水质的相关性也验证了分区结果能够一定程度上反映水生态系统特征.由于水生生物多样性受到多种因素的影响,与水质的关系也非简单的线性关联,下一步的研究中希望通过增加水生生物完整性等指标更加准确的刻画水生态系统特征.

4 结论

(1)“自上而下”和“自下而上”是两种基本的分区方法,本研究表明“自上而下”的方法通过选择

表2 海河流域一级区的区域生态系统特征差异

Table 2 Characteristics of the terrestrial ecosystem in the first-level zones of the Haihe River basin

编码	一级区划名	地貌类型	海拔/m	坡度/(°)	干燥度	径流深/mm
RC I	太行山北部燕山山地欠水区	山地	1305	43	1.23	40
RC II	燕山山地丰水区	山地	706	64	1.04	150
RC III	太行山山地少水区	山地	950	55	1.29	100
RC IV	海河北部平原少水区	平原	14	2	1.26	60
RC V	太行山山前平原缺水	平原	44	3	1.53	30
RC VI	海河南部平原欠水区	平原	35	2	1.36	45

表3 海河流域一级区的水生态特征差异

Table 3 Characteristics of the fluvial ecosystem in the first-level zones of the Haihe River basin

编码	水量	流速	干涸时间	含沙量	侵蚀或淤积	生物多样性
RC I	很小	较缓	很长	较高	侵蚀重	较少
RC II	丰富	湍急	短	低	侵蚀轻	丰富
RC III	较丰	湍急	较短	低	侵蚀较轻	较丰富
RC IV	较小	慢	较长	一般	淤积较重	较丰富
RC V	很小	较慢	很长	一般	淤积较重	丰物种富
RC VI	一般	慢	较长	较高	淤积重	丰富

宏观因子,结合主导指标进行区域划分,适用于具有显著的空间异质性特征的区域,适合于大尺度流域的高级别水生态功能分区.本研究能够为中国其它类似流域的水生态功能分区提供方法和技术参考.

(2)水生态功能区可以为水环境管理提供基础生态背景.海河流域水生态功能区是多等级体系的,

不同等级具有不同的空间尺度和管理目标,据此可以确定不同功能区内水体的使用原则与办法,界定河流、段、水域的纳污能力,实行污水排放的总量控制.现在开展的一级二级分区强调影响水资源和水环境质量的自然环境因子,后续拟开展的三级四级分区则强调人类活动和管理模式等对水生态系统

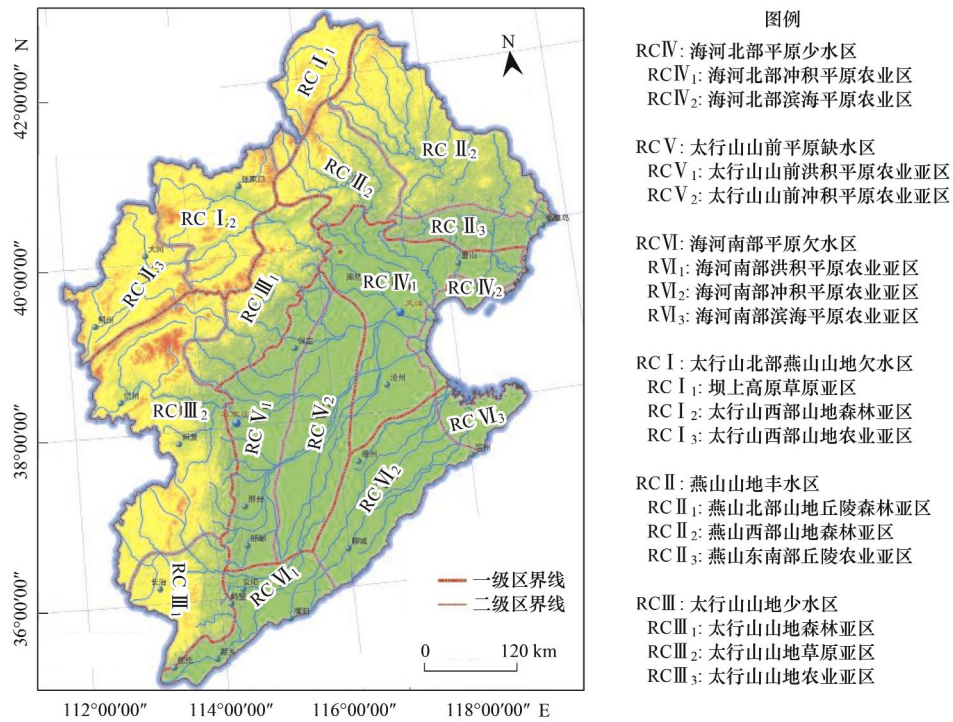


图 4 海河流域水生态功能二级分区

Fig. 4 Map of the second-level freshwater eco-regions in the Haihe River basin

表 4 海河流域二级区的区域生态系统特征差异

Table 4 Characteristics of the terrestrial ecosystem in the second-level zones of the Haihe River basin

编码	二级区划名	主要植被覆盖	主要土壤类型	断流特征	水生植物优势种	底栖动物优势种
RC I ₁	坝上高原草原亚区	草地	钙层土	长期断流	苔草属	椎实螺科
RC I ₂	太行山西部山地森林亚区	灌丛林地	钙层土	季节断流	碱蓬属	摇蚊科
RC I ₃	太行山西部山地农业亚区	耕地	钙层土	季节断流	堇菜属	颤蚓科
RC II ₁	燕山北部山地丘陵森林亚区	乔灌林地	淋溶土	较少断流	薄荷属	蜉蝣科
RC II ₂	燕山西部山地森林亚区	乔木林地	半淋溶土	较少断流	藜属	大蚊科
RC II ₃	燕山东南部丘陵农业亚区	耕地	半淋溶土	较少断流	萍属	珠蚌科
RC III ₁	太行山山地森林亚区	乔木林	初育土	季节断流	繁缕属	颤蚓科
RC III ₂	太行山山地草原亚区	草地	初育土	季节断流	芦苇属	蜉蝣科
RC III ₃	太行山山地农业亚区	耕地	初育土	季节断流	—	—
RCIV ₁	海河北部冲积平原农业亚区	耕地	半水成土	季节断流	藻属	颤蚓科
RCIV ₂	海河北部滨海平原农业亚区	耕地	盐碱土	较少断流	芦苇属	沙蚕科
RCV ₁	太行山山前洪积平原农业亚区	耕地	半淋溶土	长期断流	狗牙根属	颤蚓科
RCV ₂	太行山山前冲积平原农业亚区	耕地	半水成土	长期断流	鹅冠草属	颤蚓科
RCVI ₁	海河南部洪积平原农业亚区	耕地	半水成土	季节断流	水蓼属	田螺科
RCVI ₂	海河南部冲积平原农业亚区	耕地	半水成土	季节断流	白茅属	颤蚓科
RCVI ₃	海河南部滨海平原农业亚区	耕地	盐碱土	季节断流	—	—

的影响和制约,从而实现流域水环境的“分级、分期、分类、分区”管理。

(3)水生态功能分区与其它类型分区具有显著差别。以前的分区,如自然地理分区、水文分区、水环境分区和水功能分区等^[17,38],对于水体与周围生态环境的联系考虑的较少,往往仅考虑陆地或者水体特征。而水生态功能分区是应用了生态学中的格

局与尺度等原理与方法,根据流域地理、水文气象和生态一致性等空间分布格局,对水体及其周围陆地进行区域分类,体现了陆水耦合的基本原则。水生态功能分区的指标因子是按照区域要素对水量、水质、水生态系统的影响类型和强度进行筛选,而且从自然背景、人类影响、水质管理等多个层次进行综合考虑。

表 5 海河流域二级区的水生态系统特征差异
Table 5 Characteristics of the fluvial ecosystem in the second-level zones of the Haihe River basin

编码	流速	流量	河床底质	水质状况			底栖动物 Simpson 多样性	水生植物 Simpson 多样性
				总氮 /mg·L ⁻¹	总磷 /mg·L ⁻¹	COD /mg·L ⁻¹		
RC I ₁	较缓	较小	沙砾质	3.3	0.5	46	缺值	0.66
RC I ₂	静止或缓流	很小	沙质	1.75	0.16	42.25	0.78	0.8
RC I ₃	缓流	较大	沙质	10.77	0.95	60.18	0.06	0.92
RC II ₁	流动,多缓流	大	砾质	3.26	0.2	36.17	0.62	0.95
RC II ₂	流动,急缓兼有	大	砾质	2.09	0.05	18	0.88	0.89
RC II ₃	流动,急缓兼有	很大	沙质或砾质	3.91	0.05	92.5	0.86	0.93
RC III ₁	多激流	较大	砾质或石质	1.6	0.08	36.23	0.67	0.92
RC III ₂	多缓流	较小	沙质或砾质	3.6	0.11	31.45	0.81	0.89
RC III ₃	流动,急缓兼有	大	沙质或砾质	缺值	缺值	缺值	缺值	缺值
RC IV ₁	多静止	较大	沙质或淤泥质	8.09	0.52	85.56	0.68	0.8
RC IV ₂	多静止	较大	沙质或淤泥质	1.97	0.19	970.86	0.4	0.67
RC V ₁	静止或缓流	很小	沙质	9.1	0.65	26.25	0.26	0.66
RC V ₂	无	干涸	沙质	9	缺值	50	0.66	0.59
RC VI ₁	缓流	较大	沙质	6.5	缺值	58	0.47	0.54
RC VI ₂	缓流或静止	较大	沙质或淤泥质	3.01	1.22	53.15	0.73	0.77
RC VI ₃	缓流或静止	较少	沙质或淤泥质	缺值	缺值	缺值	缺值	缺值

(4) 流域的水环境管理需要从多个方面入手,比如水体治理的方法与技术革新、污染物源头控制、污染物传输过滤、河岸带修复工程、土地利用规划、流域间协调与管理、公众参与和利益优化等.水生态功能分区体现了影响水环境管理的自然和人文要素,可以作为水环境管理的重要依据.但由于数据、经费、时间等的限制,目前仅对海河流域一级二级水生态功能区进行了划分,“十二五”期间拟对海河流域的水生态功能区进行细化,完成三级四级分区,同时将加强野外数据收集和采样,将现有的一些定性描述的野外调查数据定量化,比如河流生境、水文特征、植被和土壤属性等,使得每个分区单元内有足够多的监测数据支持深入的定量分析.同时,增加水生生物完整性和健康性等指标来进一步验证分区结果的合理性和准确性,从而使得分区结果可以为海河流域水环境管理提供科学依据和技术支持.

参考文献:

[1] Morais P. Review on the major ecosystem impacts caused by damming and watershed development in an Iberian basin (SW-Europe): focus on the Guadiana estuary [J]. Journal of Limnology, 2008, 44(2): 15-17.

[2] Saintilan N, Overton I. Ecosystem response modeling in the Murray-Darling Basin [M]. Collingwood: Csiro Publishing, 2010.

[3] Miller B A, Reidinger R B. Comprehensive river basin development[R]. Washington DC: The World Bank, 1998.

[4] Blackmore D J. Murray-darling basin commission: a case study in integrated catchment management [J]. Water Science and

Technology, 1995, 32(5-6): 15-25.

[5] 李伟锋,毛劲乔. 基于地理分区及神经网络的湖泊水库富营养化研究[J]. 环境科学, 2011, 32(11): 3200-3206.

[6] 孟伟,张远,张楠,等. 流域水生态功能分区与质量目标管理技术研究的若干问题[J]. 环境科学学报, 2011, 31(7): 1345-1351.

[7] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997.

[8] 欧阳志云,赵同谦,王效科,等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2091-2099.

[9] Wilson M A, Carpenter S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States: 1971- 1997 [J]. Ecological Applications, 1999, 9(2): 772-783.

[10] Zhao B, Kreuter U, Li B, et al. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island, China[J]. Land Use Policy, 2004, 21(2): 139-148.

[11] Alberti M, Booth D, Hill K, et al. The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis in Puget lowland sub-basins[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 80(4): 345-361.

[12] Miller W, Boulton A J. Managing and rehabilitating ecosystem processes in regional urban streams in Australia [J]. Hydrobiologia, 2005, 552(1): 121-133.

[13] Omernik J M, Bailey G B. Distinguishing between watersheds and ecoregions[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1997, 33(5): 935-949.

[14] 孟伟,张远,郑丙辉. 水生态区划方法及其在中国的应用前景[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 293-300.

[15] 马溪平,周世嘉,张远,等. 流域水生态功能分区方法与指标体系探讨[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(12): 59-64.

[16] 孙小银,周启星. 中国水生态分区初探[J]. 环境科学学报, 2010, 30(2): 415-423.

- [17] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. 生态学报, 2001, **21**(1): 1-6.
- [18] 孙然好, 陈利顶, 王伟, 等. 基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 1784-1788.
- [19] Liu C, Wang Z Y, He Y, *et al.* Evaluation of water and sediment qualities at river mouths in the Haihe River system[J]. International Journal of Sediment Research, 2007, **22**(4): 318-326.
- [20] Wang W, Tang X Q, Huang S L, *et al.* Ecological restoration of polluted plain rivers within the Haihe River Basin in China[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2010, **211**(1-4): 341-357.
- [21] Zhang Y, Fu G, Yu T, *et al.* Trans-jurisdictional pollution control options within an integrated water resources management framework in water-scarce north-eastern China [J]. Water Policy, 2011, **13**(5): 624-644.
- [22] 尚林源, 孙然好, 王赵明, 等. 海河流域北部地区河流沉积物重金属的生态风险评价[J]. 环境科学, 2012, **33**(2): 606-611.
- [23] Bailey R G. Ecoregions; The ecosystem geography of the oceans and continents [M]. New York: Springer-Verlag Inc, 1988. 192.
- [24] Abell R, Hurley P, Olson D, *et al.* Freshwater ecoregions of North America; a conservation assessment[M]. Washington DC: Island Press, 1999.
- [25] Abell R, Thieme M L, Revenga C, *et al.* Freshwater ecoregions of the world; a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation[J]. Bioscience, 2008, **58**(5): 403-414.
- [26] Frissel C A, Liss W J, Warren C E, *et al.* A hierarchical framework for stream habitat classification; viewing streams in a watershed context [J]. Environmental Management, 1986, **10**(2): 199-214.
- [27] Davies P E. Development of a national river bioassessment system, AUSRIVAS in Australia[A]. In: Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T, eds. Assessing the biological quality of fresh waters RIVPACS and other techniques [M]. Cumbria, UK: Freshwater Biological Association, 2000. 113-124.
- [28] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域水生生态分区研究[J]. 环境科学学报, 2007, **27**(6): 911-918.
- [29] 张楠, 孟伟, 张远, 等. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(2): 162-170.
- [30] 李艳梅, 曾文炉, 周启星. 水生生态功能分区的研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, **20**(12): 3101-3108.
- [31] 黄艺, 蔡佳亮, 郑维爽, 等. 流域水生生态功能分区以及区划方法的研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(3): 542-548.
- [32] 高永年, 高俊峰. 太湖流域水生生态功能分区[J]. 地理研究, 2010, **29**(1): 111-117.
- [33] 唐涛, 蔡庆华. 水生生态功能分区研究中的基本问题[J]. 生态学报, 2010, **30**(22): 6255-6263.
- [34] 刘星才, 徐宗学, 徐琛. 水生生态一、二级分区技术框架[J]. 生态学报, 2010, **30**(17): 4804-4814.
- [35] 孟伟, 闫振广, 刘征涛. 美国水质基准技术分析与中国相关基准的构建[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(7): 757-761.
- [36] Chassot E, Mélin F, Le-Pape O, *et al.* Bottom-up control regulates fisheries production at the scale of eco-regions in European seas[J]. Marine Ecology-Progress Series, 2007, **343**: 45-55.
- [37] Lande R. Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities [J]. Oikos, 1996, **76**(1): 5-13.
- [38] Zhou Y C, Narumalani S, Waltman W J, *et al.* A GIS-based spatial pattern analysis model for eco-region mapping and characterization [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2003, **17**(5): 445-462.

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