

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郭伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳苳湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431)	
《环境科学》征订启事 (2532)	
信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算

陈莉¹, 韩婷婷², 李涛², 姬亚芹^{3*}, 白志鹏³, 王斌⁴

(1. 天津师范大学城市与环境科学学院, 天津 300387; 2. 南开大学信息技术科学学院, 天津 300071; 3. 南开大学环境科学与工程学院, 国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津 300071; 4. 天津市环境监测中心, 天津 300191)

摘要: 为了预测地表风蚀起尘, 针对我国当前地表风蚀预测模型欠缺, 相关开发滞后问题, 借鉴美国风蚀预报系统 (WEPS), 研究典型地区地表风蚀预测模型的结构、参数体系以及各参数体系之间的关系, 结合卫星遥感技术和实验数据, 建立适合天津市的地表风蚀尘预测模型参数体系, 开发适合天津市的地表风蚀尘预测模型系统. 将天津市域划分为11 080个分辨率为 $1 \times 1 \text{ km}^2$ 的地块, 并从中筛选7 778个起尘地块; 本地化各地块参数, 包括地块经纬度、高程、方向等; 本地化各地块数据库文件, 包括风文件、气象文件、土壤文件及管理文件; 编制 weps. run 文件. 以 Microsoft Visualstudio 2008 为平台, 利用 C++ 语言完成 WEPS 的二次开发, 循环计算7 778块起尘地块的起尘量, 包括蠕移质+跃移质平均损失量、悬移质平均损失量及 PM_{10} 平均损失量. 2009年, 天津郊区各区县总(蠕移质+跃移质)损失量为 $2.54 \times 10^6 \text{ t}$, 其中指向中心城区的为 $5.61 \times 10^5 \text{ t}$; 总悬移质损失量为 $1.25 \times 10^7 \text{ t}$, 其中指向中心城区的为 $2.89 \times 10^6 \text{ t}$; 总 PM_{10} 损失量为 $9.04 \times 10^5 \text{ t}$, 其中指向中心城区的为 $2.03 \times 10^5 \text{ t}$.

关键词: WEPS 模型; 蠕移质; 跃移质; 悬移质; PM_{10} ; 天津市

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2197-07

Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model

CHEN Li¹, HAN Ting-ting², LI Tao², JI Ya-qin³, BAI Zhi-peng³, WANG Bin⁴

(1. College of Urban and Environmental Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China; 2. College of Information Technical Science, Nankai University, Tianjin 300071, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution and Control, College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 4. Tianjin Environmental Monitoring Centre, Tianjin 300191, China)

Abstract: Due to the lack of a prediction model for current wind erosion in China and the slow development for such models, this study aims to predict the wind erosion of soil and the dust emission and develop a prediction model for wind erosion in Tianjin by investigating the structure, parameter systems and the relationships among the parameter systems of the prediction models for wind erosion in typical areas, using the U. S. wind erosion prediction system (WEPS) as reference. Based on the remote sensing technique and the test data, a parameter system was established for the prediction model of wind erosion and dust emission, and a model was developed that was suitable for the prediction of wind erosion and dust emission in Tianjin. Tianjin was divided into 11 080 blocks with a resolution of $1 \times 1 \text{ km}^2$, among which 7 778 dust emitting blocks were selected. The parameters of the blocks were localized, including longitude, latitude, elevation and direction, etc.. The database files of blocks were localized, including wind file, climate file, soil file and management file. The weps. run file was edited. Based on Microsoft Visualstudio 2008, secondary development was done using C++ language, and the dust fluxes of 7 778 blocks were estimated, including creep and saltation fluxes, suspension fluxes and PM_{10} fluxes. Based on the parameters of wind tunnel experiments in Inner Mongolia, the soil measurement data and climate data in suburbs of Tianjin, the wind erosion module, wind erosion fluxes, dust emission release modulus and dust release fluxes were calculated for the four seasons and the whole year in suburbs of Tianjin. In 2009, the total creep and saltation fluxes, suspension fluxes and PM_{10} fluxes in the suburbs of Tianjin were $2.54 \times 10^6 \text{ t}$, $1.25 \times 10^7 \text{ t}$ and $9.04 \times 10^5 \text{ t}$, respectively, among which, the parts pointing to the central district were $5.61 \times 10^5 \text{ t}$, $2.89 \times 10^6 \text{ t}$ and $2.03 \times 10^5 \text{ t}$, respectively.

Key words: WEPS model; creep; saltation; suspension; PM_{10} ; Tianjin

由裸土风蚀而注入大气的风蚀尘已经成为空气颗粒物的主要来源之一^[1~5], 在中国北方城市, 开放源的分担率已达40%~80%, 裸土风蚀尘是开放源类之一^[6,7]. 研究表明城市空气的 PM_{10} 浓度变化与上风向的沙尘关系密切^[8~10]. 天津处于半湿润半干

收稿日期: 2011-09-05; 修订日期: 2011-11-10

基金项目: 环保公益性行业科研专项(200909005); 天津市自然科学基金重点项目(11JCZDJC24500); 天津师范大学博士基金项目(52XB1110)

作者简介: 陈莉(1981~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为大气颗粒物污染与防治, E-mail: amychenli1981@126.com

* 通讯联系人, E-mail: jiyaqin@nankai.edu.cn

旱地区,春季(干)旱(多)风同期形成了地表风蚀的气象条件,又恰逢天津郊区(春季)量大面广的季节性裸露农田、河滩地和裸露盐碱地形成了风蚀的地表条件,这是造成天津地表风蚀严重的主要因素.天津市2002年大气颗粒物来源解析(CMB法)结果表明,土壤尘的分担率全年平均达到 $103.53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (39%),居各排放源类之首^[11].可见地表风蚀起尘是造成城市空气颗粒物污染超标的主要因素之一.天津颗粒物水平相对较高的状况与由暴露地表造成的整体环境背景颗粒物水平较高有直接关系^[12~14].因此,要进一步降低颗粒物质量浓度,必须有效降低作为背景颗粒物重要来源的地表风蚀型开放源.土壤风蚀的发生及发展依赖于侵蚀因子(气候)与可蚀性因子(地形、土壤特性、植物或作物等)之间的相互作用.在研究土壤风蚀及其防治方面,主要考虑的是人为能够改变的因素,并利用有些因素的有利性与可控性,使土壤风蚀降低到最小程度^[15~25].

风蚀预报系统(WEPS)是美国农业部组织多学科科学家开发研究的一个连续的以过程为基础的模型,WEPS引入子模型的概念,以模块的形式组成,7个子模型分别为侵蚀、气象、作物生长、分解、土壤、水文、耕作子模型^[26,27].美国本土位于北温带,介于北纬 $25^{\circ}\sim 49^{\circ}$ 之间,大部分地区属温带和亚热带,气候和降水比较适宜由于幅员辽阔,地形复杂,并受不同气流的影响,各地的气候差别很大.天津处于相同纬度带,气候条件接近. WEPS在美国全国进行了广泛的应用,美国农业部将美国全区域划分为71个单元,分别对每个单元建立了管理文件数据库(作物,轮作年限及对作物的具体操作等).除此以外,该模型也在德国等地进行了应用^[21].这些都为WEPS模型在天津的应用提供借鉴.

本研究基于WEPS模型定量估算天津近郊不同土地利用类型、不同土壤质地的表层土壤在当地气象条件下形成的地表风蚀尘对城市空气颗粒物的影响,为确定大气颗粒物污染源重要性和采取优控措施提供理论依据.本研究是该模型首次在中国应用.从学科的角度,本研究关注于风蚀型开放源尘的起尘量和对受体的贡献值;从管理的角度,现有研究缺少地表风蚀引起的排放量的定量估算方法,因而本研究为总量控制、节能减排以及开放源的治理工作提供定量依据.

1 研究区概况

天津地处华北平原东北部,东临渤海,北依燕

山,西靠首都北京.天津市位于北纬 $38^{\circ}34'\sim 40^{\circ}15'$ 之间,东经 $116^{\circ}43'\sim 118^{\circ}194'$ 之间.天津市域面积 $11\,760.26 \text{ km}^2$,疆域周长 $1\,290.8 \text{ km}$,海岸线长 153 km ,陆界长 $1\,137.48 \text{ km}$.天津位于中纬度亚欧大陆东岸,面对太平洋,季风环流影响显著,冬季受蒙古冷高压控制,盛行偏北风;夏季受西太平洋副热带高压左右,多偏南风.天津气候属暖温带半湿润大陆季风型气候,有明显由陆到海的过渡特点:四季明显,长短不一;降水不多,分配不均;季风显著,日照较足.年平均气温 12.3°C .7月最热,月平均气温可达 26°C ;1月最冷,月平均气温为 -4°C .年平均降水量为 $550\sim 680 \text{ mm}$,夏季降水量约占全年降水量的80%.本研究将市内六区(河东、河西、河北、和平、南开、红桥)划为中心城区,其它区县(北辰、西青、津南、东丽、蓟县、静海、塘沽、汉沽、大港、宝坻、宁河、武清)划为郊区.

2 研究方法及数据处理

2.1 研究方法

本研究利用WEPS模型对天津郊区土壤风蚀开放源起尘量进行估算,并计算其对中心城区的影响. WEPS是一个以过程为模拟基础、以日为模拟时间步长的模型,可以模拟天气、田间条件及土壤侵蚀状况等^[28]. WEPS为模块化结构设计:由1个用户界面、1个主程序、1个科学模型(由7个子模型组成)和4个数据库组成.该模型根据指定时间内的地表粗糙度(定向粗糙度及随机粗糙度)、平铺生物量和直秆生物量、土壤团聚体粒径分布、结皮及岩石覆盖状况、结皮表面松散可蚀性物质状况及土壤表面湿度判断地块是否会发生风蚀.如果 10 m 高处日最大风速达到 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、积雪厚度 $<20 \text{ mm}$ 时,需要每小时数次评价地表状况以确定是否会发生风蚀.侵蚀子模型模拟以下内容:①根据地表空气动力学粗糙度计算摩阻流速;②计算静态临界摩阻流速;③计算每个栅格点的土壤流失量或沉积量;④及时更新土壤表面变量,以反映由于风蚀而造成的土壤表面状态的变化.

2.2 数据处理

采用2009年7月天津TM遥感影像(分辨率 15 m)进行土地利用类型分类,分别包括耕地(水田、旱地)、林地(有林地、灌木林、疏林地、其它林地)、草地(高覆盖度、中覆盖度、低覆盖度)、水域(河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、河漫滩)、城乡、工矿、居民用地(城镇用地、农村居民点、其它建设用地)、未利用土

地(盐碱地、沼泽地、裸土地),根据天津市 GIS 显示的土地利用类型的分布和土壤类型的集中程度,将整个天津市郊区划分为 11 080 个网格,每个网格的边长为 1 km,见图 1. 筛选得到起尘的地块总数为 7 778 块.

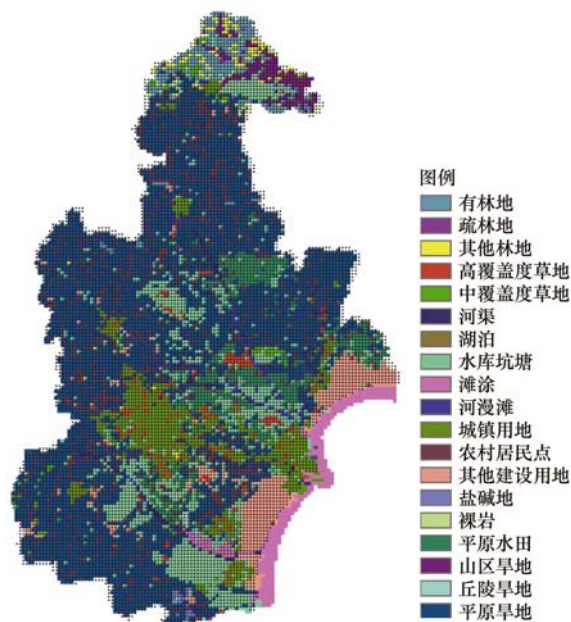


图 1 天津市土地利用类型分类

Fig. 1 Types of land use in Tianjin

天津主要土壤类型包括:潮土、湿潮土、盐化潮土、褐土、潮褐土、褐土性土、石灰性褐土、棕壤性土、石质土、沼泽土、草甸沼泽土、盐化沼泽土、滨海盐土、砂姜黑土(见图 2).

2.3 数据库本地化

(1) 编制 *.win 文件

风文件的扩展名为“win”(如:wind_gen.win). 该文件包括模拟日各小时的风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)和该日的平均风向(从正北方向开始顺时针转动得出的角度).

(2) 编制 *.cli 文件

输入文件的内容包括降水量(mm)、降水历时(h)、最大降雨历时(降雨历时%)、最大雨强($\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$)、最高最低气温($^{\circ}\text{C}$)、太阳辐射($\text{ly}\cdot\text{d}^{-1}$)以及露点温度($^{\circ}\text{C}$). 该输入文件中还有 WEPS 运行所需的月平均最高最低气温的历史记录.

(3) 编制 *.ifc 文件

土壤文件的默认扩展名为“ifc”. 该文件中含有模拟运行开始时的初始土壤条件. 土壤子模型模拟的就是这些条件在每日的天气、管理和侵蚀影响下所发生的变化,即使是一些看起来应该是固定的参

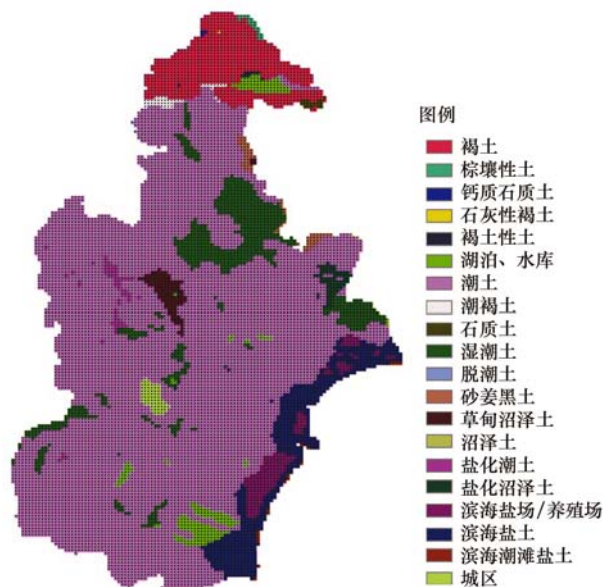


图 2 天津市土壤类型分类

Fig. 2 Soil types in Tianjin

数也会随着外界条件的变化而发生变化,比如土壤粒径分布会随着耕作中土层的混合而发生变化. 土壤输入文件的内容包括土层分类学顺序,土层数量和厚度(mm),土壤粒径分布详细情况(%),干湿容重($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$),团聚体稳定性 [$\ln(\text{J}\cdot\text{m}^{-2})$], 密度($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$),粒径分布(%),结皮属性(变化情况),随机和定向(田垄)粗糙度,土壤水分特征参数(变化情况),干燥反射率(%),有机质含量(%),pH 值, CaCO_3 含量(%)以及阳离子交换量 [$\text{meq}\cdot(100\text{ g})^{-1}$].

(4) 编制 *.man 文件

首先利用 RUSLE2(2006 年 1 月 13 日发布的 1.26.6.4 版本)将 Skel 文件转化成 mgt 文件,然后在 DB 编辑器中根据模板选择作物(crop)和操作(operation),并在 Management Crop Rotation Editor for WEPS(MCREW)中按照耕作活动的时间编制管理文件.

3 结果与分析

3.1 各区县单位地块起尘量

根据 WEPS 软件计算得出天津市 2009 年各区县单位地块起尘量见表 1. 2009 年,津南区单位地块风蚀土壤毛损失($4.78 \times 10^3 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、平均总土壤损失量($1.04 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、(蠕移质+跃移质)平均损失量($1.84 \times 10^3 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)、悬移质平均损失量($8.59 \times 10^3 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)及 PM_{10} 平均损失量($6.42 \times 10^2 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)均为最大,其次为武清. 蠕移或跃移的

表 1 天津市 2009 年各区单位地块起尘量/ $t \cdot hm^{-2}$

Table 1 Dust emission fluxes per block in Tianjin suburb an districts in 2009/ $t \cdot hm^{-2}$

区县	风蚀土壤毛损失	平均总土壤损失	(蠕移质 + 跃移质) 平均损失量	悬移质平均损失量	PM ₁₀ 平均损失量
北辰	3.11×10^2	3.28×10^2	5.17×10^1	2.76×10^2	1.88×10^1
西青	2.71×10^3	4.98×10^3	8.46×10^2	4.14×10^3	2.94×10^2
津南	4.78×10^3	1.04×10^4	1.84×10^3	8.59×10^3	6.42×10^2
东丽	2.68×10^3	2.68×10^3	4.52×10^2	2.23×10^3	1.62×10^2
蓟县	3.15×10^0	3.15×10^0	5.28×10^{-1}	2.63×10^0	1.74×10^{-1}
宝坻	1.17×10^2	2.79×10^2	4.54×10^1	2.33×10^2	1.69×10^1
武清	2.81×10^3	4.28×10^3	7.26×10^2	3.56×10^3	2.55×10^2
宁河	3.27×10^2	4.16×10^2	6.83×10^1	3.48×10^2	2.47×10^1
汉沽	1.21×10^3	2.40×10^3	3.77×10^2	2.02×10^3	1.43×10^2
塘沽	2.07×10^3	3.77×10^3	6.02×10^2	3.16×10^3	2.27×10^2
大港	3.45×10^1	4.58×10^1	6.79×10^0	3.90×10^1	2.64×10^0
静海	7.22×10^1	8.18×10^1	1.10×10^1	7.08×10^1	4.41×10^0

土壤粒径为 0.1~0.2 mm, 悬浮的土壤粒径为 <0.1 mm, PM₁₀ 的粒径 <0.01 mm.

其中, 蓟县起尘量低与其地表状况和气象条件有关, 蓟县林地面积很大, 有很强的防风固沙作用, 绿地面积占蓟县总面积的 21.5%. 同时天津最大的水库(于桥水库)也位于蓟县境内, 水域面积占蓟县总面积的 5.93%. 统计 >8 m·s⁻¹ 的蓟县风频, 全年只有 1 次, 这也正是蓟县区起尘量最小的主要原因. 2009 年, 大港出现 >8 m·s⁻¹ 风速的风频为 10 次, 静海为 11 次, 所以这 2 个区也出现了较低的起尘量

值. 2009 年, 津南区出现 >8 m·s⁻¹ 风速的风频为 157 次, 西青为 101 次, 所以这 2 个区出现了较高的起尘量值.

3.2 各区县起尘量

根据 WEPS 软件计算得出天津市 2009 年各区起尘量见表 2. 2009 年, 武清风蚀土壤毛损失(2.51 × 10⁶ t)、平均总土壤损失(3.83 × 10⁶ t)、(蠕移质 + 跃移质)平均损失量(6.49 × 10⁵ t)、悬移质平均损失量(3.18 × 10⁶ t)、PM₁₀ 平均损失量(2.28 × 10⁵ t)均为最大, 其次为津南和西青.

表 2 天津市 2009 年各区起尘量/t

Table 2 Dust emission fluxes in Tianjin suburb an districts in 2009/t

区县	风蚀土壤毛损失	平均总土壤损失	(蠕移质 + 跃移质) 平均损失量	悬移质平均损失量	PM ₁₀ 平均损失量
北辰	9.48×10^4	9.99×10^4	1.58×10^4	8.41×10^4	5.73×10^3
西青	1.48×10^6	2.72×10^6	4.63×10^5	2.26×10^6	1.61×10^5
津南	1.73×10^6	3.77×10^6	6.65×10^5	3.10×10^6	2.32×10^5
东丽	1.00×10^6	1.00×10^6	1.69×10^5	8.34×10^5	6.05×10^4
蓟县	3.01×10^3	3.01×10^3	5.04×10^2	2.51×10^3	1.66×10^2
宝坻	8.33×10^4	1.99×10^5	3.24×10^4	1.66×10^5	1.21×10^4
武清	2.51×10^6	3.83×10^6	6.49×10^5	3.18×10^6	2.28×10^5
宁河	2.44×10^5	3.11×10^5	5.10×10^4	2.60×10^5	1.85×10^4
汉沽	2.87×10^5	5.70×10^5	8.98×10^4	4.81×10^5	3.40×10^4
塘沽	1.32×10^6	2.41×10^6	3.86×10^5	2.02×10^6	1.45×10^5
大港	2.60×10^4	3.45×10^4	5.11×10^3	2.94×10^4	1.98×10^3
静海	9.03×10^4	1.02×10^5	1.37×10^4	8.84×10^4	5.51×10^3

3.3 各区县指向中心城区起尘量

根据 WEPS 软件计算得出天津市 2009 年各区指向中心城区通过单位地块边界起尘量见表 3. 2009 年, 武清指向中心城区通过单位地块边界起尘量和总起尘量均为最大, PM₁₀ 的量在 2009 年达到 1.25 × 10⁵ t. 可见, 从全年来看, 武清对中心城区输送尘的量较之其它区县为大. 各区县 PM₁₀ 损失量及到达中心城区 PM₁₀ 损失量比例, 见图 3, 其中中心城

区北方向的比例大于南方向.

大港、汉沽及津南三区指向中心城区的起尘量为 0. WEPS 模型的起尘风速阈值为 8 m·s⁻¹, 将该三区的气象站中 >8 m·s⁻¹ 的小时风频进行统计, 将 >8 m·s⁻¹ 的小时风频与行政区进行叠加, 见图 4, 大港位于天津市中心城区的东南方向, >8 m·s⁻¹ 的小时风多出现在西北和东向, 而大港只有吹偏东南风才能吹向中心城区; 汉沽位于天津市中心城区的

表 3 天津市 2009 年各区指向中心城区单位地块起尘量及总起尘量

Table 3 Dust emission fluxes pointing to the central area and the total dust emission fluxes in Tianjin suburban districts in 2009

区县	单位地块起尘量/t·km ⁻¹			总起尘量/t		
	蠕移 + 跃移量	悬浮量	PM ₁₀	蠕移 + 跃移量	悬浮量	PM ₁₀
北辰	3.34 × 10 ¹	1.81 × 10 ²	1.22 × 10 ¹	1.02 × 10 ⁴	5.52 × 10 ⁴	3.72 × 10 ³
西青	1.32 × 10 ²	6.74 × 10 ²	4.62 × 10 ¹	7.23 × 10 ⁴	3.69 × 10 ⁵	2.53 × 10 ⁴
津南	0.00 × 10 ⁰	3.05 × 10 ⁻⁷	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	1.10 × 10 ⁻⁴	0.00 × 10 ⁰
东丽	2.64 × 10 ¹	1.42 × 10 ²	1.02 × 10 ¹	9.89 × 10 ³	5.30 × 10 ⁴	3.82 × 10 ³
蓟县	3.86 × 10 ⁻¹	2.11 × 10 ⁰	1.40 × 10 ⁻¹	3.69 × 10 ²	2.02 × 10 ³	1.34 × 10 ²
宝坻	2.64 × 10 ¹	1.39 × 10 ²	1.02 × 10 ¹	1.89 × 10 ⁴	9.91 × 10 ⁴	7.30 × 10 ³
武清	3.91 × 10 ²	1.98 × 10 ³	1.40 × 10 ²	3.50 × 10 ⁵	1.77 × 10 ⁶	1.25 × 10 ⁵
宁河	1.71 × 10 ¹	8.88 × 10 ¹	6.26 × 10 ⁰	1.27 × 10 ⁴	6.63 × 10 ⁴	4.68 × 10 ³
汉沽	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰	0.00 × 10 ⁰
塘沽	1.33 × 10 ²	7.18 × 10 ²	5.13 × 10 ¹	8.49 × 10 ⁴	4.60 × 10 ⁵	3.29 × 10 ⁴
大港	4.39 × 10 ⁻⁷	8.78 × 10 ⁻⁷	0.00 × 10 ⁰	3.31 × 10 ⁻⁴	6.61 × 10 ⁻⁴	0.00 × 10 ⁰
静海	1.49 × 10 ⁰	1.01 × 10 ¹	6.13 × 10 ⁻¹	1.86 × 10 ³	1.27 × 10 ⁴	7.67 × 10 ²

东向, >8 m·s⁻¹ 的小时风多出现在西北方向, 而汉沽只有吹偏东风才能吹向中心城区; 津南位于天津市中心城区的东南方向, >8 m·s⁻¹ 的小时风多出现在西北方向, 而津南只有吹偏东南风才能影响中心城区. 所以, 该三区不具备指向中心城区的起尘条件.

3.4 各方向指向中心城区起尘量

根据 WEPS 软件计算得出天津市 2009 年各方向指向中心城区通过单位地块边界起尘量及总起尘量见表 4. 2009 年, 通过单位地块边界的起尘量来自西方向的最大 (蠕移 + 跃移量: 2.18 × 10² t·km⁻¹, 悬浮量: 1.03 × 10³ t·km⁻¹, PM₁₀: 7.43 × 10¹ t·km⁻¹), 而总起尘量来自北方向的最大 (蠕移 + 跃移量: 2.60 × 10⁵ t, 悬浮量: 1.40 × 10⁶ t, PM₁₀: 9.68 × 10⁴ t).

表 4 中 S 方向上包含的区县有西青、津南、静海、大港和塘沽, 而这 5 个区县提供中心城区来自 S 方向的尘. 统计该 5 个区县 2009 年风速 >8 m·s⁻¹ 的 S 风向的频率为 0, 所以 S 方向对中心城区的贡献量为 0.

3.5 与箱模型模拟结果比较

基于箱模型和源解析结果估算土壤风沙尘起尘量:

$$Q = \rho [A \sqrt{S} + 0.031536 (V_d + W_r R) S] \quad (10)$$

式中, Q 为城区内相应于某源类的质量浓度贡献值的排放量, 10⁴ t·a⁻¹; ρ 为城区 PM₁₀ 的贡献值, mg·m⁻³; S 为城区面积, km²; V_d 为颗粒物干沉降速率, cm·s⁻¹; W_r 为颗粒物清洗比, 无量纲; R 为城区年均降水量, mm·a⁻¹; A 为总量控制系数.

箱模型中选取的参数值如下: 土壤风沙尘对



图 3 2009 年天津市各区县 PM₁₀ 损失量及到达中心城区 PM₁₀ 损失量比例

Fig. 3 Ratios of the PM₁₀ emission fluxes in Tianjin suburban districts and the PM₁₀ emission fluxes transported to central area in 2009

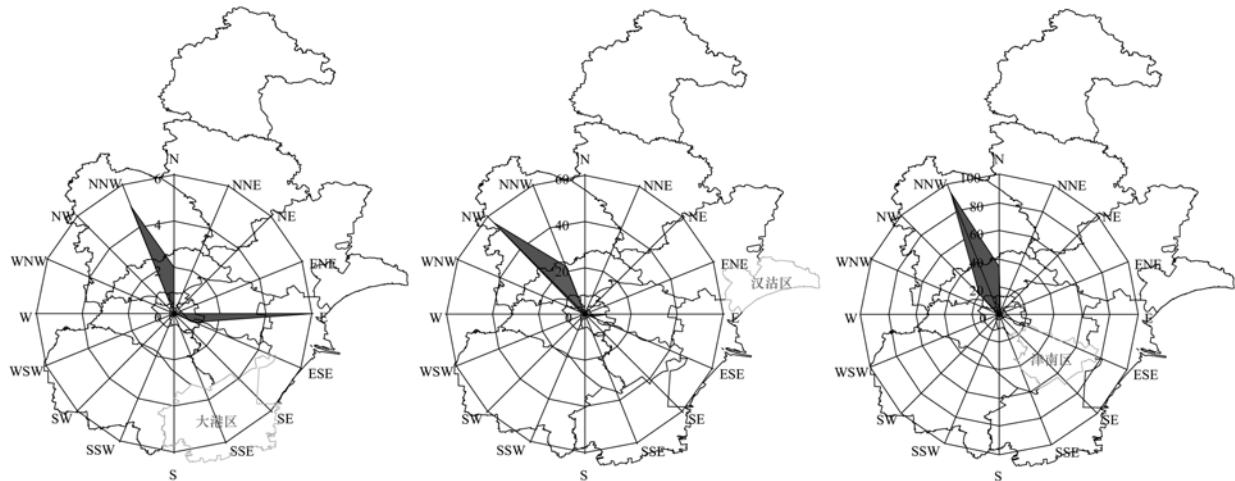


图 4 $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的小时风频与行政区叠加图

Fig. 4 Overlapping of the wind frequencies with $>4.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ speed and the administrative divisions

表 4 天津市 2009 年各方向指向中心城区单位地块起尘量及总起尘量

Table 4 Dust emission fluxes pointing to the central district and dust emission fluxes from N, S, W and E in Tianjin suburban in 2009

方向	单位地块起尘量/ $\text{t}\cdot\text{km}^{-1}$			总起尘量/t		
	蠕移 + 跃移量	悬浮量	PM_{10}	蠕移 + 跃移量	悬浮量	PM_{10}
N	9.03×10^1	4.86×10^2	3.36×10^1	2.60×10^5	1.40×10^6	9.68×10^4
S	1.53×10^{-6}	6.56×10^{-6}	0.00×10^0	3.20×10^{-3}	1.37×10^{-2}	0.00×10^0
W	2.18×10^2	1.03×10^3	7.43×10^1	2.06×10^5	9.76×10^5	7.01×10^4
E	5.06×10^1	2.73×10^2	1.95×10^1	9.47×10^4	5.11×10^5	3.64×10^4

PM_{10} 的贡献值 ρ 为 $0.104\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$;中心城区面积 S 为 300 km^2 ; PM_{10} 的年均干沉降速率为 $0.44\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$;颗粒物清洗比 W_r 为 1.9×10^{-3} ;年均降水量 R 为 $591.1\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$;总量控制系数 A ,按照《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》中的计算方法,天津市 A 值范围为 $4.2 \times 10^4 \sim 5.6 \times 10^4\text{ km}^2\cdot\text{a}^{-1}$,本研究中 A 值取值为 $5 \times 10^4\text{ km}^2\cdot\text{a}^{-1}$.据此计算得出天津中心城区土壤风沙尘 PM_{10} 的贡献量为 $1.04 \times 10^5\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,而WEPS模拟2009年郊区土壤风蚀起尘引起的 PM_{10} 损失量进入中心城区部分为 $2.03 \times 10^5\text{ t}$,说明WEPS模型和箱模型的模拟结果有一定的差距.本研究结果是基于天津市2002年 PM_{10} 源解析的结果,而WEPS模型模拟的是2009年的结果,这是造成一定误差的原因;同时WEPS模型没有考虑远距离颗粒物的输送,只是天津市郊区土壤风蚀开放源对中心城区空气质量影响的估算.

4 讨论

风洞实验的风速为距地面约20 cm的近地面风速,而WEPS模型中的输入风速为10 m高的气象站风速,二者关系在WEPS模型中进行了换算^[30],见公式(11).据此, $8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的10 m高的气象站风速相

当于 $4.57\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的近地面风速.

$$u_2 = u_1 (Z_2/Z_1)^{1/7} \tag{11}$$

其中, u_1 和 u_2 分别是高度为 Z_1 和 Z_2 高度的风速.

因为只有当距地表10 m高的风速 $>8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的时候,WEPS模型的侵蚀子模型才会启动,因此这个启动风速阈值直接影响最后的模拟结果,而不同的土壤机械组成以及不同的植被覆盖情况都会影响到风蚀的风速阈值,因此今后应结合本地区的实际地表情况开展风洞实验,更准确地确定风速阈值,以提高模拟精度.

在土壤文件本地化的过程中,最终确定5种土壤文件,而更为破碎的栅格土壤类型则被忽略.在管理文件本地化的过程中,最终确定16种管理文件而更为破碎的栅格土壤类型则被忽略.今后可更为精细的制作不同类型的土壤文件和管理文件,改善模拟结果的精度.

5 结论

(1)由悬移运动产生的起尘量大于蠕移和跃移运动,也就是大部分起尘的封颗粒粒径 $<0.1\text{ mm}$,而悬移质损失量中 PM_{10} 占7.2%,该部分颗粒物是影响质量和人体健康的重要因素.

(2)2009 年,天津郊区自北向南进入中心城区的 PM_{10} 损失量呈下降趋势,其中大港、汉沽、津南三区由于气象条件(主要是风向)的影响,虽有 PM_{10} 损失,但却并不进入中心城区,对该区空气质量影响不大。

(3)2009 年,通过单位地块边界的起尘量来自西方向的最大,而总起尘量来自北方向的最大,这说明虽然位于中心城区西方向的平均单位地块起尘量较大,位于中心城区北方向的起尘地块总量大于其他方向,也就是起尘面积更大。

参考文献:

- [1] Waggoner A P, Weiss R E, Ahlquist N C, *et al.* Optical characteristics of atmospheric aerosols [J]. *Atmospheric Environment*, 1981, **15**(10-11): 1891-1909.
- [2] Waldman J M, Lioy P J, Zelenka M, *et al.* Wintertime measurements of aerosol acidity and trace elements in Wuhan, a city in central China [J]. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 1991, **25**(1): 113-120.
- [3] 朱坦,白志鹏,陈威,等. 化学质量平衡受体模型新技术的应用——TEDA 大气颗粒物来源解析实例[J]. *城市环境与城市生态*, 1996, **9**(1): 9-14.
- [4] Tegen I, Fung I. Modeling of mineral dust in the atmosphere: sources, transport, and optical thickness [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**(D11): 22897-22914.
- [5] Tegen I, Lacis A A. Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, **101**(D14): 19237-19244.
- [6] 戴树桂. 环境化学进展[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 18-56.
- [7] 余晔,夏敦胜,陈雷华,等. 兰州市 PM_{10} 污染变化特征及其成因分析[J]. *环境科学*, 2010, **31**(1): 22-28.
- [8] 秦保平,解辉,韩静. 天津市空气污染物 PM_{10} /TSP 比例研究[J]. *城市环境与城市生态*, 2002, **15**(6): 20-21.
- [9] 黄鹂鸣,王格慧,王荟,等. 南京市空气中颗粒物 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 污染水平[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(4): 334-337.
- [10] 任晰,胡非,胡欢陵,等. 2000-2002 年沙尘现象对北京大气中 PM_{10} 质量浓度的影响评估[J]. *环境科学研究*, 2004, **17**(1): 51-55.
- [11] 韩旻,白志鹏,姬亚芹,等. 裸土风蚀型开放源起尘机制研究进展[J]. *环境污染与防治*, 2008, **30**(2): 77-82.
- [12] 王帅杰,朱坦. 城市空气颗粒物开放源理论与治理技术研究进展[J]. *城市环境与城市生态*, 2003, **16**(6): 193-194.
- [13] 张利文,白志鹏,郭光焕,等. 开放源对环境空气质量影响的评估技术与实例[J]. *环境科学研究*, 2006, **19**(3): 18-23.
- [14] 王存忠,牛生杰,周悦. 中国风蚀起沙研究进展[J]. *气象*, 2009, **35**(11): 107-116.
- [15] 邢茂,郭烈锦. 土壤风蚀中粉尘释放规律研究[J]. *中国科学 G 辑: 物理学 力学 天文学*, 2008, **38**(8): 984-998.
- [16] 高尚玉,张春来,邹学勇,等. 京津风沙源治理工程效益 [M]. 北京: 科学出版社, 2008. 32-76.
- [17] 韩庆杰,屈建军,张克存,等. 华南热带湿润海滩风蚀模数的风洞研究[J]. *水土保持学报*, 2010, **24**(1): 37-40.
- [18] 王学芳,孙万仓,李孝泽,等. 我国北方风蚀区冬油菜抗风蚀效果[J]. *生态学报*, 2009, **29**(12): 6572-6577.
- [19] 王学芳,孙万仓,李芳,等. 中国西部冬油菜种植的生态效应评价[J]. *应用生态学报*, 2009, **20**(3): 647-652.
- [20] Villasenor R, López-Villegas M T, Eidels-Dubovoi S, *et al.* A mesoscale modeling study of wind blown dust on the Mexico City Basin [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(18): 2451-2462.
- [21] Funk R, Skidmore E L, Hagen L J. Comparison of wind erosion measurements in Germany with simulated soil losses by WEPS [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2004, **19**(2): 177-183.
- [22] Hoffmann C, Funk R, Wieland R, *et al.* Effects of grazing and topography on dust flux and deposition in the Xilingele grassland, Inner Mongolia [J]. *Journal of Arid Environments*, 2008, **72**(5): 792-807.
- [23] Korcz M, Fudala J, Kliś C. Estimation of wind blown dust emissions in Europe and its vicinity [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(7): 1410-1420.
- [24] Hoffmann C, Funk R, Sommer M, *et al.* Temporal variations in PM_{10} and particle size distribution during Asian dust storms in Inner Mongolia [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(36): 8422-8431.
- [25] Offer Z Y, Goossens D. Thirteen years of aeolian dust dynamics in a desert region (Negev desert, Israel): analysis of horizontal and vertical dust flux, vertical dust distribution and dust grain size [J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, **57**(1): 117-140.
- [26] Hagen L J. Evaluation of the Wind Erosion Prediction System (WEPS) erosion submodel on cropland fields [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2004, **19**(2): 171-176.
- [27] Coen G M, Tatarko J, Martin T C, *et al.* A method for using WEPS to map wind erosion risk of Alberta soils [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2004, **19**(2): 185-189.
- [28] Visser S M, Sterk G, Karssenbergh D. Wind erosion modelling in a Sahelian environment [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2005, **20**(1): 69-84.
- [29] Manhattan, Kansas. WEPS1.0 User Manual [R]. 2010.
- [30] Hager L J. WEPS Technical document [R]. 1996.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jianshan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-ying, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《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)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人