

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化	祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)
基于重庆本地碳成分谱的 PM _{2.5} 碳组分来源分析	张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)
重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究	徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)
基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析	王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)
基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)
典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析	徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)
火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究	王占山, 潘丽波 (853)
国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性	楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)
稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)
河口湿地近地面大气 CO ₂ 浓度日变化和季节变化	张林海, 仝川, 曾从盛 (879)
三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量	李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)
施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH ₄ 、N ₂ O 和 NH ₃ 排放特征	万合峰, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)
干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响	张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)
长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究	吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)
汾河中游浮游藻类群落特征及水质分析	王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)
基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究	陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)
三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征	李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)
黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析	于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)
太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素	揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)
黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系	董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)
纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究	杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)
铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究	唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)
磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响	张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)
预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响	赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)
陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行	付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)
冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征	黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)
烷基多苷促进污泥水解产酸的研究	陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)
高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响	操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)
兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价	李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)
珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价	郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)
海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价	李飞, 徐敏 (1035)
再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险	吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)
瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估	李如忠, 邵阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)
三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价	张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)
基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价	陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)
干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究	薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)
缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入	孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)
三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响	韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)
黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)
天然林土壤有机碳及矿化特征研究	杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)
不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化	张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)
硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响	杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)
6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应	山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)
基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究	张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)
人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究	吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)
农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析	陈晓娟, 吴小江, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)
中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态	宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)
苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析	周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)
UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响	刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)
Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响	张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)
对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究	宋彩霞, 邓新平, 厉阍, 肖伟 (1176)
克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用	刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)
铅元素人为循环环境释放物形态分析	梁静, 毛建素 (1191)
污染排放与环境质量关系模型构建与应用	李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)
微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展	闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)
《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)	

污染排放与环境质量关系模型构建与应用

李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉

(中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 为分析污染排放与环境质量的相互影响, 构建了环境质量与污染排放关系模型, 将环境质量与污染排放的关系划分为低污染-高质量、高污染-高质量、高污染-低质量、低污染-低质量这4种类型, 探讨不同类型间的演变路径, 并以2005~2010年中国各地区数据对建立的模型进行实证分析. 结果表明, 中国大部分省区属于高污染-低质量类型, 且研究期内类型格局未发生明显变化; 大部分省区环境质量指数高于污染排放指数, 污染物排放量超过环境容量, 污染物减排是各地所面临的首要环境问题; 中国目前正处于环境治理的关键时期, 应防止经济系统对环境系统的过度扰动. 研究结果有助于各地区研判环境形势, 推进污染减排, 从而最终改善环境质量.

关键词: 环境质量; 污染排放; 关系模型; 偏差; 演变路径

中图分类号: X820 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-1198-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.03.054

Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model

LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, ZHANG Jian-hui

(China National Environment Monitoring Center, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to explore the mutual influence between pollutant discharge and environment quality, relation models of pollutant discharge and environmental quality were established, and the relationship was divided into four types, low pollutant discharge-high environmental quality, high pollutant discharge-high environmental quality, high pollutant discharge-low environmental quality, and low pollutant discharge-low environmental quality. The evolution paths from one type into another were also discussed. The regional data in 2005 and 2010 was used to validate the pollutant discharge-environmental quality models. The results showed that most regions of China belonged to the high pollutant discharge-low environmental quality type, and the pollutant discharge-environmental quality type didn't vary too much during the 2005-2010 period. In the majority of provinces, the environmental quality index was higher than the pollutant discharge index, and the pollutant discharge quantity overflowed the environmental capacity. The reduction of pollutant discharge quantity should be the most important environmental problem in China. At present, China is in a critical period of environmental governance, and excessive disturbance from economic system to the environment system should be prevented. The results should be helpful for understanding the regional environmental quality situation, on the implementation of pollutant discharge reduction, and the improvement of environmental quality.

Key words: environment quality; pollution emission; relation model; deviation; evolution path

当前, 发展中国家工业化过程中产生的环境质量退化成为各国关注的热点^[1,2], 是影响区域可持续发展的瓶颈之一. 中国正处于工业化的中后期, 环境问题非常突出, 人民群众改善环境质量的愿望相当强烈, 政府所推出的节能减排等措施正是希望通过污染减排达到改善环境质量的目. 欧美发达国家在工业化过程中也曾经经历严重的环境问题, 但他们通过产业转移与升级、技术改造等方式减少污染物排放量, 使整体环境质量得到较大程度改善, 但局部环境问题仍然存在. 因此, 发达国家研究污染排放与环境质量关系时往往着眼于微观尺度^[3~5], 如交通污染对道路周边环境的影响^[6,7]、污染物浓度随点源距离的递变规律等^[8], 注重污染排放对生物^[9,10]、人体健康^[11]等影响. 在区域尺度上, 由于本地污染物排放大量减少, 发达国家对污染物的跨

境转移较为关注^[12], 在环境质量的短时预报^[13]和长时情景模拟^[14]也有深入研究. 受国外影响, 我国污染排放对环境质量影响的研究也注重微观尺度^[15], 中观尺度研究集中在城市^[16,17], 较为关注污染物远距离传输对环境质量的影响^[18,19], 也有学者探讨污染源空间分布对环境质量的影响^[20,21], 研究环境质量与污染排放变化的同步性、关联性^[22]. 但总体来看, 国内中、宏观尺度上环境质量与污染排放关系的研究还较少, 缺乏对中国污染排放与环境质量关系演变路径的分析. 随着中国环境管理目标由以排放量削减为导向的总量控制向以环境质量改

收稿日期: 2013-07-29; 修订日期: 2013-10-18

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201304301)

作者简介: 李名升(1981~), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为环境质量综合分析与评价, E-mail: lims@cnemc.cn

善为导向的总量控制转变,对区域尺度污染排放与环境质量关系的研究就更为迫切。

本研究通过建立环境质量与污染排放关系模型,探索经济发展过程中污染物排放对环境质量的影 响,并以 2005 ~ 2010 年中国各地区数据对建立的模型进行实证分析。

1 污染排放与环境质量关系模型

人类社会向自然界排放的废弃物包括废水污染物、废气污染物、固体废物等。在量化各类污染物数量的基础上,通过一定的方法可以将各种废弃物排放量标准化为污染排放指数。环境质量包括水环境质量、空气质量、声环境质量、海洋环境质量等。与污染排放指数的构建类似,在量化各环境要素的基础上也可以通过一定方法构建标准化的环境质量指数。

假设污染排放指数和环境质量指数均标准化为 0 ~ 1 的正向数值(即数值越大越好),则可建立如图 1 所示污染排放与环境质量的关系模型。

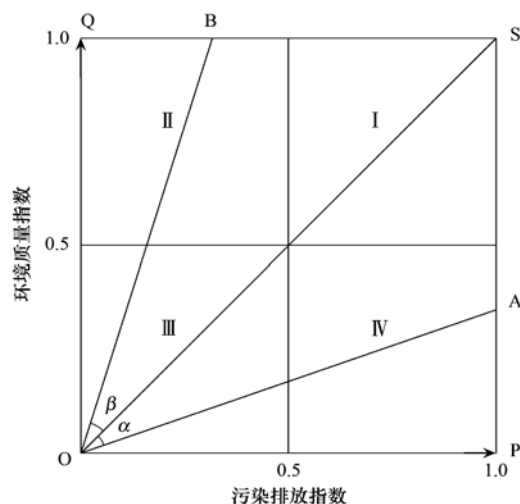


图 1 污染排放与环境质量关系模型

Fig. 1 Relation model between pollution emission and environment quality

图 1 中,直线 $x = 0.5$ 、 $y = 0.5$ 将 $[0, 1]$ 之间的正方形分成 I、II、III、IV 等 4 个区域,4 个区域代表了不同的污染排放-环境质量关系。

区域 I: 低污染-高质量型。 区域 I 是一种可持续发展模式,污染物排放量少,环境质量高。其典型代表是工业化革命以前的世界各国,可称为环境和谐期。

区域 II: 高污染-高质量型。 在工业化初期,人类向自然界排放的污染物急剧增加,但自然环境具有

一定的吸纳、消解污染物的能力,当污染物排放量未达到自然环境的环境容量时,环境质量仍处于较好水平。这一时期环境问题虽然尚未影响人类健康,但若不加控制必将产生严重的环境问题,可称为环境问题埋藏期。

区域 III: 高污染-低质量型。 随着传统工业化发展模式的推进,污染物排放量超过环境容量,污染物的排放对人类健康和可持续发展形成严重威胁,环境质量持续下降,环境问题集中爆发。这一时期可称为环境问题爆发期。

区域 IV: 低污染-低质量型。 在后工业革命时期,人类开始反思传统工业化带来的弊端,调整产业结构,提高产业技术水平,采用更环保节能的设备,从而一定程度上削减了污染物排放量。当污染物产生量仍大于环境消解量时,环境质量还将继续恶化,此时体现了环境质量变化的滞后性特点;当污染物产生量小于环境消解量时,环境质量将在低水平基础上逐步改善。

区域 I、II、III、IV 之间存在多种演变路径。传统的工业化发展模式所经历的污染排放-环境质量演变路径为 $I \rightarrow II \rightarrow III \rightarrow IV \rightarrow I$,即通常所说的先污染后治理。若在环境问题埋藏期即采取环境友好的政策,在环境质量未发生根本性恶化之前开始减少环境污染,则有可能经历 $I \rightarrow II \rightarrow I$ 的演变过程。在环境问题爆发期,若未采取污染治理措施,任由污染物排放,当污染物累积量远超出环境容量时,环境系统可能发生崩溃,经历的演变过程为 $I \rightarrow II \rightarrow III \rightarrow$ 崩溃,且是不可逆过程。在部分区域,如河流下游、大气污染源下风向地区等,即使本身污染物排放量较小,受周边污染源影响,则可能经历 $I \rightarrow IV$ 的演变过程。

图 1 中,直线 OS 上的各点环境质量指数与污染排放指数相等,环境质量与污染排放相协调。正方形 OXSY 内其他各点环境质量与污染排放之间均有一定的偏差。其中,区域 OXS 内的各点环境质量指数小于污染排放指数,区域环境质量在未来一段时期有可能得到较大改善;区域 OYS 内各点污染排放指数小于环境质量指数,减少污染排放将是区域亟待解决的问题。正方形内任意一点 A 与原点 O 形成的直线 OA 与 OS 所围夹角 α 称为环境质量与污染排放的偏差,其大小可以表示环境质量与污染排放偏差的大小,其正负可以判断区域未来环境问题走向。

2 实证分析

本研究以各省份环境空气质量和废气污染物排放为例,对所建立的污染排放与环境质量关系模型进行实证分析.在实证中将北京、天津归入河北省,上海纳入江苏省计算,实际处理 28 个行政单元.研究年份选取 2005~2010 年,以考察污染排放与环境质量关系的演变趋势.

2.1 模型构建

环境空气质量指标选择环境监测中常规空气质量监测指标:SO₂ 浓度、NO₂ 浓度和 PM₁₀ 浓度,污染排放指标选择单位国土面积的 SO₂ 排放量、NO_x 排放量、烟尘与工业粉尘排放量.数据来源于相应年份的《中国环境质量报告》和《中国环境统计年报》.

根据上文所建立的关系模型,首先要对所选指标进行标准化处理,使各指标标准化为 0~1 的正向数值.本研究对数据的标准化处理采用式(1)、(2)的方法:

$$E_i = \bar{e}_i / e_i \quad (1)$$

$$P_i = \bar{p}_i / p_i \quad (2)$$

式中, E_i 和 P_i 分别为环境质量指标和污染排放指标的标准化数值; e_i 为某地区空气中污染物 i 的浓度值,为该地区所辖次级行政单元该污染物年均浓度的平均值; p_i 为某地区污染物 i 的排放量,为该地区所辖次级行政单元该污染物排放量的总和; $\bar{e}_i$ 、 $\bar{p}_i$ 为污染物 i 的标准化系数.

对空气质量指标,当空气质量为背景值(即未受任何人为污染)时,其标准化数值应为 1. 对污染排放指标,当排放量为 0 时,其标准化数值应为 1,但 0 排放是不可能实现的;当排放量为环境容量时,环境质量发生质变,此时标准化数值可以赋以 0.5. 因此,式(1)中标准化系数可以取环境背景值,式(2)中标准化系数可以取环境容量值.

环境背景值是指在不受污染的情况下,各环境要素中与环境污染有关的各种化学元素的含量,反映环境质量的原始状态.根据文献[23],自然保护区、风景名胜区和需要特殊保护的地区执行空气质量一级标准.因此,环境背景值应低于空气质量一级标准值.本研究取文献[23]中各污染物年均值一级标准限值的 1/2 近似作为环境背景值.

学术界对于环境容量的研究较为活跃,但多限于理论探讨^[24,25]和局部区域环境容量的计算^[26,27],尚未见诸对各省区环境容量的研究报道.美国与我国国土面积相近,自然条件有相似之处,但环境质量

较好且自 20 世纪 70 年代以来基本呈改善趋势,经济发展与环境污染的矛盾得到一定程度缓和,其污染物排放量可认为处于环境容量内.根据世界银行报道^[28],美国有机污水和 SO₂ 排放量约为我国的 2 倍左右,同时有成果表明^[29],2010 年我国 COD 和氨氮排放量约为环境容量的 2 倍左右,因此,可以近似认为美国单位面积国土的污染物排放量与我国环境容量基本相同.本研究取 2010 年全国单位国土面积 SO₂ 平均排放量的 1/2 作为环境容量值(约为美国单位面积排放量).由于未能获取美国 2010 年 NO_x、烟尘与工业粉尘的排放量,这 2 个指标的环境容量值参考 SO₂,取 2010 年全国单位国土面积污染物排放量的 1/2.

在对各项指标标准化处理以后,还需将各指标综合成环境质量指数和污染排放指数.本研究采用等权加和方法计算.

$$E = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_i \quad (3)$$

$$P = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 P_i \quad (4)$$

式中, E 为环境质量指数, P 为污染排放指数,其他变量含义同式(1)、(2).

2.2 环境质量变化分析

2010 年,全国 28 个行政单元 SO₂ 年均浓度范围为 0.009~0.050 mg·m⁻³,NO₂ 年均浓度范围为 0.016~0.042 mg·m⁻³,PM₁₀ 年均浓度范围为 0.033~0.113 mg·m⁻³.与 2005 年相比,大部分地区污染物浓度有所下降,SO₂ 年均浓度变化范围为 -71.8%~48.3%,NO₂ 年均浓度变化范围为 -44.7%~35.7%,PM₁₀ 年均浓度变化范围为 -52.5%~22.0%.仅分别有 3 个、9 个和 4 个地区 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 年均浓度升高.

MPI 指数可用于比较各地环境质量或比较年际间环境质量^[30].计算公式如下:

$$MPI = \frac{\sum (AC_i - GC_i) / GC_i}{n} \quad (4)$$

式中, i 为第 i 种污染物,AC 为污染物实际浓度,GC 为污染物参考值,本研究取世界卫生组织对各污染物的指导值.若 MPI = -1,则表明该地区空气质量未受任何污染;MPI > 0,则表明该地区某一(几)种污染物高于世界卫生组织指导值,且 MPI 越大,污染越严重.

2010 年,各地区 MPI 指数范围为 -0.26~1.25,海南、西藏 MPI 指数小于 0;2005 年,MPI

指数范围为 $-0.28 \sim 2.68$, 海南 MPI 指数小于 0 (图 2). 与 2005 年相比, 仅 4 个地区 (海南、广西、山东、新疆) MPI 指数上升, 即环境质量略有降低.

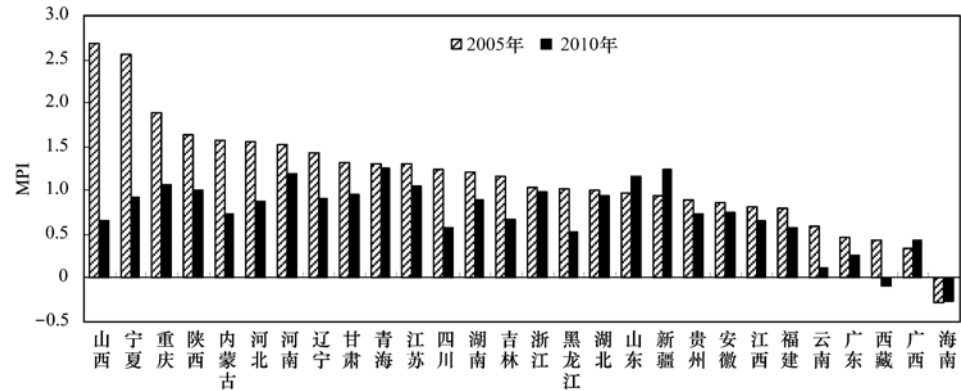


图 2 2005 与 2010 年各地区 MPI 指数值
Fig. 2 Province-specific MPI in 2005 and 2010

2.3 污染物排放分析

2010 年, 全国 SO_2 、 NO_x 、粉尘与工业烟尘排放量分别为 $2\,185.1 \times 10^4$ 、 $1\,852.5 \times 10^4$ 、 $1\,277.9 \times 10^4$ t. 与 2005 年相比, SO_2 、烟尘与工业粉尘分别下降 14.3% 和 39.0%, NO_x 排放量增加 21.6%. 27 个行政单元中 (因西藏大部分污染物排放量极少, 本节未计西藏), SO_2 排放量增加的仅新疆、青海、海南, 烟尘和工业粉尘排放量增加的仅青海、宁夏、新疆, NO_x 排放量减少的仅河北、上海、海南、辽宁.

2010 年, 单位国土面积 SO_2 、 NO_x 、粉尘和工业烟尘的排放量分别为 2.26、1.92、0.86 和 0.46

$\text{t} \cdot \text{km}^{-2}$. 27 个行政单元中, 青海单位面积 SO_2 、 NO_x 、烟尘与工业粉尘排放量最低, 分别为 0.20、0.15 和 $0.24 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$; 江苏 (含上海) 单位面积 SO_2 和 NO_x 排放量最高, 为 12.92 和 $15.65 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, 单位面积烟尘和工业粉尘排放量最高的是山西, 为 $6.32 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$; 分别有 8 个、10 个和 8 个行政单元单位面积 SO_2 、 NO_x 、烟尘与工业粉尘排放量低于全国平均值 (图 3).

2.4 污染排放与环境质量关系类型

将各地区环境质量与污染排放数据代入第一部分所建立模型, 可以考察各地区环境质量与污染排放类型 (表 1 和图 4).

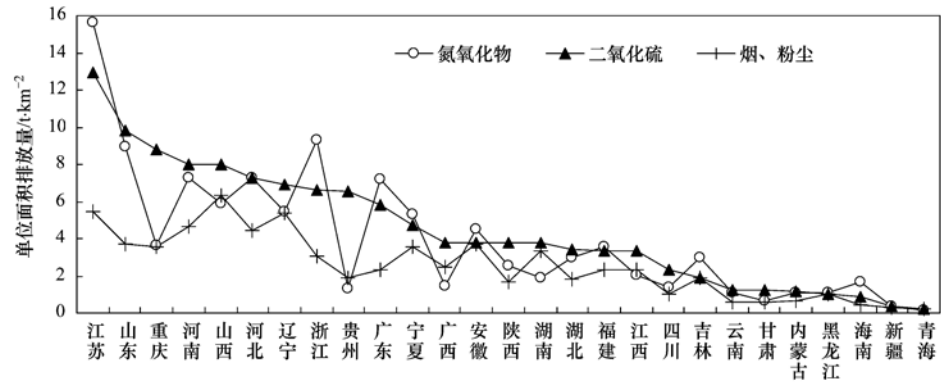


图 3 2010 年各地区主要污染物单位面积排放量
Fig. 3 Province-specific pollutions emission per unit area in 2010

表 1 2005 与 2010 年各地区污染排放-环境质量关系类型

Table 1 Province-specific relation type between pollution emission and environment quality in 2005 and 2010		
类型	2005 年	2010 年
I (低污染-高质量)	海南、西藏	海南、西藏
II (高污染-高质量)	云南	云南、广东、黑龙江、内蒙古
III (高污染-低质量)	河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、重庆、四川、贵州、陕西、宁夏	河北、山西、辽宁、吉林、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广西、重庆、四川、贵州、陕西、宁夏
IV (低污染-低质量)	甘肃、青海、新疆	甘肃、青海、新疆

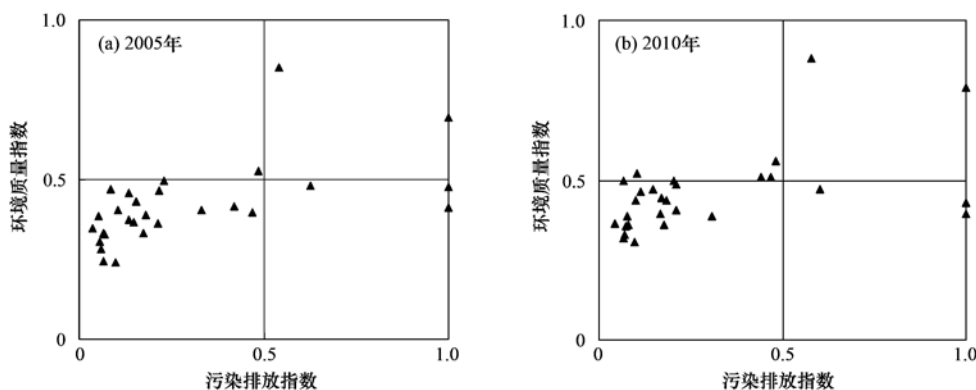


图4 2005与2010年各地区污染排放-环境质量散点图

Fig. 4 Scatter diagram between pollution emission and environment quality by province in 2005 and 2010

2005年与2010年,我国大部分地区处于所构建模型的Ⅲ区,即高污染-低质量,地区环境问题较为突出.海南、西藏、青海、甘肃、新疆等地区污染排放量较少,海南、西藏、云南环境质量较好.

2005年,全国共有22个地区处于所构建模型的Ⅲ区,即高污染-低质量.其中,河北、江苏、山东、辽宁、河南、山西等地区污染排放指数小于0.1且环境质量指数在0.3左右,工业化特征更为显著.海南、西藏两个地区污染物排放量较少,环境质量较高,但经济发展水平尤其是工业化水平相对较低,处于Ⅰ区.云南自然条件优越,环境自净能力较强,虽然污染物排放量较高,但环境质量较好,处于Ⅱ区.新疆、甘肃、青海这3个地区 SO_2 和 NO_2 污染较轻,受地理位置影响,沙尘较多,空气中 PM_{10} 污染较为严重,致使环境质量指数较低.因此,虽然这3个地区污染物排放量较少,但仍处于低污染-低质量的Ⅳ区.

2010年,除广东、黑龙江、内蒙古由Ⅲ区转变到Ⅱ区外,其他地区类型均未发生变化.广东地处我国南方,气候湿润,年平均降水量是全国平均降水量的3倍左右^[31];黑龙江森林覆盖率是全国平均水平的2倍以上.广东、黑龙江环境自净能力远高于全国平均水平.但本研究在计算各地区环境容量时由于数据无法获取,各地环境容量取全国平均值,易造成自然条件较好的地区污染排放指数偏低.因此,广东、黑龙江由Ⅳ区转变到Ⅰ区更切合实际.

分析2005~2010年年度间环境质量-污染排放关系类型变化情况,可以发现中国各省区类型格局未发生明显变化:仅广东自2008年、黑龙江自2009年起环境质量指数高于0.5,由Ⅲ区转变到Ⅱ区;内蒙古在研究期内变化较为复杂:2005年,内蒙古环

境质量与污染排放指数均小于0.5,属高污染-低质量型;自2007年起,污染排放指数高于0.5,步入低污染-低质量区;2009年起,环境质量指数也开始高于0.5,步入低污染-高质量区;但2010年,由于 NO_x 和烟粉尘排放量的激增,污染排放指数又降至0.5以下,演变为高污染-高质量型.未来随着污染减排政策的推进,预计内蒙古将稳定在Ⅰ区.

分析环境质量与污染排放的偏差可以看出,除新疆、青海、甘肃、内蒙古、西藏外,其他地区偏差均大于0,位于图1中OYS区域内,环境质量指数高于污染排放指数,污染物减排具有较大潜力,未来一段时间这些区域仍需致力于污染减排.

3 讨论

本研究在理论模型构建和实际应用中仍存在不足,主要有以下3个方面.

(1)所构建的模型仅为二维模型,限于讨论污染物排放与环境质量之间的关系.如果加入经济发展指标形成三维模型,探讨经济-污染-环境耦合发展将更为完善.

(2)环境空气质量指数的计算仅考虑3项常规污染物,未考虑臭氧、 $\text{PM}_{2.5}$ 、挥发性有机物等,不能完全代表环境空气质量.

(3)由于不能获得每一省区环境背景值和环境容量值,本研究在计算标准化数值时对各省区采用统一的标准化系数,这就暗含假设条件:各地区环境背景值相同,相同面积的国土环境自净能力是相等的.而这对中国这样一个幅员辽阔的大国而言是不可能的.因此,若能对模型进行分区(如划分东、中、西部地区),其适用性将更强.

就模型的适用性而言,该模型较为适合在中、

宏观尺度上使用,若有长时间序列的数据支撑,尤其适合研判区域环境形势在时间尺度上的变化. 当需要运用该模型进行区域间横向比较时,需首先进行各区域环境背景和环境容量的测算.

4 结论

(1)本研究在理论上构建了环境质量与污染排放关系模型,并将两者的关系分为4类,即低污染-高质量、高污染-低质量、高污染-低质量、低污染-低质量,探讨了不同类型间的多种演变路径,指出在高污染-低质量阶段,若环境问题不得以妥善处理,环境系统面临崩溃风险.

(2)在实证上分析了2005~2010年中国各省区环境质量与污染排放的类型与演变,发现大部分省区污染排放-环境质量关系表现为高污染-低质量,且在研究期内类型格局未发生明显变化.

(3)中国80%以上的省区环境质量与污染排放的偏差大于0,污染物排放量超过环境容量,环境质量指数相对高于污染排放指数. 减少污染物排放是各地面临的首要环境问题.

(4)中国目前正面临污染排放较多、环境质量较差的严峻环境形势,依然没有摆脱工业化国家环境污染的怪圈,处于环境治理的关键时期. 应采取强有力措施控制污染物排放,最终实现环境质量的改善,防止环境系统受经济系统扰动过大而导致环境系统受到不可逆转的损害.

参考文献:

- [1] Fang M, Chan C K, Yao X H. Managing air quality in a rapidly developing nation: China [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(1): 79-86.
- [2] Zuo H, Ai D X. Environment, energy and sustainable economic growth [J]. *Procedia Engineering*, 2011, **21**(2): 513-519.
- [3] Loibl W, Orthofer R. From national emission totals to regional ambient air quality information for Austria [J]. *Advances in Environmental Research*, 2001, **5**(4): 395-404.
- [4] Kouassi A M, Kaba N, Métongo B S. Land-based sources of pollution and environmental quality of the Ebrié lagoon waters [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1995, **30**(5): 295-300.
- [5] Milovanovic M. Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe [J]. *Desalination*, 2007, **213**(1-3): 159-173.
- [6] Costabile F, Allegrini I. A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2008, **23**(3): 258-267.
- [7] Matthias V, Bewersdorff I, Aulinger A, *et al.* The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(6): 2241-2250.
- [8] Mayer H, Kalberlah F. Two impact related air quality indices as tools to assess the daily and long-term air pollution [J]. *International Journal of Environment and Pollution*, 2009, **36**(1-3): 19-29.
- [9] Murena F. Measuring air quality over large urban areas: development and application of an air pollution index at the urban area of Naples [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(11): 6195-6202.
- [10] Paoli L, Corsini A, Bigagli V, *et al.* Long-term biological monitoring of environmental quality around a solid waste landfill assessed with lichens [J]. *Environmental Pollution*, 2012, **161**(2): 70-75.
- [11] Laden F, Schwartz J, Speizer F E, *et al.* Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study [J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2006, **173**(6): 667-672.
- [12] Miller L, Farhana S, Xu X H. Trans-boundary air pollution in Windsor, Ontario (Canada) [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, **2**(1): 585-594.
- [13] Borge G R, Alexandrov V N, Del Vas J J, *et al.* A comprehensive sensitivity analysis of the WRF model for air quality applications over the Iberian Peninsula [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(37): 8560-8574.
- [14] Brulfert G, Chemela C, Chaxel E, *et al.* Assessment of 2010 air quality in two Alpine valleys from modelling: Weather type and emission scenarios [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(40): 7893-7907.
- [15] 崔桂香, 许春晓, 张兆顺, 等. 城市大气环境的数值模拟 [J]. *科技导报*, 2007, **25**(14): 15-21.
- [16] 董芬, 王喜全, 王自发, 等. 北京地区大气污染分布的“南北两重天”现象 [J]. *气候与环境研究*, 2013, **18**(1): 63-70.
- [17] 孙志强, 吉东生, 宋涛, 等. 奥运时段北京及近周边区域空气污染观测与比对分析 [J]. *环境科学*, 2010, **31**(12): 2852-2859.
- [18] 陶俊, 柴发合, 朱李华, 等. 2009年春季成都城区碳气溶胶污染特征及其来源初探 [J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(12): 2756-2761.
- [19] 王艳, 柴发合, 王永红, 等. 长江三角洲地区大气污染物输送规律研究 [J]. *环境科学*, 2008, **29**(5): 1430-1435.
- [20] 王磊, 张磊, 段学军, 等. 江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应 [J]. *生态学报*, 2011, **31**(22): 6832-6844.
- [21] 骆育敏, 梁明易, 蒋伟强, 等. 广东南江工业园经济区对周边水域的影响分析 [J]. *生态科学*, 2003, **22**(4): 310-312.
- [22] 李名升, 张建辉, 罗海江, 等. “十一五”期间中国化学需氧量减排与水环境质量变化关联分析 [J]. *生态环境学报*, 2011, **20**(3): 463-467.
- [23] GB 3095-2012. 环境空气质量标准 [S].
- [24] 严刚. 环境空气质量约束下珠江三角洲能源消费模式研究 [J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(7): 1493-1500.
- [25] 夏训峰, 顾雨, 席北斗, 等. 基于水环境约束的抚仙湖流域

- 农业结构调整研究[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(10): 1274-1278.
- [26] Han H, Li K, Wang X L, *et al.* Environmental capacity of nitrogen and phosphorus pollutions in Jiaozhou Bay, China: Modeling and assessing [J]. Marine Pollution Bulletin, 2011, **63**(5-12): 262-266.
- [27] 薛文博, 王金南, 杨金田, 等. 淄博市大气污染特征模型模拟及环境容量估算 [J]. 环境科学, 2013, **34**(4): 1264-1269.
- [28] 世界银行著, 王辉等译. 2010 年世界发展指标[M]. 北京: 中国财政经济出版社. 2010.
- [29] 蒋洪强, 张伟. 如何缓解资源环境瓶颈[N]. 中国环境报, 2012-02-01(2).
- [30] Gurjar B R, Butler T M, Lawrence M G, *et al.* Evaluation of emissions and air quality in megacities [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(7): 1593-1606.
- [31] 赵济, 陈传康. 中国地理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999. 58.

CONTENTS

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

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行