

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第8期

Vol.33 No.8

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

南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源	李琦路, 李军, 刘向, 徐维海, 张干 (2533)
河北张家口市大气污染观测研究	邵平, 王莉莉, 安俊琳, 周彦丽, 王跃思 (2538)
大气中丙烷光氧化臭氧生成活性的烟雾箱模拟	黄丽华, 莫创荣, 徐永福, 贾龙 (2551)
膜生物反应器处理甲苯性能及机制	叶杞宏, 魏在山, 肖盼, 李华琴, 张再利, 樊青娟 (2558)
厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析	张红玉, 邹克华, 杨金兵, 李国学, 杨青原, 张锋 (2563)
北京城市生态系统地表水硝酸盐污染空间变化及其来源研究	徐志伟, 张心昱, 任玉芬, 孙晓敏, 王效科, 王升忠 (2569)
枯、平、丰水期长江3条支流表层水中多氯联苯的分布特征及风险评价	李昆, 赵高峰, 周怀东, 曾敏, 廖柏寒, 吴正勇, 张盼伟, 柳敏 (2574)
三峡库区丰水期表层水中酚类的分布特征及潜在风险	吴正勇, 赵高峰, 周怀东, 李科林, 李昆, 张盼伟 (2580)
东湖表层水体中全氟辛酸和全氟辛磺酸空间分布特征	陈静, 王琳玲, 朱湖地, 王贝贝, 刘黄诚, 曹梦华, 苗竹, 胡丽, 陆晓华, 刘光虹 (2586)
三峡库区大宁河与磨刀溪重金属污染特征	安立会, 张艳强, 郑丙辉, 刘玥, 宋双双, 李子成, 陈浩, 赵兴茹, 林进 (2592)
长江水系表层沉积物重金属污染特征及生态风险性评价	王岚, 王亚平, 许春雪, 安子怡 (2599)
江苏如东滩涂贝类养殖区表层沉积物中重金属来源分析及其潜在生物毒性	李磊, 王云龙, 蒋玫, 袁璐, 沈新强 (2607)
扰动强度对太湖沉积物中磷释放及其形态转化的影响	李大鹏, 黄勇 (2614)
干流倒灌异重流对香溪河库湾营养盐的补给作用	张宇, 刘德富, 纪道斌, 杨正健, 陈媛媛 (2621)
常年淹水和干旱对三峡库区消落带菖蒲生长恢复的影响	李强, 高祥, 丁武泉, 朱启红, 欧媛, 刘瑜 (2628)
温州城市降雨径流磷的负荷及其初始冲刷效应	周栋, 陈振楼, 毕春娟 (2634)
沂蒙山区典型小流域降雨径流的磷素输出特征	于兴修, 李振炜, 刘前进, 井光花 (2644)
城郊农业区小流域土地利用结构对氮素输出的影响	杨峰, 王鹏举, 杨珊珊, 吴金水, 胡荣桂 (2652)
基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究	边金云, 王飞儿, 杨佳, 俞洁, 楼莉萍, 俞丹萍 (2659)
基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析	白凤姣, 李天宏 (2667)
黄土丘陵区坡面水蚀对降雨和下垫面微观格局的响应	卫伟, 贾福岩, 陈利顶, 吴东平, 陈瑾 (2674)
强化混凝对腐殖酸和富里酸去除对比研究	周玲玲, 张永吉, 叶河秀, 张一清 (2680)
九龙江下游水源水中新发病原微生物和抗生素抗性基因的定量 PCR 检测	王青, 林惠荣, 张舒婷, 于鑫 (2685)
布吉河丰水期总细菌和氨氧化细菌的定性和定量研究	孙海美, 白姣姣, 孙卫玲, 邵军 (2691)
曝气生物滤池工艺脱氮性能及反硝化细菌群落结构特征研究	彭晓兰, 刘聪, 陈吕军 (2701)
城市污水处理厂氧化沟工艺微生物种群分析	郭云, 杨殿海, 卢文健 (2709)
IC 反应器处理啤酒废水的效能及其微生物群落动态分析	朱文秀, 黄振兴, 任洪艳, 阮文权 (2715)
原子力显微镜液池成像技术应用于微絮凝过滤工艺过程中的实验条件优化	郑蓓, 葛小鹏, 于志勇, 原盛广, 张文婧, 孙景芳 (2723)
UV/H ₂ O ₂ 法对印染废水生化出水中不同种类有机物的去除效果	李新, 刘勇弟, 孙贤波, 徐宏勇, 钱飞跃, 李欣珏, 李暮 (2728)
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 的异养培养条件优化及污水养殖	王秀锦, 李兆胜, 邢冠岚, 李卓凝, 袁红莉, 杨金水 (2735)
“Fe ⁰ /优势脱氯菌”体系降解 2,4,6-TCP 特性及机制研究	戴友芝, 郭丽丽, 史雷, 刘智勇, 高宝钗 (2741)
树脂 D201 上粗漆酶的固定化及对孔雀石绿的脱色	戚绪亮, 刘翔, 刘波, 王林, 王小春, 方超 (2747)
TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ 光催化剂的低温制备及其光催化和磁回收性能	王雪姣, 任学昌, 念娟妮, 肖举强, 王刚, 常青 (2752)
微波加热下苯的催化氧化性能研究	张钰彩, 卜龙利, 王晓晖, 刘海楠, 张浩 (2759)
纳米磁粉协同解偶联剂作用下活性污泥性能的研究	高丽英, 汤兵, 梁玲燕, 黄绍松, 付丰连, 罗建中 (2766)
好氧颗粒污泥沉降选择实验研究与定量描述	苏德足, 邓绣坤, 郑丽, 王畅, 金旺江, 沈俊 (2773)
超声波促进好氧/缺氧污泥消化过程中水解酶活性变化研究	叶运弟, 孙水裕, 郑莉, 刘宝建, 许燕滨, 占星星, 刘敬勇 (2780)
微生物营养剂浓度对生物沥浸法促进城市污泥脱水性能的影响	宋永伟, 刘奋武, 周立祥 (2786)
实验室条件下蓝藻结皮对低温光照胁迫的响应与微结构变化	饶本强, 李华, 熊瑛, 兰书斌, 李敦海, 刘永定 (2793)
西南地区紫色水稻土活性碳库的季节动态	吴艳, 江长胜, 郝庆菊 (2804)
典型设施菜地土壤抗生素污染特征与积累规律研究	尹春艳, 骆永明, 滕应, 章海波, 陈永山, 赵永刚 (2810)
土壤铜硒复合污染中金属形态转化及其对生物有效性的影响	胡斌, 梁东丽, 赵文龙, 缪树寅 (2817)
土壤微生物群落对多环芳烃污染土壤生物修复过程的响应	张晶, 林先贵, 刘魏魏, 尹睿 (2825)
可可毛色二孢菌对焦化厂土壤多环芳烃污染修复	张志远, 王翠苹, 刘海滨, 孙红文 (2832)
广西茶山梯矿尾砂中微量元素的淋滤实验研究	蔡永兵, 李玲, 魏晓飞, 张国平, 李海霞, 付志平 (2840)
北京市近郊区土壤砷累积特征	戚洁, 王美娥, 汪自强, 欧阳志云 (2849)
抗氧化酶基因作为多环麝香污染分子标志物研究	陈春, 周启星, 刘潇威 (2855)
臭气污染对不同品种小麦干物质与生物量碳积累与分配的影响	寇太记, 于伟伟, 朱建国, 朱新开 (2862)
尿素分解共沉淀法中反应时间对 ZnAl 类水滑石结构和磷吸附性能的影响	陆英, 程翔, 邢波, 孙中恩, 孙德智 (2868)
铅和铜离子在纳米羟基磷灰石上的竞争吸附动力学研究	胡田田, 仓龙, 王玉军, 司友斌, 周东美 (2875)
pH 和 Ni ²⁺ 对人工纳米氧化硅吸附菲的影响	罗沛, 孙红文, 张鹏 (2882)
铀在凹凸棒石上的吸附特性与机制研究	刘娟, 陈迪云, 张静, 宋刚, 罗定贵 (2889)
环丙沙星在潮土中的吸附特性	崔皓, 王淑平 (2895)
中高温区水合肼 SNCR 脱硝反应机制和特性研究	洪彦, 陈德珍, 王渡, 黄慷 (2901)
H ₂ S 选择性催化氧化工艺及催化剂研究现状	郝郑平, 冀广玉, 张鑫, 曲思秋 (2909)
《环境科学》征稿简则 (2550) 《环境科学》征订启事 (2568) 信息 (2684, 2714, 2848, 2916)	

基于 GIS 和 L-THIA 模型的深圳市观澜河流域非点源污染负荷变化分析

白凤姣^{1,2}, 李天宏^{1,2*}

(1. 北京大学深圳研究生院环境与能源学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055; 2. 北京大学环境科学与工程系, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 为探明深圳市观澜河流域在快速城市化过程中伴随土地利用变化的非点源污染负荷变化, 基于 GIS 平台, 运用 L-THIA 模型, 通过校正其内设参数, 模拟流域 1996~2008 年非点源污染负荷的空间分布及其变化。结果表明, 1996~2008 年的城市化过程中, TN、TP、COD 这 3 种污染物的负荷总量都有大幅度的增长, 其中 TP 变化最大, 在 13 a 中增加了 62.78%, TN 和 COD 分别增加了 59.73% 和 55.40%, TN、TP 和 COD 等污染物高值区面积的空间分布变化在大趋势上基本一致, 都是沿河道和主要交通干线向外围逐步扩张, 最后连接成片; 而 SS 的负荷总量却下降了 7.59%。建设用地的扩张是非点源污染负荷及空间分布变化的主要因素, SS 负荷输出最大的用地类型是水土流失严重的开发用地。以非点源污染负荷空间分布为依据, 结合不同土地利用方式, 可将观澜河分为 4 类非点源污染防治区, 该结果可为流域非点源污染控制提供科学参考。

关键词: 土地利用变化; 非点源污染; 观澜河流域; L-THIA 模型; GIS

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)08-2667-07

GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen

BAI Feng-jiao^{1,2}, LI Tian-hong^{1,2}

(1. Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Sciences and Technology, School of Environment and Energy, Peking University Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China; 2. Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Department of Environmental Engineering, College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In order to reveal the influence of land use change on the non-point source pollution load during the rapid urbanization process in the Guanlan River watershed, Shenzhen, Guangdong, with the support of GIS, L-THIA model was used to analyze the changes in spatial distribution of non-point source pollution load in the river watershed from 1996 to 2008. The parameters in L-THIA model were revised according to the environmental conditions of the study region. The results showed that during the urbanization from 1996 to 2008, the load of major pollutants, namely TN, TP and COD, showed an obviously increasing trend with increase rates being 62.78%, 59.73% and 55.40%, respectively, and the distribution of areas with high pollution load was expanding along the river and the main roads, and then connected into large areas. The total load of SS was decreased by 7.59%. This was caused by the reduction of land for development, which was the land use pattern with high SS output. Therefore, in order to control the non-point pollution effectively, the Guanlan River watershed could be divided into four pollution control areas according to the distribution of pollution load and different land use patterns. The results of this research would provide scientific references for non-point source pollution control in the Guanlan River watershed.

Key words: land use change; non-point source pollution; the Guanlan River watershed; L-THIA model; GIS

近年来非点源污染日益受到人们的关注, 在发达国家, 非点源污染已成为流域水环境的首要威胁^[1]; 在中国, 非点源污染对于水体污染的“贡献率”也已接近甚至超过了点源污染^[2]。土地利用变化被认为是影响非点源污染最主要的因素^[3,4]。城市化地区土地利用方式不断从自然用地向城市用地、建筑用地、工业用地转变, 由此在时间和空间上对水环境带来深刻影响, 有关这方面的研究也成为非点源污染研究的热点之一^[5,6]。由于非点源污染的随机性、广泛性、模糊性和滞后性等特点^[6],

仅凭定点和短时期的监测难以全面反映整个区域的特征和趋势, 因此在研究城市化过程中土地利用变化对水环境非点源污染影响时, 多采用模型进行模拟并估算点源污染负荷。常用的水文模型如 SWMM (storm water management model)、SWAT (soil and water assessment tool)、BASINS (better assessment

收稿日期: 2011-09-26; 修订日期: 2012-03-02

基金项目: “十一五”广东省重大科技项目(2008A080800028)

作者简介: 白凤姣(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水环境科学, E-mail: bfbingcong@126.com

* 通讯联系人, E-mail: lth@pku.edu.cn

science integrating point and non-point sources)、HSPF (hydrological simulation program-fortran) 等^[8]能够模拟长期的非点源污染效应,但是由于这些模型输入数据获取的难度高,使其多限于具体污染的评估^[5]。Harbor^[9]设计的 L-THIA (long-term hydrological impact assessment) 模型对数据的要求相对较低,应用效果良好^[10,11],尤其对土地利用变化剧烈、历史资料缺乏的发展中国家具有应用价值,国内已有一些研究者采用该模型进行了区域性的非点源污染负荷估算^[12~14],这些工作对 L-THIA 模型的参数校正关注不足,尤其对事件平均浓度(event mean concentration, EMC)参数的校正欠缺。

本研究选择典型快速城市化的深圳市观澜河流域为研究区,以时间序列的土地利用数据为基础,利用参数校正后的 L-THIA 模型进行模拟,分析伴随快速城市化过程中非点源污染负荷的时空变化,以期为该流域的非点源污染控制提供参考。

1 研究区概况

观澜河流域位于深圳市中北部,北与东莞市交界,南临福田区,东接平湖街道,西连石岩街道,中心位于东经 114°3'22",北纬 22°44'4",流域总面积 202 km²(图 1)。流域内地势西南高、东北低,上游为低山丘陵区,中下游属台地,地形相对平缓。流域土壤类型主要有赤红壤、红壤、黄壤、水稻土等。多年平均降水量为 1 825 mm,降雨量集中在 4~9 月,占全年总降水量的 85%,雨量年际、年内分配不均匀。据 2008 年统计,土地利用类型以建设用地和林地为主,分别占总面积的 43% 和 21%,林地主要分布于西北和西南部的山区。



图 1 研究区位置示意

Fig. 1 Location of the study area

2 研究方法与数据处理

2.1 L-THIA 模型

L-THIA 模型是以土地利用和土壤类型的空间

组合为基础,基于长时间序列的降雨数据,EMC 数据,模拟较长时间尺度上土地利用变化对径流和非点源污染的影响程度^[9]。通过对输入模型的 CN 值和 EMC 数据,根据研究区域实际情况进行校正后,利用该模型能够实现非点源污染的模拟,图 2 为 L-THIA 模型分析流程。

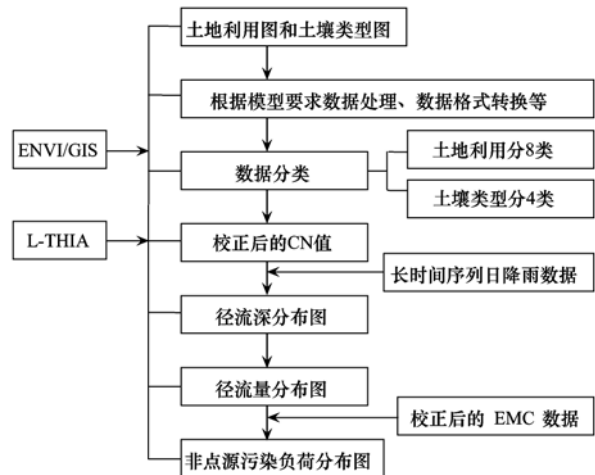


图 2 L-THIA 模型分析流程

Fig. 2 Framework of L-THIA model

L-THIA 的运算核心是美国农业部水土保持局 (the United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, USDA) 建立的 SCS-CN 经验水文模型,其计算公式如下^[15]:

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad P > 0.2S \quad (1)$$

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2)$$

式中, R 为径流深度, P 为降雨量, S 为流域潜在最大蓄水量,都是以英寸 (inch) 为单位, L-THIA 模型通过转换系数将输出结果转换为以 cm 为单位。CN (curve number) 为无量纲参数,是 SCS-CN 模型中最关键的参数。CN 值将前期土壤湿润程度、土壤类型和土地利用等因素综合在一起,反映降雨前流域下垫面的信息,也间接反映了人为活动对径流量的影响^[16]。

在 SCS-CN 径流模拟的基础上, L-THIA 模型通过对不同土地利用类型指派 EMC 数据得到每一种用地类型的非点源污染负荷总量,公式如下:

$$NPS = EMC \times Q_n \times k \quad (3)$$

式中, NPS 为非点源污染负荷 (kg), Q_n 为年径流总量 (m³), k 为单位转换系数。

2.2 数据处理

2.2.1 土壤水文数据

美国农业部水土保持局根据土壤的渗透特征将 8 500多种土壤类分别归为 A、B、C、D 等 4 类(表 1).

表 1 美国水土保持局土壤水文类型

Table 1 Hydrologic soil types classified by the Natural Resource Conservation Service			
土壤水文类型	含义	最小下渗率/mm·h ⁻¹	代码
A	易产生高渗透低径流的土壤(沙、砂质壤土、壤质砂土)	7.26 ~ 11.43	1
B	易产生中等渗透少径流的土壤(粉砂壤土、壤土)	3.81 ~ 7.26	2
C	易产生少渗透中等径流的土壤(砂质黏壤土)	1.27 ~ 3.81	3
D	易产生低渗透高径流的土壤(粉质黏壤土、黏壤土、黏土)	0 ~ 1.27	4

以 1985 年广州地理研究所编制的土壤类型图(比例尺 1: 20 万)和土壤分类为基础,对观澜河流域土壤类型进行对应归并,得到了符合 SCS-CN 模型的土壤分类结果,并在 Arcview 中生成相应的土壤水文图(图 3),研究区主要包括 B 和 C 两种水文土壤类型. 鉴于土壤性质在较短历史时期内不会发生本质变化,所以本研究涉及的 4 个年份采用了相同的土壤类型分布图.

2.2.2 土地利用数据

研究使用的 1996、2000、2004 和 2008 年深圳市土地利用数据(shapefile 文件)来自深圳市国土资源局,其土地利用分类标准采用的是国土资源部 2002 年 1 月 1 日起试行的《全国土地分类(试行)》. 按照模型要求,将研究区土地利用类型归并整合后分为 8 类(图 4):水域(河流、水库和湿地及附属水工建筑物)、园地(指果园,主要是荔枝林、柑橙林)、农业用地(主要是菜地,极少量其他田地)、建设用地(指居住区、商业区、公共建筑用地及工矿用地)、交通用地(指各等级道路用地,包括道路附属绿地)、草地(指天然牧草地、荒草地和人工草地)、林地(指以乔木为主,植被覆盖良好的自然用地)、开发用地(指裸土地、推平尚未建设的土地及

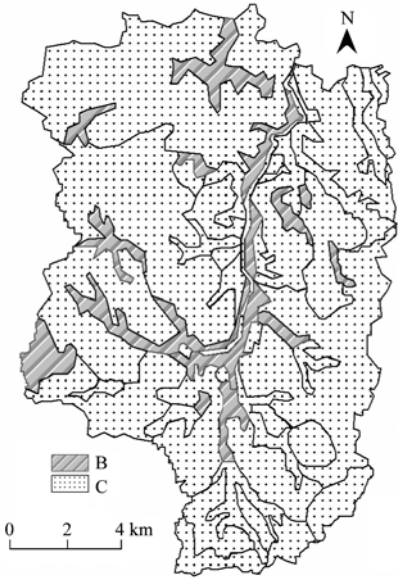


图 3 观澜河流域土壤水文类型

Fig. 3 Hydrologic soil types in the Guanlan River watershed

未利用土地).

2.2.3 长期日降水数据

长期日降水来自流域内高峰水库的雨量监测站 1973 ~ 2002 年共计 30 a 的日降雨数据以及 2003 ~ 2008 的年降雨数据,对数据进行整理和格式转换,

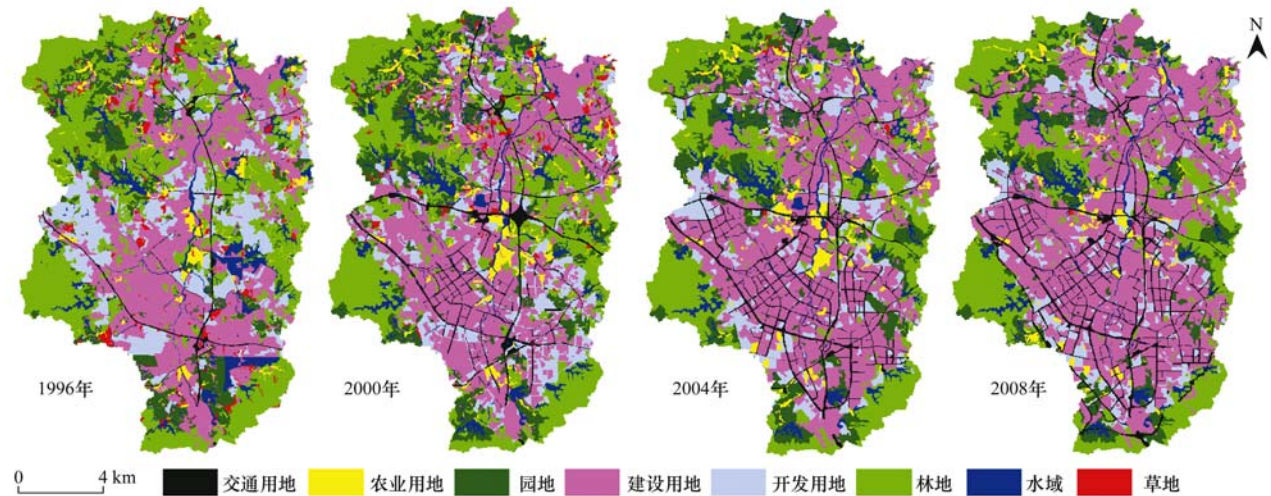


图 4 观澜河流域 1996 ~ 2008 年土地利用空间分布示意

Fig. 4 Land-use distribution in the Guanlan River watershed during 1996-2008

得到符合本研究需要的数据^[15].

2.3 参数校正

2.3.1 CN 值校正

一般地说,在降雨一定的条件下,产流量较大的土地利用类型、土壤类型、前期土壤湿润程度,其CN 值较大,反之亦然^[17]. 根据 SCS-CN 模型提供的CN 值查算表^[18,19],结合观澜河流域调研的实际情况,参考深圳市有关 SCS-CN 模型应用中确定的CN 值矩阵^[16,20],确定观澜河流域中等前期土壤湿度(AMC II)条件下CN 值矩阵(表2).

表2 观澜河流域土地利用类型及相应的CN 值¹⁾

Table 2 Land use categories in the Guanlan River watershed and the associated curve numbers		
土地利用类型	不同土壤水文类型的CN 值	
	B	C
水域	98 ¹⁾	98 ¹⁾
园地	65	76
农业用地	78	85
建设用地	88	91
交通用地	93	95
草地	60	72
林地	55	70
开发用地	82	87

1) 考虑到水体与降雨径流的关系,将水体CN 值规定为98

2.3.2 EMC 数据校正

L-THIA 模型内设的 EMC 数据来自美国 Texas 州的监测资料^[21],与我国已有的 EMC 监测结果差别很大.我国大多数城市的 EMC 数据中的主要指标(COD、SS、TN、TP)均超出地表水环境质量 V 类标准,不同的城市之间由于经济发展、人口活动、地理位置、气候环境等因素的差异,超出的倍数有所不同^[22~26]. EMC 数据需要通过多次降雨-径流-污染物浓度监测获得,成本较高,目前观澜河流域尚没有 EMC 数据可供使用.本研究采用北京大学深圳研究生院 2004 年 7 月~2005 年 6 月在深圳市西丽水库实测的 EMC 数据(表3),该数据为初期雨水中污染物的平均浓度,每次监测均为 20 min 左右,监测指标包括 COD、SS、TN 和 TP,该时段内的污染物浓度可以反映流域内非点源污染输出的特征.经验证该数据具有较高的可信度^[27],可以代表深圳市非点源污染输出特征.观澜河流域和西丽水库流域两者在地理位置上毗邻,两者土壤类型及降雨分配高度一致,社会经济背景和发展模式大致相同,在土地利用、产业结构、城市管理和下垫面性质等方面高度相似,因此该数据可用于观澜河流域进行面源污染负荷估算.

在 Arcview 中加载 L-THIA 模块,以 Avenue 编程语言为基础,打开模型指派 EMC 数据的脚本,通过修改内设 EMC 数据以及不同土地利用类型与 EMC 之间的调用关系,将本研究的土地利用分类和 EMC 数据固化进 L-THIA 模型,进而进行非点源污染负荷估算.

表3 研究区各种土地利用类型 EMC 表

Table 3 EMC for each land use type in the study area					
序号	特征小区	水质变量/mg·L ⁻¹			
		COD	SS	TN	TP
1	水域	5.3	486	3.08	0.12
2	园地	134	88	17.57	0.68
3	农业用地	82	175	33.50	1.87
4	建设用地	867.3	564	14.8	1.55
5	交通用地	243	150	31.50	1.90
6	草地	5.3	486	3.08	0.12
7	林地	4.5	193	3.12	0.14
8	开发用地	5.1	3 100	3.01	0.07

3 结果与分析

3.1 模型有效性检验

L-THIA 模型以长时间序列降雨数据为基础来模拟平均降雨强度下各种土地利用类型的年径流深和单位栅格(100 m×100 m)的年径流量,因此该模型的验证需要基于长期的平均数据而不是某一年或某一场降雨的数据^[28].选取多年平均径流量模拟值作为指标,与实际的多年平均径流量进行比较来验证模型的有效性.L-THIA 模型得到的观澜河流域 1996、2000、2004 和 2008 年的年径流量分别为 1.16、1.22、1.31 和 1.35 亿 m³.由于观澜河流域没有水文站,本研究参考文献[29]中采用深圳市 13 个系列较长的雨量站 25~30 a 的资料,基于水量平衡法估算,得知 50% 的年份中观澜河流域年均径流量超过 1.27 亿 m³,90% 的年份中观澜河流域年均径流量超过 0.81 亿 m³.可见用 L-THIA 模型得到的观澜河流域多年年均径流量符合观澜河的实际情况.

3.2 非点源污染负荷的空间分布及变化

根据年径流量模拟值和各土地利用类型 TN、TP、SS、COD 的 EMC 数据,通过模型运算得到研究区不同年份单位网格(100 m×100 m)的地表径流污染负荷(图5).就单一土地利用类型而言,交通用地的 TN、TP 单位网格污染负荷输出最高,其次是农业用地;开发用地的 SS 单位网格污染负荷输出最高,其次是水域和建设用地;交通用地的 COD 单位网格污染负荷输出最高,其次是建设用地.就非点

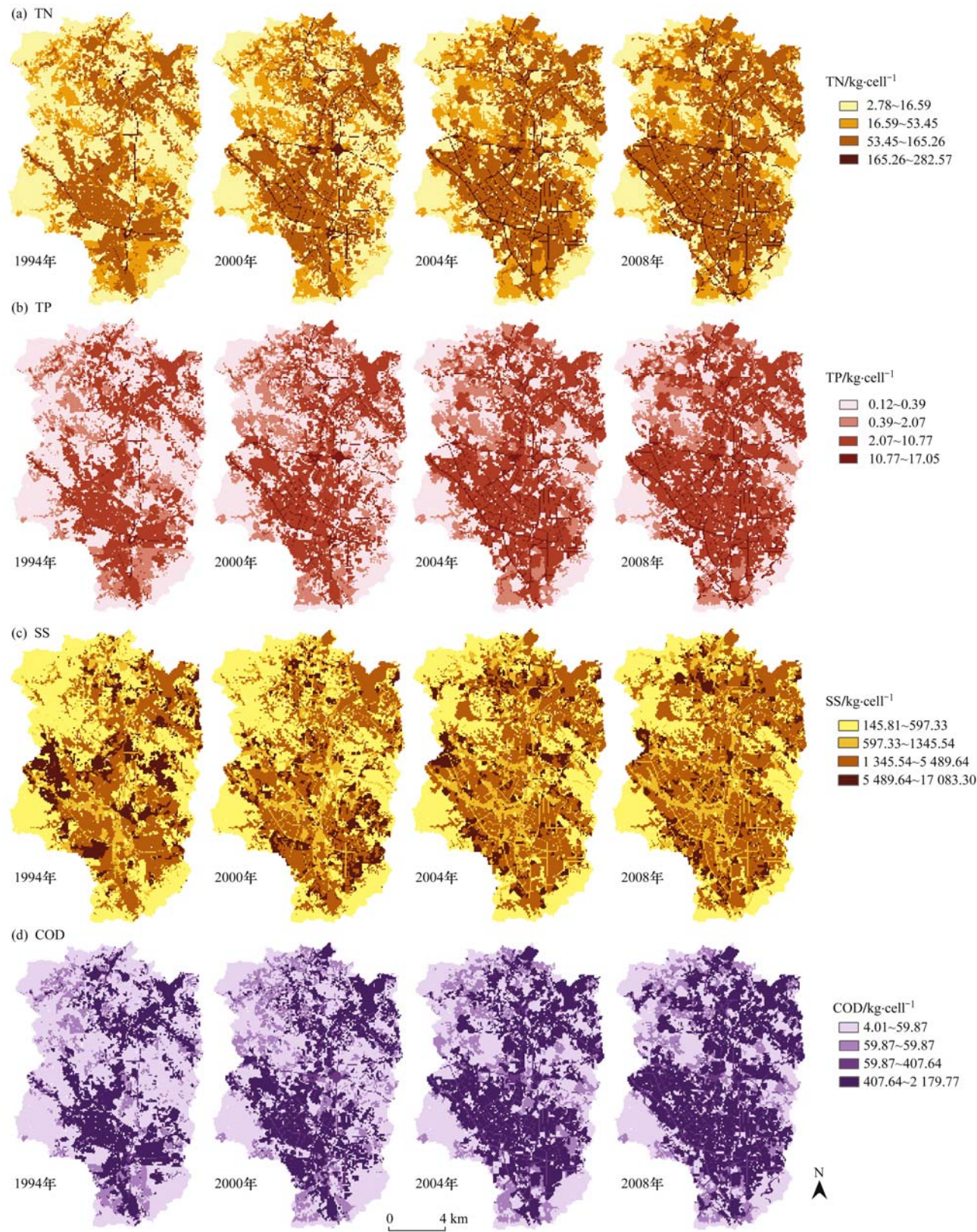


图 5 观澜河流域主要污染物空间分布变化

Fig. 5 Change in spatial distribution of four kinds of pollutants in the Guanlan River watershed

源污染负荷输出的整体而言,在 13 a 中流域整体的
污染物负荷经历了一个由低到高的变化过程,各种

污染物产生的高值区逐渐由少到多,至 2008 年高值
区成为流域的主要空间类型. 各种污染物的分布变

化在大趋势上基本一致,都是沿河道和主要交通干线向外围逐步扩张,最后连接成片.这与建设用地的变化趋势相吻合,可见建设用地的扩张是流域非点源污染增加的关键性因素.

2008 年与 1996 年相比,TN、TP、COD 这 3 种污染物的负荷总量都有大幅度的增长(表 4),其中 TP 变化最大,在 13 a 里增加了 62.78%,TN 和 COD 分别增加了 59.73% 和 55.40%,而 SS 却下降了 7.59%,这是由于 SS 负荷输出最大的用地类型是水土流失严重的开发用地^[30,31],随着城市化的发展,开发用地面积在逐渐下降.

其中建设用地由于其面积比重逐年增加,在流

域土地利用中占主导地位,其单位网格污染物的输出量也属于高值范围,2008 年建设用地对 TN、TP、SS、COD 负荷的“贡献率”分别达到了 91.91%、44.08%、55.01% 和 70.55%,是流域非点源污染负荷增长的主要因素.交通用地负荷量在所有用地类型中增速最快,各种污染物负荷增幅都在 5 倍以上.水域、农业用地、草地、林地随着面积的缩小各种污染物负荷都呈现下降趋势.由表 4 变化率一栏可以看出各种土地利用类型对应的各种污染物负荷输出的变化趋势相同,由此可见特定污染物的变化趋势是由土地利用变化和不同类型用地对该污染物的输出效率共同决定的.

表 4 1996 与 2008 年非点源污染年负荷量变化/t

Table 4 Changes of non-point source load in 1996 and 2008/t

项目	污染物	土地利用类型								合计
		水域	园地	农业用地	建设用地	交通用地	草地	林地	开发用地	
1996 年	TN	56.6	123.60	110.18	704.49	101.49	4.39	50.92	56.32	1 208.01
	TP	2.21	4.78	6.15	73.78	6.12	0.17	2.28	1.31	96.81
	SS	8 931.71	619.08	575.58	26 846.96	483.3	693.04	3 149.57	58 007.2	99 306.43
	COD	97.4	942.69	269.69	41 284.35	782.95	7.56	73.44	95.43	43 553.51
2008 年	TN	41.51	124.69	100.27	1 061.53	531.15	0.12	32.35	37.93	1 929.54
	TP	1.62	4.83	5.59	111.17	32.04	0.01	1.45	0.88	157.59
	SS	6 549.34	624.54	523.78	40 452.9	2 529.3	17.98	2 001.22	39 063.1	91 762.15
	COD	71.42	950.99	245.43	62 207.09	4 097.47	0.2	46.66	64.27	67 683.53
变化率/%	TN	-26.66	0.88	-8.99	50.68	423.35	-97.27	-36.47	-32.65	59.73
	TP	-26.69	1.05	-9.11	50.68	423.53	-94.12	-36.40	-32.82	62.78
	SS	-26.67	0.88	-8.99	50.68	423.35	-97.41	-36.46	-32.66	-7.59
	COD	-26.67	0.88	-8.99	50.68	423.35	-97.35	-36.47	-32.65	55.40

3.3 流域非点源污染防治区划

分别将 1996、2000、2004、2008 年的 TN、TP、SS、COD 等 4 种非点源污染物的模拟结果图相加,得到每年份的综合污染情况分布图.在 Arcview 中将综合污染情况分布图与土地利用图进行融合,获得的融合图中的每个网格既具有污染物浓度信息又

具有相应土地利用类型的信息.在考虑非点源污染的来源和控制方向的基础上,可将观澜河流域分为 4 类非点源污染防治区(图 6).图中,非点源污染物综合污染负荷从小到大依次为:一类区、二类区、三类区和四类区,其中一类区对应的土地利用类型是草地和林地,二类区对应的土地利用类型是开发

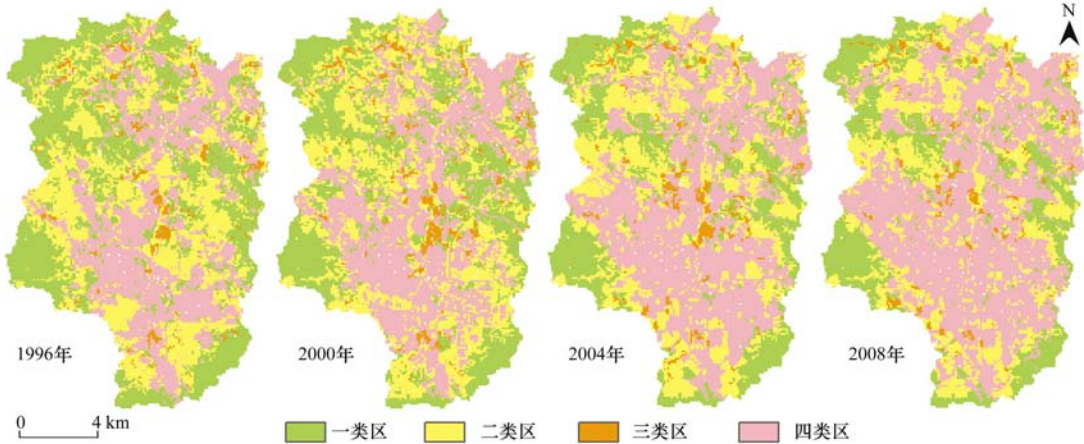


图 6 观澜河流域非点源污染防治区划

Fig. 6 Pollution control areas in the Guanlan River watershed

用地、园地和水域,三类区对应的土地利用类型是农业用地,四类区对应的土地利用类型是交通用地和建设用地。

4 结论

(1)随着观澜河流域城市化的发展,非点源污染负荷总量变化显著,其中 TN 负荷从 1996 年到 2008 年增加幅度达 59.73%; TP 负荷增加幅度为 62.78%; COD 负荷增加幅度为 55.40%,而 SS 却下降了 7.59%,其中建设用地的扩张是流域非点源污染负荷增长的主要因素,2008 年建设用地对 TN、TP、SS、COD 负荷的“贡献率”分别达到了 91.91%、44.08%、55.01% 和 70.55%。

(2)1996~2008 年的城市化过程中,流域整体的污染物负荷经历了一个由低到高的变化过程,非点源污染严重的面积不断扩大,各种污染物在空间分布上的变化趋势基本一致,都是沿河道和主要交通干线向外围逐步扩张,最后连接成片。

(3)本研究对观澜河 CN 值的确定是根据 CN 值的综合查算表和他人在使用 SCS-CN 模型时确定的 CN 值矩阵,虽然合理,但欠精确。另外,随着土地利用类型的细化,污染物的输出在细节上也会有所差别,但限于数据,本研究在模型中未考虑土地利用类型变化的细节。尽管 L-THIA 模型的结果仅反映了土地利用变化对非点源污染的宏观影响,但仍不失为一个为决策者和管理者提供非点源污染负荷变化状况的快速技术手段。

参考文献:

- [1] US EPA. National water quality inventory: report to congress (2004 reporting cycle), EPA 841-R-08-001 [R]. Washington DC: US EPA Office of Water, 2009.
- [2] Wang X. Management of agricultural non-point source pollution in China: Current status and challenges [J]. Water Science and Technology, 2006, **53**(2): 1-9.
- [3] Charbonneau R, Kondolf G M. Land use change in California, USA: Nonpoint source water quality impacts [J]. Environmental Management, 1993, **17**(4): 453-460.
- [4] Todd D A, Bedient P B, Haasbeek J F, *et al.* Impact of land use and NPS loads on lake quality [J]. Journal of Environmental Engineering, 1989, **115**(3): 633-649.
- [5] Bhaduri B, Harbor J, Engel B, *et al.* Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land-use change using a GIS-NPS model [J]. Environmental Management, 2000, **26**(6): 643-658.
- [6] Weng Q. Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS [J]. Environmental Management, 2001, **28**(6): 737-748.
- [7] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理及控制 [J]. 环境科学, 1998, **19**(5): 87-91.
- [8] 杨柳,马克明,郭青海,等. 城市化对水体非点源污染的影响 [J]. 环境科学, 2004, **25**(6): 32-39.
- [9] Harbor J. A practical method for estimating the impact of land use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology [J]. Journal of the American Planning Association, 1994, **60**(1): 95-108.
- [10] Bhaduri B, Grove M, Lowry C, *et al.* Assessing long-term hydrologic effects of land use change [J]. Journal of the American Water Works Association, 1997, **89**(11): 94-106.
- [11] Leitch C, Harbor J. Impacts of land use change on freshwater runoff into the near-coastal zone, Holetown Watershed, Barbados: Comparisons of long-term to single-storm effects [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, **54**(3): 584-592.
- [12] 杨柳,马克明,郭青海,等. 汉阳非点源污染控制区划 [J]. 环境科学, 2006, **27**(1): 31-36.
- [13] 孙强,蔡运龙. 北京城市扩展的环境效应模拟与评价 [J]. 重庆建筑大学学报, 2008, **30**(5): 123-130.
- [14] 袁清水,张琪. 长沙市土地利用变化对非点源污染分布的影响研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, **36**(17): 7372-7375.
- [15] Engel B. Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non-Point Source Pollutant Model (manual) [EB/OL]. <http://www.ecn.purdue.edu/runoff>.
- [16] USDA (United States Department of Agriculture Soil Conservation Service). Urban hydrology for small watersheds [A]. In: Technical Release No. 55 [C]. Colorado: Water Resources Publications, 1986.
- [17] 史培军,袁艺,陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响 [J]. 生态学报, 2001, **21**(7): 1041-1050.
- [18] 袁作新. 流域水文模型 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [19] Maidment D R. Handbook of hydrology [M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
- [20] 郑璟,方伟华,史培军,等. 快速城市化地区土地利用变化对流域水文过程影响的模拟研究——以深圳市布吉河流域为例 [J]. 自然资源学报, 2009, **24**(9): 1560-1572.
- [21] Baird C F, Dybala T J, Jennings M, *et al.* Characterization of nonpoint sources and loadings to the Corpus Christi Bay National Estuary Program Study Area; Texas Natural Resource Conservation Commission [EB/OL]. <http://engineering.purdue.edu/mapserve/LTHIA7>. 1996.
- [22] 张光岳,张红,杨长军,等. 成都市道路地表径流污染及对策 [J]. 城市环境与城市生态, 2008, **21**(4): 18-21.
- [23] 罗鸿兵,罗麟,黄鹄,等. 城市入河径流排放口总污染特征研究 [J]. 环境科学, 2009, **30**(11): 3227-3235.
- [24] 侯培强,王效科,郑飞翔,等. 我国城市面源污染特征的研究现状 [J]. 中国给水排水, 2009, **35**(z1): 188-193.
- [25] 甘华阳,卓慕宁,李定强,等. 广州城市道路雨水径流的水质特征 [J]. 生态环境, 2006, **15**(5): 969-973.
- [26] 程江. 上海中心城区土地利用——土地覆被变化的环境水文效应研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007. 32-37.
- [27] 岳隽. 面向水环境保护的流域景观格局优化研究——以深圳市西部水库流域为例 [D]. 深圳: 北京大学深圳研究生院, 2006. 15-34.
- [28] 李娜,许有鹏,郭怀成. 西苕溪流域城市化对径流长期影响分析研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2009, **45**(4): 668-676.
- [29] 深圳市环境保护局,深圳市环境科学研究院. 深圳市龙岗河、坪山河、观澜河水质模型计算及水污染治理关键问题研究 [R]. 深圳: 深圳市环境保护局, 2009. 20-30.
- [30] 李定强,何江华,邓南荣,等. 深圳市观澜河流域水土流失规律研究 [J]. 热带亚热带土壤科学, 1992, **1**(2): 86-90.
- [31] 林桂禄,刘伟常,林军,等. 深圳市城市水土流失与城市防洪探讨 [J]. 水土保持研究, 1997, **1**(4): 7-10.

CONTENTS

Levels and Sources of Gaseous Polybrominated Diphenyl Ethers in Air over the Northern South China Sea	LI Qi-lu, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (2533)
Observation and Analysis of Air Pollution in Zhangjiakou, Hebei	SHAO Ping, WANG Li-li, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (2538)
Smog Chamber Simulation of Ozone Formation from Atmospheric Photooxidation of Propane	HUANG Li-hua, MO Chuang-rong, XU Yong-fu, <i>et al.</i> (2551)
Mechanism and Performance of a Membrane Bioreactor for Treatment of Toluene Vapors	YE Qi-hong, WEI Zai-shan, XIAO Pan, <i>et al.</i> (2558)
Analysis of Odor Pollutants in Kitchen Waste Composting	ZHANG Hong-yu, ZOU Ke-hua, YANG Jin-bing, <i>et al.</i> (2563)
Spatial Changes and Sources of Nitrate in Beijing Urban Ecosystem Surface Water	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, REN Yu-fen, <i>et al.</i> (2569)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from Three Tributaries of Yangtze River in Different Periods	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2574)
Distribution Characteristics and Potential Risks of Phenols in the Rainy Season Surface Water from Three Gorges Reservoir	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (2580)
Spatial Distribution of Perfluorooctanoic Acids and Perfluorinate Sulphonates in Surface Water of East Lake	CHEN Jing, WANG Lin-ling, ZHU Hu-di, <i>et al.</i> (2586)
Characteristics of Heavy Metal Pollution in Daninghe River and Modaoxi River of Three Gorges Reservoir Areas	AN Li-hui, ZHANG Yan-qiang, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (2592)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of the Yangtze River	WANG Lan, WANG Ya-ping, XU Chun-xue, <i>et al.</i> (2599)
Analysis of the Source, Potential Biological Toxicity of Heavy Metals in the Surface Sediments from Shellfish Culture Mudflats of Rudong Country, Jiangsu Province	LI Lei, WANG Yun-long, JIANG Mei, <i>et al.</i> (2607)
Effect of Disturbance Intensity on Phosphorus Release and Its Transformation in the Sediment from Taihu Lake	LI Da-peng, HUANG Yong (2614)
Effects of Intrusions from Three Gorges Reservoir on Nutrient Supply to Xiangxi Bay	ZHANG Yu, LIU De-fu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2621)
Influence of Perennial Flooding and Drought on Growth Restoration of <i>Acorus calamus</i> in Water-level-fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir	LI Qiang, GAO Xiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i> (2628)
Pollution Load and the First Flush Effect of Phosphorus in Urban Runoff of Wenzhou City	ZHOU Dong, CHEN Zhen-lou, BI Chun-juan (2634)
Output Characteristics of Rainfall Runoff Phosphorus Pollution from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area	YU Xing-xiu, LI Zhen-wei, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (2644)
Influence of Land Use Structure on Nitrogen Output in the Watershed of Suburban Agriculture Regions	YANG Feng, WANG Peng-ju, YANG Shan-shan, <i>et al.</i> (2652)
Simulation of Nitrogen and Phosphorus Loss in Siling Reservoir Watershed with AnnAGNPS	BIAN Jin-yun, WANG Fei-er, YANG Jia, <i>et al.</i> (2659)
GIS and L-THIA Based Analysis on Variations of Non-point Pollution in the Guanlan River Watershed, Shenzhen	BAI Feng-jiao, LI Tian-hong (2667)
Response of Sloping Water Erosion to Rainfall and Micro-earth Pattern in the Loess Hilly Area	WEI Wei, JIA Fu-yan, CHEN Li-ding, <i>et al.</i> (2674)
Comparison Study of Enhanced Coagulation on Humic Acid and Fulvic Acid Removal	ZHOU Ling-ling, ZHANG Yong-ji, YE He-xiu, <i>et al.</i> (2680)
Real-time PCR Detection and Quantification of Emerging Waterborne Pathogens (EWPs) and Antibiotic Resistance Genes (ARGs) in the Downstream Area of Jiulong River	WANG Qing, LIN Hui-rong, ZHANG Shu-ting, <i>et al.</i> (2685)
Quantitative and Qualitative Analysis of Total Bacteria and Ammonia-oxidizing Bacteria in Buji River in Wet Season	SUN Hai-mei, BAI Jiao-jiao, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (2691)
Study on the Nitrogen Removal Performance and the Characteristics of Denitrification Bacterial Community Structure of Biological Aerated Filter	PENG Xiao-lan, LIU Cong, CHEN Li-jun (2701)
Analysis of Microbial Community Structure at Full-scale Wastewater Treatment Plants by Oxidation Ditch	GUO Yun, YANG Dian-hai, LU Wen-jian (2709)
Performance and Microbial Community Dynamic Characteristics of an Internal Circulation Reactor Treating Brewery Wastewater	ZHU Wen-xiu, HUANG Zhen-xing, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (2715)
Coupling AFM Fluid Imaging with Micro-Flocculation Filtration Process for the Technological Optimization	ZHENG Bei, GE Xiao-peng, YU Zhi-yong, <i>et al.</i> (2723)
Study on Removal Effect of Different Organic Fractions from Bio-treated Effluent of Dye Wastewater by UV/H ₂ O ₂ Process	LI Xin, LIU Yong-di, SUN Xian-bo, <i>et al.</i> (2728)
Optimization of <i>Chlorella pyrenoidosa</i> -15 Photoheterotrophic Culture and Its Use in Wastewater Treatment	WANG Xiu-jin, LI Zhao-sheng, XING Guan-lan, <i>et al.</i> (2735)
Characteristics and Mechanism of 2,4,6-TCP Degradation by the "Fe ⁰ /Enriched-Bacteria" System	DAI You-zhi, GUO Li-li, SHI Lei, <i>et al.</i> (2741)
Immobilization of Crude Laccase onto Anion Exchange Resin and Its Application in Decoloration of Malachite Green	QI Xu-liang, LIU Xiang, LIU Bo, <i>et al.</i> (2747)
Low-Temperature Preparation of TiO ₂ /PS/Fe ₃ O ₄ and Its Photocatalytic Activity and Magnetic Recovery	WANG Xue-jiao, REN Xue-chang, NIAN Juan-ni, <i>et al.</i> (2752)
Study on Catalytic Oxidation of Benzene by Microwave Heating	ZHANG Yu-cai, BO Long-li, WANG Xiao-hui, <i>et al.</i> (2759)
Synergistic Effects of Nano-sized Magnetic Particles and Uncoupler to the Characteristics of Activated Sludge	GAO Li-ying, TANG Bing, LIANG Ling-yan, <i>et al.</i> (2766)
Experimental and Modeling Research on the Settlement of Aerobic Granular Sludge	SU Kui-zu, DENG Xiu-kun, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2773)
Analysis of Hydrolytic Enzyme Activities on Sludge Aerobic/Anoxic Digestion After Ultrasonic Pretreatment	YE Yun-di, SUN Shui-yu, ZHENG Li, <i>et al.</i> (2780)
Effect of Microbial Nutrient Concentration on Improvement of Municipal Sewage Sludge Dewaterability Through Bioleaching	SONG Yong-wei, LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang (2786)
Response of the Artificial Cyanobacterial Crusts to Low Temperature and Light Stress and the Micro-structure Changes Under Laboratory Conditions	RAO Ben-qiang, LI Hua, XIONG Ying, <i>et al.</i> (2793)
Seasonal Dynamics of Soil Active Carbon Pool in a Purple Paddy Soil in Southwest China	WU Yan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2804)
Pollution Characteristics and Accumulation of Antibiotics in Typical Protected Vegetable Soils	YIN Chun-yan, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (2810)
Transformation and Influences of Copper and Selenium Fractions on Heavy Metals Bioavailability in Co-contaminated Soil	HU Bin, LIANG Dong-li, ZHAO Wen-long, <i>et al.</i> (2817)
Response of Soil Microbial Community to the Bioremediation of Soil Contaminated with PAHs	ZHANG, Jing, LIN Xian-gui, LIU Wei-wei, <i>et al.</i> (2825)
Bioremediation of PAHs Contaminated Soil from Beijing Coking Plant by <i>Lasiodiplodia theobromae</i>	ZHANG Zhi-yuan, WANG Cui-ping, LIU Hai-bin, <i>et al.</i> (2832)
Leaching Experiments on the Release of Trace Elements from Tailings of Chashan Antimony Mine, Guangxi, China	CAI Yong-bing, LI Ling, WEI Xiao-fei, <i>et al.</i> (2840)
Accumulation Characteristics of Arsenic in Suburban Soils of Beijing	QI Jie, WANG Mei-e, WANG Zi-qiang, <i>et al.</i> (2849)
Antioxidant Enzyme Gene Expression as Molecular Biomarkers of Exposure to Polycyclic Musks	CHEN Chun, ZHOU Qi-xing, LIU Xiao-wei (2855)
Effects of Ozone Pollution on the Accumulation and Distribution of Dry Matter and Biomass Carbon of Different Varieties of Wheat	KOU Tai-ji, YU Wei-wei, ZHU Jian-guo, <i>et al.</i> (2862)
Influence of Reaction Time of Urea Hydrolysis-Based Co-precipitation on the Structure of ZnAl Layered Double Hydroxides and the Phosphate Adsorption	LU Ying, CHENG Xiang, XING Bo, <i>et al.</i> (2868)
Competitive Adsorption Kinetics of Aqueous Pb ²⁺ and Cu ²⁺ on Nano-HAP Surfaces	HU Tian-tian, CANG Long, WANG Yu-jun, <i>et al.</i> (2875)
Effects of pH and Ni ²⁺ on Sorption Behavior of Phenanthrene on Engineered Nano-Silica	LUO Pei, SUN Hong-wen, ZHANG Peng (2882)
Adsorption Characteristics and Mechanism of Uranium on Attapulgite	LIU Juan, CHEN Di-yun, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (2889)
Adsorption Characteristics of Ciprofloxacin in Ustic Cambosols	CUI Hao, WANG Shu-ping (2895)
Kinetic Mechanism and Characteristics Researches for Hydrazine-based NO _x Removal at Moderate to High Temperatures	HONG Liu, CHEN De-zhen, WANG Du, <i>et al.</i> (2901)
Current Research Situation of H ₂ S Selective Catalytic Oxidation Technologies and Catalysts	HAO Zheng-ping, DOU Guang-yu, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (2909)

《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8月15日 33卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 8 Aug. 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