

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第11期

Vol.35 No.11

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

南京北郊夏季近地层臭氧及其前体物体积分数变化特征	邵平, 安俊琳, 杨辉, 林旭, 吉东生 (4031)
亚青会期间南京污染气体与气溶胶中水溶性离子的分布特征	邹嘉南, 安俊琳, 王红磊, 邵平, 段卿, 薛国强, 庞博 (4044)
亚青会期间南京地区气溶胶浓度变化及其与能见度的关系	袁亮, 银燕, 李琦, 肖辉, 李力 (4052)
2013年10月长株潭城市群一次持续性空气污染过程特征分析	廖志恒, 范绍佳, 黄娟, 孙家仁 (4061)
在线单颗粒气溶胶质谱 SPAMS 对细颗粒物中主要组分提取方法的研究	付怀于, 闫才青, 郑玫, 蔡靖, 李小滢, 张延君, 周振, 傅忠, 李梅, 李磊, 张远航 (4070)
PM ₁₀ 可替代源成分谱的建立方法及其应用	陈强, 景毅, 吴焕波, 王芳 (4078)
夏季东海和南黄海一氧化氮的浓度分布、海-气通量和微生物消耗研究	王敬, 陆小兰, 杨桂朋, 徐冠球 (4085)
三峡库区典型农田小流域水体汞的时空分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇 (4095)
浑太水系水体中不同粒径有机胶体荧光光谱特性	刘娜娜, 李斌, 刘瑞霞, 宋永会, 吴畏 (4103)
深圳湾流域 TN 和 TP 入海量年通量变化规律研究	赵晨辰, 张世彦, 毛献忠 (4111)
滇池沉积物有机磷垂直分布特征及其生物有效性	熊强, 焦立新, 王圣瑞, 彭希琰 (4118)
金山湖闸坝型水体表层沉积物重金属分布特征及生态风险评价	周晓红, 刘龙梅, 陈曦, 陈志刚, 张金萍, 李义敏, 刘彪 (4127)
西藏普莫雍错湖芯沉积物中重金属的垂向分布特征及生态风险评估	谢婷, 罗东霞, 杨瑞强 (4135)
西安市雨水径流中重金属季节性污染特征及分析	袁宏林, 李星宇, 王晓昌 (4143)
城市不同下垫面降雨径流多环芳烃 (PAHs) 分布及源解析	武子澜, 杨毅, 刘敏, 陆敏, 于英鹏, 汪青, 郑鑫 (4148)
粗放型绿色屋面填料的介质组成对出水水质的影响	陈昱霖, 李田, 顾俊青 (4157)
饮用水处理中不同来源生物活性炭微生物群落多样性和结构研究	杜尔登, 郑璐, 冯欣欣, 高乃云 (4163)
压力强化混凝除藻工艺中藻毒素安全性研究	蒋新跃, 栾清, 丛海兵, 徐思涛, 刘玉娇, 朱学源 (4171)
基于膜特征参数变化的蛋白质超滤过程膜污染研究	王旭东, 张银辉, 王磊, 张慧慧, 夏四清 (4176)
臭氧氧化水溶液中对乙酰氨基酚的机制研究	曹飞, 袁守军, 张梦涛, 王伟, 胡真虎 (4185)
电辅助微生物反应器降解苯并噻唑效能的研究	刘春苗, 丁杰, 刘先树, 程旺斌 (4192)
铁铜复合氧化物纳米吸附剂的制备、表征及 As(Ⅲ)吸附性能研究	张伟, 陈静, 张高生 (4198)
重金属铬胁迫下水蚯蚓的生理响应研究	楼菊青, 杨东叶, 曹永青, 孙培德, 郑平 (4205)
光质对蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 生长特征及生化组成的影响研究	唐青青, 方治国, 嵇雯雯, 夏会龙 (4212)
常温低基质下碱度和溶解氧对厌氧氨氧化的影响	任玉辉, 王科, 李相昆, 马凯丽, 张杰 (4218)
Fe ²⁺ 和 Fe ³⁺ 对厌氧氨氧化污泥活性的影响	李祥, 黄勇, 巫川, 王孟可, 袁怡 (4224)
CSTR 中亚硝化颗粒污泥的变化过程研究	阴方芳, 刘文如, 王建芳, 吴鹏, 沈耀良 (4230)
盐度对好氧颗粒污泥硝化过程中 N ₂ O 产生量的影响	王珊珊, 梁红, 高大文 (4237)
硫酸盐还原反应器污泥驯化过程中微生物群落变化分析	曾国驱, 贾晓珊, 郑小红, 杨丽平, 孙国萍 (4244)
利用铅同位素方法量化不同端元源对南京土壤和长江下游悬浮物铅富集的影响	王成, 夏学齐, 张义, 廖启林, 杨忠芳, 季峻峰 (4251)
北京东南郊土壤剖面氟喹诺酮类抗生素分布特征	苏思慧, 何江涛, 杨蕾, 乔肖翠, 崔亚丰 (4257)
环境因素对土壤中几种典型四环素抗性基因形成的影响	张俊, 罗方园, 熊浩微, 焦少俊, 叶波平 (4267)
稻田土壤不同水分条件下硝化/反硝化作用及其功能微生物的变化特征	刘若萱, 贺纪正, 张丽梅 (4275)
典型岩溶土壤微生物丰度与多样性及其对碳循环的指示意义	靳振江, 汤华峰, 李敏, 黄炳富, 李强, 张家喻, 黎桂文 (4284)
变温环境对典型石灰土有机碳矿化的影响	王莲阁, 高岩红, 丁长欢, 慈恩, 谢德体 (4291)
铁氧化物与电子供体基质交互作用对红壤性水稻土中 DDT 还原脱氯影响	刘翠英, 徐向华, 王壮, 姚童言 (4298)
植物套种及化学强化对重金属污染土壤的持续修复效果研究	卫泽斌, 郭晓方, 吴启堂, 龙新宪 (4305)
不同取样尺度下亚高山草甸土壤呼吸的空间变异特征	李洪建, 高玉凤, 严俊霞, 李君剑 (4313)
不同开垦年限黑土温室气体排放规律研究	李平, 郎漫, 徐向华, 李煜珊, 朱淑娟 (4321)
转 Cry1Ac 基因抗虫棉与其亲本棉花根际真菌多样性的比较	潘建刚, 焦海华, 白志辉, 齐鸿雁, 马安周, 庄国强, 张洪勋 (4329)
天津污灌区内气态汞的污染特征及在叶菜类蔬菜中的富集	郑顺安, 韩允垒, 郑向群 (4338)
1-硝基萘和 1,2-萘醌的联合细胞毒性和致 DNA 损伤	尚羽, 蒋玉婷, 张玲, 李怡 (4345)
鸡粪堆肥有机物演化对重金属生物有效性影响研究	卜贵军, 于静, 邱慧慧, 罗世家, 周大寨, 肖强 (4352)
污泥预植重金属 Cu 炭化及炭中重金属的稳定性研究	窦晓敏, 陈德珍, 戴晓虎 (4359)
上层曝气式生物反应器填埋工艺特性的研究	田颖, 王坤, 徐期勇 (4365)
硝酸盐连续回灌对生物反应器填埋场 N ₂ O 产生的影响	卞荣星, 孙英杰, 李晶晶, 张欢欢 (4371)
中国碳强度下降和碳排放增长的行业贡献分解研究	蒋晶晶, 叶斌, 计军平, 马晓明 (4378)
泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究	赵海霞, 蒋晓威, 崔建鑫 (4387)
基于污染防治技术模拟的造纸行业环境管理方法研究	张雪莹, 温宗国 (4395)
大气棕色碳的研究进展与方向	闫才青, 郑玫, 张远航 (4404)
《环境科学》征稿简则 (4094)	
《环境科学》征订启事 (4126)	
信息 (4243, 4266, 4274, 4328)	

深圳湾流域 TN 和 TP 入海年通量变化规律研究

赵晨辰, 张世彦, 毛献忠*

(清华大学深圳研究生院环境工程与管理研究中心, 深圳 518055)

摘要: 采用经验排污系数法、输出系数模型以及平均浓度法, 分别研究 1986~2011 年间深圳湾流域内深圳和香港两个区域的总氮(TN)和总磷(TP)入海污染负荷年通量的变化规律。结果表明, 整个深圳湾流域在 80 年代、90 年代和 2000 年之后的 3 个时期内 TN 入海负荷量平均值分别为 10 388.2、10 727.9 和 10 937.3 t, TP 为 2 694.5、1 929.2 和 1 388.7 t。其中深圳一侧随着社会经济和城市化的快速发展, TN 和 TP 年负荷通量大幅增长, 26 年来点源污染分别增加了 4 373.6 t 和 195.9 t, 相应增长了 261.0% 和 64.2%, 非点源污染增加了 1 067.2 t 和 151.0 t, 相应增长了 63.4% 和 84.9%, 建设和交通用地的扩张是非点源污染负荷增长的主要因素; 深圳一侧对深圳湾流域入海污染负荷的贡献率分别从 42.4% 和 27.0% 增加到 85.1% 和 75.2%; 而香港一侧 TN 和 TP 年负荷通量分别减少了 3 028.5 t 和 1 031.5 t, 相应削减了 66.3% 和 79.0%。

关键词: 深圳湾; TN 和 TP; 年负荷通量; 点源污染; 非点源污染

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)11-4111-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.11.010

Variations of Annual Load of TN and TP in the Deep Bay Watershed, Shenzhen

ZHAO Chen-chen, ZHANG Shi-yan, MAO Xian-zhong

(Research Center for Environmental Engineering and Management, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: The empirical coefficient of sewage disposal, export coefficient model and mean concentration method were respectively used to estimate variations of annual load TN and TP from Shenzhen and Hong Kong areas in the Deep Bay Watershed from 1986 to 2011. The results showed that, the annual average loads of TN and TP were 10 388.2 t, 10 727.9 t, 10 937.3 t, and 2 694.5 t, 1 929.2 t, 1 388.7 t, respectively in the whole watershed during three periods, 80s, 90s and years after 2000. With the rapid development of society, economy and the urbanization, annual pollution loading of TN and TP in Shenzhen area showed an obviously increase, 4 373.6 t and 195.9 t, by 261.0% and 64.2% for point source, and 1 067.2 t and 151.0 t, by 63.4% and 84.9% for non-point source, respectively. Non-point source with high pollution load was mainly caused by the expanding of land for construction and roads. The contribution ratios of TN and TP from Shenzhen area increased from 42.4% and 27.0% to 85.1% and 75.2%. Annual loads of TN and TP in Hong Kong area decreased 3 028.5 t and 1 031.5 t, by 66.3% and 79.0% reduced.

Key words: Deep Bay; total nitrogen and phosphorus; annual load; point source pollution; non-point source pollution

随着我国社会经济和城市化的发展,沿海城市的陆源污染剧增,并通过地表径流、河流排放入海导致近岸海域水质污染严重,科学掌握海湾内的陆源污染负荷以及水环境污染变化规律,可为海洋环境容量研究和水污染负荷总量的控制与削减提供科学依据。国内外海湾地区陆源污染负荷的研究包括点源和非点源污染两部分^[1-4],点源污染主要来自城市生活污水和工业废水,普遍采用综合用水法和经验浓度系数法^[5];非点源污染主要来自雨水径流,具有随机性、广泛性、模糊性和滞后性等特点^[6],影响因素众多,土地利用变化是最主要的因素^[7-9]。20 世纪 60 年代以来,国内外学者提出了多种非点源污染核算方法和模型,常用的有 SWMM (storm water management model)、SWAT (soil and water assessment tool) 以及 HSPF (hydrological simulation program-Fortran) 等^[10],但模型要求有长

系列资料作为输入条件;在相关资料相对缺乏时,常用的方法有平均浓度法^[11]、水质水量相关法^[12]、输出系数模型^[13]和 L-THIA (long-term hydrological impact assessment)^[14]等。

深圳湾是跨境水域,其流域分布在深圳和香港境内,深圳湾受深港两地污染物的共同影响,水体富营养化严重^[15]。深圳湾流域深圳一侧随着人口增加和城市快速发展,入湾污染负荷急剧增加;香港一侧随着工农业和畜牧业的转移,污染物变化特性截然不同。深圳湾的陆源污染负荷多是关于单一年份或深圳一侧的研究^[16,17],全面系统的长时间序列的研究较少。本研究采用经验排污系数法、输出系

收稿日期: 2014-04-04; 修订日期: 2014-06-03

基金项目: 深圳市近海动力环境演变重点实验室项目 (ZDSY20130402163735964)

作者简介: 赵晨辰(1988~),女,硕士,主要研究方向水环境模拟计算, E-mail: zccrby@163.com

* 通讯联系人, E-mail: maooz@sz.tsinghua.edu.cn

数模型以及平均浓度法,探讨了 1986~2011 年间深圳湾流域 TN 和 TP 入海年通量,分析了流域内入海污染负荷年通量的变化规律和分布,以期为深圳湾水环境治理提供科学依据。

1 研究区域概况

深圳湾是一个半封闭型海湾,位于珠江口伶仃洋以东,北接深圳市福田和南山区,南连香港新界西北地区,连接伶仃洋的龙鼓水道(图 1)。深圳湾湾长约 14 km,面积约 90 km²,内湾水浅,自东向西逐渐变深,湾口最深处约 16 m,平均水深约 2.9 m。

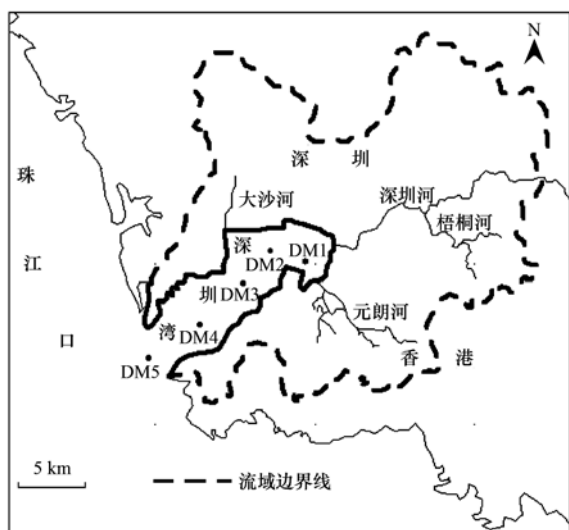


图 1 研究区域位置示意

Fig. 1 Location of the study area

深圳湾流域面积 617.8 km²,年平均气温 22.4℃,年平均降水量约 1 935.8 mm,降雨多集中在 4~10 月,约占全年总降水量的 90%。其中,位于深圳一侧的流域面积 351.3 km²,包括罗湖区、福田区、南山区和龙岗区布吉街道。根据国土资源部 2007 年 8 月 10 日颁布的《土地利用现状分类》,结合土地利用的特点,深圳一侧土地利用类型分为耕地、园地、林地、草地、水域、建设用地、交通和开发用地等 8 大类。2011 年深圳一侧土地利用类型以建设用地和林地为主,分别占 40.4% 和 20.6%^[18]。

深圳湾流域位于香港一侧的面积 266.5 km²,主要包括北区、元朗地区和流浮山一带,大部分属乡村地区,禽畜农场多,公共污水处理设施不完备。香港一侧主要污染源包括禽畜饲养场的排放物及农业面源污染、无污水管道的乡村地区直接或经由化粪池或渗水池渗漏的生活污水、城镇区域内错接到雨水渠的废水及其他残余污染物等^[19],都通过河流

最终流入深圳湾。

2 研究方法与数据资料

香港和深圳两地生活用水方式以及工农业排污情况不同,有关污染源基础资料的统计方法也不一样。因此,在计算 TN 和 TP 污染负荷时,根据两地现有的资料分别采用经验排污系数法、输出系数模型和平均浓度法计算深圳一侧城镇生活污水入海污染负荷(代表点源)、地表径流引起的污染负荷(代表非点源)以及香港一侧各条入湾河流输出的污染物负荷(包括点源和非点源)。

2.1 深圳一侧污染物入海通量

2.1.1 点源污染通量

深圳市 TN 和 TP 点源污染负荷主要来自生活污水。经验排污系数法根据城镇居民人口数和污水处理厂进出水水质等资料,合理确定城镇人均综合生活排放系数、综合生活污水平均浓度等特征值,计算城镇生活污染负荷的产生总量和削减量,进而确定城镇生活污水中 TN 和 TP 的入海年通量,计算公式如下:

$$L_j = c_{1j} \times G_t + c_{2j} \times (G_c - G_t) \quad (1)$$

式中, L_j 为生活污水 j 营养盐入海年通量(t), c_{1j} 为污水厂 j 营养盐尾水浓度(mg·L⁻¹), c_{2j} 为未经处理的生活污水 j 营养盐浓度(mg·L⁻¹), j 分别为 TN 和 TP 两种营养盐(下同)。其中,

$$G_c = 365 \times N \times F_c \quad (2)$$

$$G_t = w \times G_c \quad (3)$$

式中, G_c 为城镇居民生活污水年排放量(L), N 为城镇居民常住人口数量, F_c 为城镇人均生活污水排放系数[L·(d·人)⁻¹], G_t 为生活污水经过污水厂的年处理量(L), w 为污水处理率(%)。

根据深圳市污水处理厂多年的进水水质监测资料,采用经验浓度系数,TN 取 33.6 mg·L⁻¹。2000 年之前允许使用含磷洗涤剂,TP 取 8.0 mg·L⁻¹;2000 年后禁止使用含磷洗涤剂,取 5.76 mg·L⁻¹^[20,21]。污水处理厂的尾水浓度采用一级 B 标准(TN 取 20 mg·L⁻¹,TP 取 1.5 mg·L⁻¹)^[22]。根据《第一次全国污染源普查城镇生活源产排物系数手册》,深圳市城镇人均生活污水排放系数取 185 L·(d·人)⁻¹,人口和污水处理率等资料采用文献^[23]。

2.1.2 非点源污染通量

输出系数模型计算非点源污染通量是利用相对容易得到的土地利用状况等资料,直接建立土地利

用与受纳水体非点源污染负荷之间的关系. 随着该模型的广泛应用,许多学者^[24,25]对其进行了改进与发展,适当考虑污染物在流域传输过程中损失、年际降雨变化对污染物输出影响、以及与系数分类相关的污染物来源等. 输出系数模型如下:

$$L_j = \sum_{i=1}^n E_{i,j} \times A_i \times Q_i \tag{4}$$

式中, L_j 表示 j 种营养盐入海年通量(t), $E_{i,j}$ 表示 i 种土地利用类型的 j 营养盐的输出系数($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$),

A_i 为第 i 类土地利用类型面积(km^2), Q_i 为 i 种土地利用类型上产生的年径流量(mm).

深圳湾流域深圳一侧几乎没有农业生产和畜禽养殖,非点源污染负荷通量主要通过地表径流进入深圳湾,模型输入数据资料采用深圳国土资源局“深圳土地利用变更统计”和深圳市气象局“深圳市气候公报”. 输出系数模型计算中参考深圳湾流域非点源污染负荷相关研究^[26~28],确定合理的各种土地利用类型的输出系数,见表 1.

表 1 研究区各种土地利用类型输出系数/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Table 1 Export coefficients of all types of land use in the study area/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

类型	耕地	园地	林地	草地	水域	建设用地	交通	开发用地
TN	33.5	17.57	3.12	3.08	3.12	14.80	31.5	3.01
TP	1.87	0.68	0.14	0.12	0.29	1.55	1.90	0.07

2.2 香港一侧污染物入海通量

深圳湾流域香港一侧营养盐通过河道排放入海,河流输出的污染负荷总量即为香港一侧的入湾污染负荷年通量. 平均浓度法采用流量加权平均浓度乘以年径流量确定入湾污染负荷,计算公式为:

$$L_j = kQ_n \sum_{i=1}^n c_{ij}Q_i / \sum_{i=1}^n Q_i \tag{5}$$

式中, L_j 表示 j 污染物年入海通量(t), k 为单位转换系数, c_{ij} 为 j 污染物采样瞬时浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), Q_i 为采样瞬时流量($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), Q_n 为不同年份的年径流量(m^3),可通过该流域的径流系数推算.

$$Q_n = C \times P \times A \times 10^3 \tag{6}$$

式中, C 为该地区多年平均径流系数(取值 0.66^[26]); P 为该地区年降雨量(mm); A 为各条河流的集水面积(km^2). 香港一侧共 13 条入湾河流:包括北区双鱼河、平原河和梧桐河、元朗地区锦田河、元朗河、天水围明渠和锦绣花园明渠以及流浮山一带下白泥溪、鳌磡沙溪、白泥溪、上白泥溪、大水坑溪和曾角溪. 研究数据资料分别来自香港环保署各条河流月水质监测数据、流量数据,香港天文台的降雨量数据等.

3 分析与讨论

3.1 深圳一侧污染物入海通量

深圳湾流域深圳一侧 1986~2011 年间 TN 和 TP 的入海年通量、以及点源和非点源部分变化趋势见图 2.

深圳市的人口由 1986 年的 93.6 万人增加到 2011 年的 1 046.7 万人,深圳湾流域深圳一侧的生活

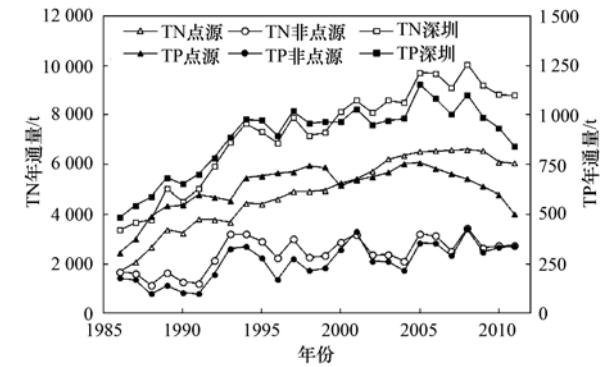


图 2 深圳侧污染物年通量变化
Fig. 2 Changes of pollution loads in Shenzhen area

污水排放量相应增加了 2.5 亿 t. 随着不同时期污水处理设施陆续投入运行,污水处理率逐年提高,由 1986 年的不足 10.0% 提高到 2011 年的 94.0%,经过污水截排和污水处理设施处理后,TN 和 TP 点源年负荷呈现不同的趋势,2011 年比 1986 年增加了 261.0% 和 64.2%. TN 的点源负荷通量在 2005 年以前增长迅速,从 1 675.7 t 增加到 6 548.4 t;之后基本维持在 6 500 t 左右,2009 年以后下降到 6 049.3 t,下降了 7.6%. TP 点源负荷 1986~1999 年间大幅上升,由 305.3 t 增加到 765.1 t;1999 年末深圳市政府禁止使用含磷洗涤剂,因此 2000 年后 TP 点源污染负荷明显下降,下降了 17.3%;在 2000~2005 年间,TP 点源负荷又上升了 18.3%,其原因是由于人口由 271 万增长到 347.6 万人,而污水处理率一直处在 60% 左右;2005 年后污水处理率提高到 94.0%,负荷下降了 32.9%.

深圳一侧 TN 和 TP 非点源 26 年来入海年通

量呈现波动上升的趋势,由1 683.3 t和 177.9 t 增加到2 750.5 t和 328.9 t,分别增加了 63.4% 和 84.9%. 分析其原因负荷波动与降水量有关,不同降雨量时地表径流产生非点源污染差别较大,其中1993、1994、2001和2008年是丰水年,降雨量在2 500 mm以上,非点源TN和TP年负荷均超过3 000 t和 300 t. 非点源负荷上升趋势与深圳城市化快速发展不断改变不同土地利用

类型的面积有关,不同土地利用类型污染输出负荷量差异很大. 以1986年和2011年为例,建设用地和交通用地面积比重分别增加了26.3%和11.4%(见表2),建设用地TN和TP负荷通量分别增长了203.1%和101.4%,交通用地TN和TP负荷量增幅分别在14倍和6倍以上. 因此,建设和交通用地的增大是流域非点源污染负荷增长的主要因素.

表2 1986年和2011年非点源污染年通量变化

Table 2 Changes of non-point source pollution load in 1986 and 2011

年份	项目	土地利用类型								总计
		耕地	园地	林地	草地	水域	建设用地	交通	开发用地	
1986	面积比/%	1.01	20.94	43.36	0.75	4.71	14.09	1.57	13.44	100
	TN/t	97.53	706.09	280.46	5.98	108.33	319.26	71.57	94.07	1 683.29
	TP/t	6.02	40.98	12.58	0.27	10.07	87.59	18.15	2.19	177.85
2011	面积比/%	0.38	13.33	20.56	0.40	8.27	40.43	12.93	3.70	100
	TN/t	15.43	446.99	124.13	1.07	117.13	967.69	1 050.65	27.39	2 750.48
	TP/t	1.49	16.86	3.53	0.09	14.39	176.37	115.76	0.37	328.86
变化率/%	TN	-84.18	-36.70	-55.74	-82.11	8.12	203.10	1 368.00	-70.88	63.40
	TP	-75.25	-58.86	-71.94	-66.67	42.90	101.36	537.80	-83.11	84.91

综合点源和非点源污染负荷,深圳湾流域深圳一侧TN入海年负荷总量2008年之前大幅增长,由3 359.0 t增长到10 047.6 t,之后下降到2011年的8 799.8 t,下降了12.4%. TP入海年负荷通量在2005年之前呈明显波动上升趋势,由483.2 t增加到1 153.3 t,之后下降到840.0 t,下降了27.2%. 上述研究结果和相关文献研究基本一致,如2003年^[29]和2007年^[16]的入海负荷通量.

深圳一侧90年代开始人口和经济快速增长,90年代中期以前TN和TP入海年通量增长率比较高. 90年代中期到2005年,营养盐入海负荷通量增长有所减缓,这是因为90年代中期以来,深圳市政府为改善深圳河湾水质,加大了污水处理和河流治理力度,包括污水厂的建立、污水截排工程和污水资源化工程等^[30]. 2006年以来,深圳一侧的营养盐排放入海量逐步得到控制,并出现下降趋势,取得了阶段性的改善.

深圳一侧1986~2011年间TN和TP点源和非点源污染负荷的贡献率,见图3. TN和TP点源污染负荷的贡献率分别为49.9%~75.7%和60.4%~87.6%,表明26年来城镇生活污水是深圳一侧营养盐入海的主要来源. 当深圳一侧人口较少时,由于污水处理厂处理能力不足导致生活污水是主要污染;随着污水处理厂的逐步建立,人口基数较大,使得点源污染仍是主要污染源.

3.2 香港一侧污染物入海通量

深圳湾流域香港一侧及其各分区1986~2011

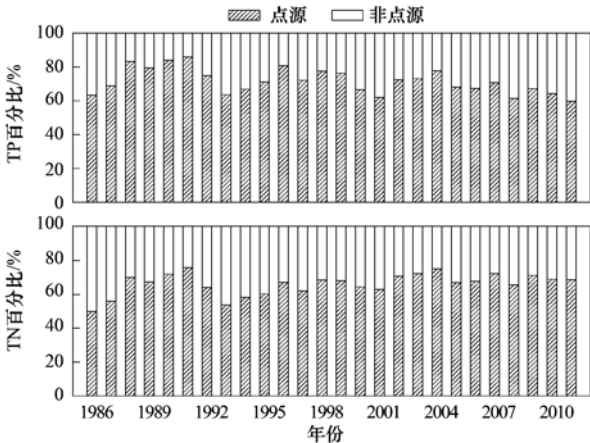


图3 深圳侧点源和非点源污染负荷贡献率

Fig. 3 Contribution ratios of point source and non-point source pollution load in Shenzhen area

年间TN和TP的入海年通量,见图4.

由图4可知,26年来,香港侧TN和TP入海总负荷通量大幅减少,分别下降3 028.5 t和1 031.5 t,相应削减了66.3%和79.0%. 这是因为香港政府采取了一系列的减排措施,1988年6月实施了“禽畜废物管制计划”,并于1994年进行检讨修订以促进污染管制,禽畜农场数目有所下降;1990年12月,香港环保署在研究区域内推行“减污计划”,要求工商业处所及无污水管道的乡村处理各自产生的废水;1992年粤港共同拟定“深圳湾行动计划”,1999年制定了实施计划,旨在减少现有的污染量,管制新污染源. 以上这些措施使香港一侧营养盐入湾负荷通量大幅削减,初期效果尤其明显. 香港一

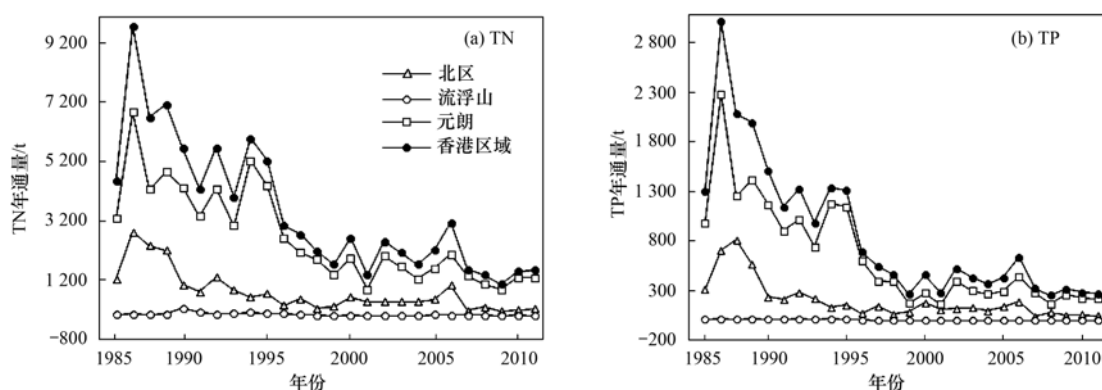


图4 香港侧及其各分区年污染物年通量变化

Fig. 4 Changes of pollution load in Hong Kong and its sub areas

侧入海年通量研究结果和相关文献研究香港地区河流输出污染物负荷量基本一致,如1998年^[31]和2005年^[17].

香港一侧入海年通量主要来自元朗,TN和TP贡献率分别为63.8%~88.2%和59.8%~88.1%,这是因为元朗地区人口稠密,工商业发达,也是历史上禽畜养殖的主要区域.相邻年份点源污染差异不大,负荷波动的主要原因和降雨有关,如1987年TN和TP负荷量远远高于1986年和1988年,是因为1986和1988年都是枯水年,而1987年是丰水年,降雨量高达2047.5 mm,导致地表径流引起的非点源污染较大.

3.3 深圳湾流域污染物入海总通量

1986~2011年间深圳湾流域TN和TP的年负荷通量变化曲线见图5.为了分析不同时期流域内

入湾污染负荷通量变化规律,选取80年代、90年代及2000年之后3个代表时期.26年来流域多年平均降雨量为1700 mm左右,3个时期的年平均降雨量分别为1680.5、1794.6和1741.7 mm,基本表示平均平水年的状况.3个时期流域内TN年入海负荷量平均值分别为10388.2、10727.9和10937.3 t,变化不大;TP年负荷量平均值分别为2694.5、1929.2和1388.7 t,呈明显的下降趋势,减少了48.5%.深圳湾流域深圳侧和香港侧年污染负荷贡献率见图6.26年来深圳一侧TN和TP入海年负荷的贡献率越来越大,分别从42.4%和27.0%增加到85.1%和75.2%.深圳一侧经过治理,营养盐排入海量已有所减少,但效果不如香港一侧明显.因此,在今后深圳湾水污染的治理上,仍需加大力度控制深圳一侧的营养盐排放量.

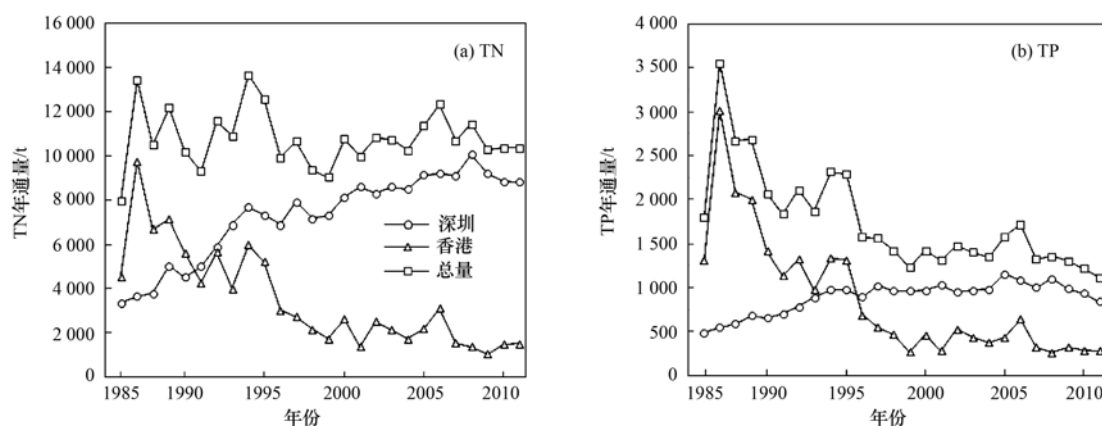


图5 深圳湾流域及各区域污染物年通量变化

Fig. 5 Changes of Shenzhen, Hong Kong areas and total pollution loads

3.4 深圳湾营养盐水质变化规律分析

为保护深圳湾水环境,1986年起香港环境署实施海水水质监测计划,在深圳湾设立5个监测站位

DM1~DM5,分布在湾顶到湾口之间(见图1).根据监测资料,1986~2011年间湾内营养盐年际变化见图7.

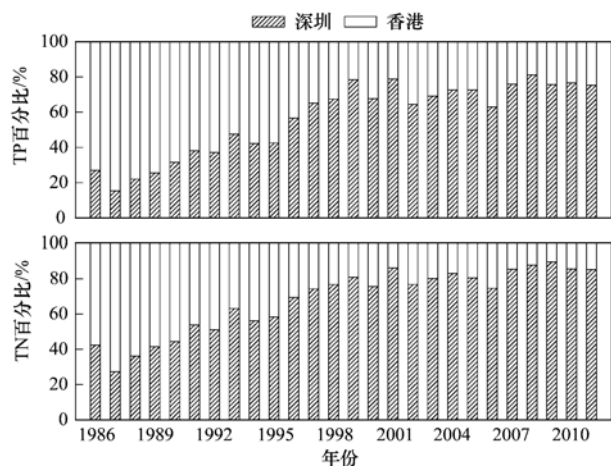


图6 深圳湾流域深圳侧和香港侧的年污染负荷贡献率

Fig. 6 Contribution ratios of pollution load from Shenzhen and Hong Kong areas

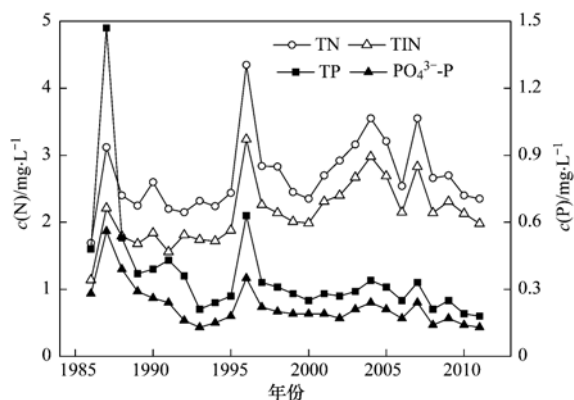


图7 深圳湾营养盐年际变化(1986~2011年)

Fig. 7 Annual variation of nutrient in the Deep Bay (1986-2011)

26年来海水中TN和总无机氮(TIN)变化幅度较大,波动性上升,变化范围为 $1.7 \sim 4.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.1 \sim 3.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,其中TIN多年平均浓度为 $2.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,远远超过四类海水水质标准,多年平均TIN是TN的79.5%,TIN对TN的贡献率大。在80、90年代和2000年之后的3个时期内,TN平均值分别为 2.4 、 2.6 和 $2.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,呈明显的上升趋势。由于深圳湾流域TN陆源年入海负荷的变化不明显,导致湾内TN、TIN上升的主要原因有:一是深圳湾内源污染增加;二是历年来深圳湾深圳侧大量的围海造地使深圳湾的水动力减弱,污染物在深圳湾停留时间变长容易累积引起的。

TP和正磷酸盐($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)年际变化趋势十分接近, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 多年平均 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超四类海水水质标准4倍以上,占TP多年平均的75.2%。TP在80、90年代和2000年之后的3个时期的平均值分别为

0.65 、 0.33 和 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,呈明显的下降趋势,这与TP入海负荷量的变化规律基本相符。

4 结论

(1)随着深圳社会经济和城市化的发展,1986~2011年间深圳湾流域深圳一侧TN和TP入湾负荷大幅增加,其中TN和TP的点源污染负荷分别从 1675.7 t 和 305.3 t 增加到 6049.3 t 和 501.2 t ,增加了261.0%和64.2%;非点源污染负荷从 1683.3 t 和 177.9 t 增加到 2750.5 t 和 328.9 t ,增加了63.4%和84.9%。深圳一侧TN和TP入海污染负荷的贡献率越来越大,分别从42.4%和27.0%增加到85.1%和75.2%。因此,今后深圳湾水环境的治理应重点控制深圳一侧营养盐入海负荷。

(2)深圳湾流域香港一侧经过多年的治理,TN和TP入海总负荷通量26年来大幅减少,分别下降 3028.5 t 和 1031.5 t ,相应削减了66.3%和79.0%。其中,香港一侧入海年通量主要来自元朗,TN和TP贡献率分别为63.8%~88.2%和59.8%~88.1%。

(3)在80、90年代以及2000年之后的3个时期,深圳湾流域TN年入海负荷通量平均值分别为 10388.2 、 10727.9 和 10937.3 t ,TP为 2694.5 、 1929.2 和 1388.7 t ,TN变化不大,TP削减明显;相应时期内深圳湾TN平均值分别为 2.4 、 2.6 和 $2.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,TP为 0.65 、 0.33 和 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,湾内水质变化与入海负荷通量的变化规律基本一致。

致谢:感谢香港环保署、天文台以及深圳市国土资源局和深圳市气象局为本研究提供的数据。

参考文献:

- [1] Enell M, Fejes J. The nitrogen load to the Baltic Sea—present situation, acceptable future load and suggested source reduction [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1995, **85**(2): 877-882.
- [2] Kaushal S S, Groffman P M, Band L E, et al. Tracking nonpoint source nitrogen pollution in human-impacted watersheds [J]. Environmental Science and Technology, 2011, **45**(19): 8225-8232.
- [3] 王红莉,姜国强,陶建华. 海岸带污染负荷预测模型及其在渤海湾的应用[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(3): 307-312.
- [4] 涂振顺,黄金良,张珞平,等. 沿海港湾区域陆源污染物定量估算方法研究[J]. 海洋环境科学, 2009, **28**(2): 202-207.
- [5] 潘灿民,张珞平,黄金良,等. 厦门西海域、同安湾入海污染负荷估算研究[J]. 海洋环境科学, 2011, **30**(1): 90-95.
- [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] Wilson C, Weng Q. Assessing surface water quality and its

- relation with urban land cover changes in the Lake Calumet Area, Greater Chicago [J]. *Environmental Management*, 2010, **45** (5): 1096-1111.
- [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] 廖义善, 卓慕宁, 李定强, 等. 珠江三角洲城市非点源 COD 影响因素分析及其负荷估算[J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 3019-3024.
- [10] 王龙, 黄跃飞, 王光谦. 城市非点源污染模型研究进展[J]. *环境科学*, 2010, **31**(10): 2532-2540.
- [11] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. *环境科学学报*, 2000, **20**(4): 397-400.
- [12] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用[J]. *西安理工大学学报*, 2000, **16**(4): 384-386.
- [13] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, **183**(3-4): 323-349.
- [14] Harbor J M. 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.
- [15] 戴纪翠, 高晓薇, 倪晋仁, 等. 深圳近海海域营养现状分析与富营养化水平评价[J]. *环境科学*, 2009, **30**(10): 2879-2883.
- [16] 万由鹏. 深圳湾水动力时间参数计算及主要营养盐减排效果分析[D]. 北京: 清华大学, 2009. 36-37.
- [17] 陶亚. 基于 EFDC 模型的深圳湾水环境模拟与预测研究[D]. 北京: 中央民族大学, 2010.
- [18] http://www.szpl.gov.cn/xxgk/tdgl/tdbgdctj/201212/t20121213_77983.html.
- [19] 香港特别行政区政府环境保护署. 香港海水水质监测 20 年 (1986-2005) [R]. 2006.
- [20] 刘爱萍, 刘晓文, 陈中颖, 等. 珠江三角洲地区城镇生活污染源调查及其排污总量核算[J]. *中国环境科学*, 2011, **31** (Supl.): 53-57.
- [21] 徐腊梅, 黄炳峰. 深圳河湾流域的污染负荷分布预测[J]. *中国给水排水*, 2010, **26**(13): 68-70.
- [22] GB 18918-2002. 城镇污水处理厂污染物排放标准[S].
- [23] 深圳市统计局, 国家统计局深圳调查队. 2013 深圳统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社. 2013. 29-344.
- [24] 刘瑞民, 沈珍瑶, 丁晓雯. 应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷[J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27**(2): 677-682.
- [25] 李兆富, 杨桂山, 李恒鹏. 基于改进输出系数模型的流域营养盐输出估算[J]. *环境科学*, 2009, **30**(3): 668-672.
- [26] Li H E, Lee J H W, Koenig A, *et al.* Nutrient load estimation in nonpoint source pollution for Hong Kong region [J]. *Water Science and Technology*, 2005, **51**(3-4): 209-216.
- [27] 刘宁, 吕瑞峰. 深圳河湾水污染水环境治理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. 97-100.
- [28] 白凤姣, 李天宏. 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[J]. *环境科学*, 2012, **33** (8): 2667-2673.
- [29] 深圳市水污染治理指挥部办公室. 深圳河湾水系水质改善策略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007. 1-20.
- [30] 万由鹏, 毛献忠. 深圳湾 TIN 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 数值模拟及减排效果分析[J]. *环境科学*, 2011, **32**(2): 384-390.
- [31] 李怀恩, 李家科. 流域非点源污染负荷量化方法研究与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013. 176-197.

CONTENTS

Variation Characteristics of Surface Ozone and Its Precursors During Summertime in Nanjing Northern Suburb	SHAO Ping, AN Jun-lin, YANG Hui, <i>et al.</i> (4031)
Distribution Characteristics of Pollution Gases and Water Soluble Ion in Aerosol During the Asian Youth Games of Nanjing, China	ZOU Jia-nan, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4044)
Aerosol Concentration Variation in Nanjing During Asian Youth Games and the Relationship Between Aerosol Concentration and Visibility	YUAN Liang, YIN Yan, LI Qi, <i>et al.</i> (4052)
Characteristic Analysis of a Multi-day Pollution Event in Chang-Zhu-Tan Metropolitan Area During October 2013	LIAO Zhi-heng, FAN Shao-jia, HUANG Juan, <i>et al.</i> (4061)
Application of On-line Single Particle Aerosol Mass Spectrometry (SPAMS) for Studying Major Components in Fine Particulate Matter	FU Huai-yu, YAN Cai-qing, ZHENG Mei, <i>et al.</i> (4070)
Establishment and Application of Replaceable Source Profiles of PM ₁₀	CHEN Qiang, JING Yi, WU Huan-bo, <i>et al.</i> (4078)
Distribution, Flux and Biological Consumption of Carbon Monoxide in the East China Sea and the South Yellow Sea in Summer	WANG Jing, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4085)
Spatial and Temporal Distribution of Mercury in Water of a Small Typical Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (4095)
Fluorescence Characteristics of Fractionated Colloidal Organic Matter in Freshwater from Hunhe and Taizihe Watersheds	LIU Na-na, LI Bin, LIU Rui-xia, <i>et al.</i> (4103)
Variations of Annual Load of TN and TP in the Deep Bay Watershed, Shenzhen	ZHAO Chen-chen, ZHANG Shi-yan, MAO Xian-zhong (4111)
Characteristics and Bioavailability of Organic Phosphorus from Different Sources of Sediments in Dianchi Lake	XIONG Qiang, JIAO Li-xing, WANG Sheng-rui, <i>et al.</i> (4118)
Heavy Metals Distribution Characteristics and Ecological Risk Evaluation in Surface Sediments of Dammed Jinshan Lake	ZHOU Xiao-hong, LIU Long-mei, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4127)
Vertical Distribution Pattern and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in a Sediment Core from Pumoyum Co, Tibet	XIE Ting, LUO Dong-xia, YANG Rui-qiang (4135)
Heavy Metals Pollution and Analysis of Seasonal Variation Runoff in Xi'an	YUAN Hong-lin, LI Xing-yu, WANG Xiao-chang (4143)
Distribution and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Rainfall Runoff	WU Zi-lan, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4148)
Influence of the Substrate Composition in Extensive Green Roof on the Effluent Quality	CHEN Yu-lin, LI Tian, GU Jun-qing (4157)
Investigation of the Microbial Diversity and Structure of Biological Activated Carbon from Different Sources in Drinking Water Treatment Process	DU Er-deng, ZHENG Lu, FENG Xin-xin, <i>et al.</i> (4163)
Microcystin Safety Study During <i>Cyanobacteria</i> Removal by Pressure Enhanced Coagulation Process	JIANG Xin-yue, LUAN Qing, CONG Hai-bing, <i>et al.</i> (4171)
Membrane Fouling Based on Change of Membrane Characteristic Parameters During Ultrafiltration of Protein	WANG Xu-dong, ZHANG Yin-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (4176)
Impact Factors and Degradation Mechanism for the Ozonation of Acetaminophen in Aqueous Solution	CAO Fei, YUAN Shou-jun, ZHANG Meng-tao, <i>et al.</i> (4185)
Degradation of Benzothiazole in Electro-Assisted Microbial Reactor	LIU Chun-miao, DING Jie, LIU Xian-shu, <i>et al.</i> (4192)
Preparation and Evaluation of Fe-La Composite Oxide Nanoabsorbent for As(III) Removal from Aqueous Solutions	ZHANG Wei, CHEN Jing, ZHANG Gao-sheng (4198)
Physiological Responses of Tubificidae to Heavy Metal Chromium Stress	LOU Ju-qing, YANG Dong-ye, CAO Yong-qing, <i>et al.</i> (4205)
Effects of Light Quality on the Growth Characteristics and Biochemical Component of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	TANG Qing-qing, FANG Zhi-guo, JI Wen-wen, <i>et al.</i> (4212)
Influence of Alkalinity and DO on ANAMMOX Bioreactor at Normal Temperature and Low Substrate Concentration	REN Yu-hui, WANG Ke, LI Xiang-kun, <i>et al.</i> (4218)
Effect of Fe ²⁺ and Fe ³⁺ on the Activity of ANAMMOX	LI Xiang, HUANG Yong, WU Chuan, <i>et al.</i> (4224)
Research on Change Process of Nitrosation Granular Sludge in Continuous Stirred-Tank Reactor	YIN Fang-fang, LIU Wen-ru, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (4230)
Effects of Salinity on N ₂ O Production During Nitrification Using Aerobic Granular Sludge	WANG Shan-shan, LIANG Hong, GAO Da-wen (4237)
Analysis of Microbial Community Variation in the Domestication Process of Sludge in a Sulfate-reducing Reactor	ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan, ZHENG Xiao-hong, <i>et al.</i> (4244)
Quantifying the Influence of Different Matrices on Pb Accumulation in the Soil from Nanjing and Suspended Matter from the Lower of the Yangtze River with Pb Isotopic Technique	WANG Cheng, XIA Xue-qi, ZHANG Yi, <i>et al.</i> (4251)
Contamination Characteristics of Fluoroquinolones in Different Kinds of Soil Profiles in Southeast Suburb of Beijing	SU Si-hui, HE Jiang-tao, YANG Lei, <i>et al.</i> (4257)
Effect of Environmental Factors on the Formation of Several Typical Tetracycline Resistance Genes in Soil	ZHANG Jun, LUO Fang-yuan, XIONG Hao-hui, <i>et al.</i> (4267)
Response of Nitrification/Denitrification and Their Associated Microbes to Soil Moisture Change in Paddy Soil	LIU Ruo-xuan, HE Ji-zheng, ZHANG Li-mei (4275)
Microbial Community Abundance and Diversity in Typical Karst Ecosystem to Indicate Soil Carbon Cycle	JIN Zhen-jiang, TANG Hua-feng, LI Min, <i>et al.</i> (4284)
Effects of Variable Temperature on Organic Carbon Mineralization in Typical Limestone Soils	WANG Lian-ge, GAO Yan-hong, DING Chang-huan, <i>et al.</i> (4291)
Influence of the Interaction Between Iron Oxide and Electron Donor Substances on 1,1,1-Trichloro-2,2-bis(<i>p</i> -chlorophenyl)ethane (DDT) Reductive Dechlorination in Hydragic Acrisols	LIU Cui-ying, XU Xiang-hua, WANG Zhuang, <i>et al.</i> (4298)
Continuous Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil by Co-Cropping System Enhanced with Chelator	WEI Ze-bin, GUO Xiao-fang, WU Qi-tang, <i>et al.</i> (4305)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow at Different Sampling Scales	LI Hong-jian, GAO Yu-feng, YAN Jun-xia, <i>et al.</i> (4313)
Study on Regularity of Greenhouse Gas Emissions from Black Soil with Different Reclamation Years	LI Ping, LANG Man, XU Xiang-hua, <i>et al.</i> (4321)
Comparison Between Transgenic Insect-Resistant Cotton Expressing CryI _{Ac} Protein and Its Parental Variety in Rhizospheric Fungal Diversity	PAN Jian-gang, JIAO Hai-hua, BAI Zhi-hui, <i>et al.</i> (4329)
Concentrations of Mercury in Ambient Air in Wastewater Irrigated Area of Tianjin City and Its Accumulation in Leafy Vegetables	ZHENG Shun-an, HAN Yun-lei, ZHENG Xiang-qun (4338)
Combined Effects of 1-Nitropyrene and 1,2-Naphthoquinone on Cytotoxicity and DNA Damage in A549 Cells	SHANG Yu, JIANG Yu-ting, ZHANG Ling, <i>et al.</i> (4345)
Influence of Organic Matter Evolution During Composting on the Bioavailability of Heavy Metals	BU Gui-jun, YU Jing, DI Hui-hui, <i>et al.</i> (4352)
Carbonization of Heavy Metal Cu Implanted Sewage Sludge and Stability of Heavy Metal in the Resulting Char	DOU Xiao-min, CHEN De-zhen, DAI Xiao-hu (4359)
Technological Characteristics of Bioreactor Landfill with Aeration in the Upper Layer	TIAN Ying, WANG Shen, XU Qi-yong (4365)
Impact of Nitrate Continuous Injection on N ₂ O Releases from Bioreactor Landfill	BIAN Rong-xing, SUN Ying-jie, LI Jing-jing, <i>et al.</i> (4371)
Research on Contribution Decomposition by Industry to China's Carbon Intensity Reduction and Carbon Emission Growth	JIANG Jing-jing, YE Bin, JI Jun-ping, <i>et al.</i> (4378)
Shifting Path of Industrial Pollution Gravity Centers and Its Driving Mechanism in Pan-Yangtze River Delta	ZHAO Hai-xia, JIANG Xiao-wei, CUI Jian-xin (4387)
Method for Environmental Management in Paper Industry Based on Pollution Control Technology Simulation	ZHANG Xue-ying, WEN Zong-guo (4395)
Research Progress and Direction of Atmospheric Brown Carbon	YAN Cai-qing, ZHENG Mei, ZHANG Yuan-hang (4404)

《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11月15日 第35卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 11 Nov. 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