

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第4期

Vol.35 No.4

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

2008 ~2012 年上海黑碳浓度变化特征分析	王洪强,贺千山,陈勇航,亢燕铭 (1215)
乌鲁木齐市东南郊一次降雪过程的化学组成及其悬浮态颗粒形态特征	陆辉,魏文寿,崔彩霞,何清,王瑶 (1223)
典型地区大气中多溴联苯醚和新型溴代阻燃剂的水平及组成分布	吴辉,金军,王英,李明圆,何松洁,徐萌,孙一鸣 (1230)
某焦化厂周边大气 PM ₁₀ 重金属来源及健康风险评价	董婷,李天昕,赵秀阁,曹素珍,王贝贝,马瑾,段小丽 (1238)
基于车流和大气污染物浓度同步增量的机动车平均排放因子估算方法	李润奎,赵彤,李志鹏,丁文军,崔晓勇,许群,宋现锋 (1245)
珠江三角洲地区硫和氮沉降临界负荷研究	孙成玲,谢绍东 (1250)
低温等离子体-生物法处理硫化氢气体研究	李华琴,何觉聪,陈洲洋,黎宝仁,黄倩茹,张再利,魏在山 (1256)
太子河流域莠去津的空间分布及风险评价	郑磊,张依章,张远,朱鲁生,王志强 (1263)
一种大批量测定沉积物微量间隙水样品中溶解态磷和铁含量的方法	王燕,朱春刚,许笛,丁士明 (1271)
外源营养盐输入后水体中营养盐浓度的时空变化	傅玲,赵凯,王国祥,欧媛,范嫻,毛丽娜,张佳,韩睿明 (1278)
基于物理过程的矿区地下水污染风险评价	孙法圣,程品,张博 (1285)
重庆典型岩溶地下水系统水文地球化学特征研究	杨平恒,卢丙清,贺秋芳,陈雪彬 (1290)
重庆老龙洞地下河流域氮、磷及微生物污染调查研究	蓝家程,杨平恒,任坤,陈雪彬,徐昕,胡宁 (1297)
苦草 (<i>Vallisneria natans</i>) 根系对沉积物中各形态磷的影响	李振国,王国祥,张佳,马久远,魏宏农,俞振飞 (1304)
循环廊道湿地中氮归趋过程模拟研究	彭剑峰,宋永会,袁鹏,张雪妍,胡小明 (1311)
不同环境因素下太湖中四环素的自然消减	段伦超,王凤贺,纪莹雪,张帆,赵斌,王国祥 (1318)
再生水中 5 种抗生素抗性菌的紫外线灭活及复活特性研究	黄晶晶,汤芳,席劲璇,庞宇辰,胡洪营 (1326)
二级处理出水的 UV-TiO ₂ 消毒及大肠杆菌和粪肠球菌光复活试验	王西峰,龚昕,胡晓莲,任伯帜 (1332)
水中 C ₆₀ 纳米颗粒的稳定性研究	方华,沈冰冰,荆洁,陆继来,王媛 (1337)
XDLVO 理论解析不同离子条件下海藻酸钠微滤膜污染	赵应许,纵瑞强,高欣玉,谢慧君,殷永泉,梁爽 (1343)
纳米零价铁催化过氧化氢强化修复 4-氯硝基苯污染地下水的研究	付融冰 (1351)
共存氯苯类同系物对六氯苯厌氧降解活性的影响	王琪,刘辉,姜林,唐军 (1358)
硫酸盐还原生物滤池对含镉废水去除效果试验研究	吴宣,谭科艳,胡希佳,顾远,杨宏 (1366)
基于氮平衡原理对南方污水处理厂中试脱氮工艺调控策略研究	姜应和,刘佩炬,王磊,田中凯,刘小英 (1372)
模拟电镀污泥阴离子浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	陈燕,黄芳,谢鑫源 (1377)
电活性生物膜介导 Cu ²⁺ 生物还原的试验研究	刘毅,周顺桂,袁勇,刘志 (1384)
模拟废旧线路板生物浸出液中铜的回收	程丹,朱能武,吴平霄,邹定辉,邢翊佳 (1391)
填埋垃圾浸提液与地下水污染物组成差异及成因	何小松,余红,席北斗,崔东宇,潘红卫,李丹 (1399)
化学合成施氏矿物与 H ₂ O ₂ 共存体系下光化学处理垃圾渗滤液的研究	王鹤茹,宋永伟,徐峙辉,崔春红,周立祥 (1407)
处理 BPA 模拟废水的 SBR 工况参数对污泥有机毒性的影响研究	杨娜,陈秀荣,林逢凯,黄华,章斐,赵骏,丁毅 (1414)
剩余污泥厌氧消化甲烷生成势与产甲烷菌多样性的比较研究	董慧岭,季民 (1421)
锰氧化菌 <i>Aminobacter</i> sp. H1 的分离鉴定及其锰氧化机制研究	晏平,姜理英,陈建孟,何智敏,肖少丹,蒋铁锋 (1428)
1 株铁基质自养反硝化菌的脱氮特性	王弘宇,杨开,张倩,季斌,陈丹,孙宇翀,田俊 (1437)
碘普罗胺降解菌 <i>Pseudomonas</i> sp. I-24 共代谢降解性能研究	徐冰洁,高品,薛翌,何梦琦,吴凡 (1443)
利用流式细胞术研究鞘氨醇单胞菌 GY2B 降解非过程中细菌表面特性的变化	张梦露,党志,伍凤姬,梁旭军,郭楚玲,卢桂宁,杨琛 (1449)
毒性有机物 BPA 与普通小球藻的相互影响特性研究	陈善佳,陈秀荣,闫龙,赵建国,章斐,江子建 (1457)
缺镁胁迫对普通小球藻光合生理及油脂积累的影响	王珊,赵树欣,魏长龙,于水燕,史吉平,张保国 (1462)
微囊藻毒素对水稻根系生长和抗氧化系统的影响	王妮敏,邓琦,邹华,梁婢娟 (1468)
东北春大豆品种东生 1 号对臭氧胁迫的响应	张巍巍,王光华,王美玉,刘晓冰,冯兆忠 (1473)
生物结皮的发育演替与微生物生物量变化	吴丽,张高科,陈晓国,兰书斌,张德禄,胡春香 (1479)
老化土壤中铅对赤子爱胜蚓生长及繁殖的影响	陈丽红,刘征涛,方征,王晓南,王婉华 (1486)
土壤重金属镉标准值差异比较研究与建议	赵晓军,陆泗进,许人骥,李伯苓,吴国平,魏复盛 (1491)
藏北可可西里地区土壤元素背景值研究	柏建坤,王建力,李潮流,康世昌,陈鹏飞 (1498)
三峡库区香溪河消落带及库岸土壤重金属迁移特征及来源分析	胥焘,王飞,郭强,聂小倩,黄应平,陈俊 (1502)
浙江海宁电镀工业园区周边土壤重金属污染特征及生态风险分析	厉炯慧,翁珊,方婧,黄佳蕾,陆芳华,卢宇浩,张洪铭 (1509)
西湖景区土壤典型重金属污染物的来源及空间分布特征	张海珍,唐宇力,陆骏,周虹,徐芸茜,陈川,赵赞,王美娥 (1516)
生活垃圾焚烧厂周边土壤汞污染特征及评价	解惠婷,张承中,徐峰,李海凤,田振宇,唐琛,刘文彬 (1523)
上海滴水湖周边土壤和沉积物对磷的吸附特征	诸葛祥真,毕春娟,陈振楼,张焕焕,倪玮怡 (1531)
SDBS/Na ⁺ 对红壤胶体悬液稳定性的影响	唐颖,李航,朱华玲,田锐,高晓丹 (1540)
稳定化处理对矿渣中重金属迁移转化的影响研究	赵述华,陈志良,张太平,潘伟斌,彭晓春,车融,欧英娟,雷国建,周鼎 (1548)
藻类水体 Cd ²⁺ 毒性快速监测新方法研究	段静波,刘文清,张玉钧,赵南京,殷高方,肖雪,余晓娅,方丽 (1555)
用于 1,3-二硝基苯快速检测的免疫传感器研究	龙峰,施汉昌,王洪臣,盛建武 (1561)
Mg/Al 水滑石微波共沉淀法合成及其对 BrO ₃ ⁻ 吸附性能的研究	钟琼,李欢 (1566)
污染场地修复决策支持系统的几个关键问题探讨	廖晓勇,陶欢,阎秀兰,赵丹,林龙勇,李尤 (1576)
城市区域土壤铅含量空间变异的多尺度研究进展	杨孟,李凤英,刁一伟,吴丹 (1586)
水中细菌内毒素污染特性及检测方法研究进展	张灿,刘文君,张明露,田芳,杨毅,安代志 (1597)
六价铬细菌还原的分子机制研究进展	李斗,赵由才,宋立岩,尹雅洁,王洋清,徐中慧 (1602)
农副食品加工业高浓度废水的厌氧膜生物反应器技术	魏源送,郁达伟,曹磊 (1613)
《环境科学》征稿简则 (1427) 《环境科学》征订启事 (1497) 信息 (1383, 1390, 1398, 1560)	

珠江三角洲地区硫和氮沉降临界负荷研究

孙成玲, 谢绍东*

(北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871)

摘要: 通过实地采集土壤样品和测量其矿物组成, 收集植被和大气沉降等数据, 应用稳态质量平衡(SMB)法和 ArcGIS, 计算得到了珠江三角洲地区硫沉降和氮沉降临界负荷及其超临界负荷。结果表明, 珠江三角洲地区当前硫沉降临界负荷呈现东高西低的态势, 高值区分布于惠州大部、广州中北部、东莞和中山南部地区, 其临界负荷值大于 $15.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$; 低值区包括江门大部、肇庆大部和深圳部分地区, 其临界负荷值小于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 。氮沉降临界负荷在 $1.0 \sim 2.5 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 范围, 小于 $1.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 出现在肇庆等地区。当前硫沉降超过临界负荷的区域较少, 但大部分区域氮沉降超过了其临界负荷; 未来随着大气颗粒物浓度的降低硫沉降临界负荷将下降, 将出现大片硫超临界负荷区。因此, 当前珠江三角洲地区应加大氮沉降控制的力度, 未来在控制大气颗粒物的同时应特别注重硫沉降的协调控制。

关键词: 临界负荷; 临界水平; 硫沉降; 氮沉降; 稳态法; 酸沉降

中图分类号: X517 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)04-1250-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.04.006

Study on Critical Loads of Sulfur and Nitrogen in the Pearl River Delta

SUN Cheng-ling, XIE Shao-dong

(College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Supported by the geographical information system (ArcGIS), critical loads and exceedances of critical loads of sulfur and nitrogen in the Pearl River Delta (PRD) were calculated using Steady-state Mass Balance method with current deposition data, vegetation data and soil data obtained by field sampling and laboratory analysis. Results showed that the present critical loads of sulfur were high in the eastern PRD and low in the west. Higher critical loads occurred in most of Huizhou, north-central Guangzhou, Dongguan and south Zhongshan. The critical loads of these regions were mostly larger than $15 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. Regions with lower critical loads included most of Jiangmen, most of Zhaoqing and part of Shenzhen with critical loads less than $2 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. Critical loads of nitrogen were mainly in the range of $1.0 \sim 2.5 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ while values lower than $1.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ were found in Zhaoqing. According to the results of critical load exceedances, in several regions the sulfur deposition exceeded the critical loads whereas in most regions the nitrogen deposition exceeded the critical loads. With the reduction of particulate concentrations in atmosphere in the future, critical loads of sulfur would decrease and sulfur depositions in most regions would exceed their critical loads. Therefore, the control over nitrogen deposition should be strengthened in the present situation and special attention should be paid to the control of sulfur deposition with the reduction of particulate concentrations in the future.

Key words: critical load; critical level; sulfur deposition; nitrogen deposition; Steady-state Mass Balance method; acid deposition

由于二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等酸性气体的减排,特别是 NO_x 的减排需要很高的投入,因此寻求更加经济有效的控制策略在我国当前的形势下就显得十分重要。欧洲酸沉降控制的成功经验告诉人们,基于临界负荷的削减对策能够在保证生态系统得到充分保护的前提下,极大地降低削减的投入。事实上,临界负荷已经在中国的酸沉降控制中得以应用。其中最重要的应用就是“两控区”的划分^[1],其中临界负荷是划定酸雨控制区的最重要的科学依据之一。未来我国实施 SO_2 和 NO_x 的排放总量控制,临界负荷同样是总量目标确定和分配的必不可少的重要依据,为此有关的决策者已经提出了十分迫切的需求。然而,由于受客观条件的限制,原有的临界负荷计算和区划结果已经不能满足新的要求。原有的临界负荷研究主要针对硫沉降,同时我国

酸沉降形势也发生了显著变化,特别是 NO_x 的贡献增加,临界负荷计算中已不能单纯考虑 SO_2 导致的酸化效应,而必须同时考虑 NO_x 导致的酸化和富营养化效应。与硫相比,氮在生态系统中的循环过程以及氮沉降的影响更加复杂,充分认识和定量确定氮沉降的影响是临界负荷计算与区划的基础。珠江三角洲地区是我国当前大气复合型污染的典型代表之一, NO_x 导致的酸化和富营养化效应比较明显,因此本研究将系统研究该地区硫和氮沉降临界负荷,旨在为该地区复合型大气污染控制目标的制定提供基础数据。

收稿日期: 2013-08-10; 修订日期: 2013-10-09

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(200909003, 2011467003)

作者简介: 孙成玲(1986~),女,硕士研究生,主要研究方向为区域与城市污染控制, E-mail: schl2011@pku.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: sdxie@pku.edu.cn

1 基本原理

生态系统的酸沉降临界负荷定义为,不致使生态系统的结构和功能发生长期有害影响的化学变化的酸性化合物的最高沉降;氮沉降临界负荷定义为,不致使生态系统的任何部分或生态系统的接受体产生富营养化或任何类型的营养元素失去平衡的氮化合物的最高沉降.基于这样的定义,稳态质量平衡法(steady-state mass balance, SMB)给出了计算陆地生态系统硫(S)和氮(N)的临界负荷的数学公式如下^[2]:

$$CL(S) + (1 - f_{de})CL(N) = BC_{dep}^* + BC_w - Bc_u + (1 - f_{de}) \times (N_i + N_u) - ANC_{le,crit} \quad (1)$$

$$CL_{max}(S) = BC_{dep}^* + BC_w - Bc_u - ANC_{le,crit} \quad (2)$$

$$CL_{max}(N) = N_i + N_u + \frac{CL_{max}(S)}{1 - f_{de}} \quad (3)$$

$$CL_{nut}(N) = N_i + N_u + \frac{N_{le(acc)}}{1 - f_{de}} \quad (4)$$

$$CL(N) = \min\{CL_{max}(N), CL_{nut}(N)\} \quad (5)$$

式中, $CL_{max}(S)$ 、 $CL_{max}(N)$ 、 $CL_{nut}(N)$ 和 $CL(N)$ 分别为硫沉降临界负荷、酸化氮临界负荷、营养氮临界负荷和氮沉降临界负荷,单位为 $\text{keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$; BC_{dep}^* 为盐基阳离子沉降量 $BC = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$,上标*表示经海盐修正后的沉降量,由于临界负荷针对的是人为的排放量,因此应减去由海盐输入的沉降量; BC_w 为土壤矿物风化产生盐基阳离子的速率, Bc_u ($Bc = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$)为植物吸收盐基阳离子速率, N_i 为氮矿化速率, N_u 为植物吸收氮的速率; f_{de} 为反硝化率, $0 \leq f_{de} < 1$; $N_{le(acc)}$ 表示临界氮淋溶速率; $ANC_{le,crit}$ 为临界碱度淋溶速率,下标crit表示临界状态,其计算式如下:

$$ANC_{le,crit} = -Q^{2/3} \times \left(1.5 \times \frac{BC_{dep} + BC_w - Bc_u}{K_{gibb} \times (Bc/Al)_{crit}} \right)^{1/3} - 1.5 \times \frac{BC_{dep} + BC_w - Bc_u}{(Bc/Al)_{crit}} \quad (6)$$

式中, Q 为径流量, K_{gibb} 为水铝矿平衡常数, $(Bc/Al)_{crit}$ 为临界Bc与Al的比值.上述方程中,等号右侧的参数均为临界状态下的值.

2 数据测量与收集

由式(1)~(5)可见,确定生态系统的硫和氮沉降临界负荷所需的主要参数有土壤盐基阳离子风化速率 BC_w 、盐基阳离子的沉降速率 BC_{dep} 、植被吸收盐基阳离子的速率 Bc_u ,此外还需要水铝矿平衡常

数、反硝化率、固氮速率、临界化学值、临界氮淋溶速率和干沉降因子等,下面将分别介绍这些参数的测量与收集.

2.1 土壤参数

土壤盐基阳离子的风化速率是通过测量土壤矿物组成,再应用PROFILE模型^[3,4]计算获得.PROFILE模型是一个稳定状态土壤化学模型,不考虑酸化过程本身而直接计算给定条件下土壤最终的化学状态.模型按照土壤的自然分层把土壤剖面划分成几个部分,对于每一个土壤部分都看成是连续搅拌的箱式反应器,且是化学均质的,所考虑的化学反应包括土壤溶液平衡、硅酸盐风化、硝化和阳离子交换反应以及营养阳离子、 NO_3^- 和 NH_4^+ 的吸收.

在珠江三角洲地区利用网格布点法采集土壤样品,将其划分为 $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ 的网格,于人为干扰较少、植被保存较完好的地方采集土壤样品,每个网格选取一个典型土壤类型和天然植被覆盖的点位进行采集,个别网格采集了多个平行样,共布设了58个点.采样点分布情况如图1所示.

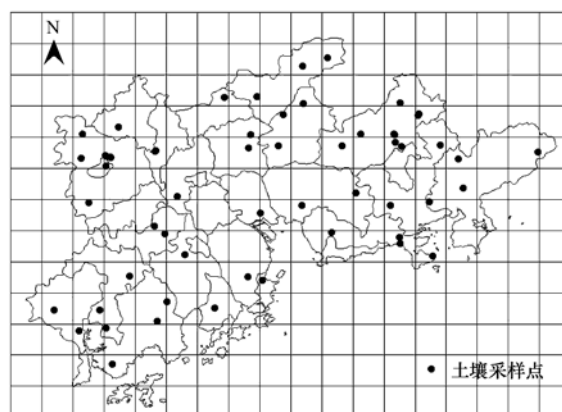


图1 珠江三角洲地区土壤采样点位分布示意

Fig. 1 Distribution of soil sampling positions in PRD

采集的点位覆盖了珠江三角洲地区自然土壤类型分布较广的花岗岩赤红壤和砂页岩赤红壤,以及植被类型分布较广的阔叶林、针阔叶混交林、马尾松针叶林芒箕草坡、人工桉树林等.根据自然土壤剖面分层采集100 cm以上土层,共得到土壤理化分析样品174个,土壤样品经过预处理,过200目筛,应用多功能X射线粉末衍射仪(XRD)测定得到各种土壤中主要矿物所占的质量分数,将该数据连同植被数据、降水化学及其他的土壤数据输入PROFILE模型后计算得到珠江三角洲地区土壤化学风化速率,部分典型土壤的矿物组成和盐基阳离子风化速率如表1所示.

表 1 珠江三角洲地区部分土壤样品采样情况、土壤矿物含量测试结果和典型风化速率值¹⁾

Table 1 Sampling attributes, mineral contents and BC _w of partial samples in PRD									
采样地点	土壤类型	植被类型	土层深度 /cm	土体主要矿物组成/%					BC _w
				高岭石	三水铝石	云母	石英	长石	
广州	花岗岩赤红壤	阔叶林	0~15	19	9	4	52	9	2.00
			15~35	11	5	2	75	7	
			35~100	36	15	—	26	22	
从化	花岗岩赤红壤	针阔叶混交林	0~16	43	10	—	35	—	0.76
			16~40	28	6	12	42	11	
			40~100	8	—	5	45	41	
江门	砂页岩赤红壤	马尾松芒萁草坡	0~13	18	—	12	68	—	0.36
			13~38	19	2	8	67	3	
			38~100	68	6	16	10	—	

1) “—”表示未检出

土壤参数还包括水铝矿常数、反硝化率和固氮速率. 水铝矿常数根据土壤有机质含量估算^[1], 反硝化率和土壤平均固氮速率参考经验值或文献值^[2, 4].

2.2 植被参数

植被参数主要包括植被对氮和盐基阳离子的吸收速率, 按如下公式计算:

$$X_u = K_l X_l + K_b X_b \quad (7)$$

式中, K_l 和 K_b 分别是干和枝的净生产力, X_l 和 X_b 为元素在干和枝中的含量. 本研究基于珠江三角洲地区不同植被类型的生产力以及优势物种化学元素

组成的资料^[5~22], 计算得到了各类植被的氮和盐基阳离子吸收速率.

生态系统的临界化学值, 本研究选取常见的 $(\text{Bc}/\text{Al})_{\text{crit}}$, 主要参考已有研究的经验值^[23].

根据植被类型还能够确定允许的氮淋溶速率, 计算公式如下:

$$N_{\text{le}(\text{acc})} = Q \cdot [N]_{\text{acc}} \quad (8)$$

式中, Q 为径流量; $[N]_{\text{acc}}$ 为允许的氮淋溶浓度^[4, 24~26]. 另一类重要的植被数据是干沉降因子 (f_{DD}) ^[27~29]. 主要植被参数列于表 2.

表 2 珠江三角洲地区主要植被参数

Table 2 Main vegetation parameters of PRD								
植被类型	N_u /keq·(hm ² ·a) ⁻¹	Bc_u /keq·(hm ² ·a) ⁻¹	$(\text{Bc}/\text{Al})_{\text{crit}}$	$[N]_{\text{acc}}$ /μmol·L ⁻¹	$f_{\text{DD}}(\text{S})$	$f_{\text{DD}}(\text{NH}_4)$	$f_{\text{DD}}(\text{NO}_3)$	$f_{\text{DD}}(\text{BC})$
针叶混交林	1.52	1.52	2.0	14.3	2.83	1.17	0.41	2.71
针阔混交林	1.72	3.75	1.0	21.4	2.83	1.17	0.41	2.71
阔叶混交林	2.81	3.58	1.0	14.3	1.64	1.45	-0.43	2.18
灌木林	1.71	0.65	2.0	14.3	0.60	1.20	2.00	1.20
草地	1.68	1.60	10.0	14.3	0.39	0.50	0.46	1.87

2.3 沉降参数

沉降参数来自环保部门 1998~2006 年珠江三角洲地区的酸雨常规监测资料, 共包括珠江三角洲地区 9 个市的 23 个监测站数据, 由于各站的建立有先后, 所以提供的数据年份并不一致, 最终的计算结果是根据数据年份取平均值. 各离子的总沉降量是干沉降量和湿沉降量的总和, 可以通过下式计算得到:

$$X_{\text{dep}} = (1 + f_{\text{DD}}) \cdot [X] \cdot P \quad (9)$$

式中, X_{dep} 为某离子的总沉降量, $[X]$ 为雨水中的离子组分浓度, P 为降雨量.

由于珠江三角洲地区为沿海地区, 降水中含有的部分离子来自海盐, 而临界负荷针对的是人为排

放量, 应减去由海盐输入的这部分离子, 因此需要进行海盐校正, 校正系数参考文献[2].

3 珠江三角洲地区硫与氮沉降临界负荷

3.1 当前硫与氮沉降临界负荷与超临界负荷

获取上述基本参数和基于 2006 年盐基阳离子沉降值, 利用地理信息系统软件 ArcGIS 计算得到珠江三角洲地区当前硫和氮沉降临界负荷并绘制区划图, 结果见图 2~5 所示.

图 2(a) 给出了珠江三角洲地区最大硫临界负荷图, 由图 2(a) 可以看出, $\text{CL}_{\text{max}}(\text{S})$ 呈现东高西低的趋势, 东部高值区临界负荷值基本都大于 15.0 keq·(hm²·a)⁻¹, 主要覆盖了惠州大部、广州中北

部、东莞和中山南部地区；低值区包括江门大部、肇庆大部和深圳部分地区，其临界负荷值小于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 。图中灰色部分表示建筑用地等主要受人类活动影响的区域（下同）。分析广州、惠州和东莞等地，可以发现这些地区的盐基阳离子沉降量较大，具有较强的缓冲作用，因此这些地区具有较强的硫沉降承受能力。而中山南部地区则主要是由于当地的土壤以人为土为主，如水稻土和潮土，风化速率较高，因此土壤承受酸沉降的能力也较强。而肇庆和江门地区一方面当地的盐基阳离子沉降量较低，另一方面这些地区主要以自然土壤为主，酸沉降承受能力较差。

硫临界负荷图主要用来表示区域内生态系统对硫沉降的承受能力，它不能直接给出生态系统是否受到硫沉降的影响以及受影响的程度大小，这就需要计算超临界负荷，将实际的硫沉降量减去相对应的临界负荷值便得到超临界负荷。图 2(b)便是珠江三角洲硫沉降超临界负荷图。由图 2(b)可以看出，珠江三角洲大部分地区 S 沉降并没有达到超临界负荷状态，说明珠江三角洲地区受 S 沉降威胁并不明显。超临界负荷的区域零星分布于江门大部、肇庆西北部、深圳东部等地区，超临界负荷值一般都大于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ ，说明这些地区已经受到 S 沉降的威胁，应特别注意 S 沉降的控制。

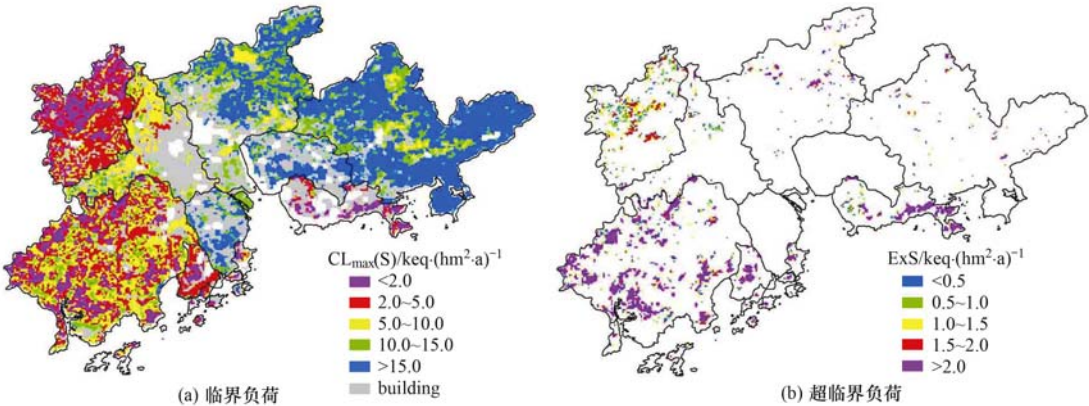


图 2 珠江三角洲地区最大硫临界负荷和超临界负荷
Fig. 2 Maximum critical load and critical load exceedances of sulfur in PRD

根据式(3)和(4)式可分别计算得到珠江三角洲地区的 $CL_{\max}(N)$ 和 $CL_{\text{nut}}(N)$ ，取两者中的较小者得到 $CL(N)$ ，结果显示大部分情况下 $CL_{\text{nut}}(N) < CL_{\max}(N)$ ，所以 $CL(N)$ 与 $CL_{\text{nut}}(N)$ 基本一致， $CL(N)$ 分布情况如图 3(a) 所示。从中可以看出，珠江三角洲地区大部分地区能够承受 $1.0 \sim 2.5 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的氮沉降。相对高值区零散分布于珠江口周边部分地区、珠海部分地区和肇庆中部等

地区，而在肇庆出现了小于 $1.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的低值区。从数值上看， $CL(N)$ 远小于 $CL_{\max}(S)$ ，说明珠江三角洲地区对氮沉降更加敏感。

珠江三角洲氮沉降超临界负荷图如图 3(b)。从中可以看出，珠江三角洲地区大部分氮沉降都超过了其临界负荷，广州、东莞和惠州大部分地区超临界负荷值甚至达到了 $4.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 以上。这是由于珠江三角洲地区的 $CL(N)$ 总体上较低，尽管

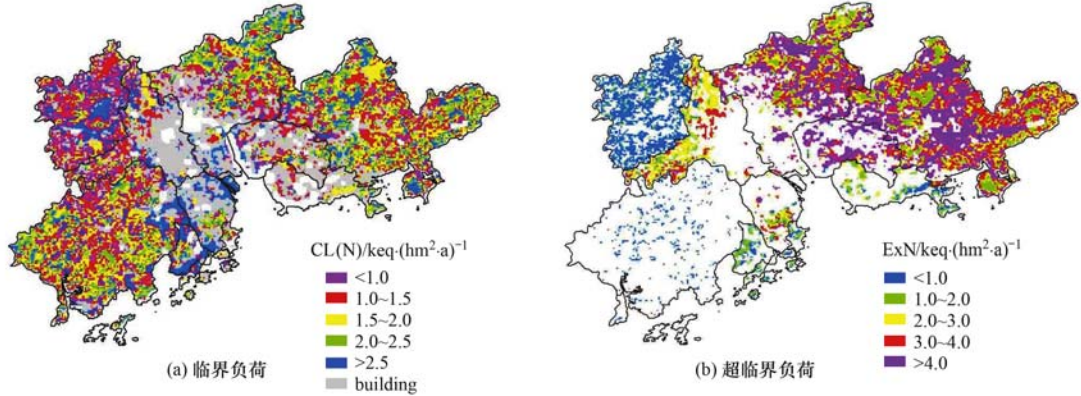


图 3 珠江三角洲地区氮沉降临界负荷和超临界负荷
Fig. 3 Critical load and critical load exceedances of nitrogen in PRD

区域内 N 沉降的量不是特别大,但仍能对生态系统造成比较明显的破坏,特别是造成富营养化的危害.随着珠江三角洲地区 NO_x 排放量的不断增加^[30],氮沉降对生态系统的影响需要引起格外重视.

对比硫和氮沉降的超临界负荷图可以看出,珠江三角洲地区目前主要以 N 沉降受到的威胁为主,应加强氮沉降的控制.

3.2 未来大气盐基阳离子沉降削减 75% 时的临界负荷和超临界负荷

当前珠江三角洲地区环境空气中颗粒物浓度水平较高,大气盐基阳离子沉降 BC_{dep} 便成为土壤中碱度的重要来源.显然,未来对大气颗粒物浓度的控制将加大力度,这必然会引起 BC_{dep} 的降低,进而会影响到生态系统的临界负荷值及酸沉降控制效果.对比国外城市大气和国内背景大气 BC_{dep} 水平可知,若

珠江三角洲地区大气颗粒物的浓度水平达到国家环境空气质量标准,则该地区大气 BC_{dep} 将在现有基础上削减 75%.

于是,基于现有 BC_{dep} 削减 75% 的情景计算得到珠江三角洲地区未来 $\text{CL}_{\text{max}}(\text{S})$,见图 4(a).从中可看出, BC_{dep} 大幅削减后,硫沉降临界负荷明显下降,约下降了 50%.大部分地区临界负荷值小于 $6.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,高值区明显缩小,同时临界负荷值小于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的区域明显增多,表明 BC_{dep} 削减后,生态系统对 S 沉降的敏感性增加.

相应的超临界负荷如图 4(b) 所示.结果显示,珠江三角洲地区超过 $\text{CL}_{\text{max}}(\text{S})$ 的区域明显增多,东北部地区新出现了大片超临界负荷区域,且超临界负荷值大部分都在 $4.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 以上.这表明当前硫沉降引起的超临界负荷情况尚不严重,其

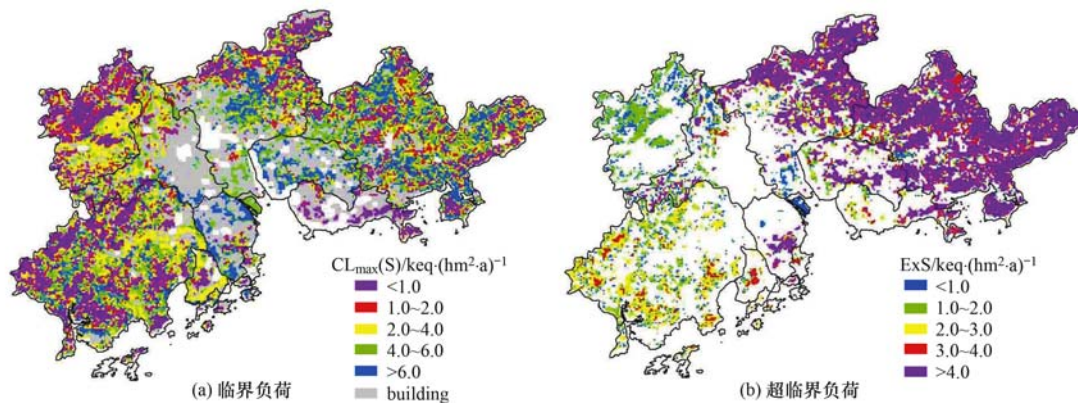


图 4 BC_{dep} 削减 75% 时珠江三角洲最大硫临界负荷和超临界负荷

Fig. 4 Critical load and critical load exceedances of sulfur with BC_{dep} reduced by 75% in PRD

中很大一部分原因是较高的 BC_{dep} 起到了一定的中和作用.因此,未来在控制颗粒物的同时应加大硫沉降的控制,尤其是广州、惠州和东莞等地区.

BC_{dep} 削减 75% 后珠江三角洲地区 $\text{CL}(\text{N})$ 和超

临界负荷图见图 5.从中可以看出,与 BC_{dep} 大幅削减前的氮沉降临界负荷图相比, $\text{CL}(\text{N})$ 基本没有变化.这是由于珠江三角洲地区的 $\text{CL}(\text{N})$ 主要与 $\text{CL}_{\text{nut}}(\text{N})$ 相等,而 $\text{CL}_{\text{nut}}(\text{N})$ 只与生态系统对氮的利用情

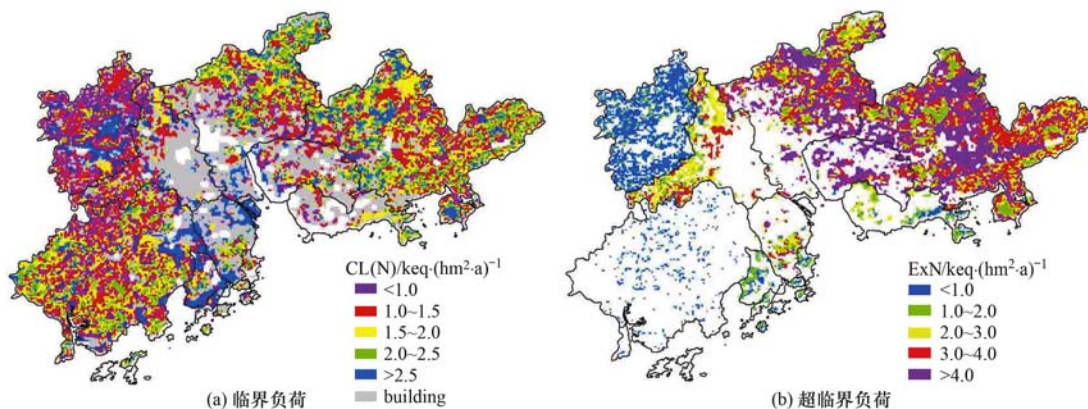


图 5 BC_{dep} 削减 75% 时珠江三角洲氮沉降临界负荷和超临界负荷

Fig. 5 Critical load and critical load exceedances of nitrogen with BC_{dep} reduced by 75% in PRD

况有关,而与 BC_{dep} 无关。

由上述可见,未来对颗粒物污染的控制将对珠江三角洲地区硫沉降控制提出更严格的要求。

4 结论

(1)珠江三角洲地区当前 $CL_{max}(S)$ 呈现东高西低的态势,东部地区惠州、广州北部和东莞市的 $CL_{max}(S)$ 可以达到 $15.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,而西部地区的肇庆和江门等地区的 $CL_{max}(S)$ 小于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$; $CL(N)$ 数值上相对 $CL_{max}(S)$ 较小,大部分地区 $CL(N)$ 小于 $2.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,肇庆甚至小于 $1.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 。

(2)目前珠江三角洲地区只有小部分出现了硫沉降超临界负荷,但大部分地区的氮沉降已远远超过其临界负荷,因此珠江三角洲地区不能仅仅控制硫沉降,而应加大力度控制氮沉降。

(3)珠江三角洲地区未来大气颗粒物沉降削减75%的情景下,未来 $CL_{max}(S)$ 将大幅度减小,大部分地区 $CL_{max}(S)$ 将小于 $4.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$,还将出现小于 $1.0 \text{ keq} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 的区域,因此该地区的大片区域硫沉降将超过其临界负荷;但氮沉降临界负荷不会发生变化。可见,未来在大幅度削减颗粒物浓度的同时应特别注意该地区硫沉降的控制。

(4)从珠江三角洲地区硫和氮沉降临界负荷及其超临界负荷分布看,目前在控制硫沉降的同时应加强氮沉降控制,未来在控制大气颗粒物的同时应加大硫沉降控制力度。

参考文献:

- [1] 段雷,郝吉明,谢绍东,等. 用稳态法确定中国土壤的硫沉降和氮沉降临界负荷[J]. 环境科学, 2002, **23**(2): 7-12.
- [2] UBA. Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends[M]. Berlin: Umweltbundesamt, 2004: 121-139.
- [3] Warfvinge P, Sverdrup H. Calculating critical loads of acid deposition with PROFILE - a steady-state soil chemistry model[J]. Water Air and Soil Pollution, 1992, **63**(1-2): 119-143.
- [4] 谢绍东,郝吉明,周中平. 应用稳态酸化模型计算酸沉降临界负荷[J]. 环境科学, 1997, **18**(5): 6-9.
- [5] 郝吉明,齐超龙,段雷,等. 用SMB法确定中国土壤的营养氮沉降临界负荷[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, **43**(6): 849-853.
- [6] 杨昆,管东生. 珠江三角洲森林的生物量和生产力研究[J]. 生态环境, 2006, **15**(1): 84-88.
- [7] 冯宗炜,王效科,吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [8] 彭少麟,任海. 亚热带森林生态系统的能量生态研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [9] 张琼,洪伟,吴承祯,等. 不同枝树人工林生物量与生产力的比较分析[J]. 福建林学院学报, 2006, **26**(3): 218-223.
- [10] 彭友贵,陈桂珠,武鹏飞,等. 人工生境条件下几种红树植物的净初级生产力比较研究[J]. 应用生态学报, 2005, **16**(8): 1383-1388.
- [11] 钟晓青,黄玉源,张宏达,等. 大亚湾红树林群落结构及初级生产力数量参数研究[J]. 林业科学, 1999, **35**(2): 29-33.
- [12] 廖国藩,贾幼陵,苏大学,等. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [13] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [14] 莫江明,张德强,黄忠良,等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林植物营养元素含量分配格局研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, **8**(3): 198-206.
- [15] 莫江明, Brown S, 孔国辉,等. 鼎湖山马尾松林营养元素的分布和生物循环特征[J]. 生态学报, 1999, **19**(5): 635-635.
- [16] 冯宗炜,陈楚莹,王开平,等. 亚热带杉木纯林生态系统中营养元素的积累,分配和循环的研究[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, **9**(4): 245-256.
- [17] 林德喜,刘开汉,罗水发. 尾叶桉营养元素动态和循环分析[J]. 应用与环境生物学报, 2002, **8**(2): 148-153.
- [18] 宋建阳,张汝国,赵丽荷. 珠江口红树群落钙的累积和循环研究[J]. 热带地理, 2002, **22**(2): 171-175.
- [19] 张汝国,宋建阳. 珠江口红树林磷的累积和循环研究[J]. 广州师院学报(自然科学版), 1996, (1): 60-67.
- [20] 张汝国,宋建阳. 珠江口红树群落钠的累积和循环研究[J]. 广州师院学报(自然科学版), 1998, **19**(9): 10-14.
- [21] 李振基,林鹏. 闽南毛竹林几种元素的累积和分配[J]. 应用生态学报, 1995, **6**(9): 13.
- [22] 林益明,杨志伟,林业,等. 武夷山常绿林研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001.
- [23] 李燕燕. 马尾松-阔叶树混交林生物量及矿质养分的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2005.
- [24] 段雷. 中国酸沉降临界负荷区划研究[D]. 北京: 清华大学, 2000.
- [25] Rosen K, Gundersen P, Tegnhammar L, et al. Nitrogen enrichment of nordic forest ecosystems the concept of critical loads[J]. AMBIO, 1992, **21**(5): 364-368.
- [26] Reynolds B, Wilson E J, Emmett B A. Evaluating critical loads of nutrient nitrogen and acidity for terrestrial systems using ecosystem-scale experiments (nitrex) [J]. Forest Ecology and Management, 1998, **101**(1-3): 81-94.
- [27] Hall J, Bull K, Bradley I. Status of UK critical loads and exceedances; Part 1. critical loads and critical loads maps[R]. UK: Centre for Ecology and Hydrology (CEH), 1998. 166.
- [28] 刘菊秀,温达志,周国逸. 广东鹤山酸雨地区针叶林与阔叶林降水化学特征[J]. 中国环境科学, 2000, **20**(3): 198-202.
- [29] 刘菊秀,张德强,周国逸,等. 鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(8): 1223-1228.
- [30] 陈勇. 珠江三角洲城市森林群落对降水及土壤侵蚀的影响的研究[D]. 儋州: 华南热带农业大学, 2004.
- [31] 伍世丰. 珠三角酸雨污染特征及其影响因素初步分析[D]. 广州: 暨南大学, 2011.

CONTENTS

Analysis of Characteristics of Black Carbon Concentration in Shanghai from 2008 to 2012	WANG Hong-qiang, HE Qian-shan, CHEN Yong-hang, <i>et al.</i> (1215)
Chemical Characteristics and Insoluble Particulates' Surface Morphology of a Snowfall Process in the Southeastern Suburb of Urumqi	LU Hui, WEI Wen-shou, CUI Cai-xia, <i>et al.</i> (1223)
Comparative Study of the Level and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers and New Brominated Flame Retardants in the Atmosphere of Typical Urban	WU Hui, JIN Jun, WANG Ying, <i>et al.</i> (1230)
Source and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Ambient Air PM ₁₀ from One Coking Plant	DONG Ting, LI Tian-xin, ZHAO Xiu-ge, <i>et al.</i> (1238)
Estimation of Average Traffic Emission Factor Based on Synchronized Incremental Traffic Flow and Air Pollutant Concentration	LI Run-kui, ZHAO Tong, LI Zhi-peng, <i>et al.</i> (1245)
Study on Critical Loads of Sulfur and Nitrogen in the Pearl River Delta	SUN Cheng-ling, XIE Shao-dong (1250)
Hydrogen Sulfide Removal by the Combination of Non-Thermal Plasma and Biological Process	LI Hua-qin, HE Jue-cong, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (1256)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Atrazine in Taizi River Basin, China	ZHENG Lei, ZHANG Yi-zhang, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (1263)
Development of a Method for Measuring Dissolved Reactive Phosphorus (DRP) and Dissolved Ferrous Iron in Large Batch in Pore Water Samples of Sediments with Micro-volumes	WANG Yan, ZHU Chun-gang, XU Di, <i>et al.</i> (1271)
Temporal and Spatial Variation of Water Nutrient Level After Exogenous Nutrient Input	FU Ling, ZHAO Kai, WANG Guo-xiang, <i>et al.</i> (1278)
Physical Process Based Risk Assessment of Groundwater Pollution in the Mining Area	SUN Fa-sheng, CHENG Pin, ZHANG Bo (1285)
Hydrogeochemical Characteristics of a Typical Karst Groundwater System in Chongqing	YANG Ping-heng, LU Bing-qing, HE Qiu-fang, <i>et al.</i> (1290)
Investigation of Nitrogen, Phosphorus and Microbial Contamination in Laolongdong Underground River System of Chongqing	LAN Jia-cheng, YANG Ping-heng, REN Kun, <i>et al.</i> (1297)
Effects on Phosphorus Fraction Distribution in Sediment by Roots of <i>Vallisneria spiralis</i>	LI Zhen-guo, WANG Guo-xiang, ZHANG Jia, <i>et al.</i> (1304)
Modeling Nitrogen Transformation in a Novel Circular-Flow Corridor Wetland	PENG Jian-feng, SONG Yong-hui, YUAN Peng, <i>et al.</i> (1311)
Natural Attenuation of Tetracycline in the Water of Taihu Lake Under Different Environmental Conditions	DUAN Lun-chao, WANG Feng-he, JI Ying-xue, <i>et al.</i> (1318)
Inactivation and Reactivation of Antibiotic-Resistant Bacteria During and After UV Disinfection in Reclaimed Water	HUANG Jing-jing, TANG Fang, XI Jin-ying, <i>et al.</i> (1326)
Photoreactivation of <i>Escherichia coli</i> and <i>Enterococcus faecalis</i> in the Secondary Effluent Disinfected by UV-TiO ₂	WANG Xi-feng, GONG Xin, HU Xiao-lian, <i>et al.</i> (1332)
Stability of C ₆₀ Nanoparticles in Aquatic Systems	FANG Hua, SHEN Bing-bing, JING Jie, <i>et al.</i> (1337)
Fouling Behavior of Sodium Alginate During Microfiltration at Various Ionic Compositions; XDLVO Approach	ZHAO Ying-xu, ZONG Rui-qiang, GAO Xin-yu, <i>et al.</i> (1343)
Enhanced Remediation of 4-Chloronitrobenzene Contaminated Groundwater with Nanoscale Zero-valence Iron (nZVI) Catalyzed Hydrogen Peroxide (H ₂ O ₂)	FU Rong-bing (1351)
Effect of the Coexistence of Chlorobenzene Homologue on Anaerobic Degradation of Hexachlorobenzene	WANG Qi, LIU Hui, JIANG Lin, <i>et al.</i> (1358)
Research on Removal Efficiency of Cd(II)-bearing Wastewater by Sulfate-reducing Biological Filter	WU Xuan, TAN Ke-yan, HU Xi-jia, <i>et al.</i> (1366)
Control Strategies of Nitrogen Removal Process in a Pilot Test of the Southern WWTP Based on the Nitrogen Balance	JIANG Ying-he, LIU Pei-ju, WANG Lei, <i>et al.</i> (1372)
Effect of Simulated Inorganic Anion Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	CHEN Yan, HUANG Fang, XIE Xin-yuan (1377)
Microbial Reduction of Cu ²⁺ Mediated by Electroactive Biofilms	LIU Yi, ZHOU Shun-gui, YUAN Yong, <i>et al.</i> (1384)
Copper Recovery from Artificial Bioleaching Lixivium of Waste Printed Circuit Boards	CHENG Dan, ZHU Neng-wu, WU Ping-xiao, <i>et al.</i> (1391)
Difference of Contaminant Composition Between Landfill Leachates and Groundwater and Its Reasons	HE Xiao-song, YU Hong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1399)
Photochemical Degradation of Landfill Leachate Facilitated by Combined Schwertmannite and H ₂ O ₂	WANG He-ru, SONG Yong-wei, XU Zhi-hui, <i>et al.</i> (1407)
Effects of Operating Parameters on Organic Toxicity of Sludge Treating Synthetic Bisphenol A Wastewater	YANG Na, CHEN Xiu-rong, LIN Feng-kai, <i>et al.</i> (1414)
Comparative Study on Biological Methane Potential and Methanogen Biodiversity in the Anaerobic Digestion of Excess Sludge	DONG Hui-yu, JI Min (1421)
Isolation and Identification of Mn Oxidizing Bacterium <i>Aminobacter</i> sp. H1 and Its Oxidation Mechanism	YAN Ping, JIANG Li-ying, CHEN Jian-meng, <i>et al.</i> (1428)
Nitrate Removal by a Strain of Nitrate-Dependent Fe(II)-Oxidizing Bacteria	WANG Hong-yu, YANG Kai, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (1437)
Study on the Iopromide-Degrading Characteristics of Strain <i>Pseudomonas</i> sp. I-24 via Co-Metabolism	XU Bing-jie, GAO Pin, XUE Gang, <i>et al.</i> (1443)
Using Flow Cytometry to Explore the Changes of <i>Sphingomonas</i> sp. GY2B Bacterial Surface Characteristics in the Process of Degrading Phenanthrene	ZHANG Meng-lu, DANG Zhi, WU Feng-ji, <i>et al.</i> (1449)
Research on Characteristic of Interrelationship Between Toxic Organic Compound BPA and <i>Chlorella vulgaris</i>	CHEN Shan-jia, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i> (1457)
Effect of Magnesium Deficiency on Photosynthetic Physiology and Triacylglyceride (TAG) Accumulation of <i>Chlorella vulgaris</i>	WANG Shan, ZHAO Shu-xin, WEI Chang-long, <i>et al.</i> (1462)
Effects of Microcystins on Growth and Antioxidant System of Rice Roots	WANG Wei-min, DENG Yu, ZOU Hua, <i>et al.</i> (1468)
Responses of Soybean Cultivar Dongsheng-1 to Different O ₃ Concentrations in Northeast China	ZHANG Wei-wei, WANG Guang-hua, WANG Mei-yu, <i>et al.</i> (1473)
Development and Succession of Biological Soil Crusts and the Changes of Microbial Biomasses	WU Li, ZHANG Gao-ke, CHEN Xiao-guo, <i>et al.</i> (1479)
Effects of Lead on the Growth and Reproduction of <i>Eisenia fetida</i> with Aged Soils	CHEN Li-hong, LIU Zheng-tao, FANG Zheng, <i>et al.</i> (1486)
Soil Heavy Metal Cadmium Standard Limit and Range of Background Value Research	ZHAO Xiao-jun, LI Si-jin, XU Ren-ji, <i>et al.</i> (1491)
Study on Soil Element Background Values of the Hoh Xil Area in North Tibet	BAI Jian-kun, WANG Jian-li, LI Chao-liu, <i>et al.</i> (1498)
Transfer Characteristic and Source Identification of Soil Heavy Metals from Water-Level-Fluctuating Zone Along Xiangxi River, Three-Gorges Reservoir Area	XU Tao, WANG Fei, GUO Qiang, <i>et al.</i> (1502)
Heavy Metal Pollution Characteristics and Ecological Risk Analysis for Soil Around Haining Electroplating Industrial Park	LI Jiong-hui, WENG Shan, FANG Jing, <i>et al.</i> (1509)
Sources and Spatial Distribution of Typical Heavy Metal Pollutants in Soils in Xihu Scenic Area	ZHANG Hai-zhen, TANG Yu-li, LU Jun, <i>et al.</i> (1516)
Distribution and Assessment of Mercury in the Ambient Soil of a Municipal Solid Waste Incinerator	XIE Hui-ting, ZHANG Cheng-zhong, XU Feng, <i>et al.</i> (1523)
Phosphorus Adsorption Characteristics of Soils and Sediments Surrounding Dishui Lake in Shanghai	ZHUO Xiang-zhen, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1531)
Impact of SDBS/Na ⁺ on Red Soil Colloidal Stability	TANG Ying, LI Hang, ZHU Hua-ling, <i>et al.</i> (1540)
Effects of Stabilization Treatment on Migration and Transformation of Heavy Metals in Mineral Waste Residues	ZHAO Shu-hua, CHEN Zhi-liang, ZHANG Tai-ping, <i>et al.</i> (1548)
Study on a New Method of Fast Monitoring Toxicity of Cd ²⁺ by Algal in Water	DUAN Jing-bo, LIU Wen-qing, ZHANG Yu-jun, <i>et al.</i> (1555)
Immunosensor for Rapid Detection of 1,3-Dinitrobenzene	LONG Feng, SHI Han-chang, WANG Hong-chen, <i>et al.</i> (1561)
Mg/Al Layered Double Hydroxides Prepared by Microwave-Assisted Co-Precipitation Method for the Removal of Bromate	ZHONG Qiong, LI Huan (1566)
Discussion on Several Key Points of Decision Support System for Remediation of Contaminated Sites	LIAO Xiao-yong, TAO Huan, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (1576)
A Review of Multi-Scale Studies on Spatial Variation of the Lead (Pb) Concentration in Urban Soils	YANG Meng, LI Feng-ying, DIAO Yi-wei, <i>et al.</i> (1586)
Review on Characteristics and Detecting Assay of Bacterial Endotoxin Contamination in Water Environment	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (1597)
Advances in Molecular Mechanism of Bacterial Reduction of Hexavalent Chromium	LI Dou, ZHAO You-cai, SONG Li-yan, <i>et al.</i> (1602)
Anaerobic Membrane Bioreactors for Treating Agricultural and Food Processing Wastewater at High Strength	WEI Yuan-song, YU Da-wei, CAO Lei (1613)

《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4月15日 35卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 4 Apr. 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