

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

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

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究	王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)
北京城区 PM _{2.5} 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析	陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)
北京地区冬春 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系	赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)
北京市 PM _{2.5} 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析	王艳慧,肖瑶 (428)
杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征	谢小芳,孙在,杨文俊 (436)
春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征	王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽峰,杨洋 (442)
南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征	吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳琳 (451)
忻州市环境空气 PM ₁₀ 中有机碳和元素碳污染特征分析	史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)
广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征	青亮,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)
燃煤电厂锅炉 PM _{2.5} 排放危害度评价模型建立及案例分析	史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)
中国南海大气降水化学特征	肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)
临安本底站酸雨长期观测特征分析	李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)
北京城区大气氮湿沉降特征研究	贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)
烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势	贾龙,徐永福 (495)
祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征	董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)
生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究	羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)
生物滴滤塔处理苯酚气体研究	何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶纪宏,罗雨薇,魏在山 (520)
国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究	楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)
翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响	赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合峰 (533)
CuBr ₂ 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究	胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)
浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究	张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)
基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例	贾海峰,郭羽 (555)
北京平原区第四系地下水污染风险评价	郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)
不同季节辽河口营养盐的河口混合行为	张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)
太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征	马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)
亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价	陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)
潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究	白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)
凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响	周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国峰 (597)
不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响	田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)
溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用	李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)
四环素光催化降解特性与选择性研究	宋晨怡,尹大强 (619)
微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究	符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)
市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全	杨赛,周启星,华涛 (633)
膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究	李彬,王志刚,安莹,吴志超 (643)
臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究	刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)
厌氧生物法处理果胶废水的研究	陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)
氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究	赵兴兴,于水利,王哲 (663)
平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能	胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)
基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征	王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)
广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价	郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳钊 (684)
中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究	张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)
废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价	周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)
深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究	章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)
洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策	谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)
施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响	曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)
螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征	尹雪,陈家军,吕策 (733)
<i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 的锰氧化特性研究	周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)
$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响	陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)
杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究	龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)
鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究	赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)
黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究	朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)
3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究	王艳,马泽民,吴石金 (770)
新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价	李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)
黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究	李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)
农田土壤 N ₂ O 产生的关键微生物过程及减排措施	朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)
《环境科学》征订启事 (691) 《环境科学》征稿简则 (800) 信息 (489,519,591,791)	

北京城区大气氮湿沉降特征研究

贺成武^{1,2}, 任玉芬^{2*}, 王效科², 毛宇翔¹

(1. 河南理工大学资源环境学院, 焦作 454000; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 采用离子交换树脂法研究 2012 年 6 ~ 10 月北京五环内城区大气中不同形态氮在不同月份环路(五环、四环、三环和二环)以及功能区(文教区、环路、生活区、火车站和公园)的湿沉降差异, 探索城市区域内不同形态氮在时间、空间和功能区上沉降的特征。结果表明氨氮、硝态氮和亚硝态氮的沉降均体现出明显的时间特征。其中, 在研究时段内, 氨氮和硝态氮沉降均呈现出先升高后降低的趋势, 7 月达到最大值; 亚硝态氮沉降呈现出先降低后上升的趋势, 9 月达到最大值。大气氨氮和硝态氮沉降量受到降雨量的影响显著 ($P < 0.05$)。在空间沉降特性方面, 氨氮、硝态氮和亚硝态氮在不同环路上沉降没有显著的差别, 环路和火车站等功能区氮沉降高于其它功能区。

关键词: 北京城区; 大气氮湿沉降; 离子交换树脂法

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0490-05

Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area

HE Cheng-wu^{1,2}, REN Yu-fen², WANG Xiao-ke², MAO Yu-xiang¹

(1. Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: With the ion-exchange resin method, the atmospheric nitrogen wet deposition in Beijing urban area within the Fifth Ring Road was investigated from June to October, 2012. The relationship between atmospheric nitrogen wet deposition and rainfall precipitation was investigated, the differences of nitrogen wet deposition in different months, different ring roads (the Fifth Ring Road, the Fourth Ring Road, the Third Ring Road and the Second Ring Road) and different functional areas (institutes and colleges district, ring-road, residential areas, railway station and public garden) were also investigated. The results showed that the average value and standard deviation of ammonia-nitrogen, nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen were significantly different during different months in 2012. The atmospheric nitrite nitrogen deposition first decreased and then increased, the maximum value appeared in September. The positive relationships between ammonia nitrogen (nitrate nitrogen) and mean monthly precipitation and negative relationships between nitrite nitrogen and mean monthly precipitation were both significant ($P < 0.05$). The three nitrogen depositions of ring-road and railway station were higher than other functional areas, but only the nitrite nitrogen deposition had obvious regional difference. The differences of the three nitrogen depositions among different ring roads were all not significant and it meant that the nitrogen wet deposition was equally distributed in Beijing urban area.

Key words: Beijing urban area; atmospheric nitrogen wet deposition; ion exchange resin method

国外大气氮湿沉降观测工作始于 19 世纪 50 年代^[1], 经过多年的探索和研究, 该方面的研究已由分散定位观测逐步演变为区域监测, 研究内容和方法也趋于多样化^[2, 3]。中国自 20 世纪 70 年代开始了该领域的研究, 研究者主要关注海洋生态系统^[4, 5], 对森林生态系统、农田生态系统和海洋生态系统等的大气氮沉降通量和氮沉降特征进行了研究^[6-10]。研究的热点区域主要集中在长江、九龙江和太湖地区的常熟、无锡等区域^[11-15], 对于城市生态系统内的氮沉降研究较少。

城市生态系统是人类活动最为强烈的区域, 由于城市化和工业化程度提高^[16], 机动车量的增加所造成的化石燃料使用量增加, 导致大气中的氮氧化物含量不断增加^[17], 增大了城市光化学烟雾污染的

潜在风险^[18, 19]。大气氮沉降在中国的研究仍然处于起步阶段, 前期的研究结果为人们认识城市生态系统内的氮沉降提供了大量的基础数据, 但由于各研究方法和监测装置之间的差异, 不同的研究结果间差异较大^[20-22], 尚未形成连续、系统的观测研究。因此, 在城市生态系统氮沉降的研究方面, 特别是在氮湿沉降含量研究方面有待加强^[23]。

运用离子交换树脂法测定氮始于 20 世纪 80 年代, 开始主要用于研究土壤中氮素动态变化^[24, 25]。由于其具有无需动力、节省人力和采样周期长以及

收稿日期: 2013-06-20; 修订日期: 2013-09-10

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (41030744, 41230633, 40901265, 31240047)

作者简介: 贺成武 (1988 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为水污染控制技术, E-mail: hcw19880603@163.com

* 通讯联系人, E-mail: yfren@rcees.ac.cn

样品保存时间久的优点^[26],适合于在城市复杂的环境条件,长时间连续监测情况下^[27],进行大气氮湿沉降研究。

北京由于城市化和工业化的迅速发展,城市规模日益扩大,是一个十分典型的城市生态系统。为了解城市生态系统中氮沉降的特征,本研究采用离子交换树脂法,调研了北京城区大气氮湿沉降的时空分布情况,分析了北京城区大气氮湿沉降污染特征,以期在城市生态系统的氮沉降过程提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 采样点和采样方法

于2012-06-01~2012-10-01期间,依据文教区、环路、生活区、火车站、公园这5种功能区,结合北京道路状况布局,沿北京市五环、四环、三环、二环,共设置采样点39个,采样点的分布见图1,将采样器安装到城市道路两旁距地面高度为3 m高的电线杆上。采样频率为每月1次,均为月初进行采集。

官能团为钠型732阳离子交换树脂和氯型717阴离子交换树脂用于氮沉降样品收集,交换容量分别为 $4.2 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.0 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,粒径均为 $300 \sim 1200 \mu\text{m}$,质量均为5 g。采样器上部为一个漏斗,漏斗下部插入长500 mm的PVC管中,管底放置少量脱脂棉,并用纱网封底,在管中填充离子交换树脂^[28,29]。在漏斗上部覆盖纱网以防止落叶和昆虫的进入,在PVC管外覆盖反光纸以消除高温对离子交换树脂的影响。

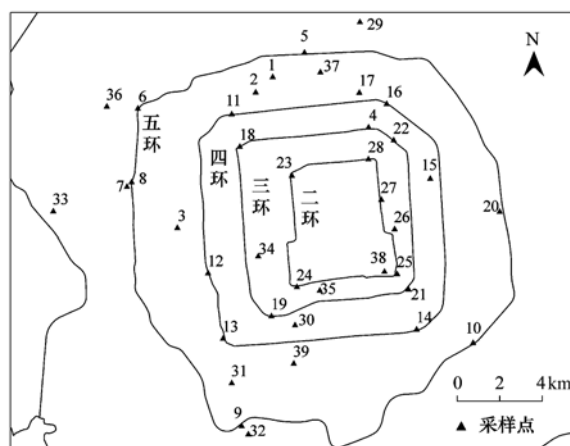
1.2 分析方法

离子交换树脂采集样品后,首先用去离子水清洗,然后用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的KCl溶液进行浸提。分别采用纳氏试剂分光光度法(GB 7479-87)、紫外分光光度法(HJ 346-07)和N-(1-萘基)-乙二胺光度法(GB 7493-87)^[30]分析浸提液中氨氮、硝态氮和亚硝态氮含量。氮沉降通量 $D(\text{mg} \cdot \text{m}^{-2})$ 的计算方法如下:

$$D = (cV)/A$$

式中, D :氮沉降量($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$); c :浸提液中氮的浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); V :浸提液体积(L); A :漏斗口面积(m^2)。

采用SPSS统计软件的非参数检验方法对不同采样点氮沉降浓度差异性进行了显著性分析,并利用Mann-Whitney U检验方法对不同月份之间以及氮沉降与降雨量之间的差异性进行了分析比较。所有数据的整理与统计均采用Excel和SPSS软件。



文教区:1. 生态中心;2. 清华大学;3. 中国科学院大学;4. 北京化工大学。环路:5. 林萃桥;6. 香泉环岛;7. 射击场;8. 永引桥;9. 狼堡东桥;10. 大羊坊桥;11. 海淀桥;12. 岳各庄北桥;13. 富丰桥;14. 小红门桥;15. 朝阳公园桥;16. 望和桥;17. 惠新东桥;18. 苏州桥;19. 万柳桥;20. 远通桥;21. 十里河桥;22. 三元西桥;23. 西直门桥;24. 菜户营桥;25. 左安门桥;26. 建国门桥;27. 朝阳门桥;28. 小街桥;生活区:29. 北苑家园;30. 欣园小区;31. 世界公园东;32. 翡翠城小区;火车站:33. 石景山火车站;34. 北京西站;35. 北京南站;公园:36. 香山公园;37. 奥林匹克公园;38. 北京教学植物园;39. 海子公园

图1 北京城区氮湿沉降采样点

Fig. 1 Sampling sites for wet nitrogen deposition in urban Beijing

2 结果与讨论

2.1 大气氮沉降时间差异及特征

2012-06-01~2012-10-01期间,北京城区氮湿沉降量的监测结果见图2。从中可知,氨氮、硝态氮和亚硝态氮沉降具有不同的时间特征。

2.1.1 大气氨氮和硝态氮月份沉降特征

由图2可知,氨氮和硝态氮沉降月份差别较大。大气氨氮4个月的沉降平均值分别为 115.7 、 204.0 、 45.4 和 $13.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$;硝态氮沉降平均值分别为 212.9 、 312.6 、 175.0 和 $60.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,大气氨氮和硝态氮沉降均呈现出先升高后降低的趋势,7月达到最大值,具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.1.2 大气亚硝态氮月份沉降特征

不同观测时段内大气亚硝态氮沉降平均值分别为 1.11 、 1.10 、 0.77 和 $3.25 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,具有显著性差异($P < 0.05$)。亚硝态氮与氨氮和硝态氮具有不同的沉降特征,呈现先降低后上升的趋势,在9月达到最大值。

2.1.3 大气氮沉降月份差异性分析

大气中物质的沉降过程主要包括干湿沉降过

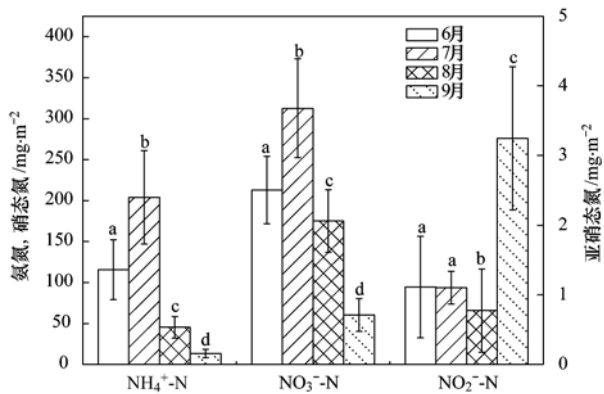


图2 2012年6~9月氮湿沉降量的变化

Fig. 2 Variations of wet nitrogen deposition from June to September, 2012

程,有研究表明,湿沉降是大气中物质沉降的主要过程^[31],因此,笔者分析了北京6~9月的降雨和氮沉降之间的关系,结果见图3。2012年6~9月的北京月降雨量分别为103.6、386.4、82.5和30.9 mm,结果表明,大气氨氮和硝态氮沉降量与月降雨量呈显著的线性正相关($P < 0.05$)。降雨量是导致大气氨氮和硝态氮沉降总量变化的主导因素,伴随着7月降雨量的剧增,氨氮和硝态氮沉降量不断升高。降水对城市空气和气溶胶具有显著的冲刷作用^[29],通过冲刷、溶解等多重作用,携带了大量的含氮离子,在离子交换树脂的不断交换吸附聚集,加速了氨氮和硝态氮的沉降。大气亚硝态氮沉降与月降雨量呈显著的线性负相关($P < 0.05$),与氨氮和硝态氮沉降变化趋势相反,这可能与亚硝态氮在大气中存

在形式不稳定有关。

2.2 大气氮沉降空间差异及特征

2.2.1 不同功能区氮沉降差异分析

不同功能区的氮沉降的实验结果见图4。文教区、环路、生活区、火车站和公园这5种不同功能区大气氨氮沉降均值分别为:76.6、99.4、78.5、115.3和103.5 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$,最大值出现在西直门桥(388.8 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)。硝态氮沉降均值分别为:174.6、196.1、185.2、205.6和175.4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$,最大值出现在万柳桥(495.5 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$),尽管氨氮和硝态氮沉降在5种不同功能之间没有显著差异,但是道路和火车站交通密集区内氨氮和硝态氮沉降量高于其他3种功能区。亚硝态氮的沉降也存在相同的规律。

由图4可知,5种不同功能区大气亚硝态氮沉降均值分别为1.37、1.65、1.17、2.10和1.19 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$,最大值出现在远通桥(5.51 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$)。对5种不同功能区亚硝态氮沉降值差异分析可知,环路和火车站处亚硝态氮沉降值与其它3个区域具有显著差异。

结果表明,在城市生态系统中,大气中氮沉降和主要区域内的氮排放密切相关。交通工具尾气中具有大量含氮化合物,因此,环路和火车站等以交通工具为主的城市功能区内,成为氮沉降的主要区域。另外,有研究者提出城市生态系统大气硝态氮和亚硝态氮沉降具有明显的相关性^[27],但基于本研究的观测结果发现北京市降雨集中期(6~9月)硝态氮和亚硝态氮沉降之间的相关性并不明显。

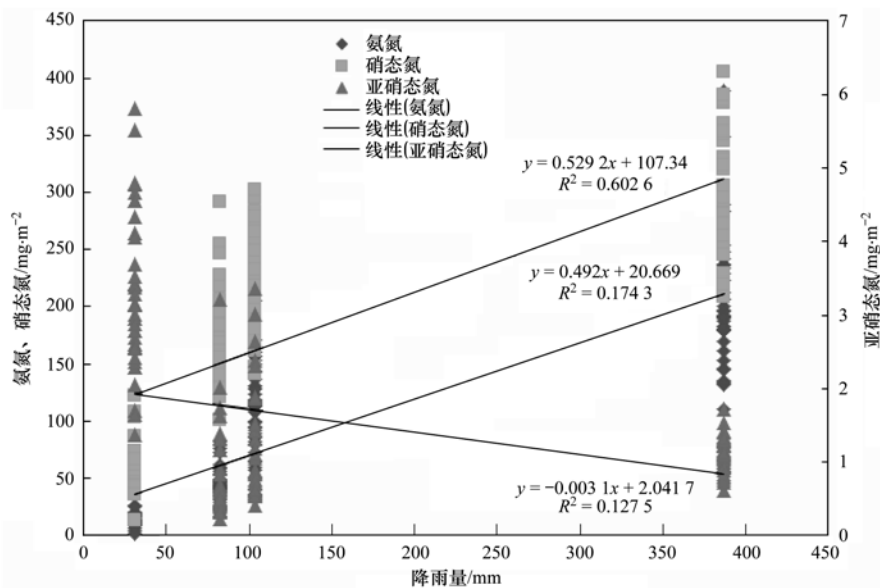


图3 大气氮湿沉降与降雨量的相关关系

Fig. 3 Correlation between atmospheric wet nitrogen deposition and rainfall

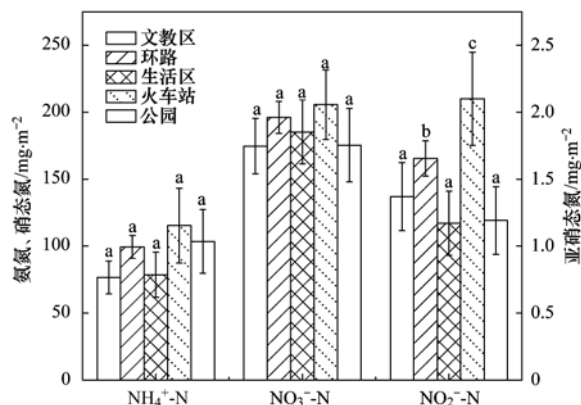


图4 不同功能区氮湿沉降的差异

Fig. 4 Differences of wet nitrogen deposition in functional areas

2.2.2 不同环路大气氮沉降差异分析

研究表明城市环路和火车站是氮沉降的主要区域,机动车会对周围环境中氮沉降产生巨大的影响,因此,本文对城市不同环路上的氮沉降进行了重点研究.针对北京市的道路特点,在不同环路(五环、四环、三环和二环)上设置了观测点,研究氨氮、硝态氮和亚硝态氮在不同环路上的空间异质性,研究结果见图5.不同环路上大气氨氮沉降均值分别是103.7、103.3、91.4和101.4 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$;大气硝态氮沉降均值分别是185.4、202.7、183.6和209.8 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$;大气亚硝态氮沉降均值分别是1.48、1.78、1.80和1.63 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$.研究结果表明,不同环路氮沉降之间差异不明显.

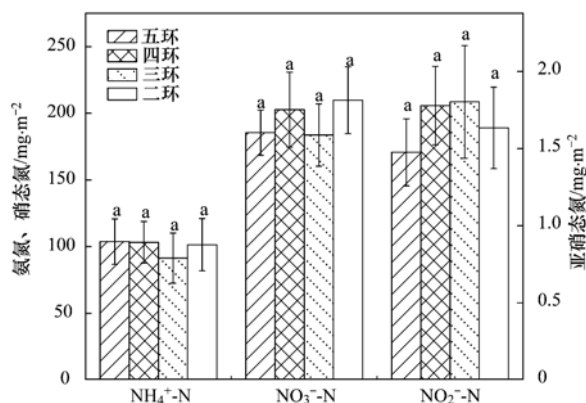


图5 不同环路氮湿沉降的差异

Fig. 5 Differences of wet nitrogen deposition in ring road

机动车排放的氮氧化物可能由于重力作用而形成局部污染,导致随着距交通干线距离的加长,使得氮沉降值降低^[27].刘学炎等^[32, 33]运用氮同位素的方法探寻贵阳地区大气氮沉降机制表明城区氮沉降较高,往外逐渐降低.而王茜等在鼎湖山站的研究结果表明,气团对鼎湖山氮的输送及沉降负荷会产

生较为明显的影响^[34].结合本研究区域分析,选取地点为北京城区五环以内,由于环路相距较近,加之大气扩散作用,使得北京市大气氮沉降在环路上的差异性并不明显,表现为一种沿环路辐散式发展趋势.

观测期内,大气氨氮沉降量最大值为388.8 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$,硝态氮沉降量最大值为495.5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$.将本研究结果与王德宣等^[29]在长春的观测结果(16.78 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ 和57.7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$)相比,北京环路上的氨氮和硝态氮的沉降量分别是后者的23.2、8.8倍,研究表明,2012年北京机动车数量已突破500万辆^[25, 26],表明车流量是影响区域环境中氮沉降不容忽视的一个重要因素.

3 结论

(1)不同月份间北京城区氨氮、硝态氮和亚硝态氮沉降差异显著.大气氨氮、硝态氮沉降呈现先升高后降低的趋势,而亚硝态氮沉降呈现先降低后上升的趋势,大气中的氮沉降的变化规律主要受降雨量的影响.

(2)受机动车尾气中含氮化合物排放的影响,环路和火车站是北京市氮沉降的主要区域.

(3)由于北京之间的环线距离长,分布窄等因素,不同环路之间氮湿沉降差异并不显著,但是车辆是区域氮沉降量的一个重要的影响因素.

参考文献:

- [1] Goulding K W T, Bailey N J, Bradbury N J, *et al.* Nitrogen deposition and its contribution to nitrogen cycling and associated soil processes[J]. *New Phytologist*, 1998, **139**(1): 49-58.
- [2] Clarke J, Edgerton E S, Martin B E. Dry deposition calculations for the clean air status and trends network [J]. *Atmospheric Environment*, 1997, **31**(21): 3667-3678.
- [3] Balestrini R, Galli L, Tartari G. Wet and dry atmospheric deposition at prealpine and alpine sites in northern Italy [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(9): 1455-1470.
- [4] 鲁如坤,史陶钧.金华地区降雨中养分含量的初步研究[J]. *土壤学报*, 1979, **16**(1): 81-84.
- [5] 张金良,于志刚,张经.大气的干湿沉降及其对海洋生态系统的影响[J]. *海洋环境科学*, 1999, **18**(1): 70-76.
- [6] 周国逸,闫俊华.鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响[J]. *生态学报*, 2001, **21**(12): 2002-2012.
- [7] 王体健,刘倩,赵恒,等.江西红壤地区农田生态系统大气氮沉降通量的研究[J]. *土壤学报*, 2008, **45**(2): 280-287.
- [8] 石金辉,高会旺,张经.大气有机氮沉降及其对海洋生态系统的影响[J]. *地球科学进展*, 2006, **21**(7): 721-729.
- [9] 魏样,同延安,段敏,等.陕北典型农区大气干湿氮沉降季

- 节变化[J]. 应用生态学报, 2010, **21**(1): 255-259.
- [10] 沈健林, 刘学军, 张福锁. 北京近郊农田大气 NH_3 与 NO_2 干沉降研究[J]. 土壤学报, 2008, **45**(1): 165-169.
- [11] Lü C Q, Tian H Q. Spatial and temporal patterns of nitrogen deposition in China: Synthesis of observational data[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2007, **112**, D22S05, doi: 10.1029/2006JD007990.
- [12] 晏维金, 章申, 王嘉慧. 长江流域氮的生物地球化学循环及其对输送无机氮的影响——1968-1997 年的时间变化分析[J]. 地理学报, 2001, **56**(5): 505-514.
- [13] 陈能汪, 洪华生, 肖健, 等. 九龙江流域大气氮干沉降[J]. 生态学报, 2006, **26**(8): 2602-2607.
- [14] Xie Y X, Xiong Z Q, Xing G X, *et al.* Source of nitrogen in wet deposition to a rice agroecosystem at Tai lake region [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(21): 5182-5192.
- [15] 宋玉芝, 秦伯强, 杨龙元, 等. 大气湿沉降向太湖水生生态系统输送氮的初步估算[J]. 湖泊科学, 2005, **17**(3): 226-230.
- [16] Fenn M E, Poth M A, Arbaugh M J. A throughfall collection method using mixed bed ion exchange resin columns[J]. The Scientific World Journal, 2002, **2**: 122-130.
- [17] Larssen T, Seip H M, Semb A, *et al.* Acid deposition and its effects in China: An overview[J]. Environmental Science & Policy, 1999, **2**(1): 9-24.
- [18] 谢绍东, 张远航, 唐孝炎. 我国城市地区机动车污染现状与趋势[J]. 环境科学研究, 2000, **13**(4): 22-25, 38.
- [19] 王金南, 陈罕立. 中国大城市: 阻击氮氧化物污染迫在眉睫[J]. 环境经济, 2004, (7): 36-40.
- [20] Businger J A. Evaluation of the accuracy with which dry deposition can be measured with current micrometeorological techniques[J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1986, **25**(8): 1100-1124.
- [21] Langlois J L, Johnson D W, Mehuys G R. Adsorption and recovery of dissolved organic phosphorus and nitrogen by mixed-bed ion-exchange resin[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, **67**(3): 889-894.
- [22] Klopatek J M, Barry M J, Johnson D W. Potential canopy interception of nitrogen in the Pacific Northwest, USA [J]. Forest Ecology and Management, 2006, **234** (1-3): 344-354.
- [23] 周婕成, 史贵涛, 陈振楼, 等. 上海大气氮湿沉降的污染特征[J]. 环境污染与防治, 2009, **31**(11): 30-34.
- [24] Gibson D J. Spatial and temporal heterogeneity in soil nutrient supply measured using in situ ion-exchange resin bags[J]. Plant and Soil, 1986, **960**(3): 445-450.
- [25] Lajtha K. The use of ion-exchange resin bags for measuring nutrient availability in an arid ecosystem [J]. Plant and Soil, 1988, **105**(1): 105-111.
- [26] Fenn M E, Poth M A. Monitoring nitrogen deposition in throughfall using ion exchange resin columns—a field test in the San Bernardino Mountains[J]. Journal of Environment Quality, 2004, **33**(6): 2007-2014.
- [27] 王德宣, 赵普生, 张玉霞, 等. 北京市区大气氮沉降研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(9): 1987-1992.
- [28] Simkin S M, Lewis D N, Weathers K C, *et al.* Determination of sulfate, nitrate, and chloride in throughfall using ion exchange resins[J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2004, **153** (1-4): 343-354.
- [29] 王德宣, 赵普生, 张玉霞. 用离子交换树脂柱法观测长春市大气氮沉降[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(8): 1013-1018.
- [30] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版) 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [31] 盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等. 大气氮沉降通量观测方法[J]. 生态学杂志, 2010, **29**(8): 1671-1678.
- [32] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强, 等. 石生苔藓氮含量和氮同位素指示贵阳地区大气氮沉降的空间变化和来源[J]. 环境科学, 2008, **29**(7): 1785-1790.
- [33] 刘学炎, 肖化云, 刘丛强, 等. 贵阳地区主要大气氮源的沉降机制与分布: 基于石生苔藓氮含量和氮同位素的证据[J]. 地球化学, 2008, **37**(5): 455-461.
- [34] 王茜, 王雪梅, 林文实, 等. 鼎湖山无机氮湿沉降来源研究[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(6): 156-160.

CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> (401)
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM _{2.5} and Source Analysis in Beijing	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (411)
Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} and PM ₁₀ Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> (418)
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM _{5.0} Inhalable Particulate in Beijing	WANG Yan-hui, XIAO Yao (428)
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun (436)
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (442)
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (451)
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ in Xinzhou City	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (458)
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> (464)
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> (470)
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> (475)
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> (481)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (490)
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation	JIA Long, XU Yong-fu (495)
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> (504)
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> (513)
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (520)
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> (526)
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (533)
Oxidation of Mercury by CuBr ₂ Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> (541)
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> (547)
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study	JIA Hai-feng, GUO Yu (555)
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> (562)
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (569)
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (577)
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> (585)
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> (592)
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i>	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> (597)
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> (605)
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (611)
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang (619)
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (626)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao (633)
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> (643)
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (651)
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> (657)
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe (663)
Biosorption Characteristics of Cu ²⁺ by Spent Substrate of <i>Pleurotus</i> Oyster	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> (669)
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> (678)
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> (684)
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> (692)
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> (704)
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> (711)
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> (719)
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> (727)
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce (733)
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (740)
Effects of the Ratio of NO ₃ ⁻ -N to NO ₂ ⁻ -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> (746)
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (753)
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhammolipid Reverse Micelles	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> (759)
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> (764)
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i>	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin (770)
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (780)
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> (786)
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> (792)

《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2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 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