

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第11期

Vol.37 No.11

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

承德市大气污染源排放清单及典型行业对 PM_{2.5} 的影响 陈国磊,周颖,程水源,杨孝文,王晓琦(4069)

浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数 姚轶,王浙明,何志桥,徐志荣,顾震宇(4080)

山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献 闫雨龙,彭林(4086)

某化工区典型高污染过程 VOCs 污染特征及来源解析 高松,崔虎雄,伏晴艳,高爽,田新愿,方方,衣学文(4094)

加油 VOCs 排放因子测试方法研究与应用 黄玉虎,常耀卿,任碧琪,秦建平,胡玮,刘明宇(4103)

北京市生活垃圾填埋场氨排放特征研究 崔彤,李金香,杨妍研,程刚(4110)

西安市人为源大气氨排放清单及特征 苏航,闫东杰,黄学敏,宋文斌,王惠琴,宋雪娟(4117)

佛山市冬夏季非甲烷烃污染特征研究 周雪明,项萍,段菁春,贺克斌,马永亮,邓思欣,司徒淑婷,谭吉华(4124)

天津市道路环境大气颗粒物水溶性无机离子分析 赵梦雪,吴琳,方小珍,杨志文,李凤华,毛洪钧(4133)

戴云山国家级自然保护区大气氮沉降特点 袁磊,李文周,陈文伟,张金波,蔡祖聪(4142)

青岛近海冬季大气生物气溶胶中微生物活性研究 孟祥斌,李孟哲,李鸿涛,高冬梅,祁建华(4147)

玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成 刘刚,孙丽娜,徐慧,李久海,李中平,李立武(4156)

极低风速条件下水-气界面甲烷气体传输速率分析 张成,吕新彪,龙丽,张军伟,穆晓辉,李迎晨,王圣瑞,张文丽,肖尚斌(4162)

典型水库型湖泊中 CDOM 吸收及荧光光谱变化特征:基于沿岸生态系统分析 陈雪霜,江韬,卢松,白薇扬,张成,王定勇,魏世强(4168)

西苕溪支流河口水体营养盐的特征及源贡献分析 陈诗文,袁旭音,金晶,李正阳,许海燕(4179)

周村水库主库区热分层初期氮素降低的驱动因子分析 张春华,黄廷林,方开凯,周石磊,夏超(4187)

太湖湖泛易发区沉积物中有机磷形态分布特征 董丹萍,章婷曦,张丁予,王巧云,李德芳,王国祥(4194)

多重扰动对湖泊内源磷迁移转化的影响 蔡顺智,李大鹏,王忍,刘焱见,徐垚,于胜楠,黄勇(4203)

丹江口库区覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化 王伟,于兴修,汉强,刘航,徐苗苗,任瑞,张家鹏(4212)

营养盐恢复对氮磷饥饿铜绿微囊藻生长的影响 岳冬梅,李洁,肖琳(4220)

氯灭活地下水源中3种优势真菌的效能与机制 文刚,朱红,黄廷林,赵建超,任崑,徐向前(4228)

净水工艺对饮用水中微生物多重耐药性的影响与分析 马晓琳,陆洋,王钰,侯誉,白晓慧(4235)

单过硫酸氢钾复合粉在饮用水消毒过程中的副产物生成特性及遗传毒性变化 敖秀玮,李豪杰,刘文君,余京儒(4241)

三维有序介孔 Co₃O₄ 非均相活化单过硫酸氢钾降解罗丹明 B 冯善方,邓思萍,杜嘉雯,马晓雁,卢遇安,高乃云,邓靖(4247)

调控絮体形态强化电絮凝减缓膜污染 赵凯,杨春风,孙境求,李静,胡承志(4255)

初始 pH 值对序批式 CANON 工艺脱氮效果和 N₂O 释放的影响 付昆明,王会芳,苏雪莹,周厚田(4261)

3DBER-S-Fe 同步脱氮除磷及去除邻苯二甲酸酯的工艺特性 张娅,郝瑞霞,徐鹏程,徐忠强(4268)

基于反硝化脱氮的硫铁复合填料除磷机制 范军辉,郝瑞霞,李萌,朱晚霞,万京京(4275)

基于 ABR-MBR 组合工艺优化反硝化除磷性能的研究 程朝阳,赵诗惠,吕亮,吴鹏,沈耀良(4282)

中常温变化对 PN-ANAMMOX 联合工艺脱氮效果的影响 袁砚,朱亮(4289)

生物活性炭对不同 C/N 比废水同步硝化反硝化脱氮效果的影响 崔延瑞,邱鑫,张庆荣,王琦,吴青,孙剑辉(4296)

ANAMMOX 菌利用零价铁还原硝酸盐脱氮研究 周健,完颜德卿,黄勇,刘忻,袁怡,李祥,姚鹏程,杨朋兵,薛鹏程(4302)

间歇曝气 SBR 与传统 SBR 处理养猪沼液的比较研究 董宝刚,宋小燕,刘锐,川岸朋树,张永明,陈吕军(4309)

应用解蛋白菌生物预水解剩余污泥 何晶晶,王颖,胡洁,吕凡,邵立明(4317)

应用环境多介质逸度模型研究废旧电器拆解区多溴联苯醚的迁移及归趋 薛南冬,陈宣宇,杨兵,秦普丰,龙雨(4326)

南宁市多环境介质中多环芳烃分布特征 苗迎,孔祥胜(4333)

杭州城区室内灰尘中多溴联苯醚的含量及人体暴露水平 金漫彤,滕丹丹,郑艳霞,胡张璇,沈学优,金赞芳(4341)

应用线性自由能关系估算药用活性化合物的生物碳质-水吸附系数 王佳怡,毕二平(4349)

表流湿地细菌群落结构特征 魏佳明,崔丽娟,李伟,雷茵茹,于菁菁,秦鹏,穆泳林,梁钊瑞(4357)

城市污水中硝化菌群落结构与性能分析 于莉芳,杜倩倩,傅学焘,张茹,李文江,彭党聪(4366)

DNA 和 cDNA 水平对比研究施肥对稻田土壤细菌多样性的影响 王聪,吴讷,侯海军,汤亚芳,沈健林,秦红灵(4372)

培养条件下双酚 A 对稻田土壤微生物群落特征的影响 刘畅,黄雅丹,张莹,靳振江,梁月明,宋昂,王腾,郭佳怡,李强(4380)

1 株兼具好、厌氧汞甲基化能力细菌的分离鉴定 陶兰兰,向玉萍,王定勇,黄曼琳,申鸿(4389)

北京地区菜田土壤抗生素抗性基因的分布特征 张兰河,王佳佳,哈雪姣,邱孟超,高敏,仇天雷,王旭明(4395)

梅花鹿养殖场抗生素抗性基因分布特征 黄福义,安新丽,陈青林,任红云,苏建强(4402)

几种高硅质矿物细颗粒的 A549 细胞毒性对比 霍婷婷,董发勤,邓建军,张青碧,贺小春,孙东平(4410)

添加复合吸附剂对土壤吸附非和 Cr(VI) 的影响 李文斌,孟昭福,吴琼,许绍娥,刘泽(4419)

生物炭对西北黄土吸附壬基酚的影响 张振国,蒋煜峰,慕仲锋,孙航,周琦,展惠英(4428)

集雨种植下不同沟垄比对土壤呼吸的影响及其对水热因子的响应 王昌江,施成晓,冯帆,陈婷,张磊,吕晓康,王伟,廖允成(4437)

秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响 黄容,高明,万毅林,田冬,陶睿,王芳丽(4446)

《环境科学》征稿简则(4161) 《环境科学》征订启事(4365) 信息(4123,4132,4409)

戴云山国家级自然保护区大气氮沉降特点

袁磊¹, 李文周², 陈文伟², 张金波^{1,3,4,5*}, 蔡祖聪^{1,3,4,5}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 戴云山国家级自然保护区管理局, 德化 362500; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 4. 江苏省地理环境演化国家重点实验室培育建设点, 南京 210023; 5. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023)

摘要: 利用干湿沉降采集器, 持续观测戴云山国家级自然保护区内大气氮素干、湿沉降, 调查当地大气氮沉降的种类和沉降通量。结果表明, 2015-03-27~2015-10-09 观测期间, 戴云山自然保护区大气氮干、湿沉降量分别为 $2.30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $14.79 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 以湿沉降形式为主(87%)。干沉降中可溶性有机氮的沉降量为 $1.21 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 占干沉降通量的 53%; 无机氮以硝态氮为主($0.71 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), 铵态氮相对较低($0.37 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。湿沉降中无机氮和可溶性有机氮沉降量分别为 $9.41 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $5.38 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其中无机氮以铵态氮为主($6.07 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。大气氮湿沉降量和当地降雨量显著正相关, 降雨量越大, 对应的湿沉降氮量也越大。戴云山国家级自然保护区大气氮素沉降量较高, 可能会对当地生态环境产生较大的影响。

关键词: 戴云山国家级自然保护区; 大气氮干沉降; 大气氮湿沉降

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4142-05 DOI: 10.13227/j.hjxx.201605184

Characteristics of Nitrogen Deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve

YUAN Lei¹, LI Wen-zhou², CHEN Wen-wei², ZHANG Jin-bo^{1,3,4,5*}, CAI Zu-cong^{1,3,4,5}

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China; 2. Daiyun Mountain National Nature Reserve, Dehua 362500, China; 3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China; 4. State Key Laboratory Cultivation Base of Geographical Environment Evolution, Nanjing 210023, China; 5. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: G78 nitrogen deposition collector was used to investigate the background value of local nitrogen deposition flux in Daiyun Mountain National Nature Reserve of Fujian province. The results showed that dry and wet nitrogen deposition of Daiyun Mountain National Nature Reserve was $2.30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $14.79 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ from March to October in 2015. 53% of dry deposition was in the form of dissolved organic nitrogen (DON, $1.21 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$). The main form of inorganic nitrogen (DIN) in dry deposition was NO_3^- deposition ($0.71 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), with NH_4^+ deposition ($0.37 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) being lower compared to NO_3^- deposition. DON and DIN flux in wet deposition was $5.38 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $9.41 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively. DIN flux in wet deposition was mainly in the form of NH_4^+ deposition ($6.07 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$). Wet nitrogen deposition flux was found positively correlated with local precipitation. Wet nitrogen deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve might have significant negative effects on local water resource.

Key words: Daiyun Mountain National Nature Reserve; atmospheric dry nitrogen deposition; atmospheric wet nitrogen deposition

氮素是植物生长所需的必要营养元素之一^[1], 同时也是控制生态系统中物种组成与多样性、影响生态系统稳定性及其功能的关键因子^[2]。在地球表面的大部分生态系统中, 尤其是温带及北方森林, 植被生长及微生物量的累积过程都受氮素供应的限制^[3,4]。由于大量施用氮肥、化石燃料燃烧等人类活动的影响, 大气中含氮化合物浓度明显增加, 因而导致氮沉降量增加^[5~11]。对于“氮限制”生态系统, 短期、少量的氮沉降能够增加生态系统中可利用氮数量, 有利于提高生态系统生产力以及植被生物量的累积^[4]。因此, 氮沉降是一种有利但有限的养分来源, 表现出一定的施肥作用。当持续、大量的氮

沉降超过了生态系统中植物和微生物对氮素的需求, 系统将达到氮饱和状态^[12,13]。过量的氮沉降可能造成水体酸化与富营养化^[14~16]、生物多样性降低^[17,18]、森林衰退^[19~21]等负面效应, 对生态系统的结构和功能造成严重影响。因此, 定量一个生态系统中大气氮沉降通量对于评估当地生态系统安全以及氮素生物地球化学循环过程具有重要意义。

本文以福建戴云山国家级自然保护区为研究对

收稿日期: 2016-05-25; 修订日期: 2016-06-30

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2014CB953803); 江苏高校优势学科建设工程项目

作者简介: 袁磊(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为氮循环及其环境效应方面, E-mail: 13776641831@163.com

* 通讯联系人, E-mail: zhangjinbo@njnu.edu.cn

象,利用干湿沉降采集器持续观测当地大气氮素干、湿沉降,调查不同形态氮素在总氮沉降中的比例,以期为评价大气氮沉降对当地生态系统的影响提供科学依据,同时也为全国范围内调查大气氮沉降的时空分布与长期变化趋势积累基础数据。

1 材料与方 法

1.1 研究区介绍

本研究地点设在福建省德化县赤水镇境内的戴云山国家级自然保护区赤水管理所(25°38'26"N, 118°8'26"E)。赤水镇位于德化县西北部,拥有杉、松以及毛竹等林竹资源,森林覆盖率为 51.5%。全镇地势较高,海拔 970 m,属于亚热带海洋性季风气候,夏季凉爽,冬季有霜或者下雪,年平均气温 17℃。每年有雾期达 140 d 左右,有霜期达 165 d 左右。根据保护区内九仙山气象站资料记录,保护区年平均降雨量 1 700 ~ 2 000 mm,降雨集中在每年生长季的 3 ~ 9 月,湿度较大,年相对湿度平均在 80% 以上,常年阴雨较多,日照较少。观测时段为降雨集中的 2015-03-27 ~ 2015-10-09。

1.2 采样方法

采样仪器为美国 New Star Environmental LLC 公司的 G78 干湿沉降采集器,该仪器拥有独立的干、湿沉降收集桶(11.4 L),采用梳状传感器,具有恒温加热功能,自动判断降雨情况,抗干扰能力强、灵敏度高。

晴天时,仪器的传感器处于关闭状态,挡板将湿沉降采样桶密封罩住,干沉降采样桶收集大气干沉降样品(颗粒态)。降水发生时,传感器自动打开,通过双臂四连杆结构带动齿轮转动,挡板将干沉降采样桶密封罩住,湿沉降采样桶开始收集降水样品。降雨停止 10 min 后,挡板自动转回再次密封罩住湿沉降采样桶,防止大气降尘和飘尘对湿沉降样品的污染,同时仪器开始继续收集干沉降样品。大气干沉降一般监测 7 ~ 10 d 后采集一次样品,样品采用湿法收集,用 500 mL 的去离子水多次冲洗干沉降收集桶,待样品与洗液充分混合后取适量混合液于预处理的 50 mL 聚乙烯瓶中,编号后密封、放入冰箱冷冻储藏、待测。湿沉降样品在每次降水事件发生的次日 09:00 ~ 10:00 之间收集,采集前需先记录降水量,之后将湿沉降收集桶内的降水样品摇匀,同样取适量于聚乙烯瓶中并冷冻保存待测。

1.3 样品分析

大气氮干、湿沉降样品采用流动分析仪

(Skalar, Breda, Netherlands)测定铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$)、硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)、亚硝态氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)和全氮(TN)浓度。其中可溶性无机氮(DIN)浓度为铵态氮、硝态氮及亚硝态氮之和,可溶性有机氮(DON)浓度为全氮和无机氮浓度之差。

1.4 数据处理

大气氮素湿沉降通量的计算方法:

$$D_{\text{wp}} = \sum_{i=1}^n c_i \times P_i / 100 \quad (1)$$

式中, D_{wp} 代表氮素湿沉降的通量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); c_i 为每次降雨中氮浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); P_i 为每次降雨的降水量(mm);100代表公式中单位转换系数。

大气氮素干沉降通量的计算方法:

$$D_{\text{dp}} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \times L}{S \times 100} \quad (2)$$

式中, D_{dp} 代表氮素干沉降通量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); c_i 湿法收集大气干沉降样品中氮素浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); L 为每次湿法收集干沉降样品消耗去离子水的体积(500 mL); S 为干沉降采集桶的底面积(m^2);100代表公式中单位转换系数。

相关统计分析在 Windows SPSS 19.0 上完成,图表的绘制采用 Windows Origin 9.0。

2 结果与讨论

2.1 大气氮湿沉降

本研究自 2015-03-27 开始观测当地大气氮沉降,到 2015-10-09 结束,将近 6 个半月的时间共降雨 19 次,降雨量达到 1 829 mm[图 1(a)]。根据当地九仙山气象站资料显示,戴云山自然保护区的年平均降水量为 1 700 ~ 2 000 mm,降水主要集中在 3 ~ 9 月的生长季期间。此次虽然没有进行全年的观测,但观测时间包括整个生长季,且期间降雨量已达到常年降雨量,观测大气氮素湿沉降的结果能够较好地指示当地全年氮湿沉降水平。

整个观测期间,大气湿沉降中总氮、可溶性有机氮、铵态氮和硝态氮浓度变化范围分别为 0.10 ~ 1.63、0.01 ~ 0.93、0.07 ~ 0.98 以及 0.02 ~ 0.45 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值分别对应 0.99、0.31、0.44 和 0.24 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,以铵态氮为主[图 1(b)]。值得注意的是,湿沉降中总氮平均浓度(0.99 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)远远超出了水体富营养化的生态阈值(0.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$),并且与国家地表水环境质量标准 GB 3838-2002 中关于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区的标准限值

1.0 mg·L⁻¹相近. 当地在应对预防和改善水质的问题上,除了关注生活污水、养殖废水以及农田径流等途径,还需针对大气氮素的湿沉降,通过科学施用氮肥、加强畜禽粪便管理等措施,限制和降低进入大气的活性氮浓度. 此外,在4月(1.15 mg·L⁻¹)和9月(1.19 mg·L⁻¹)总氮浓度月平均值较高,6月(0.90 mg·L⁻¹)和8月(0.60 mg·L⁻¹)较低. 湿沉降中总氮浓度在降雨较少的4、5月较高,降雨多的6、8月反而较低,可能是较大的降雨量对湿沉降中活性氮的稀释作用所致.

观测期间湿沉降总氮量为 14.79 kg·hm⁻² [图 1 (c)],落在 Chen 等^[22]测定的我国南方 5 种森林生态系统大气氮湿沉降通量 6.6 ~ 21.8 kg·(hm²·a)⁻¹范围内,稍高于我国大气氮素湿沉降通量的平均值 9.88 kg·(hm²·a)⁻¹^[23],但是显著低于广东鼎湖山地区的湿沉降通量 38.4 kg·(hm²·a)⁻¹^[24].

研究区湿沉降中无机氮和可溶性有机氮沉降量分别为 9.41 kg·hm⁻²和 5.38 kg·hm⁻² (表 1),其中无机氮以铵态氮为主(6.07 kg·hm⁻²). 有研究表明,大气铵态氮主要来自畜禽养殖和农业氮肥施用导致的氨挥发损失、土壤微生物对土壤有机质和动植物残体的分解以及燃烧化石燃料等过程^[25]. 德化作为泉州市唯一的粮食自给县,近几年大力发展畜禽养殖的特色农业,建立波尔山羊纯种繁育场、戴云黑鸡黑兔等地方特色优良禽种养殖基地. 粮食生产过程中的氮肥施用以及禽畜养殖的堆肥过程均可释放大量的 NH₃,这可能是导致研究区铵态氮沉降较高的主要原因. 该地区湿沉降中 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 以及 DON 占湿沉降总氮的比例分别为 41%、22% 和 36%,与重庆湿沉降^[26] (NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 以及 DON 占总氮比例 44%、27% 和 27%) 以及福建三明农田生态系统湿沉降^[27] (NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 以及 DON 占总氮比例 43%、24% 和 31%) 的氮素组成相近. 4~9 月完整月份的观测结果显示,湿沉降量的较大值(8 月 3.45 kg·hm⁻²和 9 月 3.51 kg·hm⁻²)是较小值(4 月 1.58 kg·hm⁻²和 7 月 1.47 kg·hm⁻²)的 2 倍,居中的分别是 5 月 2.80 kg·hm⁻²以及 6 月 1.85 kg·hm⁻². 本研究中,8 月和 9 月的降雨总量(906 mm)将近占整个观测期总降雨量的 50%,而对应 8、9 月湿沉降量也达到整个观测期间总氮湿沉降量的 47%,湿沉降通量与降雨量表现显著正相关($P=0.011$,图 2),这与袁玲等^[26]、张颖等^[28]以及贺成武等^[29]的研究结果一致.

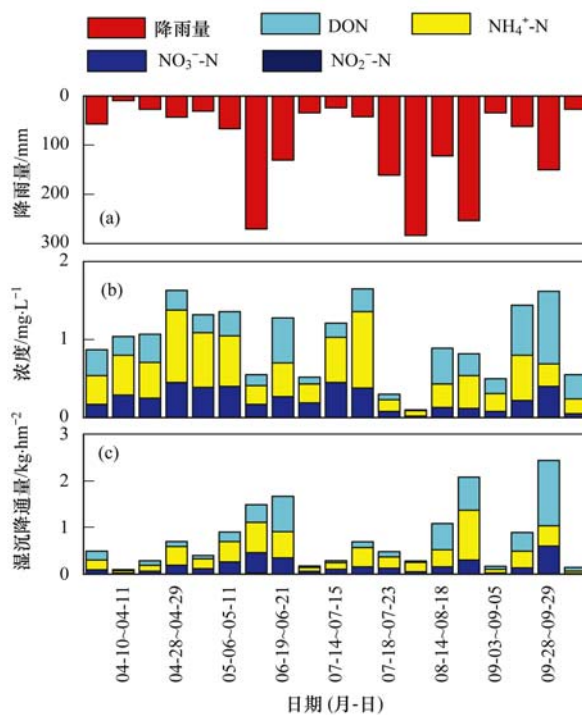


图 1 大气氮湿沉降

Fig. 1 Atmospheric wet nitrogen deposition

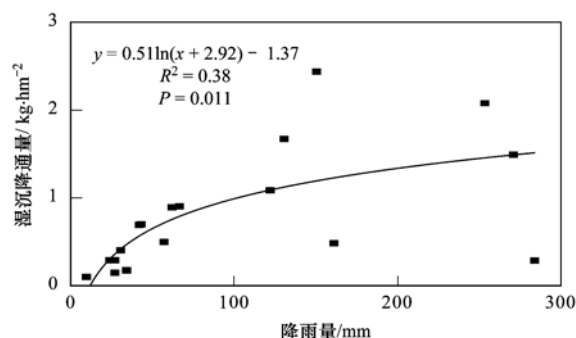


图 2 湿沉降通量与降雨量相关性分析

Fig. 2 Correlation between wet nitrogen deposition flux and precipitation

2.2 大气氮干沉降

观测期间,采用湿法收集干沉降样品 16 次,整个观测期大气氮干沉降总量为 2.30 kg·hm⁻² (图 3),这和魏样等^[30]在陕西榆林 [1.09 kg·(hm²·a)⁻¹]、洛川 [1.62 kg·(hm²·a)⁻¹] 地区研究结果相近,但低于翟水晶等^[31]研究太湖流域 [9.91 kg·(hm²·a)⁻¹]、王体健等^[32]研究江西鹰潭 [31.90 kg·(hm²·a)⁻¹]、Hornung 等^[33]研究英国大气氮素干沉降通量 [10 ~ 15 kg·(hm²·a)⁻¹] 以及美国地区 [3.6 ~ 7.7 kg·(hm²·a)⁻¹]^[34].

研究区总氮干沉降中可溶性有机氮的干沉降量 1.21 kg·hm⁻²,占 53%. 无机氮为 1.09 kg·hm⁻²,以硝态氮沉降为主(0.71 kg·hm⁻²),铵态氮干沉降量

表 1 戴云山国家级自然保护区 3~9 月大气氮沉降量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ Table 1 Fluxes of nitrogen deposition from March to September in Daiyun Mountain National Nature Reserve/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

项目	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	DON	TN
干沉降	0.01	0.71	0.37	1.21	2.30
湿沉降	0.06	3.28	6.07	5.38	14.79

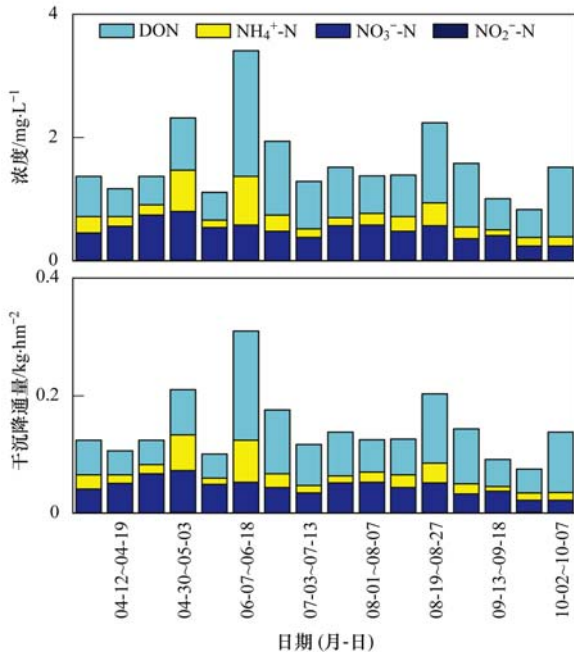


图 3 大气氮干沉降

Fig. 3 Atmospheric dry nitrogen deposition

相对较小($0.37 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)。大气硝态氮主要来源于闪电、土壤微生物的硝化反硝化作用、生物及化石燃料的燃烧(尤其是汽车尾气)等过程^[25]。德化县有“世界陶瓷之都”的称号,陶瓷是当地的主导产业,制造陶瓷的能源由传统木柴逐步向电能、石油、液化气、天然气等形式过渡。此外,当地的九仙山风景区在 2015 年被评为 4A 级风景名胜,吸引更多的游客驾车旅游。大量的燃烧化石燃料以及排放汽车尾气,均会导致大气硝态氮的沉降量较大。整个观测期间,戴云山自然保护区大气总氮干沉降量波动不大(介于 $0.07 \sim 0.31 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 之间),王体健等^[32]在江西红壤农田生态系统中也发现类似结果,可能是由于下垫面的类型以及局地气象要素等短期变异较小,持续观测可能会呈现一定的年际变化。

由于降水降尘自动采样仪的运行需要稳定电力供应,仪器所在地为戴云山自然保护区赤水管理所,位于福建 S206 道路附近,汽车尾气的排放对干沉降监测结果会产生一定影响。此外,当地正在修建厦门至沙县高速公路,开山施工产生的颗粒物也会干扰干沉降监测结果。应该说明,10 月至次年 2 月近

5 个月是当地少雨季,由于没有包括这一时间段的沉降量,所以本研究氮干沉降总量可能偏低,如果用观测期干沉降量月平均值($0.33 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)计算,该时间段干沉降总量估计为 $1.64 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。全年氮干沉降总量则为 $3.94 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

3 结论

(1) 2015-03-27 ~ 2015-10-09 整个观测期间,戴云山国家级自然保护区大气干、湿沉降总和为 $17.09 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。按沉降方式分类,以湿沉降为主(87%);按氮素形态,干沉降中, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DON 分别为 16%、30% 和 53%;湿沉降中, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 DON 分别为 41%、22% 和 36%。

(2) 氮素湿沉降通量与降雨量显著正相关,降雨量越大,对应湿沉降氮通量也越大。此外,大气氮素湿沉降对当地水体可能产生不利影响,有必要采取相关措施降低雨水中的氮浓度。

参考文献:

- [1] Binkley D, Hart S C. The components of nitrogen availability assessments in forest soils [A]. In: Stewart B A (Ed.). *Advances in Soil Science* [M]. New York: Springer, 1989. 57-112.
- [2] Bobbink R, Roelofs J G M. Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: the empirical approach [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1995, **85**(4): 2413-2418.
- [3] Tamm C O. Introduction: geochemical occurrence of nitrogen. *Natural nitrogen cycling and anthropogenic nitrogen emissions* [A]. In: Tamm C O (Ed.). *Nitrogen in Terrestrial Ecosystems* [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1991. 1-6.
- [4] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur [J]. *Biogeochemistry*, 1991, **13**(2): 87-115.
- [5] Vitousek P M, Aber J D, Howarth R W, et al. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences [J]. *Ecological Applications*, 1997, **7**(3): 737-750.
- [6] Kaiser J. The other global pollutant: nitrogen proves tough to curb [J]. *Science*, 2001, **294**(5545): 1268-1269.
- [7] Matson P, Lohse K A, Hall S J. The globalization of nitrogen deposition: consequences for terrestrial ecosystems [J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002, **31**(2): 113-119.
- [8] Galloway J N, Schlesinger W H, Levy H II, et al. Nitrogen fixation: anthropogenic enhancement-environmental response [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1995, **9**(2): 235-252.
- [9] Galloway J N, Cowling E B. Reactive nitrogen and the world:

- 200 years of change [J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002, **31**(2): 64-71.
- [10] Galloway J N, Aber J D, Erisman J W, *et al.* The nitrogen cascade[J]. *BioScience*, 2003, **53**(4): 341-356.
- [11] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, *et al.* Nitrogen cycles: past, present, and future[J]. *Biogeochemistry*, 2004, **70**(2): 153-226.
- [12] Aber J D, Nadelhoffer K J, Steudler P, *et al.* Nitrogen saturation in northern forest ecosystems: excess nitrogen from fossil fuel combustion may stress the biosphere[J]. *BioScience*, 1989, **39**(6): 378-286.
- [13] Aber J D. Nitrogen cycling and nitrogen saturation in temperate forest ecosystems[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1992, **7**(7): 220-224.
- [14] McNulty S G, Aber J D. Effects of chronic nitrogen additions on nitrogen cycling in a high-elevation spruce-fir stand [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1993, **23**(7): 1252-1263.
- [15] Boxman A W, van Dam D, van Dijk H F G, *et al.* Ecosystem responses to reduced nitrogen and sulphur inputs into two coniferous forest stands in the Netherlands [J]. *Forest Ecology and Management*, 1995, **71**(1-2): 7-29.
- [16] Emmett B A, Brittain S A, Hughes S, *et al.* Nitrogen additions (NaNO_3 and NH_4NO_3) at Aber forest, Wales: I. Response of throughfall and soil water chemistry [J]. *Forest Ecology and Management*, 1995, **71**(1-2): 45-59.
- [17] Schindler D W. Experimental perturbations of whole lakes as tests of hypotheses concerning ecosystem structure and function [J]. *Oikos*, 1990, **57**(1): 25-41.
- [18] Schindler D W. Changes caused by acidification to the biodiversity: productivity and biochemical cycles of lakes [A]. In: Steinberg C, Wright J (Eds.). *Acidification of Freshwater Ecosystems: Implications for the Future* [M]. New York: Wiley and Sons, 1994. 153-164.
- [19] Shortle W C, Smith K T. Aluminum-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce [J]. *Science*, 1988, **240**(4855): 1017-1018.
- [20] Schulze E D. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest[J]. *Science*, 1989, **244**(4906): 776-783.
- [21] Cronan C S, Grigal D F. Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1995, **24**(2): 209-226.
- [22] Chen X Y, Mulder J. Atmospheric deposition of nitrogen at five subtropical forested sites in South China[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **378**(3): 317-330.
- [23] 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**(D22): D22S05.
- [24] 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.
- Zhou G Y, Yan J H. The influences of regional atmospheric precipitation characteristics and its element inputs on the existence and development of Dinghushan forest ecosystems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2002-2012.
- [25] Jenkinson D S. An introduction to the global nitrogen cycle[J]. *Soil Use and Management*, 1990, **6**(2): 56-61.
- [26] 袁玲, 周鑫斌, 辜夕容, 等. 重庆典型地区大气湿沉降氮的时空变化[J]. *生态学报*, 2009, **29**(11): 6095-6101.
- Yuan L, Zhou X B, Gu X R, *et al.* Variation in wet deposition of nitrogen from atmosphere in typical areas of Chongqing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(11): 6095-6101.
- [27] 郑祥洲, 张玉树, 丁洪, 等. 闽西北农田生态系统中大气氮湿沉降研究 [J]. *水土保持学报*, 2012, **26**(3): 127-130, 204.
- Zheng X Z, Zhang Y S, Ding H, *et al.* Nitrogen wet-deposition in agro-ecosystem of northwestern Fujian province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, **26**(3): 127-130, 204.
- [28] 张颖, 刘学军, 张福锁, 等. 华北平原大气氮素沉降的时空变异[J]. *生态学报*, 2006, **26**(6): 1633-1639.
- Zhang Y, Liu X J, Zhang F S, *et al.* Spatial and temporal variation of atmospheric nitrogen deposition in North China Plain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, **26**(6): 1633-1639.
- [29] 贺成武, 任玉芬, 王效科, 等. 北京城区大气氮湿沉降特征研究[J]. *环境科学*, 2014, **35**(2): 490-494.
- He C W, Ren Y F, Wang X K, *et al.* Characteristics of atmospheric nitrogen wet deposition in Beijing urban area [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(2): 490-494.
- [30] 魏祥, 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.
- Wei Y, Tong Y A, Duan M, *et al.* Atmospheric dry and wet nitrogen deposition in typical agricultural areas of north Shaanxi [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, **21**(1): 255-259.
- [31] 翟水晶, 杨龙元, 胡维平. 太湖北部藻类生长旺盛期大气氮、磷沉降特征[J]. *环境污染与防治*, 2009, **31**(4): 5-10.
- Zhai S J, Yang L Y, Hu W P. Atmospheric nitrogen and phosphorus deposition during optimal algal growth period in northern Lake Taihu [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2009, **31**(4): 5-10.
- [32] 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.
- Wang T J, Liu Q, Zhao H, *et al.* Atmospheric nitrogen deposition in agroecosystem in red soil region of Jiangxi province [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, **45**(2): 280-287.
- [33] Hornung M, Sutton M A, Wilson R B. Mapping and modelling of critical loads for nitrogen-a workshop report [M]. Edinburgh: NERC Institute of Terrestrial Ecology, 1995.
- [34] USEPA. Clean air status and trends network deposition summary report (1987-1995) [R]. North Carolina: US Environmental Protection Agency, 1998.

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory and Impact of Typical Industries on PM _{2.5} in Chengde	CHEN Guo-lei, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4069)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Woodwork-making Industry in Zhejiang Province	YAO Yi, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (4080)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Shanxi Province	YAN Yu-long, PENG Lin (4086)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of High Pollution Process at Chemical Industrial Area in Winter of China	GAO Song, CUI Hu-xiong, FU Qing-yan, <i>et al.</i> (4094)
Study and Application of Test Method for VOCs Emission Factor of Refueling in Service Station	HUANG Yu-hu, CHANG Yao-qing, REN Bi-qi, <i>et al.</i> (4103)
NH ₃ Emission Characteristics in Landfill Sites in Beijing	CUI Tong, LI Jin-xiang, YANG Yan-yan, <i>et al.</i> (4110)
Inventory and Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emission in Xi'an	SU Hang, YAN Dong-jie, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> (4117)
Pollution Characteristics of Non-methane Hydrocarbons During Winter and Summer in Foshan City	ZHOU Xue-ming, XIANG Ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (4124)
Water-soluble Inorganic Ions in the Road Ambient Atmospheric Particles of Tianjin	ZHAO Meng-xue, WU Lin, FANG Xiao-zhen, <i>et al.</i> (4133)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve	YUAN Lei, LI Wen-zhou, CHEN Wen-wei, <i>et al.</i> (4142)
Microbial Activity in Bioaerosols in Winter at the Coastal Region of Qingdao	MENG Xiang-bin, LI Meng-zhe, LI Hong-tao, <i>et al.</i> (4147)
Molecular and Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Smoke from Maize Straw Combustion	LU Gang, SUN Li-na, XU Hui, <i>et al.</i> (4156)
Gas Transfer Velocity of CH ₄ at Extremely Low Wind Speeds	ZHANG Cheng, LÜ Xin-biao, LONG Li, <i>et al.</i> (4162)
Spectral Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake from Inland of Three Gorges Reservoir Areas: In the View of Riparian Ecosystem Analysis	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (4168)
Characteristics and Pollution Source Analysis of Nutrients in Tributary Outlets of Xitaoxi Watershed	CHEN Shi-wen, YUAN Xu-yin, JIN Jing, <i>et al.</i> (4179)
Analysis of Driving Factors on the Nitrogen Decrease in the Early Stage of the Thermal Stratification in Main Area of Zhoucun Reservoir	ZHANG Chun-hua, HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, <i>et al.</i> (4187)
Characteristics of Organic Phosphorus Fractions in the Sediments of the Black Water Aggregation in Lake Taihu	DONG Dan-ping, ZHANG Ting-xi, ZHANG Ding-yu, <i>et al.</i> (4194)
Impacts of Multiple Disturbance on Migration and Transformation of Endogenous Phosphorus in Lake	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, WANG Ren, <i>et al.</i> (4203)
Change of Soil Nitrogen Leaching with Summer Maize Growing Periods Under Plastic Film Mulched Cultivation in Danjiangkou Reservoir Area, China	WANG Wei, YU Xing-xiu, HAN Qiang, <i>et al.</i> (4212)
Nutrients Recovery on the Growth of Nitrogen and Phosphorus Starved <i>Microcystis aeruginosa</i>	YUE Dong-mei, LI Jie, XIAO Lin (4220)
Inactivation Efficiency and Mechanism of Three Dominant Fungal Spores in Drinking Groundwater by Chlorine	WEN Gang, ZHU Hong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (4228)
Effect of Water Treatment Process on the Bacterial Multidrug Resistance in Drinking Water	MA Xiao-lin, LU Yang, WANG Yu, <i>et al.</i> (4235)
Characteristics of Disinfection By-products and Genotoxicity During Drinking Water Disinfection with Potassium Monopersulfate Compound Powder	AO Xiu-wei, LI Hao-jie, LIU Wen-jun, <i>et al.</i> (4241)
Heterogeneous Activation of Peroxymonosulfate with Three-dimensional Ordered Mesoporous Co ₃ O ₄ for the Degradation of Rhodamine B	FENG Shan-fang, DENG Si-ping, DU Jia-wen, <i>et al.</i> (4247)
Enhanced Mitigation of Membrane Fouling by Regulations on Floc Morphology in Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4255)
Effect of Initial pH on Nitrogen Removal Performance and N ₂ O Emission of a Sequencing Batch CANON Reactor	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (4261)
Operational Characteristics of the Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Removal of Phthalate Esters by Three-dimensional Biofilm-electrode Coupled with Iron/Sulfur Reactor	ZHANG Ya, HAO Rui-xia, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> (4268)
Phosphorus Removal Mechanism of Sulfur/Sponge Iron Composite Fillers Based on Denitrification	FAN Jun-hui, HAO Rui-xia, LI Meng, <i>et al.</i> (4275)
Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal Performance Based on ABR-MBR Combined Process	CHENG Chao-yang, ZHAO Shi-hui, LÜ Liang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Moderate and Room Temperature on Nitrogen Removal in PN-ANAMMOX Process	YUAN Yan, ZHU Liang (4289)
Influence of Biological Activated Carbon on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Inflow with Different C/N Ratios	CUI Yan-rui, QIU Xin, ZHANG Qing-rong, <i>et al.</i> (4296)
Biotransformation of Nitrate to Nitrogen Gas Driven by ANAMMOX Microbes via Zero-valent Iron Under Anaerobic Conditions	ZHOU Jian, WANYAN De-qing, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4302)
A Comparative Study on Performance of an Intermittent Aeration SBR and a Traditional SBR for Treatment of Digested Piggyery Wastewater	DONG Bao-gang, SONG Xiao-yan, LIU Rui, <i>et al.</i> (4309)
Biological Pre-treatment of Surplus Sludge Using the Protease-secreting Bacteria	HE Pin-jing, WANG Ying, HU Jie, <i>et al.</i> (4317)
Transfer and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in an Electrical Equipment Dismantling Area Using a Multimedia Fugacity Model	XUE Nan-dong, CHEN Xuan-yu, YANG Bing, <i>et al.</i> (4326)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Media in Nanning City	MIAO Ying, KONG Xiang-sheng (4333)
PBDEs Levels in House Dust and Human Exposure to PBDEs via Dust Ingestion in Hangzhou	JIN Man-tong, TENG Dan-dan, ZHENG Yan-xia, <i>et al.</i> (4341)
Evaluating Biochar-Water Sorption Coefficients of Pharmaceutically Active Compounds by Using a Linear Free Energy Relationship	WANG Jia-yi, BI Er-ping (4349)
Characteristics of Bacterial Communities in Surface-flow Constructed Wetlands	WEI Jia-ming, CUI Li-juan, LI Wei, <i>et al.</i> (4357)
Community Structure and Activity Analysis of the Nitrifiers in Raw Sewage of Wastewater Treatment Plants	YU Li-fang, DU Qian-qian, FU Xue-tao, <i>et al.</i> (4366)
Effects of Fertilization on Soil Microbial Abundance and Community Structure at DNA and cDNA Levels in Paddy Soils	WANG Cong, WU Ne, HOU Hai-jun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Bisphenol A on Characteristics of Paddy Soil Microbial Community Under Different Cultural Conditions	LIU Chang, HUANG Ya-dan, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (4380)
Identification of a Facultative Bacterium Strain with the Ability to Methylate Mercury Under Both Aerobic and Anaerobic Conditions	TAO Lan-lan, XIANG Yu-ping, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4389)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Vegetable Soils in Beijing	ZHANG Lan-he, WANG Jia-jia, HA Xue-jiao, <i>et al.</i> (4395)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Sika Deer Farm	HUANG Fu-yi, AN Xin-li, CHEN Qing-lin, <i>et al.</i> (4402)
Comparison of Toxic Effect of Siliceous Mineral Dusts on Lung Epithelial A549 Cells	HUO Ting-ting, DONG Fa-qin, DENG Jian-jun, <i>et al.</i> (4410)
Effect of Adding Compound Adsorbent on Phenanthrene and Cr(VI) Absorption by Lou Soil	LI Wen-bin, MENG Zhao-fu, WU Qiong, <i>et al.</i> (4419)
Effect of Biochar on Adsorption Behavior of Nonylphenol onto Loess Soil in Northwest China	ZHANG Zhen-guo, JIANG Yu-feng, MU Zhong-feng, <i>et al.</i> (4428)
Soil Respiration in Response to Different Ridge/Furrow Ratios and Its Relationship with Soil Moisture and Temperature Under Ridge-Furrow Planting Patterns	WANG Chang-jiang, SHI Cheng-xiao, FENG Fan, <i>et al.</i> (4437)
Effects of Straw in Combination with Reducing Fertilization Rate on Soil Nutrients and Enzyme Activity in the Paddy-Vegetable Rotation Soils	HUANG Rong, GAO Ming, WAN Yi-lin, <i>et al.</i> (4446)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年11月15日 第37卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 11 Nov. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行