

# 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<sub>2.5</sub> 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,李迎春,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 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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 N<sub>2</sub>O 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)

# 西安市人为源大气氨排放清单及特征

苏航<sup>1</sup>, 闫东杰<sup>1\*</sup>, 黄学敏<sup>1</sup>, 宋文斌<sup>2</sup>, 王惠琴<sup>2</sup>, 宋雪娟<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 西安市环境监测站, 西安 710054)

**摘要:** 根据西安市各类氨排放源活动水平数据, 采用合理的估算方法和排放因子, 建立了 2013 年西安市人为源大气氨排放清单. 结果表明, 2013 年西安市人为源大气氨排放量为  $47.17 \times 10^3$  t, 排放强度为  $4.57 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ ; 畜禽养殖和氮肥施用是排放贡献最大的两个人为源, 氨排放量分别为  $20.55 \times 10^3$  t 和  $17.51 \times 10^3$  t, 占排放总量的 80.68%; 畜禽养殖中, 牛和猪是最大的排放源, 占畜禽养殖排放总量的 75.03%; 临潼区是排放量最大行政区, 排放量为  $10.73 \times 10^3$  t, 分担率为 23.22%; 阎良区的排放强度最大, 达到  $14.75 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ .

**关键词:** 人为氨源; 排放因子; 排放清单; 西安市

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4117-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.201605127

## Inventory and Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emission in Xi'an

SU Hang<sup>1</sup>, YAN Dong-jie<sup>1\*</sup>, HUANG Xue-min<sup>1</sup>, SONG Wen-bin<sup>2</sup>, WANG Hui-qin<sup>2</sup>, SONG Xue-juan<sup>2</sup>

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Environment Monitoring Station, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on the activity data of diverse ammonia sources, the rational estimation method and emission factors were employed, and an anthropogenic ammonia emission inventory was further established to describe the situation of Xi'an in 2013. The results showed that the total anthropogenic ammonia emission reached  $47.17 \times 10^3$  t in 2013 with an emission intensity of  $4.57 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ ; The livestock breeding and nitrogen fertilizers were the major sources of anthropogenic ammonia emission, which were  $20.55 \times 10^3$  t and  $17.51 \times 10^3$  t, respectively, accounting for 80.68% in total; Cow and hog were the major sources, and occupied 75.03% in livestock breeding emission; Lintong District was the heaviest emission area, the total emission was  $10.73 \times 10^3$  t, which accounted for 23.22%; The emission intensity of Yanliang District reached  $14.75 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$  which was considered as the most severe area.

**Key words:** anthropogenic ammonia sources; emission factor; emission inventory; Xi'an

氨是大气中最重要的微量气体之一<sup>[1]</sup>, 参与大气氮循环, 它是大气中唯一的碱性气体, 能够与  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  发生中和反应, 对大气环境酸化起着重要的缓冲作用. 同时, 氨也是大气气溶胶的重要前体物<sup>[2]</sup>, 通过化学反应生成的硝酸铵、硫酸铵等都是细颗粒物  $\text{PM}_{2.5}$  的重要组成部分<sup>[3]</sup>, 可造成雾霾天气, 严重影响日常的生产生活. 进入到水体的  $\text{NH}_3$  又会引发河流湖泊富营养化<sup>[4]</sup>. 此外, 排放到大气中的  $\text{NH}_3$  还会产生温室效应<sup>[5]</sup>. 因此, 研究和掌握  $\text{NH}_3$  的排放水平和分布特征, 对于控制大气颗粒物污染、改善生态环境具有重要意义<sup>[6]</sup>.

人为氨源包括农业源和非农业源<sup>[7]</sup>, 农业源氨排放主要来自畜禽业和农田系统; 非农业源主要来自人体、生物质燃烧、化工生产、燃料燃烧、废弃物处理及机动车尾气.

国内外学者对氨的排放特征愈发关注. 国外在氨排放领域的研究开始较早<sup>[8]</sup>, 英国最先建立了包括农业源、非农业源和天然源在内的英国国家氨排放清单, 并估算了氨排量不确定性范围<sup>[9]</sup>, 对农业

源和非农业源氨排放的季节变化、月变化和日变化均进行了研究<sup>[10]</sup>. 我国学者相继在不同的关注范畴内开展了有针对性的大气污染物排放清单的研究工作<sup>[11]</sup>, 其中对氨排放清单的研究主要集中在大尺度(国家级)的排放清单<sup>[1,12]</sup>和区域性排放清单<sup>[13-15]</sup>.

近几年来, 随着西安市社会经济的不断发展, 大气污染也日益加剧, 氨作为  $\text{PM}_{2.5}$  的重要组成部分<sup>[16]</sup>, 对西安大气污染的影响不容忽视<sup>[17]</sup>, 针对西安市大气污染现状, 有必要对西安市人为源大气氨排放进行研究, 建立西安市人为源大气氨排放清单, 了解该地区氨的排放特征, 为了解氨排放对雾霾造成的影响提供基础数据. 为此, 本文结合国内外近些年来研究成果, 根据西安市统计数据及一些实地调研结果, 建立 2013 年西安市人为源大气氨排放清单, 以期对西安市下一步开展氨排放控制工作提

收稿日期: 2016-05-19; 修订日期: 2016-06-12

基金项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2016JQ5095)

作者简介: 苏航(1989~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染控制技术, E-mail: suhang198911@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: yandongjie\_2000@163.com

供参考.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域及对象

本研究以 2013 年为基准年,研究区域为陕西省西安市,下辖新城、莲湖、碑林、雁塔等 10 区 3 县,如图 1 所示. 研究的人为源包括畜禽养殖、氮肥施用、土壤本底、人体排泄、生物质燃烧、废弃物处理及机动车尾气 7 大类. 由于西安市没有涉及相应的化工生产企业,故本研究不考虑化工生产带来的影响.



图 1 研究区域示意

Fig. 1 Study area diagram

### 1.2 数据来源

本研究中,西安市畜禽养殖、氮肥施用量、耕地面积、人口的活动水平数据均来自文献[18]. 生

物质燃烧活动水平数据来自文献[18]及现场实地调研. 废弃物处理及机动车尾气的活动水平数据来自西安市 2013 年环境统计数据以及西安市水务局提供的数据支持. 排放因子主要参照相关编制指南以及国内外研究成果,优先选用国家制定的编制指南或国内实测数据.

### 1.3 估算方法

针对人为源大气氨排放清单的建立,本研究采用排放因子法对西安市人为源大气氨排放量进行估算,采用的计算公式为:

$$E_{ij} = \sum_j A_{ij} \times EF_j \quad (1)$$

式中, $E$  为氨的排放量(t), $i$  为地区, $j$  为源类别, $A$  为活动水平, $EF$  为排放因子. 因不同污染源有其各自特征,因此对各污染源的活动水平和排放因子分类介绍如下.

#### 1.3.1 畜禽养殖

畜禽养殖中,氨排放主要来自于圈养、放牧、厩肥保存和施肥这 4 个阶段,主要来源于畜禽粪尿当中<sup>[5,19]</sup>. 根据我国各类统计资料的统计口径和西安市现有统计资料,本研究将畜禽分为肉猪、母猪、黄牛、奶牛、肉牛、马、羊、兔、家禽这 9 类. 其中,兔及家禽基于年内出栏量,其余 7 类基于年末存栏量,采用公式(1)进行估算. 选取的排放因子如表 1 所示.

表 1 畜禽养殖排放因子

Table 1 Emission factors of livestock

畜禽种类	肉猪 <sup>1)</sup>	母猪 <sup>1)</sup>	黄牛 <sup>1)</sup>	奶牛 <sup>1)</sup>	肉牛 <sup>1)</sup>	马 <sup>2)</sup>	羊 <sup>1)</sup>	兔 <sup>1)</sup>	家禽 <sup>2)</sup>
排放因子/kg·头 <sup>-1</sup>	2.82	11.55	25.52	37.61	22.58	16.9	4.93	0.24	0.24

1)引自文献[5]; 2)引自文献[20]

#### 1.3.2 氮肥施用

氮肥施用后,氮以氨的形式挥发到大气中,它是大气氨的重要来源. 而气候条件、土壤性质、氮肥种类和施肥方式都会影响到氨的挥发<sup>[1,20]</sup>. 本研究通过实地调研得出,西安市的氮肥主要以尿素、碳铵和硫酸铵为主,其中,尿素占 1/4,碳铵和硫酸铵占 3/4. 选取的排放因子<sup>[15]</sup>,如表 2 所示. 根据氮肥施用折纯量采用公式(1)进行估算.

表 2 氮肥施用比例及排放因子

Table 2 Application of various N fertilizer and their emission factors

氮肥种类	尿素	碳酸铵	硫酸铵
使用比例/%	25	37.5	37.5
排放因子/%	20	21.3	8

#### 1.3.3 土壤本底

土壤本底会挥发一部分氨到大气中,根据大气氨排放清单编制技术指南,排放系数定义为每亩耕地每年向大气排放氨的量,参见文献[21],推荐值为  $0.12 \text{ kg} \cdot (\text{亩} \cdot \text{a})^{-1}$ .

#### 1.3.4 人体排泄

氨通过人体活动以呼吸、汗液和粪尿的方式排放到大气中<sup>[9]</sup>,考虑到农村卫生处理条件不完备,将城市和农村分别考虑,城市人口取  $0.25 \text{ kg} \cdot (\text{人} \cdot \text{a})^{-1}$ <sup>[15]</sup>,农村人口根据文献[21]为  $0.787 \text{ kg} \cdot (\text{人} \cdot \text{a})^{-1}$ ,基于 2013 年末西安市常住人口采用公式(1)进行估算.

#### 1.3.5 生物质燃烧

生物质燃烧主要包含秸秆灶膛燃烧、秸秆田间

燃烧、薪柴燃烧、草原大火和森林大火。由于西安市实施禁烧政策近 20 年, 秸秆田间燃烧现象已不存在, 本研究不考虑秸秆田间燃烧、草原大火和森林大火, 基于生物质燃烧量和排放因子采用公式(1)进行估算。排放因子选自文献 [22], 如表 3 所示。

表 3 生物质燃烧排放因子/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Table 3 Emission factors of biomass burning/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 

燃烧类型	秸秆类型			薪柴
	小麦秸	玉米秸	其他秸	
柴薪燃烧	—	—	—	1.3
秸秆燃烧	0.37	0.68	0.52	—

表 4 秸秆田间焚烧参数

Table 4 Parameters used in the calculation of crop residue field burning

农作物	谷草比	谷草干燥比 <sup>1)</sup>	废弃秸秆焚烧比例 <sup>2)</sup>	焚烧效率 <sup>2)</sup>
玉米	2 <sup>2)</sup>	0.87	0.14	0.92
小麦	1.37 <sup>2)</sup>	0.89	0.14	0.92
油菜籽	2 <sup>2)</sup>	0.83	0.14	0.804
棉花	3 <sup>2)</sup>	0.83	0.14	0.804
稻谷	0.9 <sup>3)</sup>	0.89	0.14	0.93

1)引自文献[26]; 2)引自文献[27]; 3)引自文献[25]

### 1.3.6 废弃物处理

废弃物处理产生的氨主要来自污水处理过程、垃圾处理过程以及烟气脱硝过程。其中污水处理和垃圾处理中氨排放量基于处理量按照公式(1)进行估算, 本研究暂不考虑垃圾焚烧和堆肥释放的氨。而烟气脱硝过程中氨排放量基于火力发电燃煤的消耗量按照公式(1)进行估算。排放因子参考文献 [21], 如表 5 所示。

表 5 废弃物处理排放因子

Table 5 Emission factors of waste disposal

污水处理 $/\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	垃圾填埋 $/\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	烟气脱硝/ $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	
		SCR	SNCR
3.2	0.56	0.155	0.17

### 1.3.7 机动车尾气

本研究将机动车分为轻型汽油车、轻型柴油车、重型汽油车、重型柴油车和摩托车<sup>[28]</sup>, 根据其保有量和行驶里程按照公式(3)进行估算。其中保有量数据来自西安市 2013 年环境统计数据, 行驶里程参考文献 [29], 排放因子参考文献 [21], 如表 6 所示。

$$E = \sum_i 10^{-6} \times B_{ij} \times M_{ij} \times EF_j \quad (3)$$

式中,  $E$  为机动车尾气氨排放量(t);  $i$  为地区;  $j$  为车辆类型;  $B$  为分类型机动车保有量(辆);  $M$  为分类型机动车年均行驶里程(km);  $EF$  为分类型机动

对于家用薪柴的焚烧量, 通过走访周至县等区县调查, 农户每年从每亩果园可收集到 0.6 t 薪柴用于做饭和取暖, 根据各区县果园面积按比例估算西安市家用薪柴的焚烧量。对于秸秆焚烧量, 按公式(2)进行估算<sup>[23,24]</sup>。

$$M = \sum_j P_j \times N_j \times R_j \times D \times F \quad (2)$$

式中,  $M$  为秸秆焚烧量( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ );  $P$  为第  $j$  种农作物产量(t);  $N$  为第  $j$  种农作物谷草比;  $R$  为第  $j$  种农作物谷草干燥比;  $D$  为废弃秸秆焚烧比例;  $F$  为焚烧效率。其参考数值如表 4 所示。

表 6 机动车尾气排放因子/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$ Table 6 Emission factors of vehicles/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$ 

轻型汽油车	轻型柴油车	重型汽油车	重型柴油车	摩托车
0.026	0.004	0.028	0.017	0.007

车排放因子 [ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$ ].

## 2 结果与讨论

### 2.1 西安市人为源大气氨排放清单

西安市 2013 年人为源大气氨排放清单如表 7 所示, 排放总量为  $47.17 \times 10^3 \text{ t}$ , 从中可以得出, 畜禽养殖是西安市氨排放量最大的人为源, 排放量达  $20.55 \times 10^3 \text{ t}$ , 占氨排放总量的 43.57%。其次是氮肥施用, 氨排放量为  $17.51 \times 10^3 \text{ t}$ , 占排放总量的 37.11%。畜禽养殖和氮肥施用排放量之和为  $38.06 \times 10^3 \text{ t}$ , 占排放总量的 80.68%。由此可见, 农业源是西安市大气氨排放的最主要来源, 主要原因是因为西安市地处黄河流域关中盆地, 水资源充裕, 土壤肥沃, 农业较为发达。同时, 人们的社会生活对畜禽和粮食等物质需求较大; 此外, 与其他排放源比较, 农业源的排放因子较大。然而, 非农业源对大气氨的贡献量也不容忽视, 人体排泄、生物质燃烧、废弃物处理及机动车尾气分别占总量的 7.28%、1.48%、7.60% 和 2.03%。由于西安市耕地面积不大, 加之其排放因子较小, 所以土壤本底的排放量只占总量的 0.93%。

表 7 2013 年西安市各类人为氨源排放清单  
Table 7 Anthropogenic ammonia emission inventory  
by categories for the year 2013 in Xi'an

排放源	NH <sub>3</sub> 排放量 × 10 <sup>3</sup> /t	排放分担率/%
畜禽养殖	20.55	43.57
氮肥施用	17.51	37.11
土壤本底	0.44	0.93
人体排泄	3.44	7.28
生物质燃烧	0.70	1.48
废弃物处理	3.58	7.6
机动车尾气	0.96	2.03
总排放量	47.17	100

由于畜禽养殖是西安市大气氨的最主要排放源,本研究中针对其做进一步的贡献率分析,如图 2 所示. 从中可知,牛对大气氨排放量的贡献量最大,排放氨  $8.78 \times 10^3$  t, 占畜禽养殖排放总量的 42.7%, 其中奶牛的贡献率最大为 26.85%, 肉牛占 11.37%, 黄牛占 4.48%, 主要是因为奶牛的饲养量较大, 并且其排放因子较高. 猪在畜禽养殖中为第二大排放源, 氨排放量为  $6.64 \times 10^3$  t, 占畜禽养殖排放总量的 32.33%, 其中肉猪的贡献率最大为 25.24%, 母猪占 7.09%, 主要因为肉猪的需求量较大, 年末存栏数较大. 此外, 家禽的贡献率也较高, 其大气氨排放量占畜禽养殖总量的 16.62%, 主要原因是家禽的饲养周期短, 需求量大, 导致其饲养量大, 排放贡献率较高. 羊的贡献率为 7.97%, 而马和兔分别由于饲养量较小和排放因子较小的原因, 其贡献率分别为 0.11% 和 0.27%.

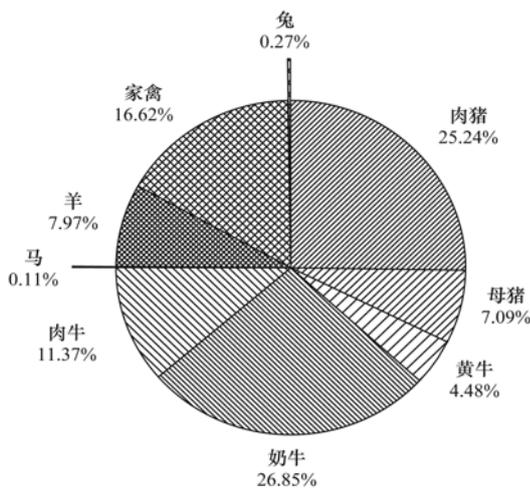


图 2 2013 年西安市畜禽养殖分类排放分担率  
Fig. 2 Emission contribution of livestock source  
by categories in Xi'an for the year 2013

2.2 人为源大气氨排放的区域分布

根据西安市各区县不同排放源的活动水平, 计

算得到各区县的人为源大气氨排放清单及其排放强度, 如表 8 所示. 图 3 为各区县氨排放量的构成. 由于机动车的流动性大, 不能确定到某一区县, 故本研究在这里暂不考虑机动车尾气排放的氨.

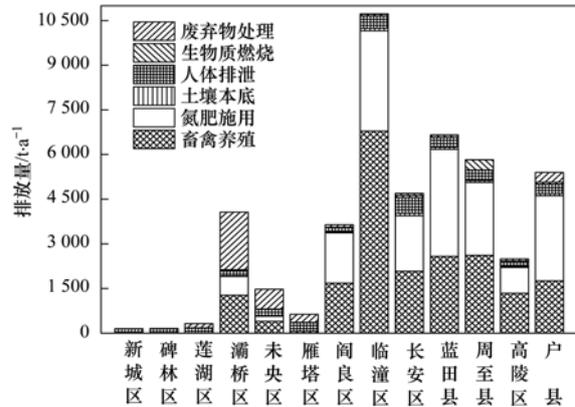


图 3 2013 年西安市各区县人为氨排放量及构成  
Fig. 3 Distribution of anthropogenic ammonia source  
emission of Xi'an by county in 2013

因西安市各区县发展特征等情况不同, 导致其氨排放特征也存在明显区别. 由表 8 及图 3 可知, 临潼区是 2013 年西安市人为氨排放量最大的行政区, 占排放总量的 23.22%, 其次蓝田县、周至县、户县、长安区的排放量也较大, 分担率比较接近, 介于 10.17% ~ 14.41%, 主要原因是上述几个区县位于西安市边缘地带, 农业发达, 畜禽饲养量大, 而且农业耕地面积大. 高陵区、阎良区和灞桥区农业较发达, 而且灞桥区的垃圾填埋场对灞桥区的贡献很大, 其排放量分担率介于 5.4% ~ 8.8%. 而新城区、碑林区、莲湖区、雁塔区和未央区由于是西安市主城区, 农业活动少, 主要以人体排泄为主, 故其氨排放量较小, 其分担率介于 0.3% ~ 3.2%.

从排放强度看, 2013 年西安市人为氨平均排放强度为  $4.57 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ , 排放强度大于  $10 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$  的有阎良区、灞桥区和临潼区, 其中, 阎良区最大, 为  $14.75 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ , 周至县、长安区、蓝田县、户县和雁塔区的排放强度低于平均排放强度.

2.3 人为源氨排放清单对比

表 9 列出了本研究与其他学者的研究结果对比, 从排放总量来看, 本研究估算结果高于南京市<sup>[30]</sup>和广州市<sup>[19]</sup>, 低于北京市<sup>[31]</sup>. 与南京市和广州市相比, 差别主要体现在农业源, 主要原因是西安市与南京市、广州市相比, 地处关中平原, 农业较为发达, 畜禽养殖及氮肥施用量较大; 而较北京市而言, 西安市人口数及机动车保有量均存在明显差距.

从排放强度来看,本研究高于南京市( $3.91 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ )和北京市( $3.7 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ )。总体而言,本研究能够比较客观地反映西安市人为源大气氨排放的基本特征。

表 8 2013 年西安市各区县人为氨排放清单

Table 8 Anthropogenic ammonia emission inventory by county for the year 2013 in Xi'an

排放源	$\text{NH}_3$ 排放量 $\times 10^3/\text{t}$	排放强度/ $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$
新城区	0.15	5.00
碑林区	0.16	6.67
莲湖区	0.32	7.44
灞桥区	4.06	12.49
未央区	1.50	5.73
雁塔区	0.63	4.23
阎良区	3.6	14.75
临潼区	10.73	11.73
长安区	4.70	2.96
蓝田县	6.66	3.32
周至县	5.82	1.97
高陵区	2.49	8.68
户县	5.40	4.21
西安市	46.21	4.57

表 9 与其他同类研究结果比较

Table 9 Comparison with other studies

排放源	西安市 (2013 年)	南京市 <sup>1)</sup> (2013 年)	北京市 <sup>2)</sup> (2012 年)	广州市 <sup>3)</sup> (2010 年)
畜禽养殖	20.55	11.08	26.94	16.22
氮肥施用 $\times 10^3/\text{t}$	17.51	6.70	16.41	5.45
工业源 $\times 10^3/\text{t}$	—	0.81	—	0.08
土壤本底 $\times 10^3/\text{t}$	0.44	0.43	—	—
人体排泄 $\times 10^3/\text{t}$	3.44	0.68	6.65	3.69
生物质燃烧 $\times 10^3/\text{t}$	0.70	0.68	—	1.75
废弃物处理 $\times 10^3/\text{t}$	3.58	4.06	6.11	1.32
机动车尾气 $\times 10^3/\text{t}$	0.96	0.73	5.03	2.54
排放总量 $\times 10^3/\text{t}$	47.17	25.79	61.14	31.65
排放强度/ $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$	4.57	3.91	3.7	—

1)引自文献[30]; 2)引自文献[31]; 3)引自文献[19]

## 2.4 不确定性分析

排放清单估算分析过程中存在许多不确定性因素,主要包括关键数据的缺乏(活动水平和排放因子)、数据代表性不足等<sup>[32]</sup>。本研究中,不确定性主要来自排放因子的选取和部分活动水平数据的缺失。其中土壤本底、人体排泄、废弃物处理及机动车尾气的活动水平数据均来自西安市统计年鉴和环境统计数据,排放因子选取自国家环保部最新编制的技术指南,不确定性最小。畜禽养殖活动水平数据和氮肥施用活动水平数据均来自西安市统计年鉴,排放因子选取自国内学者研究修正后的因子,但由于缺少本地特征数据支持,本研究未能将畜禽养

殖按其养殖方式、养殖周期等不同进行具体计算,而氮肥施用也未能根据其气候条件和土壤条件等不同进行核算,故增加了本研究的不确定性。生物质燃烧中,柴薪燃烧量是根据实地调研的数据按照果园种植面积比例进行估算,存在一定的误差;此外,对于秸秆燃烧,其燃烧量也是基于主要粮食产量及国内研究成果估算得到,这也增大了估算结果的不确定性。在 95% 的置信度下估算得到的清单不确定性如表 10 所示。

表 10 西安市人为源大气氨排放清单不确定性

Table 10 Anthropogenic sources of atmospheric ammonia emission inventory uncertainty in Xi'an

排放源	$\text{NH}_3$ 排放不确定性/%
畜禽养殖	$\pm 31$
氮肥施用	$\pm 31$
土壤本底	$\pm 9$
人体排泄	$\pm 6$
生物质燃烧	$\pm 138$
废弃物处理	$\pm 21$
机动车尾气	$\pm 15$

## 3 结论

(1)2013 年西安市人为氨源  $\text{NH}_3$  排放总量为  $47.17 \times 10^3 \text{ t}$ ,排放强度为  $4.57 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

(2) 畜禽养殖和氮肥施用是西安市最大的氨排放源,排放总量分别为  $20.55 \times 10^3 \text{ t}$  和  $17.51 \times 10^3 \text{ t}$ ,占排放总量的 80.68%。

(3) 畜禽养殖中,牛是最大的排放源,占畜禽养殖排放总量的 42.7%,其次是猪,分担率为 32.33%。

(4) 临潼区、蓝田县、周至县、户县、长安区依次为排放量最大的 5 个区县,其分担率均超过 10%,其中临潼区的分担率为 23.22%。

(5) 阎良区、灞桥区和临潼区依次为排放强度最大的 3 个区县,其排放强度均大于  $10 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ,其中阎良区的排放强度达到  $14.75 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。

### 参考文献:

- [1] 王文兴, 卢筱凤, 庞燕波, 等. 中国氨的排放强度地理分布[J]. 环境科学学报, 1997, 17(1): 2-7.  
Wang W X, Lu X F, Pang Y B, et al. Geographical distribution of  $\text{NH}_3$  emission intensities in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1997, 17(1): 2-7.
- [2] 刘东, 王方浩, 马林, 等. 中国猪粪尿  $\text{NH}_3$  排放因子的估算[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 218-224.  
Liu D, Wang F H, Ma L, et al. Estimation of  $\text{NH}_3$  emission factor for pig manure in China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 218-224.
- [3] Battye W, Aneja V P, Roelle P A. Evaluation and improvement

- of ammonia emissions inventories[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(27): 3873-3883.
- [4] 叶雪梅, 郝吉明, 段雷, 等. 中国主要湖泊营养氮沉降临界负荷的研究[J]. *环境污染与防治*, 2002, **24**(1): 54-58.  
Ye X M, Hao J M, Duan L, *et al.* On critical loads of nutrient nitrogen deposition for some major lakes in China [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2002, **24**(1): 54-58.
- [5] 杨志鹏. 基于物质流方法的中国畜牧业氨排放估算及区域比较研究[D]. 北京: 北京大学, 2008.  
Yang Z P. Estimation of ammonia emission from livestock in China based on mass-flow method and regional comparison[D]. Beijing: Peking University, 2008.
- [6] 房效凤, 沈根祥, 徐昶, 等. 上海市农业源氨排放清单及分布特征[J]. *浙江农业学报*, 2015, **27**(12): 2177-2185.  
Fang X F, Shen G X, Xu C, *et al.* Agricultural ammonia emission inventory and its distribution characteristics in Shanghai [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, **27**(12): 2177-2185.
- [7] Hellsten S, Dragosits U, Place C J, *et al.* Modelling the spatial distribution of ammonia emissions in the UK[J]. *Environmental Pollution*, 2008, **154**(3): 370-379.
- [8] 尤翔宇, 刘湛, 张青梅, 等. 长株潭地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. *环境科学*, 2016, **37**(1): 94-101.  
You X Y, Liu Z, Zhang Q M, *et al.* Anthropogenic ammonia emission inventory and its spatial distribution in Chang-Zhu-Tan region[J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(1): 94-101.
- [9] Sutton M A, Dragosits U, Tang Y S, *et al.* Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK [J]. *Atmospheric Environment*, 2000, **34**(6): 855-869.
- [10] Chinkin L R, Ryan P A, Coe D L. Recommended improvements to the CMU ammonia emission inventory model for use by LADCO [R]. Revised final report 902350-2249-FR2. Petaluma, CA: Sonoma Technology, Inc, 2003. 26.
- [11] 杨柳林, 曾武涛, 张永波, 等. 珠江三角洲大气排放源清单与时空分配模型建立[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(12): 3521-3534.  
Yang L L, Zeng W T, Zhang Y B, *et al.* Establishment of emission inventory and spatial-temporal allocation model for air pollutant sources in the Pearl River Delta region [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(12): 3521-3534.
- [12] 董文焯, 邢佳, 王书肖. 1994~2006年中国人为源大气氨排放时空分布[J]. *环境科学*, 2010, **31**(7): 1457-1463.  
Dong W X, Xing J, Wang S X. Temporal and spatial distribution of anthropogenic ammonia emissions in China: 1994-2006 [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(7): 1457-1463.
- [13] 王振刚, 宋振东. 湖北省人为源氨排放的历史分布[J]. *环境科学与技术*, 2005, **28**(1): 70-71.  
Wang Z G, Song Z D. Emission of ammonia sourced from human activities in Hubei Province [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **28**(1): 70-71.
- [14] 董艳强, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. *环境科学学报*, 2009, **29**(8): 1611-1617.  
Dong Y Q, Chen C H, Huang C, *et al.* Anthropogenic emissions and distribution of ammonia over the Yangtze River Delta [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, **29**(8): 1611-1617.
- [15] 尹沙沙, 郑君瑜, 张礼俊, 等. 珠江三角洲人为氨源排放清单及特征[J]. *环境科学*, 2010, **31**(5): 1146-1151.  
Yin S S, Zheng J Y, Zhang L J, *et al.* Anthropogenic ammonia emission inventory and characteristics in the Pearl River Delta Region [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(5): 1146-1151.
- [16] 张灿, 周志恩, 翟崇治, 等. 重庆市主城区 NH<sub>3</sub> 排放估算及分布特征分析[J]. *环境污染与防治*, 2013, **35**(10): 65-70.  
Zhang C, Zhou Z E, Zhai C Z, *et al.* Estimate and distribution analyze of NH<sub>3</sub> emission in Chongqing urban city [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2013, **35**(10): 65-70.
- [17] 陈生婧. 陕西省畜禽粪便污染及氮磷负荷时空分布特征研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.  
Chen S J. Study on temporal and spatial distribution of Shaanxi Province, livestock and poultry manure pollution and potential nitrogen and phosphorus load [D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [18] 西安市统计局. 西安市统计年鉴 2014 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [19] 沈兴玲, 尹沙沙, 郑君瑜, 等. 广东省人为源氨排放清单及减排潜力研究[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(1): 43-53.  
Shen X L, Yin S S, Zheng J Y, *et al.* Anthropogenic ammonia emission inventory and its mitigation potential in Guangdong Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(1): 43-53.
- [20] 孙庆瑞, 王美蓉. 我国氨的排放量和时空分布[J]. *大气科学*, 1997, **21**(5): 590-598.  
Sun Q R, Wang M R. Ammonia emission and concentration in the atmosphere over China [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1997, **21**(5): 590-598.
- [21] 环保部. 大气氨源排放清单编制技术指南(试行) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [22] 环保部. 生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南(试行) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
- [23] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单[J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(4): 389-393.  
Cao G L, Zhang X Y, Wang D, *et al.* Inventory of atmospheric pollutants discharged from biomass burning in China continent [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**(4): 389-393.
- [24] 王丽, 李雪铭, 许妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济损失研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, **22**(2): 170-175.  
Wang L, Li X M, Xu Y. The economic losses caused by crop residues burnt in open field in China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, **22**(2): 170-175.
- [25] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. *农业工程学报*, 2009, **25**(12): 211-217.  
Bi Y Y, Gao C Y, Wang Y J, *et al.* Estimation of straw resources in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, **25**(12): 211-217.
- [26] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Revised 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [Z]. IPCC/OECD/IES. Bracknell, UK: UK Meteorological Office, 2007.
- [27] 王幸锐, 叶宏. 四川省污染防治技术水平与绩效评估——大气污染防治卷(2012) [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2013.
- [28] Roe S M, Spivey M D, Lindquist H C, *et al.* Estimating ammonia emissions from anthropogenic nonagricultural sources-Draft final report [R]. Washington: US Environmental Protection

- Agency, 2004.
- [29] 张凯. 西安市机动车尾气污染控制研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- Zhang K. Study on vehicle pollution and control strategies in Xi'an[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [30] 刘春蕾, 杨峰. 南京市 2013 年人为源大气氨排放清单及特征[J]. 安徽农业科学, 2015, **43**(29): 263-266.
- Liu C L, Yang F. Nanjing anthropogenic ammonia emission inventory and its characteristics in 2013[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, **43**(29): 263-266.
- [31] 张双, 王阿婧, 张增杰, 等. 北京市人为源氨排放清单的初步建立[J]. 安全与环境学报, 2016, **16**(2): 242-245.
- Zhang S, Wang A J, Zhang Z J, *et al.* On creating an anthropogenic ammonia emission inventory in capital Beijing[J]. Journal of Safety and Environment, 2016, **16**(2): 242-245.
- [32] 钟流举, 郑君瑜, 雷国强, 等. 大气污染物排放源清单不确定性定量分析方法及案例研究[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(4): 15-20.
- Zhong L J, Zheng J Y, Lei G Q, *et al.* Quantitative uncertainty analysis in air pollutant emission inventories: methodology and case study[J]. Research of Environmental Sciences, 2007, **20**(4): 15-20.

---

## 《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2016 年 10 月 12 日, 中国科技论文统计结果发布会在北京举行, 会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单。《环境科学》连续 15 次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定。该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析, 对期刊分学科进行评比, 其评价结果客观公正, 为我国科技界公认, 并具有广泛影响。

## CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory and Impact of Typical Industries on PM <sub>2.5</sub> 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 <sub>3</sub> 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 <sub>4</sub> 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 <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 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 <sub>2</sub> 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