

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第1期

Vol.37 No.1

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

碳质大气颗粒物的扫描质子微探针分析	包良满, 刘江峰, 雷前涛, 李晓林, 张桂林, 李燕 (1)
中国8个城市大气多溴联苯醚的污染特征及人体暴露水平	林海涛, 李琦路, 张干, 李军 (10)
广州城区秋冬季大气颗粒物中 WSOC 吸光性研究	黄欢, 毕新慧, 彭龙, 王新明, 盛国英, 傅家谟 (16)
南京地区大气 PM _{2.5} 潜在污染源硫碳同位素组成特征	石磊, 郭照冰, 姜文娟, 芮茂凌, 曾钢 (22)
青奥会前后南京 PM _{2.5} 重金属污染水平与健康风险评估	张恒, 周自强, 赵海燕, 熊正琴 (28)
南昌市秋季大气 PM _{2.5} 中金属元素富集特征及来源分析	林晓辉, 赵阳, 樊孝俊, 胡恭任, 于瑞莲 (35)
南京北郊冬春季大气能见度影响因子贡献研究	马佳, 于兴娜, 安俊琳, 朱彬, 于超, 朱俊, 夏航 (41)
边界层低空急流导致北京 PM _{2.5} 迅速下降及其形成机制的个例分析	廖晓农, 孙兆彬, 何娜, 赵普生, 马志强 (51)
电厂燃煤烟尘 PM _{2.5} 中化学组分特征	王毓秀, 彭林, 王燕, 张腾, 刘海利, 牟玲 (60)
2014 年 APEC 期间北京市空气质量改善分析	程念亮, 李云婷, 张大伟, 陈添, 孙峰, 李令军, 李金香, 周一鸣, 杨妍妍, 姜磊 (66)
APEC 会议期间北京机动车排放控制效果评估	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 郭津津 (74)
晋城城市扬尘化学组成特征及来源解析	王燕, 彭林, 李丽娟, 王毓秀, 张腾, 刘海利, 牟玲 (82)
北京市混凝土搅拌站颗粒物排放特征研究	薛亦峰, 周震, 钟连红, 闫静, 曲松, 黄玉虎, 田贺忠, 潘涛 (88)
长株潭地区人为源氨排放清单及分布特征	尤翔宇, 刘湛, 张青梅, 漆燕, 向仁军, 苏艳蓉 (94)
长春城市水体夏秋季温室气体排放特征	温志丹, 宋开山, 赵莹, 邵田田, 李思佳 (102)
查干湖和新立城水库秋季水体悬浮颗粒物和 CDOM 吸收特性	李思佳, 宋开山, 赵莹, 穆光熠, 邵田田, 马建行 (112)
不同地质背景下河流水化学特征及影响因素研究: 以广西大溶江、灵渠流域为例	孙平安, 于爽, 莫付珍, 何师意, 陆菊芳, 原雅琼 (123)
大渡河老鹰岩河段的水生生物群落结构及水质评价	黄允优, 曾燊, 刘守江, 马永红, 胥晓 (132)
西湖龙泓洞流域暴雨径流氮磷流失特征	杨帆, 蒋铁峰, 王翠翠, 黄晓楠, 吴芝菱, 陈琳 (141)
合肥城郊典型农业小流域土壤磷形态及淋失风险分析	樊慧慧, 李如忠, 裴婷婷, 张瑞钢 (148)
辽河入海口及城市段柱状沉积物金属元素含量及分布特征	王维斐, 周俊丽, 裴淑玮, 刘征涛 (156)
水源水库沉积物中营养元素分布特征与污染评价	黄廷林, 刘飞, 史建超 (166)
低分子量有机酸对三峡水库消落区土壤中汞赋存形态及其活性的影响	游蕊, 梁丽, 覃蔡清, 邓吟, 王定勇 (173

长株潭地区人为源氨排放清单及分布特征

尤翔宇, 刘湛, 张青梅, 漆燕, 向仁军, 苏艳蓉

(湖南省环境保护科学研究院, 长沙 410004)

摘要: 根据收集到的长株潭地区各类人为源氨排放的活动水平数据和排放系数, 建立了长株潭地区 2013 年人为源氨排放清单, 并根据空间特征数据进行了 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 的空间网格分配。结果表明, 长株潭地区 2013 年人为源氨排放总量为 $7.27 \times 10^4\text{ t}$, 排放强度为 $2.59\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$; 其中, 畜禽养殖业和农田生态系统为最主要的氨排放源, 氨排放分担率分别达 58.60% 和 29.73%; 畜禽养殖业中, 肉牛、蛋鸡和肉猪是主要贡献源, 分别占畜禽养殖业氨排放总量的 26.26%、21.40% 和 18.43%; 宁乡县、湘潭县和浏阳市为氨排放量较大的县市, 分别占长株潭地区氨排放总量的 17.49%、12.82% 和 12.02%; 石峰区和岳塘区的氨排放强度最大, 分别达到了 $9.14\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $5.01\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 。空间分布特征显示排放量较大的网格主要是大型点源。

关键词: 人为氨源; 排放清单; 长株潭地区; 排放强度; 空间分布

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)01-0094-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.01.014

Anthropogenic Ammonia Emission Inventory and Its Spatial Distribution in Chang-Zhu-Tan Region

YOU Xiang-yu, LIU Zhan, ZHANG Qing-mei, QI Yan, XIANG Ren-jun, SU Yan-rong

(Hunan Research Academy of Environmental Protection, Changsha 410004, China)

Abstract: Based on the best available activity data and emission factors, an anthropogenic emission inventory of NH_3 was established for the Chang-Zhu-Tan region with spatial resolution of $3\text{ km} \times 3\text{ km}$. The results showed that the total quantity of NH_3 discharged from anthropogenic sources in the Chang-Zhu-Tan region was $7.27 \times 10^4\text{ t}$, and the average intensity of NH_3 emission was $2.59\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$. The livestock and poultry industry, and the farmland ecosystem, were the major contribution sources of the anthropogenic NH_3 emissions, accounting for 58.60% and 29.73%, respectively. As for NH_3 emission from the livestock and poultry industry, the major contributors were beef, laying hen and pork pig, accounting for 26.26%, 21.40% and 18.43%, respectively. In the Chang-Zhu-Tan region, the quantities of NH_3 emissions from Ningxiang county, Xiangtan county and Liuyang city were larger than those of the other districts, accounting for 17.49%, 12.82% and 12.02%, respectively. The intensities of NH_3 emission from Shifeng and Yuetang districts were larger than those from other districts, reaching up to $9.14\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ and $5.01\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, respectively. The spatial distribution characteristics revealed that the NH_3 emission mostly originated from large point sources.

Key words: anthropogenic ammonia sources; emission inventory; Chang-Zhu-Tan region; emission intensity; spatial distribution

氨是大气中唯一的碱性气体^[1], 是参与大气氮循环的重要组成成分。氨与 SO_2 、 NO_x 等通过大气化学反应生成的硫酸铵、硝酸铵等二次颗粒物是大气细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 的重要组成部分^[2]。此外, 氨的排放还会破坏甲烷氧化加剧温室效应^[3], NH_4^+ 的湿沉降还会导致湖泊富营养化^[4]。因此, 随着大气灰霾污染日益严重, 国内外学者对氨排放特征的研究也日益深入。

国外在氨排放领域的研究开始较早, 对不同排放源和排放特征都有大量深入的研究。美国环保署在 AP-42 大气污染物排放因子库的基础上, 制定了排放源清单改进计划, 编制了包括 NH_3 等多种污染物在内的国家排放源清单, 建立了美国国家排放源清单数据库^[5]。欧洲环保署设计了一套针对欧洲国家的排放量计算方法和框架体系, 编制了包含 NH_3 等污染物的 1980~2005 年欧洲国家排放源清单, 并

实现年度动态更新^[6]。Streets 等[[]

长株潭城市群包括长沙、株洲、湘潭三市,是长江中游城市群的重要组成部分,是国家“资源节约型和环境友好型”社会建设综合配套改革试验区,也是我国典型的冶金、化工产业密集区^[13].长株潭三市沿湘江谷地呈“品”字型分布,两两相距不足 40 km. 近年来随着长株潭地区工业化和城市化的快速推进,能源消费日益增多,大气污染相互叠加,区域性复合型的大气污染特征逐渐显现,以细颗粒物为代表的大气灰霾过程时有发生. 早期针对全国范围的大尺度氨排放清单已经不能满足区域空气质量预报预警和大气雾霾等相关工作的要求. 本研究综合国内外近年来的研究成果,采用“自下而上”的编制方法,通过较为详实的活动水平和本地化的排放因子数据,建立了长株潭地区 2013 年人为源氨排放清单,并进行了高分辨率的空间分配,以期为区域大气复合污染控制和空气质量改善提供基础数据.

1 材料与方法

1.1 研究区域及研究对象

本研究以 2013 年为基准年,研究区域为长株潭城市群,包括长沙、株洲、湘潭这 3 个地级市所属的 23 个县区. 估算的人为氨排放源包括农田生态系统、畜禽养殖业两大主要排放源和生物质燃烧、人体排泄、化工生产、废物处理和移动源等其它排放源.

1.2 活动水平数据

本研究农田生态系统和畜禽养殖业排放源活动水平数据来自文献[14],其中,集约化畜禽养殖源活动水平数据来自实际调查. 非农业源活动水平数据来自相应统计年鉴,其中,生物质燃烧排放源活动水平数据来自文献[14,15],人体排泄等排放源活动水平数据来自文献[16~19],化工生产源、烟气脱硝和移动源活动水平数据来自文献[20],污水处理和固废填埋排放源活动水平数据来自文献[21].

1.3 计算方法及排放系数

本研究采用排放系数法对长株潭地区人为源氨排放量进行估算,计算公式为:

$$E_{i,j,y} = A_{i,j,y} \times EF_{i,j,y} \times \gamma$$

式中, i 为县区, j 为排放源, y 为年份, $E_{i,j,y}$ 为 y 年 i 县区 j 排放源的排放量. A 为活动水平, EF 为排放系数, γ 为从折纯氮(相对分子质量 14)到氨(NH_3 , 相对分子质量 17)的转换系数,由于畜禽养殖的排放因子以折纯氮计算,其他行业的排放因子直接以氨(NH_3)计量,因此针对畜禽养殖业 γ 取 1.214,其它行业取 1.0.

排放系数选取综合参考国内外研究成果,主要采用文献[22]中推荐的排放系数本地化计算方法,根据长株潭地区的具体情况计算得到本地化的排放系数. 在具体估算过程中,不同排放源的估算公式、排放系数确定方法、活动水平数据处理方法等有所不同,下面分别介绍.

1.3.1 农田生态系统

农田生态系统的氨排放源包括氮肥施用、土壤本底、固氮植物和秸秆堆肥.

氮肥施用后,氮通过物理化学反应以氨的形式挥发到大气中,是大气中氨的一个重要来源^[23]. 氮肥施用后氨的挥发与氮肥的施用种类、施用方式、施用量、土壤的温度和酸碱度等都有关系^[1]. 氮肥施用中氨的排放系数计算公式为:

$$EF = EF_{\text{基准}} \times a \times b$$

式中, $EF_{\text{基准}}$ 为基准排放系数,根据长株潭地区土壤的地表平均温度和土壤酸度确定. 长株潭地区农作物以水稻为主,早稻种植期内地面平均温度为 28.3℃,晚稻种植期内地面平均温度为 26.3℃,土壤的 pH 值一般在 4.5~6.0 之间^[24]; a 为施肥率校正系数,每亩耕地施肥高于 13 kg 氮时校正系数为 1.18,低于 13 kg 氮时为 1; b 为施肥方式校正系数,根据实地调研,水稻种植中化肥使用覆土深施占 40%、表面撒施占 60% 计算,取值为 0.728.

长株潭地区不同氮肥施用份额及基准排放系数见表 1 所示,其中以全国不同类型氮肥的年生产量作为长株潭地区不同氮肥的施用比例^[10],氮肥施用的平均基准排放系数是根据不同氮肥的施用比例和基准排放系数确定.

对于农田生态系统中的其他排放源,其排放系数如表 2 所示.

表 1 不同氮肥施用份额及基准排放系数/%

表 2 部分农田生态系统排放源氨排放系数
Table 2 Ammonia emission factors from part of the farmland ecosystem sources

土壤本底	固氮植物	秸秆堆肥
180 kg·km ⁻²	大豆:105 kg·km ⁻²	0.32 kg·t ⁻¹
	花生:120 kg·km ⁻²	
	绿肥:135 kg·km ⁻²	

秸秆堆肥活动水平为可用于堆肥的 8 种农作物,包括水稻、小麦、玉米、粗粮、棉花、豆类、花生和油菜的田间堆肥的秸秆量. 秸秆量按下式计算:

$$A = P \times N$$

式中, P 为农作物产量,t; N 为草谷比,其中小麦取 1.718,水稻取 1.323,玉米取 1.269,其它作物取 1.5. 秸秆的施肥比例根据文献[25]取为 15.6%.

1.3.2 畜禽养殖业

畜禽养殖业中的氨排放主要由动物排泄物释放,包括圈舍饲养、户外放牧、粪便存储处理和后续施肥这 4 个阶段^[26]. 根据湖南省农业统计资料^[14],本研究将畜禽养殖源细分为牛、羊、肉猪、母猪、蛋鸡、肉鸡、鸭、鹅和马驴骡 9 类,其中牛、羊、母猪、蛋鸡和马、驴、骡等饲养周期大于 1 年的,养殖数量按统计资料中的年底存栏数计算,对于肉猪、肉鸡、肉鸭、肉鹅等肉用家禽,养殖数量按统

计资料中的年内出栏数计算. 其中畜禽养殖分为集约化畜禽养殖和散养,养殖阶段分为户外、圈舍、存储和施肥这 4 个阶段,排泄物种类分为液态和固态分别计算. 不同养殖阶段和不同排泄物种类铵态氮(TAN)的计算公式为:

$$TAN_{\text{室内,室外}} = \text{畜禽年内饲养量} \times \text{单位畜禽排放量} \times \text{含氮量} \times \text{铵态氮比例} \times \text{室内户外比}$$

$$A_{\text{户外}} = TAN_{\text{户外}}$$

$$A_{\text{圈舍}} = TAN_{\text{室内}} \times X$$

$$A_{\text{存储}} = A_{\text{圈舍}} - A_{\text{圈舍}} \times EF_{\text{圈舍}}$$

$$A_{\text{施肥}} = [A_{\text{存储}} - A_{\text{存储}} \times EF_{\text{存储}} - EN_{\text{N损失}}] \times (1 - R_{\text{饲料}})$$

式中,单位畜禽排放量、含氮量、铵态氮比例和存储过程中氮的损失($EN_{\text{N损失}}$)参数来自文献[22];散养时畜禽排泄物在室内户外各占 50%,集约化养殖条件下畜禽排泄物在室内占 100%; X 为液态或固态粪肥占总粪肥的质量比重^[22],散养畜禽液态粪肥比重为 11%,集约化养殖畜类液态粪肥比重为 50%,禽类液态粪肥比重为 0; $R_{\text{饲料}}$ 为粪肥用作生态饲料的比重^[22],主要考虑集约化养殖过程,牛、羊、猪、鸡分别取值 20%、20%、30%、50%,其它畜禽取值为 0. 再根据相应的排放系数计算不同阶段氨的排放量,畜禽养殖业氨排放系数如表 3 所示.

表 3 畜禽养殖业氨 TAN 排放系数¹⁾/%

Table 3 Ammonia emission factors from livestock and poultry breeding industry/%

畜禽种类	EF _{户外}	EF _{圈舍-液}		EF _{圈舍-固}		EF _{存储-液}		EF _{存储-固}		EF _{施肥-液}	EF _{施肥-固}
		散养	集约化	散养	集约化						

(2) 化工生产
主要包括合成氨和氮肥生产.

(3) 人体排放
人体排放氨主要通过人体呼吸、汗液和粪尿排出^[11], 由于人体呼吸和汗液排放量较小, 因此本研究中仅计算人体粪尿排泄物的氨排放, 城镇家庭大多有卫生设施, 相应的氨排放计算在污水处理中, 人体排放活动水平仅计算卫生设施不完善的农村人口.

(4) 废物处理
包括污水处理、固废填埋和烟气脱硝过程. 烟气脱硝主要包括发电供热企业和水泥生产企业等.

(5) 道路移动源
随着城市机动车保有量的持续增长, 尾气排放的氨量逐渐增加. 本研究根据车辆类型分为轻型汽油、轻型柴油、重型汽油、重型柴油和摩托车这 5 类.

表 4 其它行业污染源氨排放系数

Table 4 Ammonia emission factors from other industries			
污染源种类	排放系数	单位	
森林大火	2.9	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	0.37(小麦)	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	0.68(玉米)	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	0.52(其它)	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
薪柴	1.3	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
人体排放	0.787	$\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$	
化工生产	合成氨	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	化肥生产	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
废物处理	污水处理厂	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	
	固废填埋	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	烟气脱硝	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	0.155(SCR)	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
道路移动源	0.17(SNCR)	$\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$	
	轻型汽油	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	
	重型汽油	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	
	轻型柴油	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	
道路移动源	重型柴油	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	
	摩托车	$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	

2 结果与讨论

2.1 长株潭地区人为氨源活动水平评价

长株潭地区是长江中游城市群的重要组成部分, 是湖南省经济增长的核心引擎. 2013 年该地区常住人口为 1.40×10^7 人, 其中农村常住人口 4.95×10^6 人, 耕地总面积为 $6.34 \times 10^3 \text{ km}^2$, 全年主要农作物总产量为 $5.98 \times 10^6 \text{ t}$, 其中水稻的产量为 $5.56 \times 10^6 \text{ t}$, 按式(3) 计算得到的长株潭地区全年各类

农作物秸秆产生量为 $7.97 \times 10^6 \text{ t}$. 2013 年长株潭地区汽车保有量为 2.27×10^6 辆, 其中摩托车 1.14×10^6 辆.

2013 年长株潭地区全年氮肥施用量(实物量) $6.57 \times 10^5 \text{ t}$. 氮肥施用量较大的县区是湘潭县、宁乡县、湘乡市和攸县, 分别占长株潭地区氮肥施用总量的 23.17%、13.29%、11.87% 和 10.77%.

2013 年长株潭地区各类畜禽集约化养殖比例约为 43%. 牛、羊、母猪、蛋

9.12 和 7.85 kt, 分别占畜禽养殖业氨排放总量的 26.26%、21.40% 和 18.43%, 而肉鸡、肉鸭、肉鹅和马、驴、骡等的贡献率相对较低。从养殖数量上来看, 鸡、鸭、鹅和猪是长株潭地区 2013 年养殖量最大的牲畜种类, 而肉鸡、肉鸭、肉鹅的分担率较低是因为其年均氮排泄量远低于生猪、牛等牲畜。

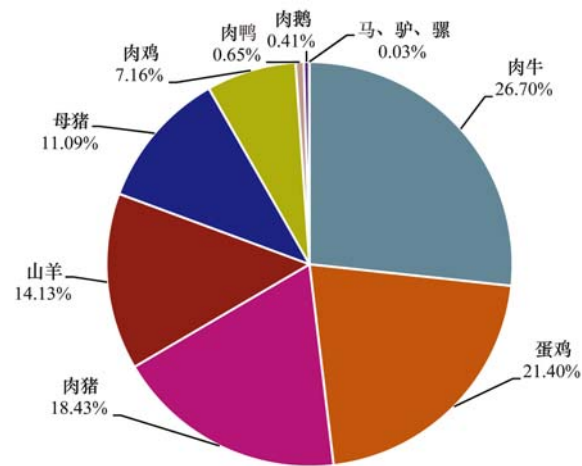


图 1 各类牲畜氨排放量分担率

Fig. 1 Emission contribution of livestock source by categories

农田生态系统是长株潭地区第二大氨排放源, 其中氮肥施用的贡献率最大, 占农田生态系统氨排放量的 92.44%。主要是由于我国氮肥施用以碳铵和尿素为主, 两者使用比例约 90%^[27], 而这两种氮

肥的氨挥发率较高, 欧美等发达国家多施用氨挥发率较低的硝铵和硫铵, 加之我国大多采用表面撒施为主的施肥方式, 更加加重了氮肥施用过程中氨的挥发。

2.3 人为氨源排放的地域分布

根据长株潭地区各区县不同排放源的活动水平和 NH_3 的排放因子, 计算得到各区县人为源氨排放清单, 如图 2 所示。由于人类活动水平的差异, 各区县大气氨的排放呈现出一定的地域分布特征。从图 2 中可以看出, 宁乡县、湘潭县和浏阳市是长株潭城市群氨排放量最高的城市, 排放量分别为 1.27×10^4 、 9.32×10^3 和 8.74×10^3 t, 分别占长株潭地区氨排放总量的 17.49%、12.82% 和 12.02%。宁乡县和浏阳市主要是由于其为长株潭地区重要的畜禽养殖基地, 畜禽养殖量大造成的, 其畜禽养殖业的氨排放量分别占各自氨排放总量的 70.09% 和 76.97%, 湘潭县是由于其化肥施用量大, 每亩耕地施肥以氨折纯量计高达 38 kg, 导致农田生态系统排放的氨总量偏大。

从排放强度来看, 石峰区和岳塘区的排放强度最高, 分别达到 $9.14 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $5.01 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, 远高于其他区县, 主要是由于其为长株潭城市群重要的工业生产基地, 辖区内集中分布了多家大型化工、钢铁、有色和火电企业, 工业生产和烟气脱硝过程中

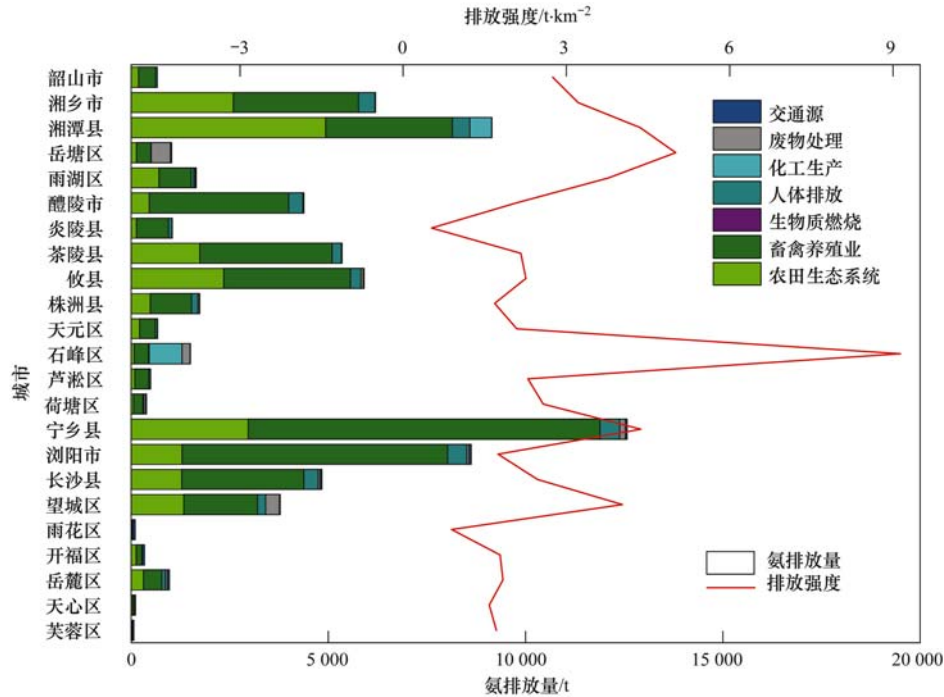


图 2 2013 年长株潭地区各区县氨排放量及排放强度

Fig. 2 Distribution of anthropogenic ammonia source emission and emission intensity of Chang-Zhu-Tan region by cities (2013)

排放的氨量较大。

2.4 大气氨源排放清单比较

通过文献收集,总结不同学者对国内不同地区

大气氨源排放的研究,与本研究结果进行对比,如表6所示。表明畜禽养殖和氮肥施用是最主要的人为氨排放源,其次是人体排放。

表6 不同区域人为氨源排放量与排放强度

Table 6 Ammonia source emission and emission intensities of different regions						
地区	基准年	年排放量 ×10 ⁴ /t	排放强度 /t·km ⁻²	涵盖排放源	主要源贡献	文献
珠三角	2003	10.98	—	交通源、农业废物燃烧、动物、氨生产、人体汗液和呼吸、垃圾处理、氮肥生产、氮肥使用	氮肥使用 49.0%, 动物 32.3%, 垃圾处理 9.4%	[31]
珠三角	2006	19.48	—	畜禽、氮肥施用、工业生产、生物质燃烧、垃圾处理、燃料燃烧、污水处理、道路移动源	畜禽 62.1%, 氮肥施用 21.7%, 生物质燃烧 4.1%	[12]
广东省	2010	58.29	3.69	畜禽、人体、污水处理、垃圾处理、工业生产、氮肥施用、道路移动源、生物质燃烧、燃料燃烧	畜禽 44.3%, 氮肥施用 40.5%, 人体 6.0%	[26]
长三角	2004	46.07	4.20	畜牧源、氮肥使用、人体、工业源、交通源、生物质燃烧	氮肥使用 49.3%, 畜牧源 44.1%, 其他源 3.9%	[10]
四川省	2012	99.48	2.12	畜禽养殖、氮肥施用、人体排泄、工业生产、生物质燃烧、污水和垃圾处理、交通源	畜禽养殖 62.31%, 氮肥施用 23.14%, 人体排泄 6.39%	[12]
海峡西岸经济区	2009	27.33	2.00	人体排放、养殖业、化肥施用、化肥生产、生物质燃烧、垃圾焚烧	养殖业 52.94%、化肥施用 20.41%、人体排放 15.05%	[32]
湖南省	1991	45.22	1.5	畜禽、氮肥施用、人粪便、氮肥生产	畜禽 64%, 氮肥施用 18%, 人粪便 17%, 氮肥生产 1%	[1]
湖南省	1992	48.70	2.30	动物、氮肥施用、工业生产、人体	动物 52%, 氮肥施用 33%, 人体 13%	[8]
湖南省	2006	84.67	4.37	牲畜养殖、化肥施用、工业生产、人体排放、生物质燃烧	牲畜养殖 41.14%, 化肥施用 54.01%, 人体排放 4.01%	[28]
长株潭城市群	2013	7.27	2.59	农田生态系统、畜禽养殖、生物质燃烧、人体粪便、废物处理、机动车尾气	畜禽养殖 58.60%, 农田生态系统 29.73%, 人体排泄 5.36%	本研究

从排放强度上来看,关于湖南省的氨排放强度,本研究得到的长株潭地区平均氨排放强度为 2.59 t·km⁻²,高于文献[1,8]的结果,低于董文煊等^[28]的研究结果。与国内外其他研究结果对比来看,本研究结果略高于日本^[29] (1.10 t·km⁻²) 和欧洲^[30] (1.27 t·km⁻²),接近四川省^[12] 排放强度 (2.12 t·km⁻²),低于长三角^[10] (4.20 t·km⁻²) 和广东省^[26] (3.69 t·km⁻²)。

从不同源强的贡献率上来看,本研究中长株潭地区的畜禽养殖源氨排放贡献率达到了 58.60%,与珠三角^[11] (62.1%)、四川省^[12] (62.31%) 和湖南省^[1] (64%) 的研究结果相近,以氮肥施用为主的农田生态系统氨排放贡献率为 29.73%,也与珠三角^[11] (21.7%)、四川省^[12] (23.14%) 和湖南省^[1] (18%) 的研究结果相近。

2.5 氨排放清单的不确定性分析

排放源清单估算分析过程中不确定性来源^[33]主要包括活动水平数据的缺失和排放系数的本地化程度不足等。本研究中,畜禽养殖业活动水平数据主要来自相关统计年鉴,集约化畜禽养殖场信息来自现状调研,排放因子按照不同粪便管理阶段分别计算,其不确定性相对较小。排放系数选取文献[22]中推荐的计算方法依据本地化的参数计算得到,不确定性较小。氮肥施用是本研究中主要的不确定来源,氮肥施用量采用自上而下进行分配,没有根据不同氮肥划分,排放因子是折算的平均值,故其不确定性较大。人体排放、污水处理和固废填埋、道路移动源均采用自下而上的方法进行估算,活动水平数据相对较为可靠,不确定性主要来自于排放系数。生物质燃烧中家用薪材和秸秆的燃烧量是通过估算得出,然后采用自上而下的方法进行分配,存在着一定的误差。此外,秸秆露天燃烧、森林火灾和草原火灾的燃烧量计算中的相关参数和排放系数的选取,由于缺少本地实测数据,只能参考国外或其他地区研究结果,森林火灾活动水平是按照各县市区的林地面积对湖南省的火灾森林面积分配得到的,这也增大了估算结果的不确定性。

本研究采用 Monte Carlo 方法对不同人为源及总排放清单的不确定性进行分析,结果如表 7 所示。

表 7 长株潭地区人为源氨排放清单不确定性
Table 7 Uncertainties of anthropogenic ammonia emission inventory for Chang-Zhu-Tan region

排放源	95% 置信区间不确定度范围/%
农田生态系统	氮肥施用 -71.96 ~ 77.57
	土壤本底 -70.59 ~ 82.35
	固氮植物 -13.94 ~ 16.34
	秸秆堆肥 -51.22 ~ 55.49
畜禽养殖	-23.70 ~ 22.84
生物质燃烧	森林火灾 -33.33 ~ 33.33
	秸秆燃烧 -56.02 ~ 54.85
化工生产	合成氨 -25.00 ~ 25.00
	氮肥生产 -37.50 ~ 25.00
人体排放	-60.00 ~ 77.50
废物处理	污水处理 -32.99 ~ 39.81
	固废填埋 -58.33 ~ 66.67
	烟气脱硝 -36.51 ~ 48.15
道路移动源	-39.21 ~ 60.48
总排放清单	-15.53 ~ 13.89

总体而言,估算过程中不确定性的主要来源为活动水平数据的选取和排放因子的选取。从 Monte Carlo 模拟结果来看,农田生态系统、人体排放、废物处理和生物质燃烧不确定度较高,畜禽养殖和化

工生产的不确定度较低。农田生态系统主要是由于基础统计数据中不同氮肥施用比例、含氮百分比和秸秆堆肥比例过于笼统,不够明确造成的,人体排放是由于农村人口未使用厕所的人数不明确造成的,废物是由于排放因子过于老化和单一造成,生物质燃烧是由于湖南地区秸秆露天焚烧和家庭燃烧基础数据不够全面及部分排放因子单一造成的。

2.6 氨排放清单的空间分配

2.6.1 空间分配方法

空间分配是在空间特征表征数据的基础上采用基于 GIS 的计算方法^[34]将一类污染源的排放量分配到对应的网格中。本研究基于长株潭地区污染源空间分布规律和空间特征表征数据,建立了 3 km × 3 km 的长株潭地区网格化人为源氨排放清单。点源的空间分配直接根据排放源的经纬度将排放量分配到点源所在的网格中,面源和线源根据空间表征数据建立与模型区域相一致的空间分配因子进行分配。常见的空间特征表征数据包括人口密度分布数据、土地利用分类数据、道路网数据等。

2.6.2 空间分布特征

基于上述空间分配方法,得到了长株潭地区 2013 年人为源氨排放空间分布,如图

禽养殖场,因此城区周边区域的氨排放量相对较高。

3 结论

(1)本研究通过收集汇总长株潭城市群各区县的农业、工业生产基础信息以及生活能源消耗数据,建立了2013年长株潭城市群人为源氨排放清单。长株潭地区2013年人为源氨排放总量为72.62 kt,排放强度为 $2.59 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 。

(2)畜禽养殖和农田生态系统是长株潭地区氨排放的主要来源,排放量分别为42.60 kt和21.54 kt,分别占氨排放总量的58.66%和29.66%。畜禽源中,猪和牛是最大的排放源,分别占畜禽养殖氨排放总量的29.52%和26.70%。

(3)宁乡县、湘潭县和浏阳市为排放量最大的3个区县,石峰区和岳塘区为排放强度最大的两个县区。无论从排放量和排放强度上看,宁乡县和湘潭县都居前列。

(4)从空间分布特征来看,主城区氨排放量较小,城区周边排放量较大,排放量较大的网格主要是大型点源。

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.
- [2] Goebes M D, Strader R, Davidson C. An ammonia emission inventory for fertilizer application in the United States [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(18): 2539-2550.
- [3] 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.
- [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.
- [5] 郑君瑜,王水胜,黄志炯,等.区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用[M].北京:科学出版社,2014.
- [6] European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2009[EB/OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>, 2009-06-19.
- [7] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, et al. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000 [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108 (D21): 8809.
- [8] 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.
- [9] Huang X, Song Y, Li M M, et al. A high-resolution ammonia emission inventory in China[J]. Global Biogeochemical Cycles, 2012, 26(1): GB1030.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 冯小琼,王幸锐,何敏,等.四川省2012年人为源氨排放清单及分布特征[J].环境科学学报,2015,35(2):394-401.
- [13] 杨晴,张凯,柴发合,等.长株潭城市群秋季大气颗粒物及其重金属元素污染特征[J].环境科学研究,2013,26(6):590-597.
- [14] 湖南农村经济调查队.2014湖南农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014.91-141.
- [15] 湖南省林业厅.2014年全省林业灾害控制情况[EB/OL]. http://www.hnforestry.gov.cn/MoreList_Infoshow.aspx?ID=425580, 2015-04-13.
- [16] 湖南省统计局.2014湖南统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2014.625-676.

CONTENTS

Investigation of Carbonaceous Airborne Particles by Scanning Proton Microprobe	BAO Liang-man, LIU Jiang-feng, LEI Qian-tao, <i>et al.</i> (1)
Atmospheric Polybrominated Diphenyl Ethers in Eight Cities of China; Pollution Characteristics and Human Exposure	LIN Hai-tao, LI Qi-lu, ZHANG Gan, <i>et al.</i> (10)
Light Absorption Properties of Water-Soluble Organic Carbon (WSOC) Associated with Particles in Autumn and Winter in the Urban Area of Guangzhou	 HUANG Huan, BI Xin-hui, PENG Long, <i>et al.</i> (16)
Investigations on Sulfur and Carbon Isotopic Compositions of Potential Polluted Sources in Atmospheric PM _{2.5} in Nanjing Region	SHI Lei, GUO Zhao-bing, JIANG Wen-juan, <i>et al.</i> (22)
Pollution Level and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} in Nanjing Before and After the Youth Olympic Games	 ZHANG Heng, ZHOU Zi-qiang, ZHAO Hai-yan, <i>et al.</i> (28)
Enrichment Characteristics and Source Analysis of Metal Elements in PM _{2.5} in Autumn in Nanchang City	LIN Xiao-hui, ZHAO Yang, FAN Xiao-jun, <i>et al.</i> (35)
Contributions of Factors That Influenced the Visibility In North Suburb of Nanjing In Winter and Spring	MA Jia, YU Xing-na, AN Jun-lin, <i>et al.</i> (41)
A Case Study on the Rapid Cleaned Away of PM _{2.5} Pollution in Beijing Related with BL Jet and Its Mechanism	LIAO Xiao-nong, SUN Zhao-bin, HE Na, <i>et al.</i> (51)
Characteristics of Chemical Components in PM _{2.5} from the Coal Dust of Power Plants	WANG Yu-xiu, PENG Lin, WANG Yan, <i>et al.</i> (60)
Improvement of Air Quality During APEC in Beijing in 2014	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (66)
Evaluation on the Effectiveness of Vehicle Exhaust Emission Control Measures During the APEC Conference in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (74)
Chemical Compositions and Sources Apportionment of Re-suspended Dust in Jincheng	WANG Yan, PENG Lin, LI Li-juan, <i>et al.</i> (82)
Characteristic of Particulate Emissions from Concrete Batching in Beijing	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, ZHONG Lian-hong, <i>et al.</i> (88)
Anthropogenic Ammonia Emission Inventory and Its Spatial Distribution in Chang-Zhu-Tan Region	YOU Xiang-yu, LIU Zhan, ZHANG Qing-mei, <i>et al.</i> (94)
Seasonal Variability of Greenhouse Gas Emissions in the Urban Lakes in Changchun, China	WEN Zhi-dan, SONG Kai-shan, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (102)
Absorption Characteristics of Particulates and CDOM in Waters of Chagan Lake and Xinlicheng Reservoir in Autumn	LI Si-jia, SONG Kai-shan, ZHAO Ying, <i>et al.</i> (112)
Hydrochemical Characteristics and Influencing Factors in Different Geological Background; A Case Study in Darongjiang and Lingqu Basin, Guangxi, China	 SUN Ping-an, YU Shi, MO Fu-zhen, <i>et al.</i> (123)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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)

2016年1月15日 第37卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 1 Jan. 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	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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行