

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第3期

Vol.39 No.3

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角典型站点冬季大气 $PM_{2.5}$ 中 OC、EC 污染特征	康晖, 朱彬, 王红磊, 施双双 (961)
南京北郊能见度变化中二次无机盐消光的重要作用	于超, 于兴娜, 赵天良, 张蕾, 马国煦, 王咏薇 (972)
常州夏冬季 $PM_{2.5}$ 中无机组分昼夜变化特征与来源解析	刘佳澍, 顾远, 马帅帅, 苏亚兰, 叶招莲 (980)
天津市春季道路降尘 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 中的元素特征	王士宝, 姬亚芹, 李树立, 张伟, 张蕾 (990)
北京、新乡夏季大气颗粒物中重金属的粒径分布及人体健康风险评价	张鑫, 赵小曼, 孟雪洁, 王小颖, 杨帅, 许晓鹏, 王书亭, 谷超, 王梦蕾, 任浩, 张子洋, 闫广轩, 曹治国, 王跃思 (997)
山西省武乡县城大气 $PM_{2.5}$ 痕量重金属的生态和健康风险分析	郭墨霞, 耿红, 张晋宏, 周欢, 彭妍, 翟帅莹, 李金磊, 陈雨杉 (1004)
隧道中机动车排放颗粒物及无机元素特征	李凤华, 张衍杰, 张静, 袁远, 吴琳, 毛洪钧 (1014)
河南省 2013 年大气氨排放清单建立及分布特征	王琛, 尹沙沙, 于世杰, 卫军华, 谷幸珂, 官密秘, 张瑞芹 (1023)
城市道路行道树池裸地扬尘排放特征	李贝贝, 秦建平, 祁丽荣, 杨涛, 曲松, 石爱军, 黄玉虎 (1031)
DOC 和 CDPF 对柴油公交车颗粒物组分影响	楼狄明, 耿小雨, 宋博, 谭丕强, 胡志远, 刘继跃 (1040)
南水北调中线工程总干渠河南段原水中消毒副产物前体物变化规律	黄飘逸, 徐斌, 郭东良 (1046)
广州市流溪河水体中 6 种内分泌干扰素时空分布特征与环境风险	樊静静, 王赛, 唐金鹏, 戴玉女, 王林, 龙胜兴, 何文祥, 刘帅磊, 王佳希, 杨扬 (1053)
西藏拉萨河流域河水主要离子化学特征及来源	张清华, 孙平安, 何师意, 文化, 刘明隆, 于爽 (1065)
太子河下游河流硝酸盐来源及其迁移转化过程	李艳利, 杨梓睿, 尹希杰, 孙伟 (1076)
海南岛北部海湾沉积物重金属来源、分布主控因素及生态风险评价	曾维特, 杨永鹏, 张东强, 刘兵, 张航飞, 吴多誉, 王晓林 (1085)
天津农田重金属污染特征分析及降雨沥浸影响	许萌萌, 刘爱凤, 师荣光, 蓝靖, 田永, 赵宗山 (1095)
太湖出入湖河道与湖体水质季节差异分析	查慧铭, 朱梦圆, 朱广伟, 杨周生, 许海, 沈睿杰, 钟春妮 (1102)
春季敏感时期三峡水库典型支流沉积物-水界面氮释放特性	李欣, 宋林旭, 纪道斌, 刘德富, 苏青青, 吕林鹏, 王雄, 黄亚男, 吴庆 (1113)
不同湖泊入湖河流沉积物可转化态氮的空间分布及其影响因素	周睿, 袁旭音, Marip Ja Bawk, 于辉辉, 章琪, 唐豆豆 (1122)
水文气象因素对东南山区水库硅藻异常增殖的影响	孙祥, 朱广伟, 笪文怡, 余茂蕾, 杨文斌, 朱梦圆, 许海, 国超旋, 余丽 (1129)
深水型水库热分层诱导水质及真菌种群结构垂向演替	商潘路, 陈胜男, 黄廷林, 张海涵, 康鹏亮, 王跃, 刘珍芳, 刘彤彤 (1141)
太湖竺山湾春季浮游细菌群落结构及影响因素	薛银刚, 刘菲, 孙萌, 江晓栋, 耿金菊, 滕加泉, 谢文理, 张皓, 陈心一 (1151)
分层型水源水库沉积物需氧量特性	苏露, 黄廷林, 李楠, 张海涵, 文刚, 李扬, 陈家炜, 王晓江 (1159)
污水氮浓度和 NH_4^+ / NO_3^- 比对粉绿狐尾藻去氮能力和植物体氮组分的影响	马永飞, 杨小珍, 赵小虎, 胡承孝, 谭启玲, 孙学成, 吴金水 (1167)
水体氮磷营养负荷对苦草净化能力和光合荧光特性的影响	周裔文, 许晓光, 韩睿明, 周晓红, 冯德友, 李致春, 王国祥 (1180)
化学预氧化耦合生物锰氧化对水中有机物的去除	菅之奥, 常洋洋, 王立新, 梁金松, 柏耀辉 (1188)
铜铁氧体法处理模拟染料废水	韩志勇, 韩昆, 郝昊天, 于建伟, 石宝友, 庄媛, 孔岩 (1195)
草酸根对 α -FeOOH 多相 UV-Fenton 催化能力的增效实验	苗笑增, 戴慧旺, 陈建新, 蒋柏泉, 龚炯 (1202)
生物质基纳米 HZO 杂化材料的研制及其除磷特性	邱慧, 秦智峰, 刘凤玲, 梁晨, 宋明霞, 许正文, 管益东 (1212)
铁锰氧化物/生物炭复合材料对水中硝酸根的吸附特性	郑晓青, 韦安磊, 张一璇, 史良干, 张潇 (1220)
PAAm/HACC 半互穿网络水凝胶的制备及其对水中腐殖酸的吸附性能	刘泽琨, 周少奇, 马福臻 (1233)
二氧化钛对地下水砷的吸附及再生回用	马文静, 阎莉, 张建锋 (1241)
一体式絮体-超滤工艺去除腐殖酸效能与机制	李文江, 于莉芳, 苗瑞, 马百文 (1248)
中国城镇污水处理厂温室气体排放时空分布特征	闫旭, 邱德志, 郭东丽, 齐星昊, 郑仕侃, 程轲, 孙剑辉, 刘建伟 (1256)
硝化耦合 CANON 的铁锰氮生物净化工艺启动与运行	李冬, 曹瑞华, 杨航, 王艳菊, 吕赛赛, 张杰 (1264)
纤维载体的生物膜 CANON 反应器的启动特性	顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 黄勇, 尤星怡, 金润, 张文静, 董石语 (1272)
DO/NH_4^+-N 实现短程硝化过程中生物膜特性	赵青, 卞伟, 李军, 王文啸, 孙艺齐, 梁东博, 张舒燕 (1278)
AUSB 中置曝气对 CANON 颗粒污泥工艺的影响	成朔, 李冬, 张杰, 李帅, 曹瑞华, 吕赛赛 (1286)
有机碳源对启动及运行 CANON 颗粒污泥工艺的影响	李冬, 王艳菊, 吕育锋, 曹瑞华, 李帅, 张杰 (1294)
中试一体式部分亚硝化-厌氧氨氧化反应器的启动与区域特性	周正, 王凡, 林兴, 董石语, 朱强, 李祥, 黄勇 (1301)
硝化液回流比对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷效能的影响	吕亮, 尤雯, 张敏, 吴鹏, 沈耀良 (1309)
磁性纳米铁对厌氧颗粒污泥特性及其微生物群落的影响	宿程远, 郑鹏, 卢宇翔, 袁秋红, 赵力剑, 廖黎明, 黄智 (1316)
好氧颗粒污泥系统中溶解性微生物代谢产物的特征及主要组分	杨丹, 刘东方, 杜丽琼, 黄文力 (1325)
环丙沙星对膜生物反应器中微生物群落及抗性基因的影响	戴琦, 刘锐, 梁玉婷, 舒小铭, 徐灿灿, 陈吕军 (1333)
CEM-UF 组合膜-硝化/反硝化系统处理低 C/N 废水及种群结构分析	邢金良, 张岩, 陈昌明, 张博康, 郭威, 马翔山 (1342)
磷对混养反硝化污泥活性和微生物群落结构的影响	王佩琦, 周伟丽, 何圣兵, 黄荣振 (1350)
甲烷厌氧氧化协同硝酸盐还原菌群驯化及其群落特征	薛松, 张梦竹, 李琳, 刘俊新 (1357)
城市尾水排海过程中微生物及主要致病菌扩散规律	徐爱玲, 牛成洁, 宋志文, 郎秀臻, 郭明月 (1365)
氧四环素的微生物燃料电池处理及微生物群落	严伟富, 肖勇, 王淑华, 丁蕊, 赵峰 (1379)
近 30 年余干县耕地土壤碳氮比时空变异特征及其影响因素	江叶枫, 钟珊, 李婕, 王澜珂, 卞荣禧 (1386)
中宁枸杞土壤碳组分分布特征及其空间异质性	王幼奇, 赵云鹏, 白一茹, 张兴 (1396)
滨海滩涂围垦区不同围垦年限土壤酶活性变化及其与理化性质关系	解雪峰, 濮励杰, 王琪琪, 朱明, 王小涵 (1404)
青藏高原中东部表层土壤中多环芳烃的分布特征、来源及生态风险评价	周雯雯, 李军, 胡健, 李兆洲 (1413)
基于 UNMIX 模型的矿区周边农田土壤金属源解析	卢鑫, 胡文友, 黄标, 李元, 祖艳群, 湛方栋, 卞荣禧 (1421)
铁锰双金属材料在不同 pH 条件下对土壤 As 和重金属的稳定化作用	费群, 阎秀兰, 李永华 (1430)
我国 3 个城市人体血清中新型溴代阻燃剂水平趋势及分布特征	王庆华, 袁浩东, 金军, 李鹏, 马玉龙, 王英 (1438)
《环境科学》征订启事 (979) 《环境科学》征稿简则 (996) 信息 (1022, 1064, 1293)	

河南省 2013 年大气氨排放清单建立及分布特征

王琛, 尹沙沙*, 于世杰, 卫军华, 谷幸珂, 宫密密, 张瑞芹

(郑州大学化学与分子工程学院, 环境科学研究院, 郑州 450001)

摘要: 根据收集到的城市尺度排放源活动水平数据, 采用排放因子法, 基于“自上而下”和“自下而上”相结合的方式建立了河南省 2013 年大气氨排放清单, 利用 GIS 技术进行 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 空间网格分配。结果表明, 河南省 2013 年大气氨排放总量为 1 035.3 kt, 排放强度为 $6.4\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$; 畜禽养殖和氮肥施用为主要氨排放源, 分别占总排放量的 52.71% 和 31.53%; 畜禽养殖中肉牛、蛋禽和山羊为主要贡献源, 分别占畜禽养殖排放总量的 34.98%、16.63% 和 14.02%; 不同城市排放源构成和排放强度不同; 南阳市、周口市、商丘市和驻马店市是排放量较大的地级市, 分别占全省总量的 11.53%、9.84%、9.62% 和 9.57%; 濮阳市和漯河市排放强度最大, 分别达到 $10.7\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 和 $10.2\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$; 空间分布特征显示, 中东部地区排放量较高, 西部地区相对较低, 排放量较大的地区集中在平原地区和人口密集区域。

关键词: 氨; 畜禽养殖; 氮肥施用; 排放强度; 网格化

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)03-1023-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706103

A 2013-based Atmospheric Ammonia Emission Inventory and Its Characteristic of Spatial Distribution in Henan Province

WANG Chen, YIN Sha-sha*, YU Shi-jie, WEI Jun-hua, GU Xing-ke, GONG Mi-mi, ZHANG Rui-qin

(Research Institute of Environmental Science, College of Chemistry and Molecular Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Based on the best available activity data at a city level from top down and bottom up methods, a 2013-based emission inventory of NH_3 was established for the Henan Province using an emission factors method. The $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ spatial gridded distribution was carried out by using GIS technology. The results showed that the total amount of atmospheric NH_3 emission in Henan Province in 2013 was 1 035.3 kt, and the average emission intensity reached levels of $6.4\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$. Livestock and nitrogen fertilizer applications were the top two emission sources, accounting for 52.71% and 31.53% of the total emissions, respectively. Beef, laying hen, and goats were the main contributors in the livestock category, accounting for 34.98%, 16.63%, and 14.02% of the total emissions, respectively. There were different characteristics between emission source contributions and emission intensities in each city. Nanyang, Zhoukou, Shangqiu, and Zhumadian were the prefecture-level cities with large emissions, accounting for 11.53%, 9.84%, 9.62%, and 9.57% of the total amount in Henan Province, respectively. The NH_3 emission intensities of Puyang and Louhe were larger than those of other cities, reaching up to $10.7\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ and $10.2\text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, respectively. The spatial distribution revealed that emissions in the middle eastern region were relatively higher; whereas, the western region emissions were relatively low. The areas with high emissions were concentrated in the plains and densely populated areas.

Key words: ammonia; livestock; nitrogen application; emission intensity; gridded allocation

氨(NH_3)是大气中唯一的碱性气体, 是参与 N 的生物地球化学循环过程重要组成部分^[1], 对酸沉降、能见度、土壤酸化和富营养化等环境问题有直接或间接影响^[2]。 NH_3 与大气中二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)等酸性气体反应形成二次无机气溶胶, 如硫酸铵 [NH_4HSO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] 和硝酸铵 (NH_4NO_3) 等, 是大气细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 的重要组成部分, 更易吸收水汽, 具有较高化学活性, 在云和降水形成、大气氧化性和颗粒物光学性质等方面起重要作用。此外, 欧洲和美国地区研究表明, 在 SO_2 和 NO_x 排放逐渐减少的地区协同控制氨对颗粒物浓度的降低起到重要作用^[3]。伴随大气污染问题的发生, 对氨排放的研究受到了学者广泛关注。

氨的来源有自然源和人为源, 自然源通常指土壤本底挥发、固氮植物释放和秸秆堆肥, 人为源则分为农业源和非农业源。农业源多指畜禽排泄粪尿和氮肥施用氨挥发, 非农业源混杂多样, 涉及人体、野生动物、生物质燃烧、污水处理、合成氨和氮肥生产、交通源以及燃料燃烧等^[4]。国外学者对氨排放清单研究工作开展较早且系统^[5], 有较为全面源分类, 活动水平数据精细, 如按照畜禽饲养年

收稿日期: 2017-06-12; 修订日期: 2017-08-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0201505); 郑州大学青年教师专项科研启动基金项目(F0001319)

作者简介: 王琛(1991~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气排放源清单及空气质量模型, E-mail: wangchenzzu@126.com

* 通信作者, E-mail: shashayin@zzu.edu.cn

龄阶段分布,有本地化实测排放系数,并明确到不同养殖模式.早期的研究就进行高分辨空间处理并应用到空气质量模式和控制对策研究中.相对而言,我国1997年左右开始关注农业源氨排放,如王文兴等^[6]、孙庆瑞等^[7]对国家尺度氨排放尝试研究,但源分类相对单一.2005年后国内学者相继开展较多研究,细化排放源分类,逐步建立全国、区域和城市尺度清单.如董文煊等^[8]分析了全国氨的排放和历史变化,Huang等^[9]对农业氨排放因子进行修正,识别2006年全国农业源氨排放特征;尹沙等^[10]、董艳强等^[11]、冯小琼等^[12]和尤翔宇等^[13]分别建立了珠三角、长三角、四川省和长株潭地区氨排放清单;近几年城市尺度的氨排放清单也陆续开展研究,如西安市^[14]和苏州市^[15]等.

河南省地处中原腹地,是我国重要农业大省,2013年农林牧渔业总产值7198亿元,占全国7.5%,农业总产值4202亿元,占全国8.2%,粮食产量5713.69万t,占全国9.5%^[16],畜产品产量近几年一直位居全国首位.然而,目前河南省也面临着以PM_{2.5}为代表的大气复合污染,辖区内城市(如郑州、安阳、焦作和新乡等)空气质量排名非常靠后.对造成PM_{2.5}污染的前体物,特别是基于自下而上方式的氨排放清单及其特征识别研究仍缺失.早期学者对华北平原的研究仅涵盖河南省部分城市,一方面分类单一仅考虑农业源,另一方面清单需及时更新和进行空间分配^[2].

因此,本研究以2013年为基准年,收集各市较为详实的活动水平数据,结合国内外研究成果,参考文献[17],以“自下而上”为主,并辅助“至上而下”的方式,建立河南省大气氨排放清单.分析基于城市尺度水平的氨排放和贡献特征,并基于高分辨率空间分配因子识别空间特征,以期为研究区域大气污染问题提供有力的数据支持和科学参考.

1 材料与方法

1.1 研究区域与对象

研究区域为河南省,包括郑州市、开封市、洛阳市、平顶山市、安阳市、鹤壁市、新乡市、焦作市、濮阳市、许昌市、漯河市、三门峡市、南阳市、商丘市、信阳市、周口市、驻马店市和1个省直管市济源市.排放源包括畜禽、氮肥施用源、工业生产、人体排放、生物质燃烧、垃圾处理、燃料燃烧、废物处理和道路移动源等人为源,以及土壤本底、

固氮植被和秸秆堆肥自然源.

1.2 估算方法和数据来源

根据各城市各类排放源活动水平信息,结合基于排放源调研获取的排放因子进行估算,计算公式为:

$$E_{i,j} = \sum_j (A_{i,j} \times EF_{i,j} \times \gamma) \quad (1)$$

式中, i 为地级市, j 为排放源, E 为排放量, A 为活动水平, EF 为排放系数, γ 为氮-大气氨转换系数,针对畜禽养殖业,取1.214,其它行业取1.0.

由于不同排放源在活动水平数据、排放因子和参数上各有不同,以下分别对数据来源进行介绍.

1.2.1 畜禽养殖

考虑统计年鉴对畜禽种类划分,本研究畜禽种类分为12类.对饲养周期通常大于1a的畜禽,如奶牛、肉牛、母猪、山羊、绵羊、蛋禽等,选取统计年鉴中年末存栏数统计口径,小于1a的则以出栏数为基准.由于统计年鉴缺少禽蛋年底存栏统计,参考公式(2)估算^[4]:

$$A_i = \frac{O_i}{M_i \times N_i} \times 10^6 \quad (2)$$

式中, A 为家禽年末存栏数,个; i 为蛋鸡或蛋鸭; O 为禽蛋总产量,t; M 为平均单个禽蛋质量,g·个⁻¹; N 为家禽年平均产蛋数,个.

畜禽种类、养殖方式、排泄物管理方式和形态及气温条件都对N的排放量有影响,通常畜禽养殖排泄物有户外、圈舍内、粪便储存处理和后续施肥这4个管理阶段^[18],畜禽养殖方式主要有散养、集约化及放牧这3类,综合考虑文献[17]中对应推荐值,并参考文献[18~20]的选取标准,将数据更新至2013年应用于本研究.散养和放牧养殖取畜禽排泄物在室内和户外各占50%,集约化养殖室内和户外分别占100%和0^[17].不同粪便管理阶段铵态氮(TAN)量计算公式如下:

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

$$A_1 = TAN_{\text{室内}} \times X$$

$$A_2 = A_1 - A_1 \times EF_1$$

$$A_3 = [A_2 - A_2 \times EF_2 - A_2 \times (EF_{2,N_2O} + EF_{2,NO} + EF_{2,N_2})] \times (1 - R) \quad (3)$$

式中, A 为不同管理阶段铵态氮量,1、2、3分别代表圈舍、储存和施肥各阶段, EF 为排放因子, X 为液态或固态粪肥占总粪肥质量比重,散养畜禽取11%,集约化养殖畜类取50%,禽类取0,放牧畜禽均取0. R 为粪肥用作生态饲料比重,通常仅考

虑集约化养殖过程(牛、羊取20%，猪、鸡分别为30%、50%，其他畜禽取0)^[17]。

1.2.2 氮肥施用

研究获取到各市总氮肥施用折纯量，考虑不同氮肥氨排放因子不同，根据文献[9，21]中全国各省主要类型氮肥施用比例进行计算，如表1。

氮肥施用后氨的挥发与氮肥种类、环境温度、降雨、酸碱度和施肥方式都有关系^[21]，排放系数需根据基准值进行调整，见公式(4)：

$$EF = EF_{\text{基准}} \times a \times b \tag{4}$$

式中，EF_{基准}为基准排放系数，a为施肥率校正系

数，b为施肥方式校正系数。

EF_{基准}由土壤地表平均温度和土壤种类确定，河南省年平均气温12.8~15.5℃，大部分土壤呈中性至微碱性，小部分土壤为微酸性，极小部分土壤呈碱性或酸性^[22]；每亩耕地施肥高于13 kg氮的地区，校正系数a为1.18，低于13 kg氮时为1；现有生产条件和施肥措施改进，高肥力地区要降低基肥比例增加追肥比例，考虑农作物以小麦、玉米为主，根据文献[23]，各作物不同基追比算取平均值，碳酸氢铵基追比1:0.48，尿素和其他氮肥基追比1:3.46^[23]。

表1 不同氮肥的施用比例及基准排放因子/%

Table 1 Application of various N fertilizers and the standard emission factors/%					
氮肥种类	尿素	碳氨	硝铵	硫铵	其他
施用比例	69 ^[9]	26 ^[9]	0.89	2.71	1.40
排放因子	14.25	20.10	2.15 ^[21]	6.45 ^[21]	2.15

1.2.3 生物质燃烧

生物质燃烧主要包括薪柴家用燃烧、秸秆家用燃烧、秸秆露天燃烧和森林大火这4种形式，基于燃烧的生物质量进行估算。前两者研究获取到2011年全省薪柴和秸秆家用燃烧量，采取2011年与2013年播种面积变化比例推估到目标年。其中，薪柴家用根据各市农村人口，秸秆家用根据各市农作物耕地面积为权重系数分配至城市尺度。

秸秆露天燃烧，采用基于各城市不同农作物产量进行计算，见公式(5)：

$$A_j = \sum_j P_j \times N_j \times R_j \times D_j \times Y \tag{5}$$

式中，A为秸秆焚烧量，t；j为农作物种类；P为农作物产量；N为农作物谷草比；R为秸秆焚烧比例，

一般取20%；Y为焚烧效率，一般取90%^[24]。其他参数如表2所示。

森林大火燃烧消耗生物量计算公式为：

$$A = AR \times D \times Y \tag{6}$$

式中，AR为火灾受害面积，hm²；D为森林干生物量，暖温带55 t·hm⁻²；Y为燃烧率，一般取50%。

本研究获取到省级尺度的火灾受害面积，考虑河南省地区林地面积较小，每年火灾情况不一，排放量最终基于各市林地面积比分配到各市。

1.2.4 化工生产

化工生产氨排放主要来自合成氨和化肥生产，各市生产数据来自河南省统计年鉴^[26]，排放因子选自文献[17]。如表3所示。

表2 秸秆露天焚烧相关参数

Table 2 Parameters used in the calculation of the open burning of straw									
农作物	稻谷	小麦	玉米	大豆	红薯	花生	棉花	薪柴	森林大火
排放因子/g·kg ⁻¹	0.53	0.37	0.68	0.53	0.53	0.53	0.53	1.30	2.90
谷草比	1.32	1.72	1.27	1.50	1.50	1.50	1.50	/	/
干燥比 ^[25]	0.98	0.98	0.87	0.91	0.45	0.94	0.83	/	/

表3 化工生产及废物处理氨排放因子

Table 3 Ammonia emission factors for chemical production and waste treatment					
源类别	合成氨 /kg·t ⁻¹	化肥生产 /kg·t ⁻¹	污水处理厂 /g·m ⁻³	垃圾填埋 /kg·t ⁻¹	垃圾焚烧 /kg·t ⁻¹
排放因子	0.01	5.00	0.003	0.56	0.21

1.2.5 废物处理

污水处理过程氨排放主要来自活性污泥微生物吸收和消化污水营养处理过程^[10]，垃圾无害化处理包括垃圾填埋、焚烧和堆肥，我国目前主要依靠

填埋和焚烧两种方式^[27]。2013年河南省生活垃圾无害化卫生填埋处理量为607.8万t，焚烧处理量117.6万t，分别占垃圾处理量的83.8%和16.2%，按此比例将总量采用自上而下方式分配至各市。

1.2.6 人体排放

人体氨排放主要考虑粪尿排泄挥发,基于人口数量进行估算.将城市常住人口分为城镇人口和农村人口,城镇人口排放暂不估算,避免与污水处理氨排放重复计算.考虑农村无害化厕所普及率,对农村人口粪尿氨排放估算,排放系数取 $0.787\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{a})^{-1}$.

1.2.7 道路移动源

道路移动源基于分车型保有量、行驶里程和排放因子进行估算,见公式(7).保有量来自河南省

统计年鉴对各县市的统计,结合车队燃料类型分配比例^[28]进一步细分,得到分燃料类型保有量,分车型行驶里程数据参考文献[29]对本地调研数据.排放因子见表4.

$$E_i = \sum_j 10^{-6} P_j \times M_j \times ef_j \tag{7}$$

式中, E 为排放量, t ; i 为地区; j 为车型分类; P 为分车型机动车保有量,辆; M 为分车型机动车年均行驶里程, km; ef 为分车型排放因子, $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$.

表4 道路移动源排放因子及行驶里程

Table 4 Ammonia emission factors and vehicle kilometers for the travel of on-road mobile sources

机动车	轻型汽油车	重型汽油车	轻型柴油车	重型柴油车	摩托车
排放因子/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{辆})^{-1}$	0.026	0.028	0.004	0.017	0.007
行驶里程/km	39 000	64 000	39 000	64 000	13 000

1.2.8 燃料燃烧

燃料燃烧根据燃料类型和使用部门,主要涉及工业和居民生活燃煤、燃油和天然气燃烧等.民用燃料燃烧量根据统计年鉴获取河南省年人均生活能源

消费量,结合各县市常住人口数估算.工业燃料燃烧量由河南省能源消耗总量除去年生活能源消耗量计算得出,根据各县市第二产业总值自上而下分配至城市尺度水平.排放因子根据文献[19]调整,如表5所示.

表5 燃料燃烧氨排放因子

Table 5 Ammonia emission factors for fuel combustion

项目	工业燃煤 $/\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	工业燃油 $/\text{kg}\cdot\text{kL}^{-1}$	工业天然气 $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	生活燃煤 $/\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$	生活天然气 $/\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$
排放因子	0.02	0.13	51.30	0.90	320.51

1.2.9 自然源

土壤有机质中微生物活动会带来氨排放,农作物根茬和残留秸秆等有机质也会向大气排放氨.活动水平数据为各县市可耕地面积,土壤土地氨挥发系数为 $1.8\text{ kg}\cdot(\text{hm}\cdot\text{a})^{-1}$.

固氮植物能将大气中氮气转化为氨,排放量估算基于固氮植物种植面积,本研究主要考虑大豆和花生,排放系数分别为 $1.05\text{ kg}\cdot(\text{hm}\cdot\text{a})^{-1}$ 和 $1.2\text{ kg}\cdot(\text{hm}\cdot\text{a})^{-1}$.

秸秆中富含有机质、氮磷钾和微量元素,可用做农业生产有机肥源,研究基于秸秆堆肥量进行估算,其中秸秆产生量基于公式(8)求得.本研究考虑河南省秸秆堆肥比例为 15.6% ^[30].排放因子(以秸秆计)为 $0.32\text{ kg}\cdot\text{t}^{-1}$.

$$A = P_j \times N_j \times Y \tag{8}$$

式中, A 为秸秆焚烧量, t ; j 为农作物种类; P 为 j 种农作物产量; N 为 j 种农作物谷草比; Y 为 j 种农作物废弃秸秆堆肥比例.

2 结果与讨论

2.1 河南省大气氨排放清单

2013年河南省各县市氨排放清单结果如表6所

示,排放源分担率如图1所示.氨排放总量为 $1\,035.3\text{ kt}$,其中,畜禽养殖为最大排放源,达排放总量的 52.7% .其次为氮肥施用,贡献全省 31.5% 的氨排放,两者加和达总排放的 85% 以上,与其他研究结果相同.而非农业源排放量也不可忽视,特别是对城市地区排放贡献较高,其中化工生产排放量最大,占比达 2.6% ,其次是道路移动源,占比为 2.3% .

各类畜禽源分担率如图2所示.从中可知,肉牛、蛋禽和肉猪是排放量较大的3种畜禽,分别贡献排放量 35.0% 、 16.6% 和 13.4% .现阶段人们对肉、蛋、奶消费量越来越大,且肉猪饲养周期较短,一年可出栏2次,使得年出栏数量大.其次,肉牛排放量最大,统计数据调研显示河南省肉牛约为 704.3 万头,占全国肉牛总饲养量 7.8% ,尤以西南部南阳盆地唐、白河流域平原农区盛产黄牛.同时,牛粪尿排泄量大排放因子较高,使其成为畜禽养殖中分担率最大类型.马、驴和骡同为大畜禽,由于其饲养数量较小,主要为役用,且排放因子小于牛和猪,使得其对氨排放的贡献相对较小.

表 6 2013 年河南省大气氨排放清单/kt

Table 6 Ammonia emission inventory in Henan Province in 2013/kt

城市	畜禽	氮肥施用	化工生产	生物质燃烧	机动车	燃料燃烧	人体排泄	废物处理	自然源	各市总量
郑州	22.5	10.1	0.5	1.1	1.2	3.1	0.3	0.8	1.4	41.1
开封	34.6	17.1	3.6	1.3	0.2	0.9	1.1	0.1	2.4	61.2
洛阳	27.2	11.3	1.1	1.2	0.4	1.8	1.3	0.3	1.9	46.5
平顶山	33.7	15.3	0.1	1.0	0.2	1.1	1.0	0.1	1.6	54.1
安阳	21.6	18.8	1.7	1.4	0.3	1.1	1.2	0.2	2.3	48.5
鹤壁	12.4	4.3	0.7	0.4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.6	19.4
新乡	32.5	27.1	6.3	1.6	0.3	1.2	1.1	0.2	2.6	72.8
焦作	20.7	9.1	1.8	0.8	0.2	1.1	0.9	0.1	1.2	35.9
濮阳	21.4	16.8	1.3	1.0	0.2	0.8	0.5	0.1	1.6	43.8
许昌	28.4	12.7	0.9	1.0	0.2	1.2	1.2	0.1	1.8	47.7
漯河	14.8	8.4	0.0	0.7	0.1	0.6	0.6	0.1	1.1	26.4
三门峡	9.6	3.8	0.8	0.4	0.1	0.7	0.4	0.0	0.6	16.5
南阳	64.8	39.7	1.7	3.0	0.1	1.8	2.3	0.2	5.5	119.2
商丘	51.8	34.6	1.5	2.3	0.4	1.2	2.3	0.1	4.3	98.5
信阳	32.9	39.2	0.0	2.1	0.2	1.1	1.2	0.1	3.7	80.4
周口	49.3	37.8	1.5	2.9	0.3	1.5	1.9	0.1	5.3	100.6
驻马店	64.5	19.1	3.3	2.9	0.2	1.1	2.0	0.1	5.3	98.3
济源	2.9	1.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	5.1
合计	545.6	326.4	26.8	25.2	5.0	21.2	19.7	2.9	43.5	1 016.3

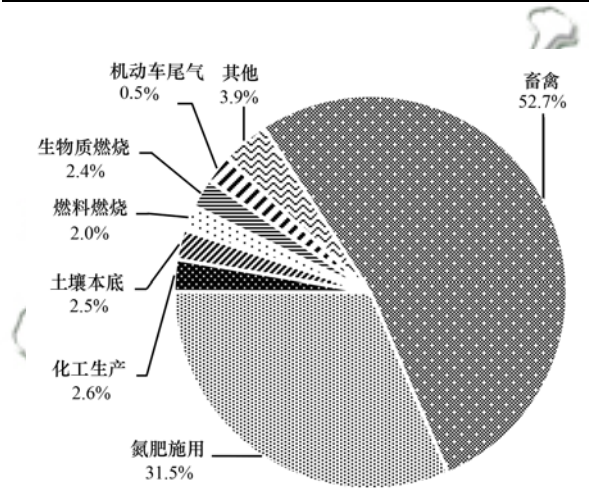


图 1 河南省各类排放源氨排放分担率

Fig. 1 Source contributions to ammonia emissions in Henan Province

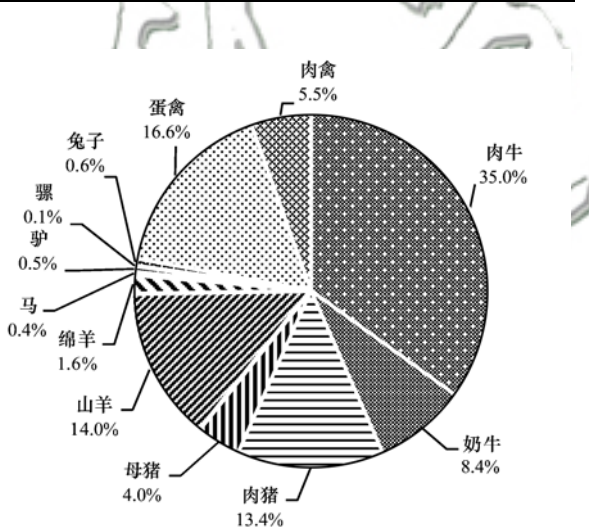


图 2 河南省各类畜禽排放分担率

Fig. 2 Subcategories for the contributions of ammonia emissions from livestock in Henan Province

农田氮肥施用是第二大氨排放源，河南省大部分地区处于中部平原地带，可耕地面积大，作为全国粮食核心产地，氮肥施用量居于全国首位，且以挥发率较高的尿素和碳铵为主，两者之和占氮肥施用总量 95%。此外，现阶段河南省外出务工人员量较大，为减少人力投入在氮肥施用方式上往往直接进行表面播撒，在量上难以控制且不均匀，这些都是造成氮肥施用过多，氮损失严重的因素。

2.2 各市排放分布特征

进一步基于城市尺度水平分析不同排放源的排放量构成，如图 3。由于各地经济发展程度、产业结构不同造成排放源活动水平差异，各市氨排放构

成也呈现不同特征。其中，排放量最大为南阳市，其处于南阳盆地，素有“中原粮仓”之称，是中国粮、棉、油、烟集中产地，农村人口达 623 万人，居河南省第一，造成南阳市农业氨排放居于全省之最。其次为周口、商丘和驻马店市，3 个地区排放量基本持平，信阳市紧随其后。这 4 个城市被称作“黄淮四市”，是河南省东部和南部典型农业大区和粮食生产核心区，该区域粮、棉、油、肉主要农产品产量达到全省 40% 以上，也具有较多农业人口。

相比来说，豫北地区安阳、濮阳和新乡市等，作为河南省重要工业基地，是煤炭、水泥和钢铁的

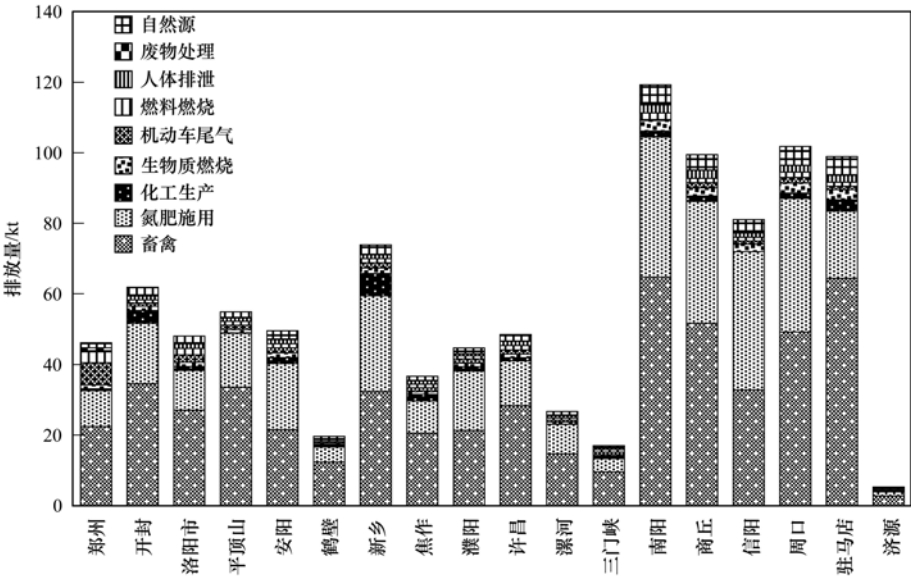


图3 2013年河南省各市不同源氨排放量及构成

Fig. 3 Emissions and composition of different sources for various cities in Henan Province in 2013

生产基地. 本研究结果也可看出工业源排放占比明显比东南部农业区各市高. 省会城市郑州市, 经济相对较好, 交通发达, 不是传统农业和畜禽养殖基地, 多靠周边城市补给, 农业源氨排放贡献较低, 而废物处理和机动车尾气排放相对较高, 分别占该排放源全省排放总量的26%和28%^[31].

2.3 与其他清单结果比较

研究收集国内主要地区氨排放量结果, 从表7对比可看出, 畜禽养殖和氮肥施用均是不同地区主要贡献源, 两者占比在80%以上. 本研究的源贡献

结构与2013年长株潭、2012年四川省类似, 畜禽养殖占比上高于经济快速发展的长三角和广东省. 从排放强度上看, 基准年河南省可达 $6.4\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$, 远高于1991年全国平均排放强度. 与近几年结果对比, 高于南方2004年长三角地区($4.2\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$)和2012年四川省($2.12\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$). 对比同一基准年的其他地区, 发现苏州市人为源氨排放强度为 $3.06\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ^[15], 长株潭地区人为源氨强度为 $2.59\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ ^[13], 本研究结果都处于较高水平, 与该地区本身是农业大省有密切关系.

表7 不同区域氨源排放量和排放强度

Table 7 Emissions and emission intensity of ammonia in different regions

地区	年份	排放量/kt	排放强度/ $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$	主要源占比/%	文献
河南省	2013	1 035.3	6.4	畜禽(56)、氮肥施用(29)	本研究
长三角	2004	194	4.2	畜禽(49)、氮肥施用(44)	[11]
珠三角	2006	460		畜禽(62)、氮肥施用(21)	[10]
广东省	2010	582.9		畜禽(44)、氮肥施用(40)	[19]
四川省	2012	994	2.12	畜禽(62)、氮肥施用(23)	[12]
长株潭	2013	72.7	2.59	畜禽(58)、氮肥施用(30)	[13]

不同学者之间结果的差异, 一是由于研究年份和地区导致在人口数量、发展程度和产业结构上差异, 二是排放因子选取差异. 早期清单主要采用国外排放系数, 由于地理、气候等因素不同排放因子差距较大. 三是估算方式不同, 本研究将畜禽养殖排泄物管理细分到4个不同阶段, 对应选取不同排放系数, 并在氮肥施用估算过程考虑不同氮肥种类不同农作物施用基追比进行修正. 总体分析来看, 本研究清单结果具有一定合理性和可比性.

2.4 清单的定性不确定性

排放源清单的不确定性来源主要来自活动水平数据的缺失和排放因子的选取^[32]. 本研究, 牲畜养殖中奶牛数据不全, 根据已有数据结合权重系数折算, 蛋禽根据年产蛋量折算, 有一定不确定性. 氮肥施用目前仍缺乏不同类型氮肥实际施用量, 但研究考虑到基肥和追肥不同施用方式在估算结果上能造成一倍多差距, 根据不同农作物类型算取各自对应基追比, 选取本地化的修正系数, 能更好反映河

南省实际情况进而降低不确定性。生物质燃烧中, 对于秸秆和薪柴家用燃烧量统计, 是本研究及其他相关研究都较为缺乏的数据, 为满足城市尺度清单建立, 选取耕地面积和农村人口权重参数替代, 是目前较为合理的方式。类似的情况也针对燃料燃烧活动量进行自上而下折算。而对一些非农业源, 秸秆堆肥比例、各市垃圾填埋和焚烧的比例, 都需要进一步有更加细化实地数据支撑, 才能降低其不确定性。总体而言, 本研究结果弥补了河南地区基于城市尺度的综合氨排放清单。

2.5 空间分布特征

本研究采用 ArcGIS 空间分析技术, 基于村庄分布、人口密度分布、土地利用数据和道路网等空间信息分布作为权重因子进行分配^[12], 选取 3 km × 3 km 分辨率, 将不同源氨排放分配至对应空间位置。其中, 畜禽养殖阶段、秸秆和薪柴家用燃烧、人体排放和秸秆堆肥根据农村村庄分布权重分配, 畜禽粪便还田阶段、氮肥施用、秸秆露天燃烧、土壤本底和固氮植物根据土地耕地面积权重, 道路移动源采用基于车流量不同等级道路网权重进行分配^[29], 其余根据人口密度分布权重, 得到 2013 年河南省氨排放 3 km × 3 km 网格空间分布。

如图 4 所示, 可以看出排放强度大的地方主要集中在河南省东部和北部, 这是由于氨排放主要来自农业源的畜禽养殖和氮肥施用, 商丘、周口和驻马店都是农业大市, 农业排放量较大。南阳、信阳

等市排放量大, 但其分布相对平均, 这与地域较为广阔有关。北部人口居住相对集中, 经济条件好, 工业排放量大。而西部地区多为山地, 地域广阔氨排放量小。鹤壁市和漯河市经济基础相对较好, 排放量处于中等水平, 但辖区面积小, 仅占全省总面积 1.3% 和 1.6%, 使其排放强度较大。

3 结论

(1) 本研究建立了 2013 年河南省大气氨排放清单。2013 年氨排放总量为 1 035.3 kt, 平均排放强度为 6.4 t·km⁻², 是目前国内研究中排放强度较大的省份。

(2) 河南省氨排放主要来自畜禽养殖和氮肥施用, 排放量分别为 545.6 kt 和 326.4 kt, 占氨排放总量的 52.7% 和 31.5%。畜禽源中, 牛的排放量最大, 占畜禽养殖氨排放总量的 35%。氮肥施用中, 尿素的排放量最大, 为 240 kt, 占氮肥排放的 73.62%。

(3) 南阳、驻马店、商丘、周口和信阳是排放量最大的 5 个地区, 占河南省总量的 41.2%。濮阳和漯河两个地区的排放强度较大, 均高于 10 t·km⁻²。

(4) 从空间分布特征来看, 河南省东部和北部排放密度较大, 而西部地区多为山地, 排放密度较小。

参考文献:

- [1] 刘东, 王方浩, 马林, 等. 中国猪粪尿 NH₃ 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 NH₃ emission factor for pig manure in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 218-224.
- [2] Zhang Y, Dore A J, Ma L, et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain[J]. Environmental Pollution, 2010, 158(2): 490-501.
- [3] Pinder R W, Adams P J, Pandis S N. Ammonia emission controls as a cost-effective strategy for reducing atmospheric particulate matter in the Eastern United States [J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(2): 380-386.
- [4] 尹沙沙. 珠江三角洲人为源氨排放清单及其对颗粒物形成贡献的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
Yin S S. Study on anthropogenic ammonia emission inventory in Pearl River Delta and effects on source contribution to particulate matter formation [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011.
- [5] Van Der Hoek K W. Estimating ammonia emission factors in Europe: summary of the work of the UNECE ammonia expert panel[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(3): 315-316.
- [6] 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

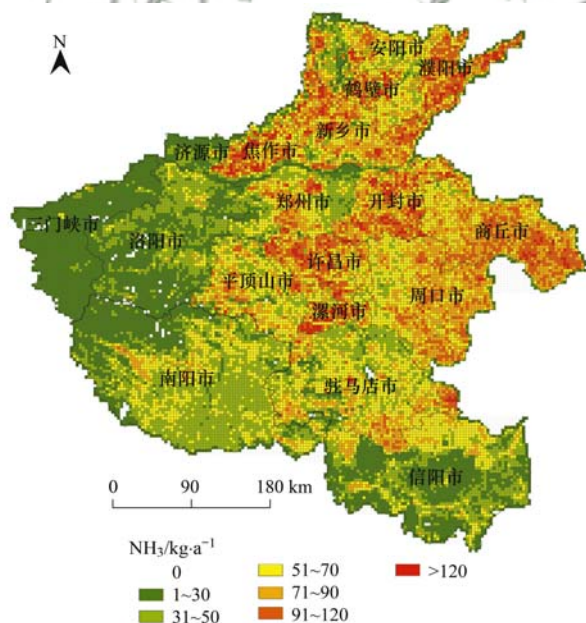


图 4 2013 年河南省氨排放空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of ammonia emissions in Henan Province in 2013

- of NH_3 emission intensities in China [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, **17**(1): 2-7.
- [7] 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.
- [8] 董文煊, 邢佳, 王书肖. 1994~2006年中国人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.
- [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] 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.
- [11] 董艳强, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区人为氨源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.
- [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.
- Feng X Q, Wang X R, He M, *et al.* A 2012-based anthropogenic ammonia emission inventory and its spatial distribution in Sichuan Province [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(2): 394-401.
- [13] 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.
- [14] 苏航, 闫东杰, 黄学敏, 等. 西安市人为源大气氨排放清单及特征[J]. 环境科学, 2016, **37**(11): 4117-4123.
- Su H, Yan D J, Huang X M, *et al.* Inventory and characteristics of anthropogenic ammonia emission in Xi'an [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(11): 4117-4123.
- [15] 周静, 刘松华, 谭译, 等. 苏州市人为源氨排放清单及其分布特征[J]. 环境科学研究, 2016, **29**(8): 1137-1144.
- Zhou J, Liu S H, Tan Y, *et al.* Anthropogenic ammonia emission inventory and its spatial distribution in Suzhou City [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, **29**(8): 1137-1144.
- [16] 中华人民共和国国家统计局. 2014 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [17] 环境保护部. 大气氨源排放清单编制技术指南 [EB/OL]. <http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/hgg/201408/W020140828351293771578.pdf>, 2014-08-19.
- [18] 沈兴玲. 广东省高分辨率人为源氨排放清单建立及控制成效研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- Shen X L. A highly Resolved anthropogenic ammonia emission inventory in Guangdong Province and assessment of control strategies [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 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] 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.
- [21] Zhang Y S, Luan S J, Chen L L, *et al.* Estimating the volatilization of ammonia from synthetic nitrogenous fertilizers used in China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, **92**(3): 480-493.
- [22] 熊广成. 河南省土地开发整理耕地质量标准研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2008.
- Xiong G C. Standard of cropland quality of land consolidation & rehabilitation in Henan province [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2008.
- [23] 王激清, 马文奇, 江荣凤, 等. 我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量及比例分析 [J]. 土壤通报, 2008, **39**(2): 329-333.
- Wang J Q, Ma W Q, Jiang R F, *et al.* Analysis about amount and ratio of basal fertilizer and topdressing fertilizer on rice, wheat, maize in China [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2008, **39**(2): 329-333.
- [24] 环境保护部. 生物质燃烧源大气污染物排放清单编制技术指南 (试行) [EB/OL]. <http://www.docin.com/p-1016482742.html>, 2015-01-09.
- [25] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Greenhouse gas inventory reference manual. Revised 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [Z]. Bracknell, UK: IPCC/OECD/IES, UK. Meteorological Office, 2007.
- [26] 河南省统计局. 2014 河南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014. 625-676.
- [27] 王临清, 李泉鸣, 朱法华. 中国城市生活垃圾处理现状及发展建议 [J]. 环境污染与防治, 2015, **37**(2): 106-109.
- Wang L Q, Li X M, Zhu F H. Current situation of municipal solid wastes disposal and development proposals in China [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2015, **37**(2): 106-109.
- [28] 贺克斌, 霍红, 王岐东, 等. 道路机动车排放模型技术方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [29] Gong M M, Yin S S, Gu X K, *et al.* Refined 2013-based vehicle emission inventory and its spatial and temporal characteristics in Zhengzhou, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **599-600**: 1149-1159.
- [30] 国家发展改革委, 农业部, 财政部. 关于印发“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案的通知 [EB/OL]. http://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefabu/201112/t20111221_617842.htm, 2011-11-29.
- [31] 郑州市统计局. 2014 郑州市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [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.

CONTENTS

Characterization and Variation of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in the Yangtze River Delta Region, China	KANG Hui, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (961)
Important Effect of Secondary Inorganic Salt Extinction on Visibility Impairment in the Northern Suburb of Nanjing	YU Chao, YU Xing-na, ZHAO Tian-liang, <i>et al.</i> (972)
Day-Night Differences and Source Apportionment of Inorganic Components of PM _{2.5} During Summer-Winter in Changzhou City	LIU Jia-shu, GU Yuan, MA Shuai-shuai, <i>et al.</i> (980)
Characteristics of Elements in PM _{2.5} and PM ₁₀ in Road Dust Fall During Spring in Tianjin	WANG Shi-bao, JI Ya-qin, LI Shu-li, <i>et al.</i> (990)
Particle Size Distribution and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Particles from Beijing and Xinxiang During Summer	ZHANG Xin, ZHAO Xiao-man, MENG Xue-jie, <i>et al.</i> (997)
Ecological and Health Risks of Trace Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} Collected in Wuxiang Town, Shanxi Province	GUO Zhao-xia, GENG Hong, ZHANG Jin-hong, <i>et al.</i> (1004)
Characteristics of Particulate and Inorganic Elements of Motor Vehicles Based on a Tunnel Environment	LI Feng-hua, ZHANG Yan-jie, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (1014)
A 2013-based Atmospheric Ammonia Emission Inventory and Its Characteristic of Spatial Distribution in Henan Province	WANG Chen, YIN Sha-sha, YU Shi-jie, <i>et al.</i> (1023)
Emission Characteristics of Wind Erosion Dust from Topsoil of Urban Roadside-Tree Pool	LI Bei-bei, QIN Jian-ping, QI Li-rong, <i>et al.</i> (1031)
Particulate Component Emission Characteristic from a Diesel Bus with DOC and CDPF	LOU Di-ming, GENG Xiao-yu, SONG Bo, <i>et al.</i> (1040)
Water Quality in the Henan Intake Area of the South-to-North Water Diversion Project	HUANG Piao-yi, XU Bin, GUO Dong-liang (1046)
Spatio-Temporal Patterns and Environmental Risk of Endocrine Disrupting Chemicals in the Liuxi River	FAN Jing-jing, WANG Sai, TANG Jin-peng, <i>et al.</i> (1053)
Fate and Origin of Major Ions in River Water in the Lhasa River Basin, Tibet	ZHANG Qing-hua, SUN Ping-an, HE Shi-yi, <i>et al.</i> (1065)
Identification of Nitrate Sources and the Fate of Nitrate in Downstream Areas: A Case Study in the Taizi River Basin	LI Yan-li, YANG Zi-rui, YIN Xi-jie, <i>et al.</i> (1076)
Sources, Distribution of Main Controlling Factors, and Potential Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in the Surface Sediment of Hainan Island North Bay, South China	ZENG Wei-te, YANG Yong-peng, ZHANG Dong-qiang, <i>et al.</i> (1085)
Characteristics of Heavy Metals Pollution of Farmland and the Leaching Effect of Rainfall in Tianjin	XU Meng-meng, LIU Ai-feng, SHI Rong-guang, <i>et al.</i> (1095)
Seasonal Difference in Water Quality Between Lake and Inflow/Outflow Rivers of Lake Taihu, China	ZHA Hui-ming, ZHU Meng-yuan, ZHU Guang-wei, <i>et al.</i> (1102)
Characteristics of Nitrogen Release at the Sediment-Water Interface in the Typical Tributaries of the Three Gorges Reservoir During the Sensitive Period in Spring	LI Xin, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (1113)
Spatial Distributions of Transferable Nitrogen Forms and Influencing Factors in Sediments from Inflow Rivers in Different Lake Basins	ZHOU Rui, YUAN Xu-yin, Marip Ja Bawk, <i>et al.</i> (1122)
Effects of Hydrological and Meteorological Conditions on Diatom Proliferation in Reservoirs	SUN Xiang, ZHU Guang-wei, DA Wen-yi, <i>et al.</i> (1129)
Vertical Distribution of Fungal Community Composition and Water Quality During the Deep Reservoir Thermal Stratification	SHANG Pan-lu, CHEN Sheng-nan, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (1141)
Community Structure and Influencing Factors of Bacterioplankton in Spring in Zhushan Bay, Lake Taihu	XUE Yin-gang, LIU Fei, SUN Meng, <i>et al.</i> (1151)
Characteristics of Sediment Oxygen Demand in a Drinking Water Reservoir	SU Lu, HUANG Ting-lin, LI Nan, <i>et al.</i> (1159)
Effects of Wastewater Nitrogen Concentrations and NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Ability and the Nitrogen Component of <i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verde	MA Yong-fei, YANG Xiao-zhen, ZHAO Xiao-hu, <i>et al.</i> (1167)
Effect of Nutrient Loadings on the Regulation of Water Nitrogen and Phosphorus by <i>Vallisneria spiralis</i> and Its Photosynthetic Fluorescence Characteristics	ZHOU Yi-wen, XU Xiao-guang, HAN Rui-ming, <i>et al.</i> (1180)
Removal of Organic Matter from Water by Chemical Preoxidation Coupled with Biogenic Manganese Oxidation	JIAN Zhi-yu, CHANG Yang-yang, WANG Li-xin, <i>et al.</i> (1188)
Treating Simulated Dye Wastewater by an <i>In Situ</i> Copper Ferrite Process	HAN Zhi-yong, HAN Kun, HAO Hao-tian, <i>et al.</i> (1195)
Experiment to Enhance Catalytic Activity of α -FeOOH in Heterogeneous UV-Fenton System by Addition of Oxalate	MIAO Xiao-zeng, DAI Hui-wang, CHEN Jian-xin, <i>et al.</i> (1202)
Fabrication of a Biomass-Based Hydrous Zirconium Oxide Nanocomposite for Advanced Phosphate Removal	QIU Hui, QIN Zhi-feng, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (1212)
Characteristic of Nitrate Adsorption in Aqueous Solution by Iron and Manganese Oxide/Biochar Composites	ZHENG Xiao-qing, WEI An-lei, ZHANG Yi-xuan, <i>et al.</i> (1220)
Preparation of PAAm/HACC Semi-Interpenetrate Network Hydrogel and Its Adsorption Properties for Humic Acid from Aqueous Solution	LIU Ze-jun, ZHOU Shao-qi, MA Fu-zhen (1233)
Groundwater Arsenic and Silicate Adsorption on TiO ₂ and the Regeneration of TiO ₂	MA Wen-jing, YAN Li, ZHANG Jian-feng (1241)
Removal Efficiency and Mechanism of Removal by Humic Acid of the Integrated Floc-ultrafiltration Process	LI Wen-jiang, YU Li-fang, MIAO Rui, <i>et al.</i> (1248)
Emission Inventory of Greenhouse Gas from Urban Wastewater Treatment Plants and Its Temporal and Spatial Distribution in China	YAN Xu, QIU De-zhi, GUO Dong-li, <i>et al.</i> (1256)
Start-up and Operation of Biofilter Coupled Nitrification and CANON for the Removal of Iron, Manganese and Ammonia Nitrogen	LI Dong, CAO Rui-hua, YANG Hang, <i>et al.</i> (1264)
Analysis of CANON Process Start-up with Fiber Carrier	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i> (1272)
Characteristics of Biofilm During the Transition Process of Complete Nitrification and Partial Nitrification	ZHAO Qing, BIAN Wei, LI Jun, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Intermediate-Setting Aeration on the CANON Granular Sludge Process in the AUSB Reactor	CHENG Shuo, LI Dong, ZHANG Jie, <i>et al.</i> (1286)
Effect of Organic Carbon Source on Start-up and Operation of the CANON Granular Sludge Process	LI Dong, WANG Yan-ju, LU Yu-feng, <i>et al.</i> (1294)
Start-Up and Regional Characteristics of a Pilot-scale Integrated PN-ANAMMOX Reactor	ZHOU Zheng, WANG Fan, LIN Xing, <i>et al.</i> (1301)
Effect of NO _x ⁻ -N Recycling Ratio on Denitrifying Phosphorus Removal Efficiency in the ABR-MBR Combined Process	LÜ Liang, YOU Wen, ZHANG Min, <i>et al.</i> (1309)
Effects of Magnetic Fe ₃ O ₄ Nanoparticles on the Characteristics of Anaerobic Granular Sludge and Its Interior Microbial Community	SU Cheng-yuan, ZHENG Peng, LU Yu-xiang, <i>et al.</i> (1316)
Characterization Composition of Soluble Microbial Products in an Aerobic Granular Sludge System	YANG Dan, LIU Dong-fang, DU Li-qiong, <i>et al.</i> (1325)
Influence of Ciprofloxacin on the Microbial Community and Antibiotics Resistance Genes in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, LIANG Yu-ting, <i>et al.</i> (1333)
Analysis of Low C/N Wastewater Treatment and Structure by the CEM-UF Combined Membrane-Nitrification/Denitrification System	XING Jin-liang, ZHANG Yan, CHEN Chang-ming, <i>et al.</i> (1342)
Effects of Phosphorus on the Activity and Bacterial Community in Mixotrophic Denitrification Sludge	WANG Pei-qi, ZHOU Wei-li, HE Sheng-bing, <i>et al.</i> (1350)
Acclimatization and Community Structure Analysis of the Microbial Consortium in Nitrate-Dependent Anaerobic Methane Oxidation	XUE Song, ZHANG Meng-zhu, LI Lin, <i>et al.</i> (1357)
Diffusion of Microorganism and Main Pathogenic Bacteria During Municipal Treated Wastewater Discharged into Sea	XU Ai-ling, NIU Cheng-jie, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (1365)
Oxytetracycline Wastewater Treatment in Microbial Fuel Cells and the Analysis of Microbial Communities	YAN Wei-fu, XIAO Yong, WANG Shu-hua, <i>et al.</i> (1379)
Spatial and Temporal Variability of Soil C-to-N Ratio of Yugan County and Its Influencing Factors in the Past 30 Years	JIANG Ye-feng, ZHONG Shan, LI Jie, <i>et al.</i> (1386)
Spatial Heterogeneity of Soil Carbon and its Fractions in the Wolfberry Field of Zhongning County	WANG You-qi, ZHAO Yun-peng, BAI Yi-ru, <i>et al.</i> (1396)
Response of Soil Enzyme Activities and Their Relationships with Physicochemical Properties to Different Aged Coastal Reclamation Areas, Eastern China	XIE Xue-feng, PU Li-jie, WANG Qi-qi, <i>et al.</i> (1404)
Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soils of the Central and Eastern Areas of the Qinghai-Tibetan Plateau	ZHOU Wen-wen, LI Jun, HU Jian, <i>et al.</i> (1413)
Source Apportionment of Heavy Metals in Farmland Soils Around Mining Area Based on UNMIX Model	LU Xin, HU Wen-you, HUANG Biao, <i>et al.</i> (1421)
Stabilization Effects of Fe-Mn Binary Oxide on Arsenic and Heavy Metal Co-contaminated Soils Under Different pH Conditions	FEI Yang, YAN Xiu-lan, LI Yong-hua (1430)
Concentration and Distribution of Novel Brominated Flame Retardants in Human Serum from Three Chinese Cities	WANG Qing-hua, YUAN Hao-dong, JIN Jun, <i>et al.</i> (1438)