

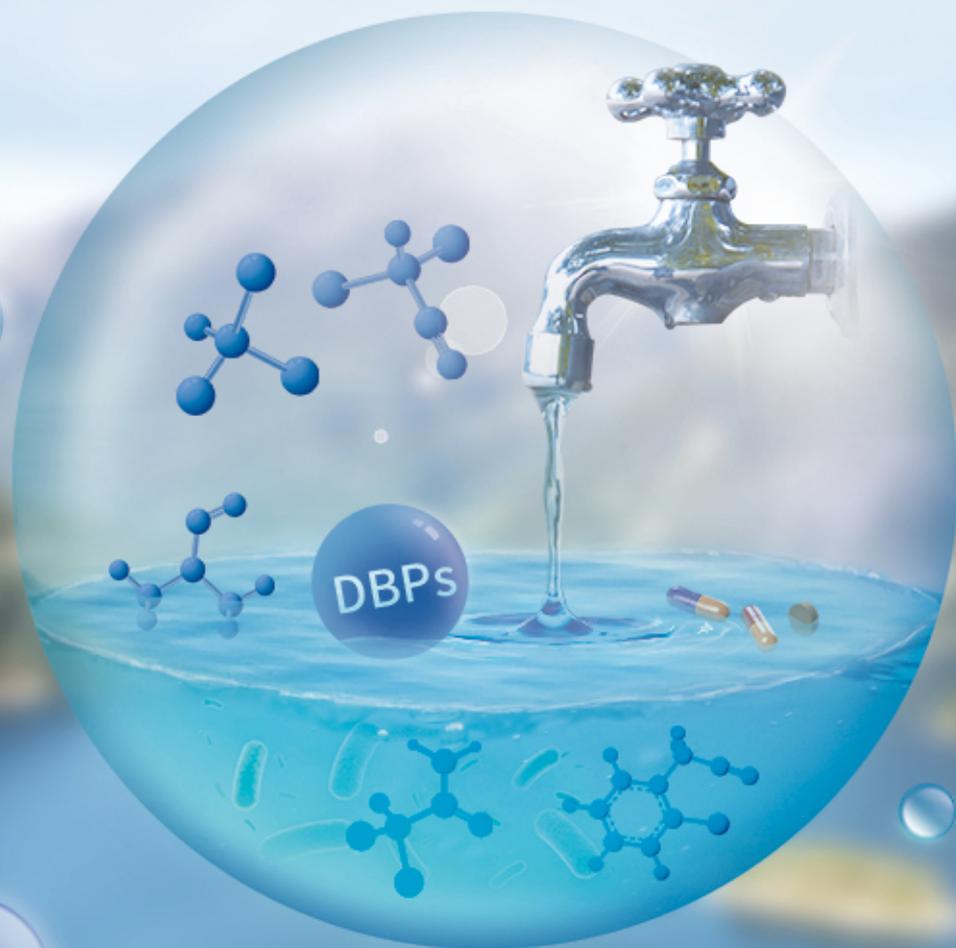
方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

饮用水中的消毒副产物及其控制策略
楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2021年11月

第42卷 第11期
Vol.42 No.11

目次

综述与专论

饮用水中的消毒副产物及其控制策略 楚文海, 肖融, 丁顺克, 张瑞华(5059)
生物炭吸附硫化氢机制与影响因素研究进展 徐期勇, 梁铭坤, 许文君, 黄丹丹(5086)

研究报告

1998~2016 中国八大经济区植被覆盖对 PM_{2.5} 浓度时空分布的影响 杨玉莲, 杨昆, 罗毅, 喻臻钰, 孟超, 李岑(5100)
COVID-19 疫情期间北京市两次重霾污染过程大气污染物演变特征及潜在源区分析 赵德龙, 田平, 周崑, 肖伟, 盛久江, 王飞, 杜远谋, 黄梦宇, 何晖, 丁德平(5109)

汾渭平原临汾市 2019 年春节期间大气污染特征与来源解析 刘威杰, 胡天鹏, 毛瑶, 许安, 苏业旺, 李星谕, 程铖, 石明明, 梁莉莉, 邢新丽, 张家泉, 祁士华(5122)

石家庄市大气污染物的季节性时空特征及潜在源区 聂赛赛, 王帅, 崔建升, 刘大喜, 陈静, 田亮, 贺博文, 沈梦宇(5131)

天津市冬季空气湿度对 PM_{2.5} 和能见度的影响 丁净, 唐颖潇, 郝天依, 姚青, 蔡子颖, 张裕芬, 韩素芹(5143)

承德市 PM_{2.5} 中碳质组分的季节分布特征及来源解析 贺博文, 聂赛赛, 王帅, 冯亚平, 姚波, 崔建升(5152)

中国生活源挥发性有机物排放清单 梁小明, 陈来国, 沈国锋, 卢清, 刘明, 陆海涛, 任璐, 孙西勃, 林奎, 梁明易, 叶代启, 陶澍(5162)

2011~2019 年中国工业源挥发性有机物排放特征 刘锐源, 钟美芳, 赵晓雅, 卢诗文, 田俊泰, 李银松, 侯墨, 梁小明, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启(5169)

基于 LHS-MC 青岛市工业源 VOCs 排放清单及不确定性 徐琬莹, 付飞, 吕建华, 李瑞凡, 邵蕊, 和慧, 李淑芬, 左华(5180)

典型橡胶制品业 VOCs 排放特征及对周边环境的影响 王海林, 辛国兴, 朱立敏, 薛松, 聂磊, 郝润(5193)

沈阳市不同功能区挥发性有机物分布特征及臭氧生成潜势 库盈盈, 任万辉, 苏枫棋, 于兴娜(5201)

天津城区夏冬季典型污染过程中 BTEX 变化特征及其健康风险评估 韩婷婷, 李颖若, 蒲维维, 姚青, 刘敬乐, 吴进, 张楠楠, 李梓铭, 马志强(5210)

郑州市大气氨排放清单及驱动力分析 计尧, 王琛, 卢轩, 张欢, 尹沙沙(5220)

基于 GAMs 模型分析成都市气象因子交互作用对 O₃ 浓度变化的影响 张莹, 倪长健, 冯鑫媛, 王式功, 张小玲, 张家熙, 李运超(5228)

长江干流表层水体悬浮物的空间变化特征及遥感反演 李建鸿, 黄昌春, 查勇, 王川, 尚娜娜, 郝维月(5239)

河北省夏季降雨溶解性有机物光谱特征的空间分布、来源解析及氮素响应 张紫薇, 周石磊, 陈召莹, 张甜娜, 董宛佳, 甄瑞晗, 张馨童, 姚波, 崔建升(5250)

城镇与城郊污染河道中 DOM 成分分布与影响因素 朱奔, 陈浩, 丁国平, 孙晓楠, 刘辉, 叶建锋(5264)

北京城市河流水和沉积物中微塑料的组成与分布 胡嘉敏, 左剑恶, 李頔, 谢珍雯, 陈磊(5275)

太湖西岸地表水中中性有机污染物非靶向筛查与生态风险评估 卢昕妍, 王菲, 张丽敏, 任晓鸣, 于南洋, 韦斯(5284)

河水-地下水交互带沉积物中抗生素和代谢产物提取方法优化及其分布特征 李玉琼, 童蕾, 严涵, 尤悦, 卢钰茜, 刘慧(5294)

白洋淀清淤示范区沉积物中抗生素和多环芳烃的分布特征与风险评估 王同飞, 张伟军, 李立青, 张美一, 廖桂英, 王东升(5303)

雄安新区唐河污水库残留污染物对地下水水化学动态的作用机制 张志雄, 王仕琴, 张依章, 冯文钊(5312)

基于时间序列模型的饮用水源地重金属健康风险分析与预测 姬超, 侯大伟, 谢丽, 孙华, 李发志, 周宇, 邓爱萍, 沈红军, 包广静, 王逸南(5322)

千河下游水体-沉积物重金属空间分布、风险及影响因素 高煜, 王国兰, 金梓函, 张军, 耿雅妮(5333)

巢湖流域丰水期可溶态重金属空间分布及污染评价 何苗, 刘桂建, 吴蕾, 齐翠翠(5346)

洪泽湖围栏养殖对表层沉积物重金属含量影响与生态风险评估 訾鑫源, 张鸣, 谷孝鸿, 阚可聪, 毛志刚, 陈辉辉, 曾庆飞(5355)

成都市地表水天然水化学变化特征及影响因素 许秋瑾, 赖承钺, 丁瑶, 王照丽, 程中华, 于涛(5364)

雷州半岛地下水化学特征及控制因素分析 彭红霞, 侯清芹, 曾敏, 黄长生, 师环环, 皮鹏程, 潘羽杰(5375)

粤港澳大湾区陆源氮污染来源结构与空间分布 董斯齐, 黄翀(5384)

红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征 房志达, 苏静君, 赵洪涛, 胡炼, 李叙勇(5394)

减氮条件下不同施肥模式对稻田氮素淋溶流失的影响 姜海斌, 张克强, 邹洪涛, 马璞骏, 渠清博, 谷艳茹, 沈仕洲(5405)

互花米草入侵对胶州湾湿地土壤磷赋存形态的影响 沙梦乔, 柴娜, 赵洪涛, 刘春井, 丁文超, 谢文霞(5414)

基于 16S rRNA 高通量测序的北运河水体及沉积物微生物群落组成对比分析 彭柯, 董志, 邸琰蓉, 郭道宇(5424)

硅改性花生壳生物炭对水中磷的吸附特性 赵敏, 张小平, 王梁嵘(5433)

高锰酸钾改性桉木生物炭对 Pb(II) 的吸附特性 莫贞林, 曾鸿鹤, 林华, Asfandiyar Shahab, 石清亮, 张华(5440)

混合金属氧化物/碳复合材料的制备及其对 Pb(II) 的吸附性能 卢予沈, 宗莉, 于惠, 牟斌, 王爱勤(5450)

负载型钛凝胶的制备及其吸附去除三价砷的性能 孙晔洋, 周畅, 甘永海, 吴兵党, 张淑娟(5460)

一体式短程硝化-厌氧氨氧化工艺启动过程的亚硝酸盐调控 左富民, 郑蕊, 隋倩雯, 钟慧, 陈彦霖, 魏源送(5472)

生物炭和秸秆还田对紫色土旱坡地土壤团聚体与有机碳的影响 邓华, 高明, 龙翼, 赖佳鑫, 王莹燕, 王子芳(5481)

紫色土旱坡地不同坡位土壤有机碳组分含量对施肥管理的响应 徐曼, 余添, 王富华, 王丹, 王莹燕, 杨文娜, 高明, 王子芳(5491)

南阳盆地东部山区土壤重金属分布特征及生态风险评估 赖书雅, 董秋瑶, 宋超, 杨振京(5500)

城郊农田土壤多环芳烃污染特征及风险评估 张秀秀, 卢晓丽, 魏宇宸, 朱昌达, 潘剑君(5510)

我国东部沿海地区蔬菜中重金属累积分布特征及居民膳食暴露评估 孙帅, 耿柠波, 郭崔崔, 张保琴, 卢宪波, 张海军, 陈吉平(5519)

典型矿区周边农业用地农产品安全风险及影响因素 霍彦慧, 王美娥, 谢天, 姜蓉, 陈卫平(5526)

稻田土壤 Cd 污染与安全种植分区, 以重庆市某区为例 曹淑珍, 母悦, 崔敬鑫, 刘安迪, 程先, 符远航, 魏世强, 张进忠(5535)

镉污染大田条件下不同品种水稻镉积累的特征及影响因素 王宇豪, 杨力, 康愉晨, 陈小红, 耿杰, 李佳欣, 陈文清(5545)

纳米膜覆盖对畜禽粪便好氧堆肥进程及恶臭气体排放的影响 李永双, 孙波, 陈菊红, 彭霞薇, 白志辉, 庄绪亮(5554)

《环境科学》征订启事(5108) 《环境科学》征稿简则(5151) 信息(5249, 5263, 5283)

郑州市大气氨排放清单及驱动力分析

计尧¹, 王琛², 卢轩¹, 张欢¹, 尹沙沙^{3*}

(1. 郑州大学化学学院, 郑州 450001; 2. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058; 3. 郑州大学生态与环境学院, 郑州 450001)

摘要: 采用排放因子法建立郑州市分县区 2017 年大气氨排放清单, 并实现 1 km × 1 km 空间网格分配, 同时进行 2007 ~ 2017 年氨排放趋势及 1989 ~ 2017 年氨排放驱动力相关性分析。结果表明, 郑州市 2017 年氨排放量为 18 143.3 t, 排放强度为 2.4 t · km⁻², 农业源为主要排放源 (63.4%), 逸散源次之 (11.3%); 农业源中畜禽养殖氨排放主要来自蛋禽、肉猪和奶牛养殖; 排放量前三的区县为登封市、荥阳市和新密市, 分别占总量的 19.3%、16.5% 和 15.6%; 空间上郑州市南部及中西部地区排放量较高, 东北部地区排放量较小; 2007 ~ 2017 年各区县氨排放整体呈下降趋势, 1989 ~ 2017 年郑州市氨排放呈类似环境库兹涅茨曲线趋势, 即氨排放整体上随着人均 GDP 和城镇化率上升而先增加再下降。

关键词: 氨 (NH₃); 城市尺度; 空间分布; 变化趋势; 相关性分析

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)11-5220-08 DOI: 10.13227/j.hjxk.202102176

Atmospheric NH₃ Emission Inventory and Analysis of the Driving Force in Zhengzhou City

Ji Yao¹, Wang Chen², Lu Xuan¹, Zhang Huan¹, Yin Sha-sha^{3*}

(1. College of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. School of Ecology and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this study, a 2017-based emission inventory of ammonia (NH₃) was established for Zhengzhou by using the emission factor method. The 1 km × 1 km gridded emission inventory was mapped using GIS technology. The NH₃ emissions between 2007 and 2017 and driving force between 1989 and 2017 were also analyzed. Results showed that the total 2017-based NH₃ emission in Zhengzhou was 18 143.3 t, and the average emission intensity reached 2.4 t · km⁻². The top emission source was from agriculture, accounting for 63.4% of the total emission, followed by fugacity (11.3%). The main contribution sources of livestock were egg poultry, pigs, and cattle. Dengfeng, Xingyang, and Xinmi had the highest emissions, accounting for 19.3%, 16.5%, and 15.6% of the total emission, respectively. The NH₃ emission was higher in the southern and central western regions of Zhengzhou and lower in the northeastern region. The NH₃ emission in Zhengzhou showed a downward trend from 2007 to 2017. The NH₃ emissions from 1987 to 2017 were similar to the environmental Kuznets Curve, i. e., the emissions increased first and then decreased with the increase of per capita gross domestic product (GDP) and urbanization rate.

Key words: ammonia (NH₃); urban scale; spatial distribution; emission trend; correlation analysis

氨 (ammonia, NH₃) 是大气中最重要的碱性物质, 对全球氮循环和生态系统起重要作用。NH₃ 可与大气中的 SO₂ 和 NO_x 等酸性气体反应形成 (NH₄)₂SO₄、NH₄HSO₄ 和 NH₄NO₃ 等二次无机气溶胶, 是大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 形成的重要前体物^[1], 对雾-霾污染的形成有重要影响^[2]。

考虑到 NH₃ 对大气环境的影响, 欧洲地区较早开展大气氨排放研究, 并借助模式模拟手段分析其形成、输送和转化过程, 评估其对颗粒物形成的贡献^[3,4]。近些年, 我国研究学者也陆续开展全国尺度以及区域尺度 (京津冀、长三角和珠三角) 农业源氨排放清单建立工作^[5,6]。然而, 除农业源之外, 氨排放还有许多零散的非农业源, 尤其是从城市尺度角度来讲, 非农业源不可忽视。相较而言, 现阶段分县区级别的城市氨排放清单还较为缺乏, 使得无法为城市精细化的空气质量管理提供支持。

近期, 国内研究学者对华北平原大气氨进行观测^[7], 显示该地区氨气浓度高, 空间覆盖范围广, 特别是在中部河南地区观测到较高的浓度。河南省地处中原, 是我国重要的农业大省, 目前也面临着以高浓度 PM_{2.5} 为代表的大气复合污染问题。其中, 郑州市作为河南省省会城市, 经济发展迅速, 颗粒物污染形势严重, 中国生态环境公报显示 2014 ~ 2017 年郑州市空气质量位居倒数十位^[8,9], 是全国污染最严重的城市之一。同时, 郑州市也是京津冀大气污染传输通道上“2 + 26”城市之一, 全市总面积 7446 km², 2017 年客运总量达 1.4 亿人, 常住人口 988 万人, 机动车保有量 303 万辆^[10], 潜在非农业源氨排放较大^[11,12]。

因此, 本研究以郑州市为例, 基于第二次全国污

收稿日期: 2021-02-26; 修订日期: 2021-04-27

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目 (41907187)

作者简介: 计尧 (1995 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染防治, E-mail: 1647234655@qq.com

* 通信作者, E-mail: shashayin@zzu.edu.cn

污染源普查(二污普)各区县活动水平数据^[13],建立分区县级别的郑州市大气氨排放清单并识别空间特征.同时,建立郑州市分区县近十年氨排放清单并分析其趋势变化特征,探讨氨排放驱动力,以期为城市大气污染防治提供基础数据支撑.

1 材料与方法

1.1 研究区域和排放源

研究区域为郑州市(图1),包括主城区(中原

区、二七区、管城区、金水区、惠济区、经开区、郑东新区、高新区)、5个县级市(巩义市、荥阳市、新密市、新郑市、登封市)和一县两区(中牟县、上街区、航空港区)^[10].

基于本地及相关研究调研^[14,15],将氨排放源分为畜禽养殖、氮肥施用、天然氨源、工艺过程源、生物质燃烧源、道路移动源、固定燃烧源和其他逸散源8类,其中,农业源包含畜禽养殖和氮肥施用,其余为非农业源.



图1 郑州市地理位置示意

Fig. 1 Location of Zhengzhou City

1.2 氨排放量估算

采用排放因子法估算基准年2017年的氨排放量,见公式(1):

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

式中, E 为氨排放量, i 为某区县, j 为某氨源, A 为活动水平, EF 为排放因子, γ 是氮-大气氨转化系数,畜禽养殖业取1.214,其余行业取1.0.

此外,2007~2017年各区县氨排放趋势及1989~2017年驱动力分析中也采用上述估算方法建立清单.

对于活动水平数据,基准年2017年活动水平以及空间分布信息基于第二次全国污染普查数据.为保证数据来源的一致性并更为准确体现郑州市氨排放变化趋势,在2007~2017各县区分源氨排放量估算及1989~2017郑州市氨排放驱动力分析中活动水平数据统一选择郑州市统计年鉴.

氮肥施用、天然氨源及生物质燃烧源估算方法及排放因子详见文献^[14,15],其余排放源估算过程及活动水平处理介绍如下.

对于畜禽养殖氨排放,畜禽种类、养殖方式、气温和排泄物管理均有影响.本研究纳入二污普统计的肉牛、奶牛、肉猪、蛋禽和肉禽;并将排泄物管理阶段分为户外、圈舍内、粪便储存处理和后续施肥;养殖方式考虑散养、放牧和集约化,其中散

养、放牧养殖的排泄物室内户外比为1:1,集约化养殖室内户外比为1:0.不同粪便管理阶段铵态氮(TAN)量见公式(2):

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{TAN}_{\text{室内}} \times X \\ A_2 &= A_1 - A_1 \times EF_1 \\ A_3 &= [A_2 - A_2 \times EF_2 - A_2 \times \\ & \quad (EF_{2,N_2O} + EF_{2,NO} + EF_{2,N_2})] \times (1 - R) \end{aligned} \quad (2)$$

式中, A 为不同管理阶段铵态氮量,1、2和3分别为圈舍、储存和施肥各阶段, EF 为排放因子^[16], X 为液态或固态粪便占总粪便质量比,散养畜禽为11%,集约化养殖畜类为50%,放牧畜禽为0, R 指粪使用做生态饲料比重,一般情况下只考虑集约化养殖过程.

工艺过程源氨排放主要基于非金属制品制造业生产过程煤炭消耗量计算,公式见(3),

$$E = \sum_i^n A_{i,k} \times X_{i,k,m} \times EF_{k,m} \quad (3)$$

式中, i 为第 i 个企业, k 为原辅材料或产品类型, m 为技术类型, n 为企业数量, A 为活动水平, X 为使用某种技术的比例, EF 为排放因子,为考虑到综合控制措施,取 $0.02 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ ^[17].

道路移动源依据不同车型保有量、行驶里程和相应排放因子估算^[18],见公式(4).对于活动水平,使用不同燃料和车辆类型的比例分配得到分燃料分

类型的机动车保有量.

$$E = \sum_m P_m \times EF_m \times VKT_m \quad (4)$$

式中, m 为车型, P 为 m 车型机动车保有量, VKT 为 m 车型均行驶里程, EF 为排放因子^[18].

固定燃烧源依据燃料类型及使用部门分为工业燃烧、民用锅炉和民用燃烧. 工业燃烧和民用锅炉排放量基于各厂及单位的能源消耗量估算, 民用燃烧则考虑居民生活燃煤、燃油和天然气消耗量估算.

$$E = \sum_{k,m} A_k \times EF_{k,m} \quad (5)$$

式中, k 为燃料类型, m 为燃烧技术类型; A 为活动水平为燃料燃烧量, EF 为排放因子^[17].

逸散源包括人体排放、垃圾处理及污水处理. 人体排放主要来自粪尿排泄挥发、呼吸和出汗, 为避免城镇人口粪尿氨排放与污水处理重复, 暂不估算, 农村人口粪尿氨排放考虑无害化厕所普及率, 排放因子取 $1.3 \text{ kg} \cdot (\text{人} \cdot \text{a})^{-1}$ ^[19]. 垃圾处理包括垃圾填埋、焚烧和堆肥, 其排放量分别占垃圾处理总量的 59.9%、26.0% 和 14.1%. 污水处理则基于各区县污水处理量进行估算.

1.3 空间分配

本研究使用 ArcGIS 空间分析技术, 设定 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 网格分辨率, 覆盖郑州市区域. 污染物排放空间分布的形式包括点源、线源和面源. 其中, 畜禽、发电厂、工业行业和锅炉燃烧等固定排放源作为点源, 根据养殖场及企业经纬度信息进行定位; 道路移动源作为线源, 选取各区县等级道路路网作为分配依据; 面源包括氮肥施用、天然氨源和生物质燃烧, 则根据土地利用数据中的耕地分布进行权重分配.

1.4 驱动力分析

对污染物排放的驱动力分析可加深理解氨排放的潜在机制与社会经济发展之间的联系, 了解社会经济及人类活动对环境的影响, 有利于为政府决策的制定提供参考.

本研究进一步估算了 1989~2017 年郑州市氨排放量, 并将排放量与当地人口、人均 GDP、城镇化、工业化、能源强度和年平均气温等进行关联, 将社会因素及自然因素和氨排放量的历史数据进行线性回归分析, 选取相关性强的影响因素进行分析^[20]. 其中, 能源强度为能源消费总量与工业总产值的比值^[21], 单位为吨标煤·万元⁻¹ (TonSCE·万元⁻¹).

2 结果与讨论

2.1 郑州市 2017 年大气氨排放清单

2017 年郑州市各区县氨排放如表 1 所示. 全市

氨排放总量为 18 143.3 t, 畜禽养殖、氮肥施用是主要的贡献源, 两者合计, 即来自农业源的氨排放占排放总量的 63.2%, 其次为逸散源, 占排放总量的 11.3%, 固定燃烧源 (10.7%) 及道路移动源 (9.5%) 对氨排放的贡献也不低 (图 2). 非农业源氨排放合计占比达 36.8%, 与我国区域尺度农业源氨排放贡献在 85% 的比例对比^[7], 说明对经济快速发展的郑州市而言, 不可忽视非农业源排放.

对于畜禽养殖源, 排放量前三的畜禽为蛋禽、肉猪和奶牛, 分别占畜禽排放的 65.4%、17.6% 和 6.9% (图 3). 郑州市畜禽排放量为 7816.0 t, 占总排放量的 43.1%, 与 Hou 等^[22] 的研究中合肥市畜禽养殖氨排放占比相近 (54.5%), 但后者的氨排放总量及畜禽氨排放量均是郑州市的两倍.

第二大氨排放源是氮肥施用, 郑州市地处平原, 可耕地面积达 $314.9 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ^[23], 氮肥主要施用的是尿素和碳酸氢铵. 相比河南省其他地市, 郑州市不是典型的农业城市, 与河南省 2015 年氮肥施用贡献 (28.2%) 相比^[15], 郑州市的贡献比 (20.1%) 处于较低水平.

对于各区县的排放 (图 4), 排放量最高的是登封市, 占郑州市总排放量的 19.3%, 主要来自农业源 (63.1%) 和固定燃烧源 (20.0%). 登封市畜牧业集中, 养殖场 354 家, 耕地面积达 $57.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 工业企业数量为 115 家. 其次为荥阳市、新密市和新郑市, 这 3 个地区是郑州市的主要粮食和工业核心区县, 合计贡献全市氨排放总量的 45.8%. 相较而言, 主城区经济相对发达、交通便利、不依靠农业活动, 且大型工厂远离主城区, 使得其氨排放总量相对较低, 但非农业源的排放却占主导地位. 主城区中排放量最大的是二七区, 逸散源贡献 89.2%, 主要是由于二七区第一垃圾处理厂承担了整个主城区的垃圾处理工作^[23]; 其次为郑东新区, 道路移动源贡献 41.0% 的氨排放, 氮肥施用占比 33.7%, 固定燃烧源为 13.3%, 郑东新区作为郑州市主城区新晋金融中心, 较其他主城区机动车尾气排放较高, 且耕地面积及氮肥使用量在主城区居于首位; 金水区的氨排放主要来自道路移动源 (59.8%)、固定燃烧源 (20.2%) 和逸散源 (12.1%), 该区作为全市经济最发达的城区之一, 交通便利, 功能完善, 常住居民截至 2017 年达 171.3 万人^[10], 导致移动源贡献相对最高.

2.2 空间分布特征

由图 4 可知, 排放强度较高的地区主要分布在新密市、新郑市、荥阳市和登封市, 这与当地有较为发达的畜禽养殖业, 且耕地面积较大、氮肥施用

表 1 2017 年郑州市大气氨排放清单/t

Table 1 NH₃ emissions inventory in Zhengzhou City in 2017/t

区县	畜禽养殖	氮肥施用	天然氨源	工艺过程	生物质燃烧	道路移动源	固定燃烧	逸散源	总量
中原区	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	34.7	57.1	20.7	130.4
二七区	10.0	1.4	0.0	0.0	13.9	68.4	34.5	1 057.9	1 186.1
管城区	0.0	9.1	0.1	0.0	10.0	57.3	23.8	16.6	116.9
金水区	0.0	12.7	0.1	0.0	6.3	144.9	49.1	29.2	242.3
上街区	1.5	31.9	0.0	1.7	7.2	23.5	35.8	5.4	107
惠济区	0.0	15.4	0.4	0.0	20.8	53.5	17.1	18.1	125.3
经开区	0.0	27.7	0.6	0.3	13.5	43.5	22.6	9.7	117.9
高新区	0.0	0.4	0.0	0.0	13.4	56.7	41.1	13.0	124.6
郑东新区	0.0	114.4	0.2	0.0	18.0	139.4	45.1	22.8	339.9
航空港区	149.8	251.4	7.9	0.0	73.5	143.6	30.8	35.2	692.2
中牟县	822.8	172.9	12.3	0.0	94.3	118.4	25.4	38.5	1 284.6
巩义市	546.7	568.8	1.9	4.0	136.8	154.8	340.6	117.6	1 871.2
荥阳市	1 363.0	874.4	0.8	7.2	122.6	85.7	88.2	455.0	2 996.9
新密市	1 225.7	874.3	2.0	0.2	128.3	152.6	369.4	56.7	2 809.2
新郑市	2 085.3	101.8	6.4	0.0	101.4	100.0	51.1	51.2	2 497.2
登封市	1 611.0	596.3	2.3	15.0	116.2	348.5	701.9	110.2	3 501.4
合计	7 816.0	3 653.0	35.1	28.3	894.0	1 725.7	1 933.5	2 057.7	18 143.3

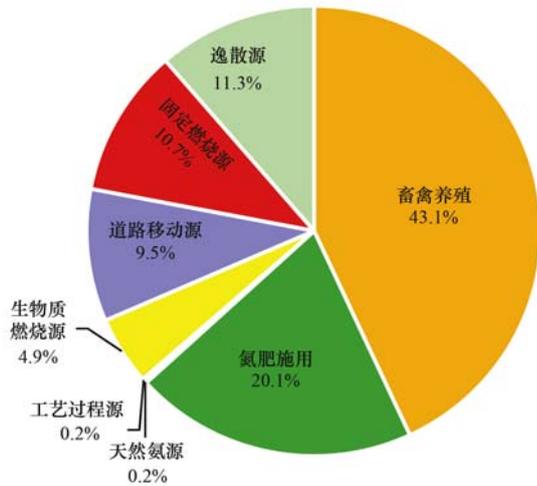


图 2 郑州市氨排放各排放源贡献率

Fig. 2 Source contributions to NH₃ emissions in Zhengzhou City

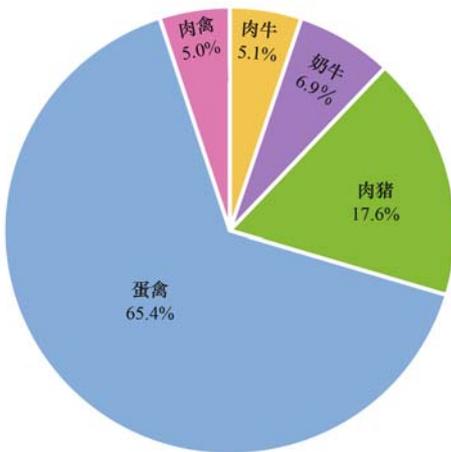


图 3 郑州市畜禽养殖业各畜禽贡献率

Fig. 3 Emission contribution of subcategory of livestock in Zhengzhou City

量高有关. 其中, 新郑市养殖场达 721 家, 其畜禽排放量为郑州市各区县之首, 占畜禽养殖总排放量的 26.7%. 航空港区 2017 年氨排放量为 692.2 t, 占郑州市全年排放量的 3.8%, 从总量来看并不高, 但由于航空港区占比面积较小, 并采取面源方式分配至网格中, 使得单位排放强度相对于主城区而言较大. 主城区作为郑州市经济中心, 氨排放主要以垃圾处理及汽车尾气排放为主, 高值区主要来自于垃圾处理过程和电厂燃料燃烧.

2.3 2007-2017 郑州市各区县氨排放趋势分析

由图 5 可知, 近 10 年间郑州市各区县大气氨排放量整体呈下降趋势, 排放量由 2007 年的 26 080.9 t 下降至 2017 年的 18 756.1 t. 总体上分为 3 个阶段: 排放稳定阶段, 2007 ~ 2011 年, 每年氨排放量在 26 000 ~ 27 600 t 小幅波动; 2012 年排放量大幅上涨, 排放高至 29 410.7 t, 相较于 2011 年增加了 3 145.2 t, 增长率为 12.0%; 2013 ~ 2017 年氨排放量逐年下降, 年平均下降率约为 6.0%.

2.3.1 各排放源趋势特征

对于畜禽养殖, 10 年间其排放量前期缓慢增长, 后期逐年显著下降. 2012 年氨排放量激增是由于 2011 年猪肉价格暴涨, 导致生猪存栏数大幅增长, 由 2011 年的 209.9 万头激增至 2012 年 224.7 万头, 增长率为 7.0%, 导致排放量增长 21.2%. 随后受畜牧业经济形势、养殖管理技术提升和城市化进程加快, 畜牧业排放量开始显著下降.

对于氮肥施用, 2013 年后, 随着施肥方式和技术的提高以及我国在 2015 年提出的关于实现到 2020 年化肥使用量零增长行动方案的发布, 氮肥施

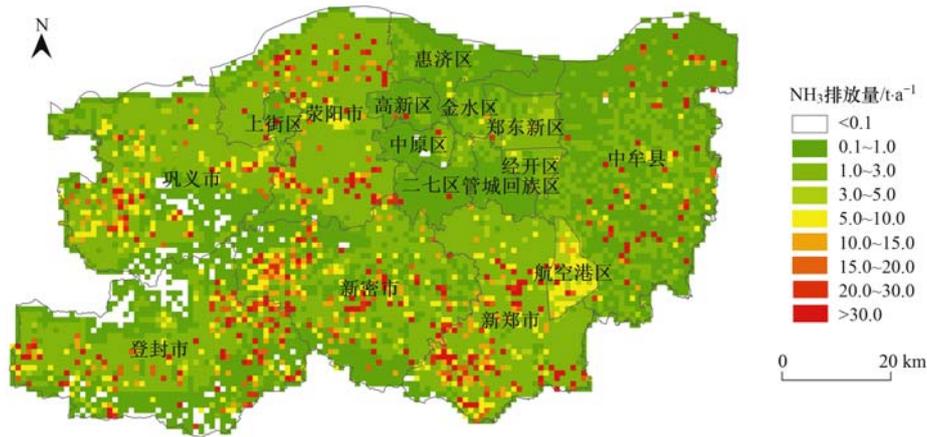


图 4 2017 年郑州市氨排放空间分布

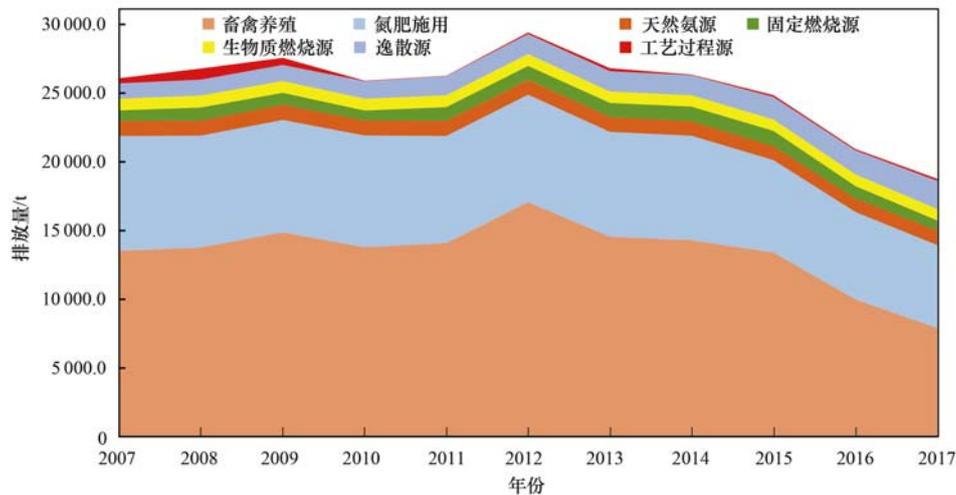
Fig. 4 Spatial distribution of NH_3 emissions in Zhengzhou City, 2017

图 5 2007 ~ 2017 年郑州市氨排放趋势变化

Fig. 5 NH_3 emissions trends in Zhengzhou City from 2007 to 2017

用源氨排放量逐步减少。

逸散源包括人体排放、垃圾处理及污水处理, 由于活动水平依据常住人口数计算, 导致其排放量随着每年常住人口数的增加而呈缓慢上升趋势。固定燃烧源氨排放趋势分为两个阶段, 2007 ~ 2015 年整体呈上升趋势, 2016 ~ 2017 年呈下降趋势。

2.3.2 各区县排放趋势特征

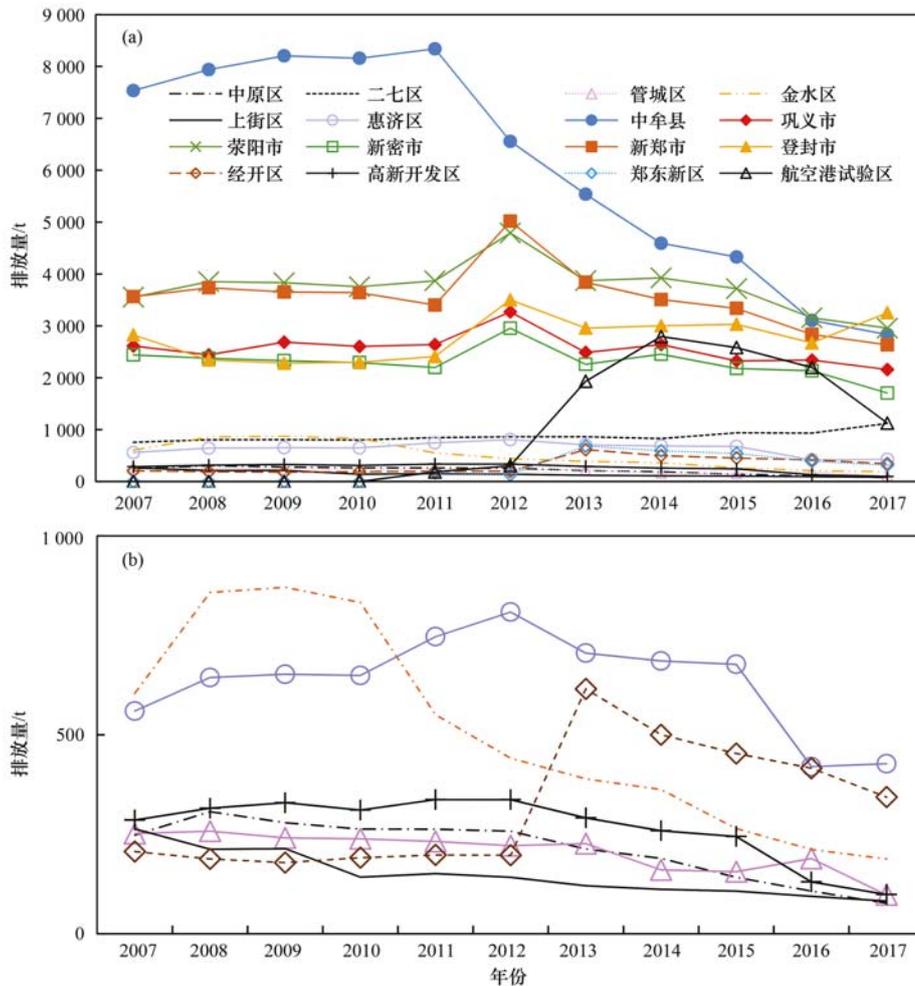
从图 6 可以看出, 由于发展状况的差异各区县排放趋势特征不同。其中, 主城区氨排放量一直处于较低水平, 2007 ~ 2012 年氨排放每年约为 3 300 t, 占全市年总量的 12% 左右。2013 年因经开区和郑东新区畜禽养殖业发展, 主城区氨排放升至全市总量的 15.0%, 随后逐年降低, 2017 年降至 2 667.6 t, 年平均下降率为 9.4%。二七区第一垃圾处理厂因承担主城区垃圾处理工作^[24], 在主城区其他区排放量下降的同时, 其排放量呈递增趋势。

对于 10 a 累计的氨排放, 中牟县、荥阳市和新郑市的排放较高, 且在 2007 ~ 2012 年 3 个地区每年

氨排放总量超过 15.0 kt, 占郑州市全年总量的 55.0% 以上; 自 2013 年控制减排后排放量逐年减少, 3 个区县的排放总量由 2013 年 13 247.7 t 的排放量下降至 2017 年的 8 724.6 t, 贡献率占全市氨排放总量的 49% 以下。中牟县近几年氨排放的下降与该县全面推进畜禽养殖禁养区关闭搬迁工作有关, 截止 2016 年底, 全县关闭或搬迁养殖场(户) 3018 家, 关闭搬迁总面积 $415.9 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 且全县养殖场粪污处理整治工作稳步推进^[25]。

2.4 郑州市氨排放驱动力相关性分析

如图 7 所示, 1989 ~ 2017 年郑州市氨排放与人口、人均 GDP 和城镇化相关性较强, 与能源强度、工业化和自然因素相关性较弱。氨排放与人口、城镇化及人均 GDP 呈“倒 U 型”趋势, 呈现出类似于环境库兹涅茨曲线(EKC)的关系, 即: 郑州市氨排放随着经济的增长而先增长再减少。而能源强度、工业化和年平均气温与郑州市氨排放的相关性相对不高。大多数 EKC 分析应用于工业污染及道路移动



(b)为(a)7个地点的数据放大

图6 2007~2017年郑州市各区县氨排放总量趋势

Fig. 6 NH_3 emissions trend of different regions in Zhengzhou City from 2007 to 2017

源,但对于农业氮素指标仍然适用^[26].在此次分析的数据中,由于2011年猪肉价格暴涨,导致2012年郑州市畜禽养殖氨排放量猛增,在相关性分析中不具参考价值,故不分析此数据.

氨排放与人均GDP变化密切相关,一方面收入的增加使居民对食物及蛋奶的需求上涨,从而增加土地耕种面积及农业生产强度,农民倾向于使用过量氮肥提高产量,导致大量活性氮流失到环境中;另一方面,人均GDP增加往往伴随着改善环境质量的社会需求.

20世纪,我国畜禽养殖多数处于散养和放牧状态,多数为家庭农业养殖,畜禽排泄物未及时处理,导致畜禽养殖氨排放逐年递增,此时郑州市人均GDP与氨排放呈正相关,总体处于倒U曲线左侧;随着郑州市经济发展及现代化建设,结合二污普调研可知,郑州市畜禽养殖向集约化养殖方向发展,牲畜粪便、尿液有效处理,畜禽对应排放量减少,畜禽排放量与人均GDP关系经过拐点进入倒U曲线

右侧.

对于氮肥施用,早期小型农户施肥倾向于向耕地播撒化肥,效率低且易挥发,此时氨排放与人均GDP等因素呈倒U曲线左侧发展趋势;随着施肥技术提高以及我国提出的关于实现到2020年化肥使用量零增长行动方案的有效推进,农耕地向大范围规范化耕种过渡,逐渐采用科学施肥技术精准施肥,调整化肥使用类型,采用有机肥代替化肥,降低化肥使用量,氨排放量逐年减少,实现区域氨排放出现拐点并向曲线右侧发展.

城镇化和人均GDP相关性较强,郑州市人均GDP逐年增加,由1989年的1815元上升至2017年的93143元,城镇化率的提高预示郑州市生产力的发展,科学技术的进步以及产业结构的升级,逐渐向非农产业为主的现代城市型社会转变,人民生活水平提高,居民环境保护意识增强,对绿色环境的社会需求增加.

郑州市氨排放的减排建议以农业源为重点进行

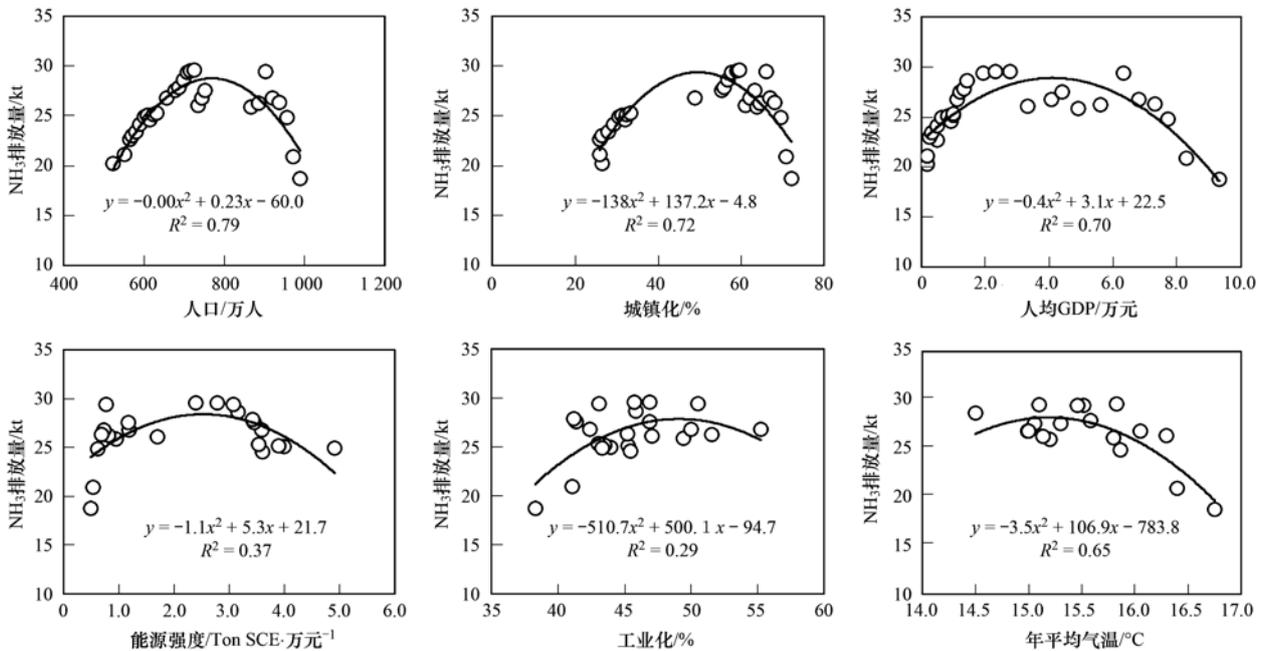


图7 郑州市氨排放与各影响因素相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis between NH_3 emissions and influencing factors in Zhengzhou City

中长期规划. 对于畜牧业, 可通过提高标准化养殖规模及比例, 并在养殖过程不同阶段加以控制, 氨减排效果显著^[27]; 对于农田施肥, 可与畜牧业建立闭合循环系统, 实现养种结合, 使资源充分利用, 并使用有机肥或新型肥料代替尿素, 对农田进行统一科学管理^[28].

3 结论

(1) 2017年郑州市大气氨排放总量为18 143.3 t, 畜禽养殖和氮肥施用分别贡献排放总量的43.1%和20.1%; 畜禽源中, 蛋禽排放量最高, 占畜禽排放的65.4%; 氮肥施用源中尿素排放量最大, 占氮肥排放量的56.6%.

(2) 2017年郑州市氨平均排放强度为 $2.4 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$, 排放量较大的区县为登封市、荥阳市和新密市, 分别占总排放的19.3%、16.5%和15.6%.

(3) 2007~2017年郑州市氨排放整体呈下降趋势, 10 a 累计氨排放量最高的区县为中牟县.

(4) 1989~2017年郑州市氨排放呈现出类似于库兹涅兹曲线(EKC)的趋势, 即氨排放整体上随着人均GDP和城镇化的上升而先增长再下降.

参考文献:

- [1] Behera S N, Sharma M. Investigating the potential role of ammonia in ion chemistry of fine particulate matter formation for an urban environment[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, **408**(17): 3569-3575.
- [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] Pinder R W, Gilliland A B, Dennis R L. Environmental impact of atmospheric NH_3 emissions under present and future conditions in the eastern United States[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, **35**(12), doi: 10.1029/2008GL033732.
- [4] 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.
- [5] Wang J, Li X, Zhang W K, et al. Secondary $\text{PM}_{2.5}$ in Zhengzhou, China: chemical species based on three years of observations[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2016, **16**(1): 91-104.
- [6] Chang Y H, Zou Z, Zhang Y L, et al. Assessing contributions of agricultural and nonagricultural emissions to atmospheric ammonia in a Chinese megacity[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, **53**(4): 1822-1833.
- [7] Gu B J, Sutton M A, Chang S X, et al. Agricultural ammonia emissions contribute to China's urban air pollution[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2014, **12**(5): 265-266.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 2014-2016 中国环境状况公报[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb/lzghjzkgb/>, 2021-04-21.
- [9] 中华人民共和国生态环境部. 2017 中国环境状况公报[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/qt/201805/W020180531606576563901.pdf>, 2021-04-21.
- [10] 郑州市人民政府. 全景郑州[EB/OL]. <http://www.zhengzhou.gov.cn/view1.jhtml>, 2021-04-21.
- [11] 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.
- [12] 王申博, 余雪, 赵庆炎, 等. 郑州市两次典型大气重污染过程成因分析[J]. *中国环境科学*, 2018, **38**(7): 2425-2431. Wang S B, Yu X, Zhao Q Y, et al. Analysis of the formation of two typical atmospheric heavy pollution episodes in Zhengzhou, China[J]. *China Environmental Science*, 2018, **38**(7): 2425-2431.
- [13] 国家统计局. 第二次全国污染源普查报表制度[EB/OL].

- http://www.stats.gov.cn/tjfw/bmdcxmsp/bmzd/201810/t20181010_1626964.html, 2021-04-21.
- [14] 王琛, 尹沙沙, 于世杰, 等. 河南省 2013 年大气氨排放清单建立及分布特征[J]. 环境科学, 2018, **39**(3): 1023-1030. Wang C, Yin S S, Yu S J, *et al.* A 2013-based atmospheric ammonia emission inventory and its characteristic of spatial distribution in Henan Province [J]. Environmental Science, 2018, **39**(3): 1023-1030.
- [15] Wang C, Yin S S, Bai L, *et al.* High-resolution ammonia emission inventories with comprehensive analysis and evaluation in Henan, China, 2006-2016 [J]. Atmospheric Environment, 2018, **193**: 11-23.
- [16] 环境保护部. 大气氨源排放清单编制技术指南(试行)[EB/OL]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/W020140828351293771578.pdf>. 2021-04-21.
- [17] Bai L, Lu X, Yin S S, *et al.* A recent emission inventory of multiple air pollutant, PM_{2.5} chemical species and its spatial-temporal characteristics in central China [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, **269**, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122114.
- [18] Gu X K, Yin S S, Lu X, *et al.* Recent development of a refined multiple air pollutant emission inventory of vehicles in the Central Plains of China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2019, **84**: 80-96.
- [19] Zhou Y, Cheng S Y, Lang J L, *et al.* A comprehensive ammonia emission inventory with high-resolution and its evaluation in the Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) region, China [J]. Atmospheric Environment, 2015, **106**: 305-317.
- [20] Ma S Y. High-resolution assessment of ammonia emissions in China: inventories, driving forces and mitigation [J]. Atmospheric Environment, 2020, **229**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.117458.
- [21] 高奥蕾, 张华, 倪昌城, 等. 基于面板数据模型的中国 30 省部门能源强度与经济增长关系研究 [J]. 煤炭经济研究, 2020, **40**(6): 4-12.
- [22] Hou X H, Yu X N. An ammonia emissions inventory for agricultural sources in Hefei, China [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2020, **13**(3): 260-267.
- [23] 河南省统计局. 2018 河南统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. 319-364.
- [24] 高原, 齐长青. 郑州市城市生活垃圾现状及治理对策 [J]. 环境卫生工程, 2008, **16**(4): 25-27. Gao Y, Qi C Q. Present status and treatment countermeasures of municipal domestic waste in Zhengzhou City [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2008, **16**(4): 25-27.
- [25] 郑州市人民政府. 《中牟县畜禽禁养区划定调整工作方案》的解读本 [EB/OL]. <http://zm.public.zhengzhou.gov.cn/u/cms/publiczm/202012/171146108pzk.pdf>, 2021-04-21.
- [26] Zhang X, Davidson E A, Mauzerall D L, *et al.* Managing nitrogen for sustainable development [J]. Nature, 2015, **528**(7580): 51-59.
- [27] 程龙. 京津冀农业氨排放清单建立及其控制方案研究 [D]. 北京: 北京工业大学, 2018. Cheng L. Establishment and control scheme of agricultural ammonia emission inventory in Beijing Tianjin Hebei Region [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2018.
- [28] 刘学军, 沙志鹏, 宋宇, 等. 我国大气氨的排放特征、减排技术与政策建议 [J]. 环境科学研究, 2021, **34**(1): 149-157. Liu X J, Sha Z P, Song Y, *et al.* China's atmospheric ammonia emission characteristics, mitigation options and policy recommendations [J]. Research of Environmental Sciences, 2021, **34**(1): 149-157.

CONTENTS

Disinfection By-products in Drinking Water and Their Control Strategies; A Review	CHU Wen-hai, XIAO Rong, DING Shun-ke, <i>et al.</i>	(5059)
Advances in Mechanism and Influencing Factors Affecting Hydrogen Sulfide Adsorption by Biochar	XU Qi-yong, LIANG Ming-shen, XU Wen-jun, <i>et al.</i>	(5086)
Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016	YANG Yu-lian, YANG Kun, LUO Yi, <i>et al.</i>	(5100)
Evolution and Potential Source Apportionment of Atmospheric Pollutants of Two Heavy Haze Episodes During the COVID-19 Lockdown in Beijing, China	ZHAO De-long, TIAN Ping, ZHOU Wei, <i>et al.</i>	(5109)
Characteristics and Origin Analysis of Air Pollution During the Spring Festival in Linfen, Fenwei Plain	LIU Wei-jie, HU Tian-peng, MAO Yao, <i>et al.</i>	(5122)
Spatio-Temporal Characteristics and Potential Source Areas of Seasonal Atmospheric Pollution in Shijiazhuang	NIE Sai-sai, WANG Shuai, CUI Jian-sheng, <i>et al.</i>	(5131)
Impact of Air Humidity on PM _{2.5} Mass Concentration and Visibility During Winter in Tianjin	DING Jing, TANG Ying-xiao, HAO Tian-yi, <i>et al.</i>	(5143)
Seasonal Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Chengde	HE Bo-wen, NIE Sai-sai, WANG Shuai, <i>et al.</i>	(5152)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory from Domestic Sources in China	LIANG Xiao-ming, CHEN Lai-guo, SHEN Guo-feng, <i>et al.</i>	(5162)
Characteristics of Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission in China from 2011 to 2019	LIU Rui-yuan, ZHONG Mei-fang, ZHAO Xiao-ya, <i>et al.</i>	(5169)
VOCs Emission Inventory and Uncertainty Analysis of Industry in Qingdao Based on Latin Hypercube Sampling and Monte Carlo Method	XU Wan-ying, FU Fei, LÜ Jian-hua, <i>et al.</i>	(5180)
Emission Characteristics and Environment Impacts of VOCs from Typical Rubber Manufacture	WANG Hai-lin, XIN Guo-xing, ZHU Li-min, <i>et al.</i>	(5193)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Different Functional Zones of Shenyang, China	KU Ying-ying, REN Wan-hui, SU Cong-cong, <i>et al.</i>	(5201)
Characteristics of BTEX and Health Risk Assessment During Typical Pollution Episodes in Summer and Winter in Tianjin Urban Area	HAN Ting-ting, LI Ying-ruo, PU Wei-wei, <i>et al.</i>	(5210)
Atmospheric NH ₃ Emission Inventory and Analysis of the Driving Force in Zhengzhou City	JI Yao, WANG Chen, LU Xuan, <i>et al.</i>	(5220)
Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of O ₃ Concentrations Based on GAMs Model in Chengdu	ZHANG Ying, NI Chang-jian, FENG Xin-yuan, <i>et al.</i>	(5228)
Spatial Variation Characteristics and Remote Sensing Retrieval of Total Suspended Matter in Surface Water of the Yangtze River	LI Jian-hong, HUANG Chang-chun, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(5239)
Spatial Distribution Characteristics of the Spectrum, Source Analysis, and Nitrogen Response of Dissolved Organic Matter in Summer Rainfall in the Hebei Province	ZHANG Zi-wei, ZHOU Shi-lei, CHEN Zhao-ying, <i>et al.</i>	(5250)
Distribution and Influencing Factors of DOM Components in Urban and Suburban Polluted Rivers	ZHU Yi, CHEN Hao, DING Guo-ping, <i>et al.</i>	(5264)
Composition and Distribution of Microplastics in the Water and Sediments of Urban Rivers in Beijing	HU Jia-min, ZUO Jian-e, LI Di, <i>et al.</i>	(5275)
Nontarget Screening and Ecological Risk Assessment of Polar Organic Pollutants in Surface Water on the West Bank of Taihu Lake	LU Xin-yan, WANG Fei, ZHANG Li-min, <i>et al.</i>	(5284)
Optimization of Extraction Methods and Distribution Characteristics of Antibiotics and Metabolites in Sediments of a River Water-Groundwater Interaction Zone	LI Yu-qiong, TONG Lei, YAN Han, <i>et al.</i>	(5294)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Antibiotics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Desilting Demonstration Area in Baiyangdian Lake	WANG Tong-fei, ZHANG Wei-jun, LI Li-qing, <i>et al.</i>	(5303)
Dynamic Mechanisms of Groundwater Quality by Residual Contaminants of the Tanghe Wastewater Reservoir in Xiong'an New Area	ZHANG Zhi-xiong, WANG Shi-qin, ZHANG Yi-zhang, <i>et al.</i>	(5312)
Analysis and Prediction of Health Risk from Heavy Metals in Drinking Water Sources Based on Time Series Model	JI Chao, HOU Da-wei, XIE Li, <i>et al.</i>	(5322)
Spatial Distribution, Risk, and Influencing Factors of River Water-Sediment Heavy Metals in the Lower Reaches of the Qianhe River	GAO Yu, WANG Guo-lan, JIN Zi-han, <i>et al.</i>	(5333)
Spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake Basin During the Wet Season	HE Miao, LIU Gui-jian, WU Lei, <i>et al.</i>	(5346)
Impact of Enclosure Culture on Heavy Metal Content in Surface Sediments of Hongze Lake and Ecological Risk Assessment	ZI Xin-yuan, ZHANG Ming, GU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(5355)
Natural Water Chemistry Change in the Surface Water of Chengdu and Impact Factors	XU Qiu-jin, LAI Cheng-yue, DING Yao, <i>et al.</i>	(5364)
Hydrochemical Characteristics and Controlling Factors of Groundwater in the Leizhou Peninsula	PENG Hong-xia, HOU Qing-qin, ZENG Min, <i>et al.</i>	(5375)
Land-based Nitrogen Pollution Source Structure and Spatial Distribution in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area	DONG Si-qi, HUANG Chong, <i>et al.</i>	(5384)
Output Characteristics of Nitrogen and Phosphorus from Non-Point Source Pollution of Typical Land Use in a Micro-Watershed in Hilly Red Soil Region	FANG Zhi-da, SU Jing-jun, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i>	(5394)
Effects of Different Fertilization Patterns on Nitrogen Leaching Loss from Paddy Fields Under Reduced Nitrogen	JIANG Hai-bin, ZHANG Ke-qiang, ZOU Hong-tao, <i>et al.</i>	(5405)
Effects of <i>Spartina alterniflora</i> Invasion on Soil Phosphorus Forms in the Jiaozhou Bay Wetland	SHA Meng-qiao, CHAI Na, ZHAO Hong-tao, <i>et al.</i>	(5414)
Contrasting Analysis of Microbial Community Composition in the Water and Sediments of the North Canal Based on 16S rRNA High-Throughput Sequencing	PENG Ke, DONG Zhi, DI Yan-ming, <i>et al.</i>	(5424)
Characteristics of Phosphorus Adsorption in Aqueous Solution by Si-modified Peanut Shell Biochar	ZHAO Min, ZHANG Xiao-ping, WANG Liang-rong, <i>et al.</i>	(5433)
Adsorption Characteristics of Pb(II) on Eucalyptus Biochar Modified by Potassium Permanganate	MO Zhen-lin, ZENG Hong-hu, LIN Hua, <i>et al.</i>	(5440)
Preparation of Mixed Metal Oxide/Carbon Composites and Its Adsorption Performance for Pb(II)	LU Yu-shen, ZONG Li, YU Hui, <i>et al.</i>	(5450)
Fabrication of Supported Titanium Xerogel Adsorbent and Performance Evaluation for Arsenite Removal	SUN Ye-yang, ZHOU Chang, GAN Yong-hai, <i>et al.</i>	(5460)
Nitrite Regulation During Start-up of Combined Partial Nitrification and ANAMMOX Process	ZUO Fu-min, ZHENG Rui, SUI Qian-wen, <i>et al.</i>	(5472)
Effects of Biochar and Straw Return on Soil Aggregate and Organic Carbon on Purple Soil Dry Slope Land	DENG Hua, GAO Ming, LONG Yi, <i>et al.</i>	(5481)
Response of Soil Organic Carbon Content in Different Slope Positions to Fertilization Management in Purple Soil Sloping Fields	XU Man, YU Luo, WANG Fu-hua, <i>et al.</i>	(5491)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in the Eastern Mountainous Area of the Nanyang Basin	LAI Shu-ya, DONG Qiu-yao, SONG Chao, <i>et al.</i>	(5500)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Suburban Farmland Soil	ZHANG Xiu-xiu, LU Xiao-li, WEI Yu-chen, <i>et al.</i>	(5510)
Accumulation Characteristics and Dietary Exposure Estimation of Heavy Metals in Vegetables from the Eastern Coastal Region of China	SUN Shuai, GENG Ning-bo, GUO Cui-cui, <i>et al.</i>	(5519)
Security Risk and Influencing Factors of Agro-Products in Farmland Soil Around a Typical Mining Smelter	HUO Yan-hui, WANG Mei-e, XIE Tian, <i>et al.</i>	(5526)
Cd Pollution and Safe Planting Zoning in Paddy Soils: A Case Study in a District of Chongqing	CAO Shu-zhen, MU Yue, CUI Jing-xin, <i>et al.</i>	(5535)
Characteristics and Influencing Factors of Cadmium Accumulation in Different Rice Varieties Under Cadmium Contaminated Field Conditions	WANG Yu-hao, YANG Li, KANG Yu-chen, <i>et al.</i>	(5545)
Effects of Nano-membrane on Aerobic Composting Process and Odor Emission of Livestock Manure	LI Yong-shuang, SUN Bo, CHEN Ju-hong, <i>et al.</i>	(5554)