

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

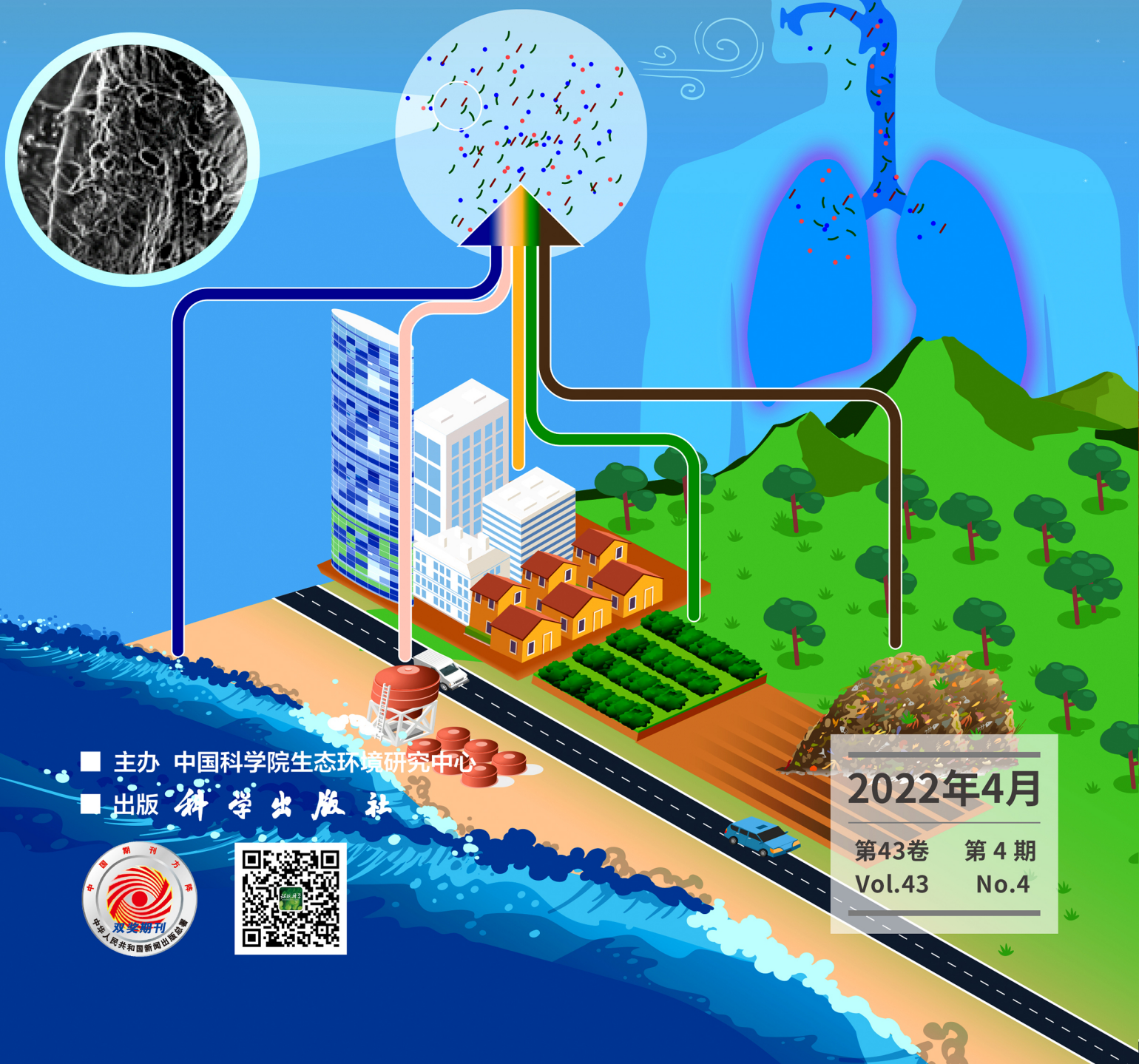
ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

大连海岸带夏、秋季大气沉降(微)塑料的赋存特征及其表面生物膜特性

涂晨, 田媛, 刘颖, 张馨宁, 骆永明



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年4月

第43卷 第4期
Vol.43 No.4

目次

2015~2019年河南省PM _{2.5} 时空特征与驱动因素分析	葛昱序, 刘岩, 杨洪, 郭恒亮 (1697)
郑州市大气PM _{2.5} 中重金属的污染特征、来源及健康风险评估: 基于高分辨数据	曲光辉, 孙俊苹, 王申博, 姜楠, 李利萍, 刘洋, 陈红阳, 马双良 (1706)
宁波市春节期间水溶性离子污染来源和特征分析	杨梦蓉, 潘勇, 黄仲文, 张晶晶, 黄显军, 何萌萌, 肖航 (1716)
上海城区PM _{2.5} 中有机组分及硝基芳香化合物分布特征	庄旻, 马英歌, 程玉璜, 周敏, 戴海夏, 黄成, 郁建珍, 朱书慧, 乔利平, 童张法 (1725)
南京北郊大气细粒子硝基苯酚类化合物污染特征与来源	陈美娟, 钱姿合, 顾陈娟, 张书萌, 刘智艺, 王新峰, 盖鑫磊 (1738)
春节与疫情管控期间珠三角VOCs的组成和来源变化	江明, 袁鸾, 温丽容, 张莹, 方洪波, 杨满芽, 李成柳 (1747)
重庆市主要工业源VOCs组分排放清单及其臭氧生成潜势	李陵, 李振亮, 方维凯, 王晓宸, 蒲茜, 汪凌韬, 袁睿, 张卫东, 翟崇治 (1756)
珠三角石化园区VOCs排放特征及影响评价	张雪驰, 沙青娥, 陆梦华, 王毓铮, 饶思杰, 明桂英, 李勤勤, 吴淑珠, 郑君瑜 (1766)
基于隧道测试的机动车VOCs排放特征及源解析	刘鑫会, 朱仁成, 金博强, 梅慧, 祖雷, 尹沙沙, 张瑞芹, 胡京南 (1777)
基于多通道分布式VOCs在线监测质谱系统精准识别企业污染源	韦啸, 张永杰, 王沛涛, 洪燕, 夏瑞, 高伟 (1788)
基于SOA和O ₃ 生成潜势的杭州市PM _{2.5} 和O ₃ 协同控制	林旭, 严仁婧, 金嘉佳, 许凯儿 (1799)
超低排放燃煤电厂中湿式电除尘器对可凝结颗粒物排放特性的影响	王鹏程, 袁畅, 梁胜文, 蒋鹭翔, 成海容, 许睿光, 虞晓晗, 王祖武 (1808)
西安市住宅室内空气污染物实测分析与叠加效应	王秀茹, 樊灏, 范洁, 沈振兴 (1814)
大连海岸带夏、秋季大气沉降(微)塑料的赋存特征及其表面生物膜特性	涂晨, 田媛, 刘颖, 张馨宁, 骆永明 (1821)
基于在线观测本地因子的长三角家禽养殖氨排放时空分布特征	高宗源, 徐昶, 倪远之, 沈根祥, 苗文亮, 王振旗, 付侃, 钱晓雍, 曹国民 (1829)
西宁市农牧源氨排放清单及其分布特征	杨益, 姬亚芹, 高玉宗, 林孜, 林宇, 马妍 (1844)
“三水”统筹视角下京津冀地区城市水生态环境保护策略分析	廖雅, 侯晓妹, 任晓红 (1853)
中国居民饮用水镉暴露非致癌风险的年龄分层权重	秦宁, 阿依博塔·吐尔逊别克, 刘运炜, 侯荣, 徐翔宇, 官家丞, 段小丽 (1863)
新疆博尔塔拉河流域平原区地表水与地下水水化学特征及转化关系	雷米, 周金龙, 张杰, 陈亚鹏, 滕杰, 吴彤, 徐东升, 孙英, 纪媛媛 (1873)
珠江源区小黄泥河流域地表水水化学组成特征及控制因素	涂春霖, 尹林虎, 和成忠, 寸得欣, 马一奇, 令狐昌卫 (1885)
河套灌区浅层地下水NO ₃ ⁻ -N时空变化及驱动因素	袁宏颖, 杨树青, 张万峰, 王波, 韩天凯, 丁雪华 (1898)
盐城地区地下水溶质来源及其成因分析	王建, 张华兵, 许君利, 李永山 (1908)
白洋淀不同水体氢氧同位素特征及其指示意义	王雨山, 尹德超, 祁晓凡, 徐蓉桢 (1920)
东部地区大型湖库有色可溶性有机物来源组成及潜在驱动因素	陈丽丽, 肖启涛, 俞晓琴, 陈慧敏, 周蕾, 周永强, 韩龙飞 (1930)
松花湖沉积物溶解性有机质荧光光谱特性	程云轩, 赵可, 张越, 张渝婷, 焦立新 (1941)
区域土地利用类型对水源水中溶解性有机物丰度和荧光组分的影响	高静, 蒲晓, 张玉虎, 程红光, 张瑞宁, 刘训良, 董雪, 许新瑶 (1950)
南北水调东线枢纽湖泊表层水体甲烷释放特征及潜在影响因素	朱俊羽, 彭凯, 李宇阳, 俞晓琴, 陈慧敏, 周蕾, 周永强, 丁艳青 (1958)
千岛湖水体中邻苯二甲酸酯(PAEs)的分布特征及健康风险评价	弥启欣, 国晓春, 卢少勇, 邓义祥, 卢洪斌, 李响, 刘晓贺, 陈金明 (1966)
蓝藻越冬期湖湾沉积物磷吸附特征和释放风险	靳郑海, 涂成琪, 王书航, 陈俊伊, 卢昶雨, 黄威 (1976)
基于植物多样性的北京市湿地生态质量评价	李果, 孙光, 赵梓伊, 刘冬梅, 肖能文, 赵志平, 罗遵兰 (1988)
小清河专项治理对莱州湾环境和浮游植物的影响	张晶晶, 王玉珏, 李凡, 刘珂, 王英, 于洋, 高彦洁, 肖晓彤, 吕振波 (1997)
不同曝气方式对人工湿地细菌多样性、代谢活性及功能的影响	王飞鹏, 黄亚玲, 张瑞瑞, 岳琛, 李飞翔, 张超月, 穆景利 (2007)
南宁市老城区降雨径流溯源及污染特征分析	岳桢桢, 李一平, 周玉璇, 郑可, 于珊, 伍彬 (2018)
老化作用对微塑料吸附铅的影响及其机制	王俊杰, 陈晓晨, 李权达, 金成俊, 黄艺佳, 范露健, 张剑宇, 刘宪华, 徐开钦 (2030)
碳化泡沫负载Co ₃ O ₄ 活化过硫酸盐降解罗丹明B	王渊源, 阎鑫, 艾涛, 李卓, 牛艳辉 (2039)
低总氮浓度下Fe ²⁺ 促进ANAMMOX生物膜反应器脱氮	郑旭文, 秦嘉富, 汪晓军, 陈浩川, 朱梓静, 陈振国 (2047)
污水管道增强通风作用下臭气气液传质特性	杨洲, 张志强, 杨静, 卢金锁 (2055)
长江经济带工业区土壤重金属污染特征与评价	张义, 周心功, 曾晓敏, 冯娇, 刘玉荣 (2062)
中国北方典型设施菜地土壤稀土元素分布特征及环境意义	王祖伟, 刘雅明, 王子璐, 苗钰婷 (2071)
贵州省典型铅锌矿区潜在有毒元素(PTEs)物源甄别、生态风险评价及控制因素	张富贵, 彭敏, 贺灵, 马宏宏 (2081)
地质高背景与污染叠加区不同土地利用方式下土壤重金属分布特征	王雪雯, 刘鸿雁, 顾小凤, 涂宇, 于恩江, 吴攀 (2094)
矿区周边农田土壤重金属分布特征及污染评价	王海洋, 韩玲, 谢丹妮, 胡慧娟, 刘志恒, 王祯 (2104)
农田-泥炭藓系统重金属富集特征与生态风险评价	朱迪, 张朝晖, 王智慧 (2115)
安顺市土壤pH空间变异及影响因素分析	陈清霞, 陆晓辉, 涂成龙 (2124)
方解石基组配钝化剂与低积累玉米协同修复效果	任超, 任或仲, 李竞天, 王浩, 朱利文, 肖建辉, 赵瑞, 杜倩倩 (2133)
伯克氏菌Y4对水稻幼苗损伤和镉吸收的影响	张雅荟, 刘月敏, 王常荣, 刘雅萍, 庞杰, 黄永春, 刘仲齐, 张长波 (2142)
我国长江中下游平原典型稻田含碳温室气体通量变化特性	刘硕, 甄晓杰, 刘钢, 冯兆忠 (2151)
地膜覆盖和生物炭添加对菜地N ₂ O排放的影响	胡剑, 江长胜, 陈鑫童, 熊艳芳, 郝庆菊 (2163)
氮肥运筹对稻田CH ₄ 和N ₂ O排放的影响	郑梅群, 刘娟, 姜培坤, 吴家森, 李永夫, 李松果 (2171)
松花江下游滨岸带典型植被根际土壤细菌群落结构与功能多样性	王露莹, 孙慧珍, 杨雪 (2182)
棉秆还田对咸水滴灌棉田土壤酶活性和细菌群落结构多样性的影响	周永学, 陈静, 李远, 侯振安, 阎伟 (2192)
pH对水稻土全程氨氧化细菌丰度和群落结构组成影响	马瑞, 赵永鹏, 王智慧, 蒋先军 (2204)
生物炭对紫色土坡耕地侵蚀性耕层土壤有机碳的影响	张健乐, 曾小英, 史东梅, 倪书辉, 夏蕊, 王荣浩 (2209)
有机肥替代化肥对旱地黄壤有机碳矿化及活性有机碳的影响	林仕芳, 王小利, 段建军, 皮义均, 郭琴波, 龙大勇, 徐彬, 杨宏伟 (2219)
九龙江河口潮滩湿地土壤有机碳储量、活性组分及稳定性沿淹水梯度的分布特征	黄小清, 全川, 罗敏, 杨洋, 谭凤凤, 潘哲妍, 刘娜, 陈欣, 黄佳芳 (2226)
碳中和战略下煤矿区生态碳汇体系构建及功能提升展望	刘祥宏, 阎永军, 刘伟, 黄占斌 (2237)
《环境科学》征订启事(1929)	《环境科学》征稿简则(1975)
信息(1996, 2029, 2080)	

西宁市农牧源氨排放清单及其分布特征

杨益^{1,2}, 姬亚芹^{1,2*}, 高玉宗^{1,2}, 林孜^{1,2}, 林宇^{1,2}, 马妍^{1,2}

(1. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300350; 2. 国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津 300350)

摘要: 以西宁市为研究区域, 通过实地调研获得西宁市农牧源活动水平数据, 利用排放因子法编制了西宁市 2018 年农牧源氨排放清单. 分析了西宁市农牧源氨排放特征, 利用 ArcGIS 进行 3 km × 3 km 的空间网格化分配, 利用蒙特卡罗模拟对畜禽养殖和氮肥施用氨排放清单进行不确定性分析. 结果表明, 西宁市 2018 年农牧源氨排放总量为 4 644.58 t. 其中, 氮肥施用和畜禽养殖的氨年排放总量分别为 1 664.84 t 和 2 979.75 t, 分别占西宁市农牧源氨排放总量的 35.84% 和 64.16%. 空间分布的结果表明, 西宁市农牧源氨排放主要来自大通县、湟源县和湟中区, 分别占西宁市农牧源氨排放总量的 40.10%、30.66% 和 28.05%. 从月份分配来看, 畜禽养殖氨排放无月份差异, 氮肥施用氨排放集中在 6 月和 7 月, 排放量分别为 799.96 t 和 768.48 t, 分别占全年排放量的 48.05% 和 46.16%. 蒙特卡罗模拟结果表明, 在 95% 置信区间下, 西宁市农牧源氨排放不确定性较低, 为 -24.38% ~ 26.71%.

关键词: 农牧源氨; 排放清单; 时空分配; 不确定性分析; 西宁市

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)04-1844-09 DOI: 10.13227/j.hjkk.202107219

Agricultural Ammonia Emission Inventory and Its Distribution in Xining City

YANG Yi^{1,2}, JI Ya-qin^{1,2*}, GAO Yu-zong^{1,2}, LIN Zi^{1,2}, LIN Yu^{1,2}, MA Yan^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300350, China; 2. State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution Prevention and Control, Tianjin 300350, China)

Abstract: Based on the field research activity level, the emission inventory of agricultural ammonia in Xining City in 2018 was established using the emission factor method. The emission characteristics of agricultural ammonia in Xining City were analyzed, a spatial grid distribution of 3 km × 3 km was carried out by ArcGIS, and an uncertainty analysis of the ammonia emission inventory of livestock and poultry breeding and nitrogen fertilizer application was carried out via Monte Carlo simulation. The results showed that the total amount of ammonia emissions from agricultural sources in Xining City in 2018 was 4 644.58 t. Among them, the total annual ammonia emissions from nitrogen fertilizer application and livestock and poultry farming were 1 664.84 t and 2 979.75 t, respectively, accounting for 35.84% and 64.16% of the total ammonia emissions from agricultural sources in Xining City. The spatial distribution results showed that the agricultural source ammonia emissions of Xining City mainly came from Datong County, Huangyuan County, and Huangzhong County, which accounted for 40.10%, 30.66%, and 28.05% of the total agricultural source ammonia emissions of Xining City, respectively. From the perspective of monthly distribution, no monthly difference in ammonia emissions was found in livestock and poultry farming. The ammonia emissions from nitrogen fertilizer application mainly existed in June (799.96 t) and July (768.48 t), accounting for 48.05% and 46.16% of the annual emissions. Monte Carlo simulation results showed that under a 95% confidence interval, the uncertainties of ammonia emissions from nitrogen fertilizer application agricultural source ammonia were low, ranging from -24.38% to 26.71%.

Key words: agricultural source ammonia; emission inventory; temporal and spatial distribution; uncertainty analysis; Xining City

氨(NH₃)是大气中的微量气体之一^[1,2], 作为重要的活性氮化合物, 是参与大气氮循环的关键成分^[3,4]. 作为大气中唯一的碱性气体, 氨可以中和大气中的酸性物质形成硫酸铵[(NH₄)₂SO₄]和硝酸铵(NH₄NO₃)等物质, 有利于增加降水的 pH 值, 降低酸雨的危害, 在低层大气环境酸化中起着重要的缓冲作用^[5-7]. 同时反应形成的硫酸铵和硝酸铵等物质又是二次无机气溶胶细粒子 PM_{2.5} 的主要成分^[8,9], 影响大气能见度, 导致心血管和呼吸系统疾病, 损害人体健康^[10-13]. 大气中的氨也会增强辐射强度的影响, 阻碍甲烷的氧化, 加剧温室效应^[14-17]. 此外, NH₃ 沉降到陆地和水生生态系统中会直接或间接导致土壤酸化^[18-20]、水体富营养化^[21-24] 和生物多样性降低^[25-27].

大气中氨的人为排放源主要包括农田生态系统(包含氮肥施用、固氮植物、秸秆堆肥、土壤本

底)、畜禽养殖、生物质燃烧、人体粪便、化工生产、废物处理和交通排放等. 有研究表明, 以氮肥施用和畜禽养殖排放为主的农牧源是主要的人为氨排放源, 这一主要排放源的排放合计占全球氨排放量的 57% 以上, 占亚洲总排放量的 80% 以上, 由于密集农业活动, 中国氨排放对全球氨排放的贡献较大^[28-30]. 沈丽^[31]对长江三角洲氨排放清单的研究发现, 2006 ~ 2014 年期间农牧源是长三角地区最主要的氨排放源, 占总排放量的 80% 以上; 尤翔宇等^[32]对长株潭地区 2013 年人为源氨排放清单的研究表明, 畜禽养殖和农田生态系统是最主要的氨排放源, 氨排放分担率为 88.33%; Kang 等^[33]在 1980

收稿日期: 2021-07-26; 修订日期: 2021-09-05

作者简介: 杨益(1998 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染源排放清单, E-mail: 820031040@qq.com

* 通信作者, E-mail: jiyaqin@nankai.edu.cn

~2012 年中国高分辨率氨排放清单的研究中发现, 1980 ~ 1996 年, 中国 NH_3 排放的两个主要来源是牲畜粪便和合成肥料的施用, 占总排放量的 80% ~ 90%; Streets 等^[29]研究 2012 年亚洲大气污染源排放清单发现, 农牧源氨排放占总的氨排放的 89.53%.

近年来, 氨排放清单的建立逐渐引起国内外学者的关注, 尤其是氨排放特征、分布特征及氨排放的影响. 我国作为氨排放大国, 目前对氨排放清单的建立虽已取得不少进展, 但大多数研究的活动水平数据来源于统计年鉴^[34~36], 缺乏自下而上获取数据的先例.

青海省是我国五大牧区之一, 而西宁市作为青海省的政治、经济、文化、教育、交通和通讯中心, 也是中国重要的畜牧业生产基地. 但目前对该区域的农牧源氨排放清单的研究缺乏, 基于此, 本研究采取自下而上与自上而下相结合的方式获取活动水平数据, 降低清单的不确定性. 统计调查了西宁市 2018 年各区县农牧源氨排放主要来源的活动水平数据, 选取合理的计算方法与排放因子, 建立了 2018 年西宁市农业氨排放清单, 对其分布特征进行了分析, 利用 ArcGIS 和蒙特卡罗方法进行空间分配和不确定性分析, 以期在西宁市农业氨减排方案与政策的制定提供科学依据.

1 材料与方法

本研究调查了西宁市城东区、城中区、城西区、城北区、湟中区、大通回族土族自治县(大通县)和湟源县的农牧源活动水平数据(图 1). 根据文献[37]中推荐的农牧源计算方法, 估算得到了氮肥施用和畜禽养殖的大气污染物 NH_3 的排放量.

1.1 排放量计算方法

1.1.1 氮肥施用

氮肥施用中氨排放主要来自于农作物种植过程中施用氮肥, 氮肥施用于农业土壤后, 大部分以氨氮的形式挥发到大气中, 能被农作物吸收利用的量很低. 氮肥施用的氨排放量大小, 取决于氮肥类型和施肥量, 同时还受到土壤性质、气候条件、农作物枝叶的浓密程度和人为活动等多种因素的影响. 农田生态系统中氮肥施用氨排放计算方法如公式(1):

$$E_{\text{氮肥施用}} = \sum_i (A_i \times EF_i) \tag{1}$$

式中, $E_{\text{氮肥施用}}$ 为氮肥施用排放量, t ; i 为氮肥种类, 包括尿素、碳铵、硝铵、硫铵和其他氮肥共 5 类; A_i 为活动水平, 即各类氮肥的施用量; EF_i 为氨排放系数.

1.1.2 畜禽养殖

畜禽养殖氨排放主要由动物排泄物释放, 在微



图 1 研究区域示意

Fig. 1 Map of the study area

生物作用下, 排泄物中的含氮物质进行氧化和分解, 有机氮转化为无机氮并以氨的形式释放到大气中. 氨排放与畜禽种类、日粮营养组成及饲料添加剂、圈舍结构、圈舍地面类型、圈舍温度、湿度及通风条件、粪便清理方式、粪便存储设施和粪便施肥方式等因素有关. 畜禽排泄物向大气释放氨包括圈舍-固态(h-s)、圈舍-液态(h-l)、存储-固态(s-s)、存储-液态(s-l)、施肥-固态(f-s)、施肥-液态(f-l)和户外共 7 个部分, 排放量计算方法如公式(2):

$$E_{\text{畜禽养殖}} = 1.214 \times \sum_{i=1}^{n=7} (A_i \times EF_i) \tag{2}$$

式中, $E_{\text{畜禽养殖}}$ 为畜禽养殖排放量, t ; i 为圈舍-固态(h-s)、圈舍-液态(h-l)、存储-固态(s-s)、存储-液态(s-l)、施肥-固态(f-s)、施肥-液态(f-l)、户外共 7 个部分; A_i 为各部分的氨活动水平(分为不同养殖方式室内、户外总铵态氮, 不同粪便管理阶段铵态氮量. 计算方式的选取主要参考文献[37]; EF_i 为各部分的氨排放系数; 1.214: 常数, 氮-大气氨转换系数.

1.2 排放因子及相关参数确定

1.2.1 氮肥施用氨排放因子

氮肥施用过程排放系数:

$$EF = BEF \times \alpha \times \beta \tag{3}$$

式中, BEF 为基准排放系数, 根据土壤酸碱性和氮肥

施用时的温度,查询文献[37]获取,见表1. 西宁市土壤为碱性,硝铵和其他氮肥按照酸性土壤推荐值;根据西宁市各区县填报的氮肥施用时间为3~7月以及西宁市3~7月平均气温为10~20℃的特点,选择对应温度的排放因子; α 为施肥率修正因子,根据2018年统计各地区具体填报数据,每亩耕地施肥高于13 kg 氮(根据每kg 尿素、硝铵、碳铵和硫铵分别含0.47、0.35、0.17和0.21 kg 氮的比例进行折算,其对应的施肥量为27.66、37.14、74.47和61.90 kg)的地区,施肥率校正系数为1.18,其它地区为1.0; β 为施肥方式修正因子.施肥方式包括表面撒施和覆土深施,在施基肥(种肥)时通常采用覆土深施,施追肥通常采用表面撒施.施肥方式校正系数在覆土深施时取0.32,表面撒施时为1.00.

表1 西宁市氮肥施用基础排放因子
Table 1 Basic emission factors of nitrogen fertilizer application in Xining City

氮肥种类	温度/℃	排放系数 (氮肥施用量占比)/%
尿素	10~20	14.66
硝铵	10~20	0.40 ¹⁾
碳铵	10~20	6.93
硫铵	10~20	1.40
其他	10~20	0.23 ¹⁾

1)文献[37]推荐碱性土壤中硝铵和其他氮肥的排放系数可参考酸性土壤推荐值

1.2.2 畜禽养殖氨排放因子

畜禽养殖氨排放系数由单位质量总铵态氮肥通过大气氨形式排放的氮含量决定,单位为%.本清单编制中畜禽养殖排放因子的选取主要参考文献[37],见表2.

表2 农牧源畜禽养殖氨排放系数
Table 2 Ammonia emission coefficient from agricultural source livestock and poultry farming

种类	EF _{h-l}	EF _{h-s}	EF _{s-l}	EF _{s-s}	EF _{f-l}	EF _{f-s}	EF _{户外}
肉牛>1 a-散养	9.3	9.3	20	27	55	79	53
肉牛>1 a-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	55	79	53
肉牛>1 a-放牧	9.3	9.3	20	27	55	79	6
奶牛>1 a-散养	9.3	9.3	20	27	55	79	30
奶牛>1 a-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	55	79	30
奶牛>1 a-放牧	9.3	9.3	20	27	55	79	10
山羊>1 a-散养	9.3	9.3	28	28	90	81	75
山羊>1 a-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	90	81	75
山羊>1 a-放牧	9.3	9.3	28	28	90	90	9
绵羊>1 a-散养	9.3	9.3	28	28	90	81	75
绵羊>1 a-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	90	81	75
绵羊>1 a-放牧	9.3	9.3	28	28	90	90	9
母猪-散养	9.2	9.2	14	45	40	81	0
母猪-集中	8.9	8.9	3.8	4.6	40	81	0
肉猪>75 d-散养	6.2	6.2	14	45	40	81	0
肉猪>75 d-集中	11.3	11.3	3.8	4.6	40	81	0
马-散养	9.3	9.3	35	35	90	81	0
马-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	90	81	0
马-放牧	9.3	9.3	35	35	90	90	35
驴-散养	9.3	9.3	35	35	90	81	0
驴-集中	9.3	9.3	15.8	4.2	90	81	0
驴-放牧	9.3	9.3	35	35	90	90	35
蛋鸡-散养	24.9	24.9	0	14	0	63	69
蛋鸡-集中	0	19.7	0	3.7	0	63	69
肉鸡-散养	22.2	22.2	0	17	0	63	66
肉鸡-集中	0	22.2	0	0.8	0	63	66

1.3 活动水平数据获取与来源

本次源清单编制过程中,活动水平数据来源于农业农村部门填报、社区/村庄填报和GIS地图等方式获取.为了确保数据的准确性和完整性,填报之前开展全方位培训,解释填报表格中每个参数的具体含义、填报注意事项和各项问题解决的办法,并建立微信群和网上24 h答疑,且经过3级数据审

核、现场抽查复核、电话复核、与二污普数据比对和与统计年鉴数据比对等多种方式审核校验数据,在审查校验数据的过程中,如果出现与调研活动水平数据产生较大出入时,采取二次现场复核,直至数据准确有效.在本次源清单的编制过程中,活动水平数据主要包括作物种类和面积、氮肥类型、氮肥施用量、施用时间,畜禽种类、数量和粪便管理方式

等. 其调查内容和获取途径详见表 3. 结合西宁市农作物类型和农时资料, 依据不同施肥时段和不同氮肥类型, 计算整理得到各区县氮肥活动水平数据, 详见表 4. 基于西宁市各区县填报数据的详细程度, 按照肉牛、奶牛、山羊、绵羊、肉猪、母猪、马、驴、蛋鸡和肉鸡这 10 大类进行汇总整理, 详见表 5.

表 3 农牧源活动水平数据获取来源

Table 3 Sources of agricultural source activity level data acquisition		
部门/行业	具体调查内容	获取来源
氮肥施用	作物种类、作物面积、氮肥种类、施用量和施用日期	社区/村庄调查表
畜禽养殖	畜禽种类、饲养量、饲养周期和粪便管理方式	社区/村庄调查表和部门调查表

表 4 各区县氮肥施用活动水平

Table 4 Nitrogen fertilizer application activity level in various districts and counties						
区县名称	施用氮肥的作物面积 $\times 10^4 \text{ hm}^2$	氮肥施用量/kg				
		尿素	硝铵	碳铵	硫酸	其他氮肥
城东区	182	/	/	/	/	60
城中区	1 380	30	/	/	/	541
城西区	/	/	/	/	/	/
城北区	1 928	175	40	20	/	130
大通县	553 091	5 933	193	140	210	13 830
湟中区	500 678	10 805	285	818	310	15 254
湟源县	147 363	1 737	60	270	60	1 550
合计	1 204 623	18 680	578	1 248	580	31 365

表 5 各区县畜禽数量汇总

Table 5 Summary of the number of livestock and poultry in various districts and counties					
区县名称	牛/头	羊/只	猪/头	鸡/只	其他
城东区	749	3 030	33	/	/
城中区	5 464	14 228	2 315	30 343	/
城西区	600	/	/	/	/
城北区	68	70	5	/	/
大通县	216 330	155 339	155 538	433 579	221
湟中区	97 937	84 799	20 377	281 878	126
湟源县	93 645	246 664	7 025	135 473	25
合计	414 793	504 130	185 293	881 273	372

2 结果与讨论

2.1 2018 年西宁市农牧源大气污染物排放清单分析

西宁市 2018 年农牧源氨排放总量为 4 644.58 t. 其中, 氮肥施用和畜禽养殖的氨年排放总量分别为 1 664.84 t 和 2 979.75 t, 分别占西宁市农牧源氨排放总量的 35.84% 和 64.16%. 氮肥施用中, 尿素、硝铵、碳铵、硫酸和其他氮肥的氨排放量分别为 1 640.53、0.34、10.22、1.29 和 12.46 t, 尿素的施用是氮肥施用主要的氨排放来源. 图 2 表明, 西宁市畜禽养殖氨排放主要发生于存储、施肥和圈舍过程中, 贡献率分别为 41.59%、31.69% 和 17.01%, 户外阶段的氨排放量较小, 贡献率仅为 9.71%. 存储阶段氨排放量较大是因为在存储过程中粪尿堆肥发酵, 产生较多的氨气; 而施肥阶段氨排放量较大是由于粪便还田后表面积大大增加, 加上温度和风速的影响, 使得氨挥发加快, 从而排放到空气中的氨增加, 同时土壤中的脲酶也会加速分解

畜禽排泄物中的尿素产生氨气导致施肥这一阶段氨

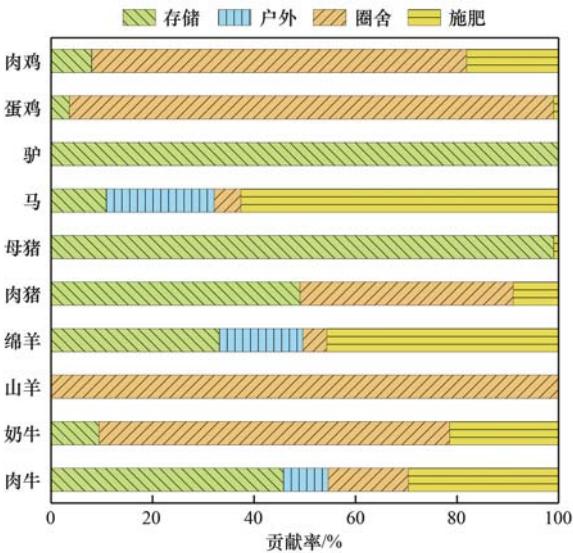


图 2 西宁市各类畜禽养殖分阶段氨排放贡献率

Fig. 2 Ammonia emission contribution rate of various livestock and poultry breeding in Xining City

排放贡献率较大.可见,从存储和施肥阶段减少氨排放是畜禽养殖氨排放的重要控制方向.

与其他地区农牧源排放清单结果对比可知(见表6),西宁市农牧源氨排放清单构成与上海市及全国水平相似.河南省、京津冀地区和山东省氮肥施用氨排放所占比例相对略高于西宁市,因为河南省、河北省和山东省均为我国有名的农业大省,相对来讲氮肥施用较西宁市多一些.表6中青海省的结果来自于董文煊^[38]对全国尺度的研究,其活动水平来自国家统计资料,不确定性较大,且空间范围为整个青海省;而本文活动水平数据实地调研而来,不确定性相对较低,且空间范围仅为西宁市,同时排放因

子和基准年不同,故2006年青海省畜禽养殖氨排放的贡献远高于西宁市畜禽养殖氨排放的贡献.通过西宁市2018年农牧源氨排放强度与其他地区的对比可知(表7),西宁市农牧源氨排放强度低于四川省、张家口市、承德市和北京市.四川省作为我国的农业大省,幅员辽阔,牲畜养殖量和氮肥施用量均较大;京津冀地区平原较多,耕地面积大,化肥施用量大导致氨排放量较大,但由于以北京为中心城市水平较高,导致化肥施用氨排放量相对降低;而西宁市虽然畜牧业产值在全省占有较大的比重,但西宁市地广人稀,整体大气污染形势较京津冀及农业较为发达的城市并不严重.

表6 西宁市2018年农牧源氨排放清单与其他地区对比

Table 6 Comparison of agricultural source ammonia emission inventory in Xining City in 2018 with other regions

研究区域	基准年	氮肥施用 占比/%	畜禽养殖 占比/%	涵盖排放源	文献
河南	2013	31.53	52.71	氮肥施用、畜禽养殖、人体排泄、生物质燃烧、燃料燃烧、化工生产、机动车、废物处理和自然源	[39]
京津冀	2015	42.04	57.96	氮肥施用和畜禽养殖	[40]
山东	2012	39.59	55.50	氮肥施用、畜禽养殖、土壤本底、固氮作物、生物质燃烧和人体排放	[41]
上海	2011	34.3	61.2	氮肥施用、畜禽养殖、土壤本底、生物质燃烧和人体排放	[42]
全国	2012	32.60	58.29	氮肥施用、畜禽养殖、土壤本底、固氮作物、堆肥、生物质燃烧和人体排放	[33]
青海省	2006	9.99	85.96	氮肥施用、畜禽养殖、化肥生产和人体排放	[38]
西宁市	2018	35.84	64.16	氮肥施用和畜禽养殖	本研究

表7 西宁市2018年农牧源氨排放强度与其他地区对比

Table 7 Comparison of agricultural source ammonia emission intensity in Xining City in 2018 with other regions

研究区域	基准年	氨排放量 /万t	氨排放强度 /t·km ⁻²	涵盖农业排放源	文献
四川省	2014	95.5	1.97	畜禽养殖、氮肥施用、土壤本底、固氮植物和秸秆燃烧	[36]
张家口市	2014	8.67	2.41	畜禽养殖和氮肥施用	[43]
北京市	2014	5.88	3.58	畜禽养殖和氮肥施用	[43]
承德市	2014	10.06	2.55	畜禽养殖和氮肥施用	[43]
西宁市	2018	0.46	0.61	畜禽养殖和氮肥施用	本研究

2.2 空间分布特征

表8为西宁市2018年农牧源各个区县氨的排放量和排放贡献率,图3为西宁市2018年农牧源各区县不同氮肥和畜禽种类对氨排放的贡献率.根据农牧源的地理位置或者是与之有相同空间分布特征的其他空间地理信息数据-耕地面积,建立空间分配权重因子,将清单排放总量分配到3 km×3 km的网格中.考虑到土地利用现状图上对农田种植作物的类型不能加以区分,而畜禽养殖的空间范围也无法确定,因此,利用空间分析工具 ArcGIS 将氮肥施用和畜禽养殖均按照点源方式进行空间分配,见图4.

表8和图4表明,西宁市农牧源NH₃排放区域主要集中于大通县、湟源县和湟中区.这主要是因为在西宁市辖的五区二县中,大通县、湟源县和湟中区的畜禽养殖数量较多,农田面积较大.大通县、湟源县和湟中区的NH₃排放贡献率分别为

40.10%、30.66%和28.05%.

氮肥施用氨排放中,湟中区和大通县排放量最大,分别为890.46 t和565.62 t,排放贡献率分别为53.49%和33.97%;湟源县氨排放量较小,为202.71 t,排放贡献率为12.18%.城东区 and 城西区均为0;城中和城北区的NH₃排放贡献率分别为0.07%和0.29%.这一结果主要受氮肥施用的作物面积的影响,湟中区和大通县的作物面积最大,湟源县次之;其次,尿素的使用是氮肥施用主要的氨排放来源,排放因子远高于其他四类氮肥,湟中区尿素使用量远高于其它区县.各区县尿素的施用对氮肥施用氨排放的贡献率最大,排放贡献率区县排序为:城中区(99.13%)>大通县(98.79%)>湟源县(98.44%)>湟中区(98.42%)>城北区(95.31%).

畜禽养殖氨排放中,大通县和湟源县排放量较

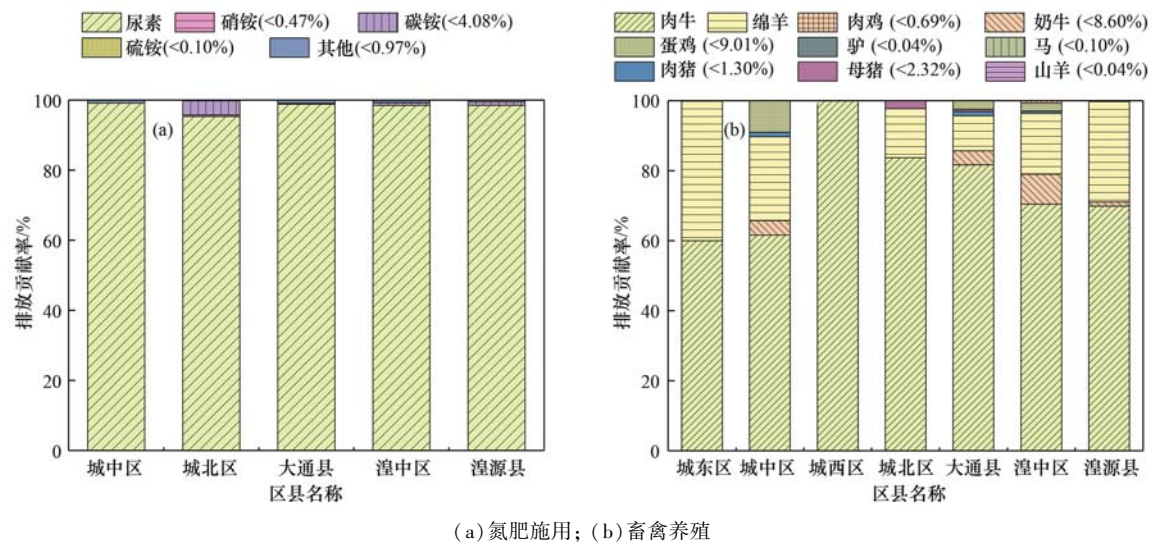


图3 农牧源各区县氨排放贡献

Fig. 3 Contribution rate of various districts and counties of agricultural sources

大,分别为1 296. 69 t和1 221. 50 t,排放贡献率分别为43. 52%和40. 99%. 湟中区氨排放量较小,为412. 53 t,排放贡献率为13. 84%. 城中区、城东区、城西区 and 城北区的NH₃排放贡献率分别为1. 34%、0. 21%、0. 08%和0. 01%. 这一结果除了受畜禽养殖数量的影响外,还与各类畜禽的排放因子有关,湟中区的畜禽以畜舍排泄为主,湟源县以粪便存储、户外排泄为主,而粪便存储、户外排泄的排放因子均大于畜舍排泄,故而湟中区排放量小于湟源县. 肉牛养殖对畜禽养殖氨排放的贡献率最大,排放贡献率区县排序为:城西区(100. 00%)>城北区(83. 72%)>大通县(81. 67%)>湟中区(70. 41%)>湟源县(69. 86%)>城中区(61. 62%)>城东区(60. 00%);其次是绵羊的养殖,排放的空间贡献率

区县排序为:城东区(39. 84%)>湟源县(28. 65%)>城中区(23. 96%)>湟中区(17. 27%)>城北区(13. 95%)>大通县(10. 04%);其余畜禽种类的养殖对氨排放量的贡献均很小.

表8 农牧源各区县氨的排放量和排放贡献率

Table 8 Ammonia emission and emission contribution rate of various districts and counties of agricultural sources		
区县名称	氨排放量/t	氨排放贡献率/%
城东区	6. 30	0. 14
城中区	41. 00	0. 88
城西区	2. 46	0. 05
城北区	5. 33	0. 12
大通县	1 862. 31	40. 10
湟中区	1 302. 99	28. 05
湟源县	1 424. 20	30. 66
合计	4 644. 58	100. 00

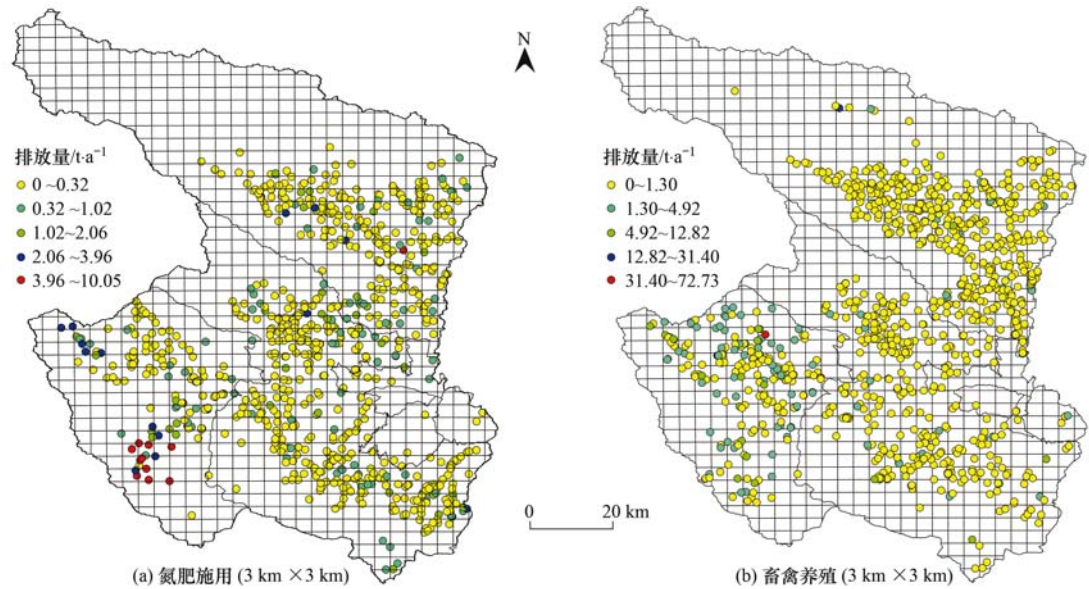


图4 农牧源氨排放空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of agricultural sources

2.3 时间分布特征

农牧源氨排放的时间分配包括月、日和小时分配. 根据各区县统计数据中具体氮肥施用时间和施用量, 计算得到氨月排放量占全年氨排放量的比值来确定月分配系数; 本研究按照年度调查的畜禽饲养量, 畜禽饲养量的月变化难以给出, 参照文献[44], 经综合分析, 本研究畜禽养殖氨排放采取月平均分配. 从农牧源氨排放月分配系数可见(图5), 氮肥施用氨排放月变化明显, 在4~7月排放较多, 6~7月集中排放, 这与农作物的关键生长阶段施肥较多有关.

氮肥施用氨排放发生在3~7月, 由于受到农业氮肥施用以及温度等影响, 氮肥施用 NH_3 集中在6~7月, 排放量分别为799.96 t 和768.48 t, 分别占全年排放量的48.05%和46.16%, 这与农作物在6~7月为旺盛生长阶段, 追肥施肥量较大且多用尿素有关. 1~2月和8~12月的氮肥施用氨月排放量在全年最小, 均为0, 主要因为1~2月和8~12月几乎不存在氮肥施用情况.

畜禽养殖氨排放在全年都有发生, 由于氨排放不受特殊活动制约, 仅与畜禽养殖量和粪便处理方式有关, 使得各月氨排放量没有差别, 各月氨排放量均为248.31 t.

2.4 不确定性分析

不确定性分析是排放清单编制的重要一环. 蒙特卡罗(Monte Carlo)方法因其灵活性强, 没有使用限制条件, 广泛应用于求解各种不确定性问题, 是评估排放清单不确定性的有效方法之一, 已逐渐被应用到各种排放源以及国家尺度的温室气体清单的编

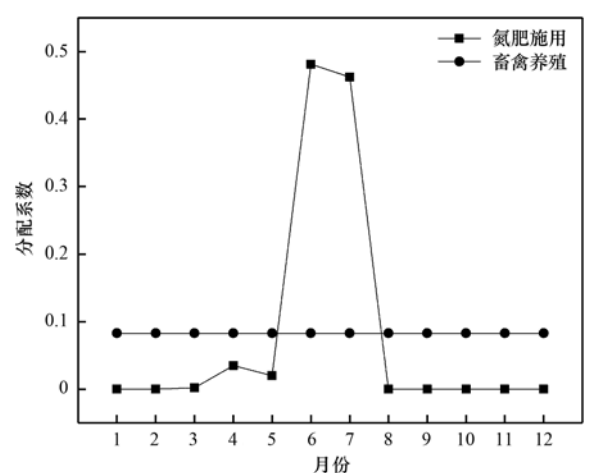


图5 农牧源排放月分配系数
Fig. 5 Monthly emission distribution coefficient of agricultural sources

制中. 西宁市农牧源氨排放清单编制过程中, 主要参考文献[37], 选取适合本地的排放因子, 在西宁市的适用性上存在一定的不确定性. 本文采用蒙特卡罗方法, 使用 Oracle Crystal Ball 软件, 评估西宁市2018年农牧源氨排放清单的不确定性. 设定随机抽样次数10 000次, 置信度95%, 将累计概率密度为2.5%对应的值作为排放量的下限, 97.5%对应的值为排放量的上限, 得到氮肥施用和畜禽养殖大气氨排放量的不确定性范围, 结果如表9所示. 从中可知, 氨排放量的计算值与模拟均值较接近, 不确定性较低, 范围为-24.38%~26.71%. 西宁市农牧源活动水平数据来源于农业部门自上而下和养殖单位的自下而上填报, 故其畜禽养殖和氮肥施用氨排放的不确定性均较低.

表9 农牧源氨排放不确定性分析
Table 9 Uncertainty of emission inventory

源类	污染物	中位值/t	平均值/t	95% 置信区间/t	不确定性/%
氮肥施用	NH_3	1 643.26	1 650.40	1 247.98 ~ 2 091.29	-24.38 ~ 26.71
畜禽养殖	NH_3	2 975.35	2 976.96	2 668.52 ~ 3 300.01	-10.36 ~ 10.85

3 结论

- (1) 2018年西宁市农牧源氨排放总量为4 644.58 t. 其中, 畜禽养殖氨排放量最大, 为2 979.75 t, 其次为氮肥施用, 排放量为1 664.84 t.
- (2) 本文计算所得的西宁市2018年氨排放清单与其他学者的研究结果较为相似. 西宁市2018年农牧源氨排放强度低于四川省、张家口市、承德市和北京市.
- (3) 空间分布的结果表明, 西宁市农牧源氨排放主要来自大通县、湟源县和湟中区, 分别占西宁市农牧源氨排放总量的40.10%、30.66%和

- 28.05%. 其中氮肥施用氨排放, 湟中区和大通县排放量较大, 湟源县氨排放量较小; 畜禽养殖氨排放中, 大通县和湟源县排放量最大, 湟中区氨排放量较小.
 - (4) 畜禽养殖氨排放无月份差异, 氮肥施用氨排放集中在6~7月, 排放量分别为799.96 t和768.48 t, 分别占全年排放量的48.05%和46.16%.
 - (5) 蒙特卡罗模拟结果表明, 在95%置信区间下, 氮肥施用和畜禽养殖氨排放的不确定度均较低.
- 参考文献:
[1] 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.
- [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] Murawska A, Prus P. The progress of sustainable management of ammonia emissions from agriculture in European Union States including Poland-variation, trends, and economic conditions[J]. *Sustainability*, 2021, **13**(3), doi: 10.3390/su13031035.
- [4] Galloway J N, Zhao D, Thomson V E, *et al.* Nitrogen mobilization in the United States of America and the People's Republic of China [J]. *Atmospheric Environment*, 1996, **30**(10-11): 1551-1561.
- [5] Ye Z L, Guo X R, Cheng L, *et al.* Reducing PM_{2.5} and secondary inorganic aerosols by agricultural ammonia emission mitigation within the Beijing-Tianjin-Hebei region, China [J]. *Atmospheric Environment*, 2019, **219**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2019.116989.
- [6] Biswas K F, Ghauri B M, Husain L. Gaseous and aerosol pollutants during fog and clear episodes in South Asian urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(33): 7775-7785.
- [7] 彭应登, 杨明珍, 申立贤. 北京氨源排放及其对二次粒子生成的影响[J]. *环境科学*, 2000, **21**(6): 101-103.
Peng Y D, Yang M Z, Shen L X. Ammonia emission and its effects on the formation of secondary particles in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2000, **21**(6): 101-103.
- [8] Behera S N, Sharma M. Transformation of atmospheric ammonia and acid gases into components of PM_{2.5}: an environmental chamber study [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(4): 1187-1197.
- [9] Artiñano B, Pujadas M, Alonso-Blanco E, *et al.* Real-time monitoring of atmospheric ammonia during a pollution episode in Madrid (Spain) [J]. *Atmospheric Environment*, 2018, **189**: 80-88.
- [10] Jiang Y, Deng A X, Bloszies S, *et al.* Nonlinear response of soil ammonia emissions to fertilizer nitrogen [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2017, **53**(3): 269-274.
- [11] Lelieveld J, Evans J S, Fnais M, *et al.* The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale [J]. *Nature*, 2015, **525**(7569): 367-371.
- [12] 余飞翔, 晁娜, 吴建, 等. 浙江省 2013 年农业源氨排放清单研究 [J]. *环境污染与防治*, 2016, **38**(10): 41-46.
Yu F X, Chao N, Wu J, *et al.* Research on agricultural ammonia emission inventory of Zhejiang province in 2013 [J]. *Environmental Pollution and Control*, 2016, **38**(10): 41-46.
- [13] 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.
- [14] Charlson R J, Schwartz S E, Hales J M, *et al.* Climate forcing by anthropogenic aerosols [J]. *Science*, 1992, **255**(5043): 423-430.
- [15] Emmerling C, Krein A, Junk J. Meta-analysis of strategies to reduce NH₃ emissions from slurries in European agriculture and consequences for greenhouse gas emissions [J]. *Agronomy*, 2020, **10**(11), doi: 10.3390/agronomy10111633.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 王文锦, 王卿, 朱安生, 等. 2000~2018 年长三角土地利用变化对农田生态系统氨排放的影响 [J]. *环境科学*, 2021, **42**(7): 3442-3450.
Wang W J, Wang Q, Zhu A S, *et al.* Role of land use changes on ammonia emissions from agricultural ecosystems in the Yangtze River Delta Region from 2000 to 2018 [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(7): 3442-3450.
- [19] Liu L, Zhang X Y, Xu W, *et al.* Ground ammonia concentrations over China derived from satellite and atmospheric transport modeling [J]. *Remote Sensing*, 2017, **9**(5), doi: 10.3390/rs9050467.
- [20] Ge X R, Schaap M, Kranenburg R, *et al.* Modeling atmospheric ammonia using agricultural emissions with improved spatial variability and temporal dynamics [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2020, **20**(24): 16055-16087.
- [21] Paerl H W, Gardner W S, McCarthy M J, *et al.* Algal blooms: noteworthy nitrogen [J]. *Science*, 2014, **346**(6206): 175.
- [22] Anderson N, Strader R, Davidson C. Airborne reduced nitrogen: ammonia emissions from agriculture and other sources [J]. *Environment International*, 2003, **29**(2-3): 277-286.
- [23] Insausti M, Timmis R, Kinnersley R, *et al.* Advances in sensing ammonia from agricultural sources [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, **706**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135124.
- [24] Erisman J W, Schaap M. The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe [J]. *Environmental Pollution*, 2004, **129**(1): 159-163.
- [25] Bobbink R, Hicks K, Galloway J, *et al.* Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis [J]. *Ecological Applications*, 2010, **20**(1): 30-59.
- [26] Pearson J, Stewart G R. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants [J]. *New Phytologist*, 1993, **125**(2): 283-305.
- [27] Mielcarek-Bochenska P, Rzeźnik W. Ammonia emission from livestock production in Poland and its regional diversity, in the years 2005-2017 [J]. *Archives of Environmental Protection*, 2019, **45**(4): 114-121.
- [28] Clarisse L, Clerbaux C, Dentener F, *et al.* Global ammonia distribution derived from infrared satellite observations [J]. *Nature Geoscience*, 2009, **2**(7): 479-483.
- [29] 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: Atmospheres*, 2003, **108**, doi: 10.1029/2002JD003093.
- [30] 郭文凯, 李光耀, 陈冰, 等. 兰州市高分辨率人为源排放清单建立及在 WRF-Chem 中应用评估 [J]. *环境科学*, 2021, **42**(2): 634-642.
Guo W K, Li G Y, Chen B, *et al.* Establishment of a high-resolution anthropogenic emission inventory and its evaluation using the WRF-Chem model for Lanzhou [J]. *Environmental Science*, 2021, **42**(2): 634-642.
- [31] 沈丽. 长江三角洲地区大气氨排放清单的建立及特征分析 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2019.
- [32] 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.
- [33] Kang Y N, Liu M X, Song Y, *et al.* High-resolution ammonia emissions inventories in China from 1980 to 2012 [J].

- Atmospheric Chemistry and Physics, 2016, **16**(4): 2043-2058.
- [34] 刘春蕾, 姚利鹏. 江苏省农业源氨排放分布特征[J]. 安徽农业科学, 2016, **44**(22): 70-74.
- Liu C L, Yao L P. Agricultural ammonia emission inventory and its distribution characteristics in Jiangsu province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, **44**(22): 70-74.
- [35] 杨新明, 周伟, 韩磊, 等. 济南市 2010~2015 年农业源氨排放量估算及分布特征[J]. 环境保护科学, 2017, **43**(6): 90-93, 106.
- Yang X M, Zhou W, Han L, *et al.* Estimation and distribution of agricultural source ammonia emissions from 2010 to 2015 in Jinan City [J]. Environmental Protection Science, 2017, **43**(6): 90-93, 106.
- [36] 冯小琼, 陈军辉, 姜涛, 等. 四川省 2005~2014 年农业源氨排放清单及分布特征[J]. 环境科学, 2017, **38**(7): 2728-2737.
- Feng X Q, Chen J H, Jiang T, *et al.* Agricultural ammonia emission Inventory and its spatial distribution in Sichuan province from 2005 to 2014[J]. Environmental Science, 2017, **38**(7): 2728-2737.
- [37] 中华人民共和国生态环境部. 大气氨源排放清单编制技术指南(试行)[EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201408/t20140828_288364.htm, 2020-03-15.
- [38] 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, Xin J, Wang S X. Temporal and spatial distribution of atmospheric ammonia emissions in China: 1994-2006 [J]. Environmental Science, 2010, **31**(7): 1457-1463.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 高榕. 山东省农业源氨排放清单及其减排潜力研究[D]. 济南: 济南大学, 2018.
- [42] 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.
- [43] 程龙, 郭秀锐, 程水源, 等. 京津冀农业源氨排放对 PM_{2.5} 的影响[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(4): 1579-1588.
- Cheng L, Guo X R, Cheng S Y, *et al.* Effect of ammonia emission from agriculture in Beijing-Tianjin-Hebei on PM_{2.5} [J]. China Environmental Science, 2018, **38**(4): 1579-1588.
- [44] 崔娟, 刘杰, 陈洁. 榆林市农牧源大气氨排放清单研究[J]. 环境与发展, 2020, **32**(10): 221, 223.
- Cui J, Liu J, Chen J. Research on atmospheric ammonia emission list of agricultural and animal husbandry sources in Yulin City [J]. Environment and Development, 2020, **32**(10): 221, 223.

CONTENTS

Analysis on Spatial-temporal Characteristics and Driving Factors of PM _{2.5} in Henan Province from 2015 to 2019	GE Qi-xu, LIU Yan, YANG Hong, <i>et al.</i>	(1697)
Pollution Characterization, Source Identification, and Health Risks of Atmospheric Particle-Bound Heavy Metals in PM _{2.5} in Zhengzhou City: Based on High-resolution Data	QU Guang-hui, SUN Jun-ping, WANG Shen-bo, <i>et al.</i>	(1706)
Source Analysis and Composition Characteristics of Water-soluble Ions During Spring Festival in Ningbo	YANG Meng-rong, PAN Yong, HUANG Zhong-wen, <i>et al.</i>	(1716)
Characteristics of Nitroaromatic Compounds in PM _{2.5} in Urban Area of Shanghai	ZHUANG Min, MA Ying-ge, CHENG Yu-huang, <i>et al.</i>	(1725)
Characteristics and Sources of Nitrated Phenols in Atmospheric Fine Particles of Northern Suburban Nanjing	CHEN Mei-juan, QIAN Zi-he, GU Chen-juan, <i>et al.</i>	(1738)
Variety of the Composition and Sources of VOCs During the Spring Festival and Epidemic Prevention in the Pearl River Delta	JIANG Ming, YUAN Luan, WEN Li-rong, <i>et al.</i>	(1747)
Speciated Emission Inventory of VOCs from Industrial Sources and Their Ozone Formation Potential in Chongqing	LI Ling, LI Zhen-liang, FANG Wei-kai, <i>et al.</i>	(1756)
Volatile Organic Compound Emission Characteristics and Influences Assessment of a Petrochemical Industrial Park in the Pearl River Delta Region	ZHANG Xue-chi, SHA Qing-e, LU Meng-hua, <i>et al.</i>	(1766)
Characteristics and Source Apportionment of Vehicular VOCs Emissions in a Tunnel Study	LIU Xin-hui, ZHU Ren-cheng, JIN Bo-qiang, <i>et al.</i>	(1777)
Accurate Identification of Pollution Sources in a Chemical Enterprise Based on a Distributed Multi-channel VOCs Online Monitoring Mass Spectrometry System	WEI Xiao, ZHANG Yong-jie, WANG Pei-tao, <i>et al.</i>	(1788)
Coordinated Control of PM _{2.5} and O ₃ in Hangzhou Based on SOA and O ₃ Formation Potential	LIN Xu, YAN Ren-chang, JIN Jia-jia, <i>et al.</i>	(1799)
Effect of WESP on Emission Characteristics of Condensable Particulate Matter from Ultra-low Emission Coal-fired Power Plants	WANG Peng-cheng, YUAN Chang, LIANG Sheng-wen, <i>et al.</i>	(1808)
Measurement Analysis and Superposed Effect of Residential Indoor Air Pollutants in Xi'an	WANG Xiu-ru, FAN Hao, FAN Jie, <i>et al.</i>	(1814)
Occurrence of Atmospheric (Micro)plastics and the Characteristics of the Plastic Associated Biofilms in the Coastal Zone of Dalian in Summer and Autumn	TU Chen, TIAN Yuan, LIU Ying, <i>et al.</i>	(1821)
Spatiotemporal Distribution of Ammonia Emissions from Poultry Farming in the Yangtze River Delta Based on Online Monitoring Derived Local Emission Factors	GAO Zong-yuan, XU Chang, NI Yuan-zhi, <i>et al.</i>	(1829)
Agricultural Ammonia Emission Inventory and Its Distribution in Xining City	YANG Yi, Ji Ya-qin, GAO Yu-zong, <i>et al.</i>	(1844)
Analysis of the Urban Water Eco-environment Protection Strategy in the Beijing-Tianjin-Hebei Region from "Three Waters" Overall Planning	LIAO Ya, HOU Xiao-shu, REN Xiao-hong	(1853)
Non-carcinogenic Risk Assessment of Cadmium Exposure Through Drinking Water in Chinese Residents Based on Age-stratification Weight	QIN Ning, Ayibota Tuexunbieke, LIU Yun-wei, <i>et al.</i>	(1863)
Hydrochemical Characteristics and Transformation Relationship of Surface Water and Groundwater in the Plain Area of Bortala River Basin, Xinjiang	LEI Mi, ZHOU Jin-long, ZHANG Jie, <i>et al.</i>	(1873)
Hydrochemical Composition Characteristics and Control Factors of Xiaohuangni River Basin in the Upper Pearl River	TU Chun-lin, YIN Lin-hu, HE Cheng-zhong, <i>et al.</i>	(1885)
Temporal and Spatial Variation Characteristics and Driving Factors of Nitrogen of Shallow Groundwater in Hetao Irrigation District	YUAN Hong-ying, YANG Shu-qing, ZHANG Wan-feng, <i>et al.</i>	(1898)
Provenance of Groundwater Solute and Its Controlling Factors in Yancheng Area	WANG Jian, ZHANG Hua-bing, XU Jun-li, <i>et al.</i>	(1908)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Characteristics of Different Water and Indicative Significance in Baiyangdian Lake	WANG Yu-shan, YIN De-chao, QI Xiao-fan, <i>et al.</i>	(1920)
Optical Composition and Potential Driving Factors of Chromophoric Dissolved Organic Matter in Large Lakes and Reservoirs in the Eastern Region of China	CHEN Li-li, XIAO Qi-tao, YU Xiao-qin, <i>et al.</i>	(1930)
Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter in Songhua Lake Sediment	CHENG Yun-xuan, ZHAO Ke, ZHANG Yue, <i>et al.</i>	(1941)
Abundance and Fluorescent Components of Dissolved Organic Matter Affected by Land Use in a Drinking Water Source	GAO Jing, PU Xiao, ZHANG Yu-hu, <i>et al.</i>	(1950)
Emission of Methane from a Key Lake in the Eastern Route of the South-to-North Water Transfer Project and the Corresponding Driving Factors	ZHU Jun-yu, PENG Kai, LI Yu-yang, <i>et al.</i>	(1958)
Distribution Characteristics and Ecological and Health Risk Assessment of Phthalic Acid Esters in Surface Water of Qiandao Lake, China	MI Qi-xin, GUO Xiao-chun, LU Shao-yong, <i>et al.</i>	(1966)
Phosphorus Adsorption Characteristics and Loss Risk in Sediments of Lake Bay During the Overwinter Period of Cyanobacteria	JIN Zheng-hai, TU Cheng-qi, WANG Shu-hang, <i>et al.</i>	(1976)
Ecological Quality Assessment of the Wetlands in Beijing: Based on Plant Diversity	LI Guo, SUN Guang, ZHAO Zi-yi, <i>et al.</i>	(1988)
Effects of Pollution Control of Xiaoqing River on Environment Factors and Phytoplankton Community in the Laizhou Bay	ZHANG Jing-jing, WANG Yu-jue, LI Fan, <i>et al.</i>	(1997)
Effects of Different Aeration Treatments on Bacterial Diversity, Metabolic Activity, and Function in Constructed Wetlands	WANG Fei-peng, HUANG Ya-ling, ZHANG Rui-rui, <i>et al.</i>	(2007)
Analysis on the Source Tracing and Pollution Characteristics of Rainfall Runoff in the Old Urban Area of Nanning City	YUE Zhen-wu, LI Yi-ping, ZHOU Yu-xuan, <i>et al.</i>	(2018)
Effects of Aging on the Cd Adsorption by Microplastics and the Relevant Mechanisms	WANG Jun-jie, CHEN Xiao-chen, LI Qian-da, <i>et al.</i>	(2030)
Carbonized Foam Supported Co ₃ O ₄ Activated Peroxymonosulfate Towards Rhodamine B Degradation	WANG Yuan-yuan, YAN Xin, AI Tao, <i>et al.</i>	(2039)
Promoting Nitrogen Removal in ANAMMOX Biofilm Reactor by Fe ²⁺ Under Low Nitrogen Concentration	ZHENG Xu-wen, QIN Jia-fu, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i>	(2047)
Investigation on Oxygen Gas-liquid Mass Transfer in Sewage Pipelines Under Enhanced Ventilation	YANG Zhou, ZHANG Zhi-qiang, YANG Jing, <i>et al.</i>	(2055)
Characteristics and Assessment of Heavy Metal Contamination in Soils of Industrial Regions in the Yangtze River Economic Belt	ZHANG Yi, ZHOU Xin-quan, ZENG Xian-min, <i>et al.</i>	(2062)
Distribution and Environmental Significance of Rare Earth Elements in Typical Protected Vegetable Soil, Northern China	WANG Zu-wei, LIU Ya-ming, WANG Zi-lu, <i>et al.</i>	(2071)
Sources Identification, Ecological Risk Assessment, and Controlling Factors of Potentially Toxic Elements in Typical Lead-Zinc Mine Area, Guizhou Province, Southwest China	ZHANG Fu-gui, PENG Min, HE Ling, <i>et al.</i>	(2081)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Soils Affected by Different Land Use Types in a Superimposed Pollution Area with High Geological Background	WANG Xue-wen, LIU Hong-yan, GU Xiao-feng, <i>et al.</i>	(2094)
Distribution Characteristics of Heavy Metals in Farmland Soils Around Mining Areas and Pollution Assessment	WANG Hai-yang, HAN Ling, XIE Dan-ni, <i>et al.</i>	(2104)
Concentration Characteristics of Heavy Metals in Farmland-Sphagnum System and Ecological Risk Assessment	ZHU Di, ZHANG Zhao-hui, WANG Zhi-hui	(2115)
Spatial Variation and Influencing Factors of Soil pH in Anshun City	CHEN Qing-xia, LU Xiao-hui, TU Cheng-long	(2124)
Synergistic Repair Effect of Calcite-Based Passivator and Low-Accumulation Maize	REN Chao, REN Yu-zhong, LI Jing-tian, <i>et al.</i>	(2133)
Effects of <i>Burkholderia</i> sp. Y4 on Cadmium Damage and Uptake in Rice Seedlings	ZHANG Ya-hui, LIU Yue-min, WANG Chang-rong, <i>et al.</i>	(2142)
Changing Characteristics of Carbon-Based Greenhouse Gas Fluxes in Paddy Field in the Middle-Lower Yangtze Plain in China	LIU Shuo, ZHEN Xiao-jie, LIU Gang, <i>et al.</i>	(2151)
Effects of Plastic Film Mulching and Biochar Application on N ₂ O Emission from a Vegetable Field	HU Jian, JIANG Chang-sheng, CHEN Xin-tong, <i>et al.</i>	(2163)
Effects of Nitrogen Fertilizer Management on CH ₄ and N ₂ O Emissions in Paddy Field	ZHENG Mei-qun, LIU Juan, JIANG Pei-kun, <i>et al.</i>	(2171)
Structure and Functional Diversity of Bacterial Community in Rhizosphere Soil of Typical Vegetation in the Riparian Zone Along the Downstream of Songhua River	WANG Lu-ying, SUN Hui-zhen, YANG Xue	(2182)
Effects of Cotton Stalk Returning on Soil Enzyme Activity and Bacterial Community Structure Diversity in Cotton Field with Long-term Saline Water Irrigation	ZHOU Yong-xue, CHEN Jing, LI Yuan, <i>et al.</i>	(2192)
Effect of pH on the Abundance and Community Structure of Comammox <i>Nitrospira</i> in Paddy Soils	MA Rui, ZHAO Yong-peng, WANG Zhi-hui, <i>et al.</i>	(2204)
Effects of Biochar on Soil Organic Carbon of Eroded Cultivated Layer of Slope Farmland in Purple Hilly Area	ZHANG Jian-le, ZENG Xiao-ying, SHI Dong-mei, <i>et al.</i>	(2209)
Effects of Organic Fertilizer Replacing Chemical Fertilizer on Organic Carbon Mineralization and Active Organic Carbon in Dryland Yellow Soil	LIN Shi-fang, WANG Xiao-li, DUAN Jian-jun, <i>et al.</i>	(2219)
Soil Organic Carbon Storage, Active Component Contents, and Stability Along a Flooding Gradient in the Tidal Wetland of the Jiulong River Estuary	HUANG Xiao-qing, TONG Chuan, LUO Min, <i>et al.</i>	(2226)
System Construction and the Function Improvement of Ecological Carbon Sink in Coal Mining Areas Under the Carbon Neutral Strategy	LIU Xiang-hong, YAN Yong-jun, LIU Wei, <i>et al.</i>	(2237)