

珠江三角洲人为氨源排放清单及特征

尹沙沙¹, 郑君瑜^{1*}, 张礼俊¹, 钟流举²

(1. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006; 2. 广东省环境监测中心, 广州 510045)

摘要:根据收集的珠江三角洲(珠三角)人为氨源的活动水平数据,采用合理的估算方法和排放因子,建立了该地区2006年人为氨源分类别和分城市的排放清单。结果表明:①2006年珠三角地区人为氨源 NH_3 排放总量约为194.8kt;②农业源是珠江三角洲地区人为氨源的主要排放贡献源,其中畜禽源排放的 NH_3 占总排放量的62.1%,其次是氮肥施用源,其贡献率为21.7%;③畜禽源中肉鸡是 NH_3 排放最大贡献源,占畜禽源 NH_3 排放总量的43.4%,其次是肉猪,其贡献率为32.1%;④广州是珠三角地区2006年人为氨源排放量最大的城市,其次是江门,分别占 NH_3 总排放量的23.4%和19.1%,主要的排放源均为畜禽和氮肥施用源。

关键词:排放清单;人为氨源;畜禽;排放因子;珠江三角洲

中图分类号:X51; X131.1 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2010)05-1146-06

Anthropogenic Ammonia Emission Inventory and Characteristics in the Pearl River Delta Region

YIN Sha-sha¹, ZHENG Jun-yu¹, ZHANG Li-jun¹, ZHONG Liu-ju²

(1. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangdong Provincial Environmental Monitoring Center, Guangzhou 510045, China)

Abstract:Based on the collected activity data and emission factors of anthropogenic ammonia sources, a 2006-based anthropogenic ammonia emission inventory was developed for the Pearl River Delta (PRD) region by source categories and cities with the use of appropriate estimation methods. The results show: ① the total NH_3 emission from anthropogenic sources in the PRD region was 194.8kt; ② the agriculture sources were major contributors of anthropogenic ammonia sources, in which livestock sources shared 62.1% of total NH_3 emission and the contribution of application of nitrogen fertilizers was 21.7%; ③ the broiler was the largest contributor among the livestock sources, accounting for 43.4% of the livestock emissions, followed by the hog with a contribution of 32.1%; ④ Guangzhou was the largest ammonia emission city in the PRD region, and then Jiangmen, accounting for 23.4% and 19.1% of total NH_3 emission in the PRD region respectively, with major sources as livestock sources and application of nitrogen fertilizers.

Key words:emission inventory; anthropogenic ammonia sources; livestock; emission factor; Pearl River Delta

氨是大气中重要的微量气体^[1],是N的生物地球化学循环过程中一个重要组成部分^[2]。研究表明,氨在大气中的输入输出已经失衡,大量的氨在空气中积累,对气候和生态系统产生了重要影响^[3]。氨对大气环境的影响越来越突出,在酸雨、二次气溶胶颗粒物、灰霾等大气污染问题中发挥着重要的作用^[4-5]。人为氨源包括农业源和非农业源^[6],农业源氨排放主要来自畜禽饲养、放牧过程中粪尿的排放和农业氮肥的施用,非农业源主要包括人体、野生动物、宠物、海鸟、生物质燃烧、污水处理、土地填埋、合成氨和氮肥生产、交通源以及燃料和废物燃烧等^[6,7]。

国外有关人为氨源的研究工作比较活跃,不少研究人员估算了农业源、非农业源等人为氨源的排放清单^[7-9],并按照其排放特征进行网格化的空间分配^[4,6],利用空气质量模型研究氨对酸沉降、二次

气溶胶、细颗粒物形成等过程的影响。目前,国内人为氨源排放清单的研究工作和相关文献较为少见^[1,5,10-12],现有的研究大多集中在较大尺度(如全国或省级)氨排放源清单,对珠三角地区尚没有完整且详细的人为氨源排放清单;排放源活动数据不够详细,排放因子多采用国外相关文献的平均值,同时缺少对非农业源的全面估算。

近年来研究表明,珠三角城市群呈现出区域性大气复合污染的特征^[13],二次气溶胶污染问题日益突出^[14],灰霾天气频有发生^[15],早期的氨排放研究已不能满足目前区域空气质量研究的需要。因此,珠

收稿日期:2009-07-18;修订日期:2009-12-14

基金项目:国家自然科学基金项目(40875061);2008教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0208)

作者简介:尹沙沙(1985~),女,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: puppyys1314@126.com

* 通讯联系人, E-mail: zheng.junyu@gmail.com

三角地区需要建立一份全面的人为氮源排放清单,这对区域大气污染形成机制以及控制策略的研究都具有重要的意义.本研究综合国内外近年来的成果,根据收集到的珠三角地区人为氮源的活动数据,采用适当的估算方法和排放因子,建立了珠三角地区 2006 年人为氮源排放清单,补充和完善该地区人为氮源排放清单研究工作,以期为该地区环境研究者和管理者提供科学参考和决策依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域与对象

研究区域包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山、惠州(惠城区,惠阳县,惠东县和博罗县)和肇庆(端州区,鼎湖区,高要区和四会市)9 个珠三角地区城市.估算的人为氮源有畜禽、氮肥施用、工业生产、人体、生物质燃烧、垃圾处理、燃料燃烧、污水处理、道路移动源.

1.2 数据来源

珠三角工业生产氮排放源、工业燃料燃烧活动数据来源于广东省排放污染物申报登记年度统计数据;畜禽、氮肥施用活动数据来源于文献[16];人口、生物质燃烧、生活燃煤、燃油、道路移动源活动数据来源于文献[17,18];家用天然气消耗量来源于文献[19];垃圾处理活动数据来源于文献[20];城市污水处理数据主要来自于珠三角各个城市重点污水处理厂的日均污水处理量.

1.3 估算方法

人为源 NH₃ 排放量的估算主要采用排放因子

法,计算公式为:

$$E_{i,j} = \sum_j (A_{i,j} \times EF_j)$$
 (1)

式中, E 为 NH₃ 排放量; i, j 分别为地区、源类别; A 为活动数据; EF 为排放因子.

基于不同氮排放源的特点,本研究对各类人为氮源的估算及活动水平数据的处理分别做以介绍.

1.3.1 畜禽

畜禽排放 NH₃ 主要来源于其日粮蛋白质的消化代谢产物粪尿之中^[3],基于畜禽年饲养量采用公式(1)进行估算.由于不同畜禽的饲养周期不同,畜禽年饲养量需要选取统计年鉴中不同的统计数据.主要参考文献[3]的估算方法,对于黄牛、水牛、奶牛、母猪、羊、蛋鸡和蛋鸭按照年底存栏数统计,肉牛、肉猪、肉鸡、肉鸭、鹅、鸽和兔按照年底出栏数(按照统计年鉴中的当年出售和自宰的畜禽数代替)统计.而统计年鉴并没有蛋鸡、蛋鸭年底存栏统计,则按照公式(2)估算:

$$A_i = \frac{O_i}{M_i \times N_i}$$
 (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; N 为家禽年平均产蛋数,个.

1.3.2 氮肥施用

氮肥施用后氮的挥发是肥料氮损失的一个重要途径^[5],根据不同氮肥的施用量组成和各自的排放因子(见表 1),既可算得氮肥施用的平均排放因子.根据氮肥施用折纯量采用公式(1)进行估算.

表 1 氮肥施用量组成及其排放因子/%

Table 1 Application of various N fertilizer and their emission factors/%

氮肥	碳铵	尿素	硝酸铵	硫酸铵	氨水	其他	平均
使用份额 ^[1,5]	55.50	36.80	3.85	0.60	0.40	2.85	
排放因子 ^[21,22]	21.3	17.4	2.0	8.0	2.5	3.0	18.5

由于 2006 年广东省农业普查没有对氮肥使用量进行调查,本研究基于广东省 2005 年各县(区)农用氮肥情况统计^[23]和 2005、2006 农作物耕地面积^[16]的变化比例得到 2006 年珠三角地区农用氮肥施用量.

1.3.3 工业生产

合成氨和氮肥生产是主要工业氮排放源^[5],基于产品产量按照公式(1)进行估算.由于氮肥生产量数据获取的局限性,采用自上而下的估算方法,由广东省 2006 年氮肥生产量按照工业产值^[17]分配到

珠三角各市进行估算.

1.3.4 人体

人体排放氮主要通过人体呼吸、汗液、粪尿排出^[7].本研究参考文献[7,24]的排放因子,基于年末常住人口采用公式(1)进行估算.

其中,对于人体粪尿的 NH₃ 排放,本研究将人口数据根据城镇和农村人口比例划分为城镇人口和农村人口,结合统计年鉴中关于城镇家庭无卫生设施比例^[17]对城镇人体粪尿氮排放进行估算,避免与污水处理氮排放估算重复.

1.3.5 生物质燃烧

生物质燃烧包括 4 种形式:农村居民使用秸秆和薪柴作为炊事及采暖的燃料;农村在收获季节农田废弃秸秆的露天焚烧;森林火灾;草原火灾^[25],本研究中暂不考虑森林、草原火灾的排放量,基于生物质的燃烧量采用公式(1)进行估算。

对于农村居民使用秸秆和薪柴量在统计年鉴中只有广东省的统计,本研究按照广东省各市农村人口数量^[16]比例分配到珠三角各市;由于尚未收集到珠三角地区农村收获季节农田废弃秸秆的露天焚烧量相关统计数据,参考文献^[25,26],采用公式(3)进行估算:

$$A_{i,j} = \sum_j P_{i,j} \times C_{i,j} \times R_{i,j} \times B_{i,j} \quad (3)$$

式中, A 为农田废弃秸秆的焚烧量,t; i, j 分别为地区和农作物种类; P 为主要农作物产量,t; C 为农作物谷草比; R 为谷草干燥比; B 为农田废弃秸秆焚烧比。

其中珠三角各市主要农作物产量来自于文献^[17,27,28]。

1.3.6 垃圾处理

垃圾处理主要包括市政垃圾填埋和垃圾焚烧,采用公式(1)估算了珠三角地区生活垃圾、危险废物集中处理厂垃圾焚烧的 NH_3 排放量;Sutton^[7]和 Roe^[9]等的研究表明,市政垃圾填埋 NH_3 排放因子为垃圾填埋排放 CH_4 的 0.007 3 倍。关于生活垃圾填埋 CH_4 排放量,参考文献^[29],采用公式(4)估算:

$$E_{\text{CH}_4} = \text{MSW} \times \eta \times \text{DOC} \times R \times (16/12) \times 0.5 \quad (4)$$

式中, E_{CH_4} 为垃圾填埋场的 CH_4 总排放量,t;MSW 为城市垃圾量,t; η 为城市生活垃圾无害化处理率,%;DOC 为垃圾中可降解有机碳的含量(IPCC 推荐发展中国家为 15%); R 为垃圾中可降解有机碳的分解百分率(IPCC 推荐为 77%)。

1.3.7 燃料燃烧

燃料燃烧源主要分为工业和生活的燃煤、燃油和天然气燃烧,基于不同燃料燃烧量采用公式(1)进行估算。其中,对于生活燃煤、燃油和燃气量,现有的统计数据中只有广东省生活能源人均年用量,本研究中按照年末常住人口^[17]分配到珠三角各市。

1.3.8 污水处理

污水处理过程排放氨主要来自污水处理厂活性污泥处理过程和淤泥铺摊,而污泥铺摊的氨排放量

需获取污水处理厂淤泥干物质含量、淤泥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量及挥发系数^[24],在本研究中暂不考虑。污水处理厂活性污泥处理过程氨排放按照公式(1)并结合污水处理量进行估算。

1.3.9 道路移动源

参考文献^[9]关于轻型汽油车、轻型柴油车、重型汽油车、重型柴油车和摩托车的 NH_3 排放因子,在估算过程中,参考文献^[30]关于机动车车型的分类、保有量、各种车型的年均行驶里程,采用公式(5)估算:

$$E_i = \sum_{j=1}^n 10^{-6} P_{i,j} \times M_{i,j} \times \text{ef}_j \quad (5)$$

式中, E 为机动车 NH_3 排放量,t/a; 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 [$\text{mg}/(\text{km} \cdot \text{辆})$]。

1.4 排放因子

本研究在广泛的国内外文献调研基础上,优先采用国内实测排放因子,综合考虑珠三角人为氨源的排放现状,总结了本研究所采用的各类人为源的排放因子,见表 2。

2 结果与讨论

2.1 珠江三角洲人为氨源排放清单

由表 3 可见,珠三角 2006 年人为氨源 NH_3 排放总量为 1.95×10^5 t,畜禽源是珠三角地区 NH_3 最大排放贡献源,占总排放量的 62.1%,氮肥施用源是 NH_3 第二大排放源,占 21.7%,两者排放量之和占 NH_3 排放总量的 80% 以上,即农业源是珠三角地区人为氨源的主要贡献源。这主要是由于珠三角地区对畜禽的消费量需求较高,而且畜禽氨的排放因子也较大;另外由于我国氮肥施用主要是碳酸氢铵^[5],它较容易以氨的形式挥发。非农业源也是珠三角地区不可忽视的人为氨源,其中生物质燃烧、人体、污水处理和其他源(工业生产、垃圾处理、燃料燃烧、道路移动源)分别占总量的 4.1%、3.8%、3.3% 和 5.1%。

由于畜禽源是珠三角地区 NH_3 主要排放源,本研究中针对畜禽源的不同类别做进一步的贡献率分析(见图 1)。由图 1 可知,肉鸡、肉猪和鹅 3 种畜禽的 NH_3 排放量分别占珠三角地区畜禽源 NH_3 排放总量的 43.4%、32.1% 和 6.4%,主要是由于人们日常生活对肉鸡、肉猪和鹅消费量大,肉鸡、肉猪和鹅饲养周期短,导致其饲养量大,排放分担率较高;

表 2 人为氨源排放因子¹⁾

Table 2 Emission factors of anthropogenic ammonia sources

分类	排放因子	单位	分类	排放因子	单位
畜禽			人体		
黄牛	25.52 ^[3]	kg/a	人体呼吸	3.64 ^[7]	g/(人·a)
水牛	10.56 ^[3]	kg/a	人体汗液	17.00 ^[7]	g/(人·a)
奶牛	37.61 ^[3]	kg/a	人体粪尿	0.76 ^[24]	kg/(人·a)
肉牛	22.58 ^[3]	kg/a	污水处理	3.20 ^[24]	g/m ³
羊	4.93 ^[3]	kg/a	燃料燃烧		
母猪	11.55 ^[3]	kg/a	工业燃煤	0.015 ^[9]	kg/t
肉猪	2.82 ^[3]	kg/a	工业燃油	0.096 ^[9]	kg/kL
蛋鸡	0.49 ^[3]	kg/a	工业天然气	51.30 ^[9]	mg/m ³
肉鸡	0.18 ^[21]	kg/a	生活燃煤	0.908 ^[9]	kg/t
蛋鸭	0.35 ^[3]	kg/a	生活燃油	0.12 ^[9]	kg/kL
肉鸭	0.03 ^[3]	kg/a	生活天然气	320.51 ^[9]	mg/m ³
鹅	0.24 ^[3]	kg/a	垃圾处理		
乳鸽	0.01 ^[3]	kg/a	垃圾焚烧	0.21 ^[7]	kg/t
兔	0.24 ^[3]	kg/a	垃圾填埋	0.56 ^[9,29]	kg/t
氮肥施用(以 N 计)	18.45 ^[5]	% t	道路移动源		
工业企业			轻型汽油车	25.65 ^[9]	mg/km
合成氨	2.10 ^[31]	kg/t	轻型柴油车	4.20 ^[9]	mg/km
氮肥	2.00 ^[21]	kg/t	重型汽油车	28.00 ^[9]	mg/km
生物质燃烧			重型柴油车	16.80 ^[9]	mg/km
秸秆焚烧	1.30 ^[25]	g/kg	摩托车	7.00 ^[9]	mg/km
薪柴焚烧	1.40 ^[25]	g/kg			

1) 排放因子中排放量以 NH₃ 计

表 3 2006 年珠江三角洲地区各类人为氨源排放清单

Table 3 Anthropogenic ammonia emission inventory
by categories for the year 2006 in the PRD region

排放源	NH ₃ 排放量/kt	占总排放量的 质量分数/%
畜禽	121.0	62.1
氮肥施用	42.3	21.7
工业生产	1.6	0.8
人体	7.3	3.8
生物质燃烧	8.0	4.1
垃圾处理	3.6	1.9
燃料燃烧	2.3	1.2
污水处理	6.4	3.3
道路移动源	2.4	1.2
总排放量	194.8	100.0

对于较大牲畜(牛、羊等),由于其饲养周期长、占地面积大和大的畜牧场退居珠三角地区以外等因素,造成其排放量分担率较小.

2.2 人为氨源排放的城市分布

根据珠三角地区人为氨源 NH₃ 的排放因子以及各市不同排放源的活动水平数据,计算得到各市人为氨源排放清单(见表 4).从表 4 可知,珠三角各市人为氨源的排放呈现出一定的地域分布特征.

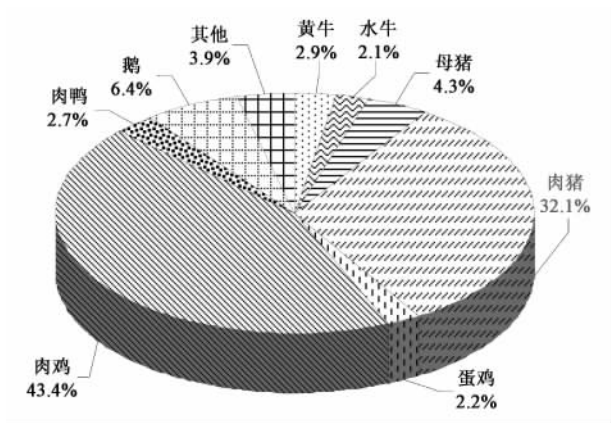


图 1 2006 年珠江三角洲地区畜禽源
分类排放分担率

Fig.1 Emission contribution of livestock source by
categories in PRD region for the year 2006

由表 4、图 2 可知,广州是珠三角地区 2006 年人为氨源排放量最大的城市,占排放总量的 23.4%;其次是江门,占 19.1%;广州和江门主要是由于下属地级城市的畜禽养殖量大、农业用地面积大造成的;此外,广州在垃圾处理和污水处理的氨排放上也相对高于其他城市,导致 NH₃ 排放量占整个

表 4 2006 年珠江三角洲地区各市人为氨源排放清单

Table 4 Anthropogenic ammonia emission inventory by cities for the year 2006 in the PRD region

项目	广州	深圳	珠海	佛山	东莞	中山	江门	惠州	肇庆
NH ₃ 排放量/kt	45.5	8.5	4.9	34.4	6.9	7.2	37.3	26.0	24.2
分担率/%	23.4	4.4	2.5	17.7	3.5	3.7	19.1	13.4	12.4

珠三角的比例较高;另外,佛山、惠州和肇庆的排放分担率比较相近,介于 12.4% ~ 17.7%;惠州、肇庆 2 个城市的 NH₃ 排放量接近,主要由于其位于珠三角地区边缘地带,是传统的畜禽饲养基地,而且农业耕地面积大;佛山主要由于下属三水区的畜禽养殖量大;深圳、中山、东莞和珠海的排放量相对较少,仅占总排放量的 2.5% ~ 4.4%。中山、珠海由于不是传统的畜禽养殖基地,其畜禽生产量较少;东莞由于近年来对养殖业污染采取“一刀切”、生猪产业转移的措施,使其畜禽的数目大量减少;深圳只有少数的奶牛、肉猪、肉鸡饲养,主要靠惠州作为补给产地,由于城市化水平差异,深圳在垃圾处理、污水处理、道路移动源的氨排放量均高于中山、东莞和珠海,使得其在这 4 个城市中有较高的排放量。

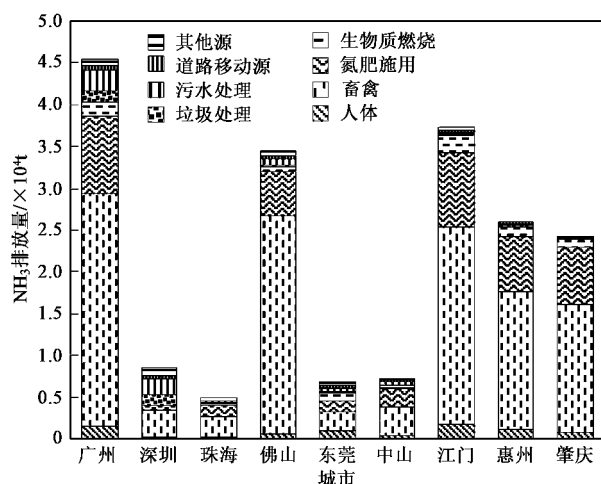


图 2 2006 年珠江三角洲地区各城市人为氨源排放量及构成

Fig. 2 Distribution of anthropogenic ammonia source emission of PRD region by cities in 2006

2.3 人为氨源排放源清单比较

表 5 列出了主要参考文献对广东省及珠三角地区人为氨源的估算,与本研究估算结果进行比较。人为氨源主要是来自于畜禽和氮肥施用,在分析本研究结果的合理性上主要集中于这两类源。

在畜禽源上,本研究主要参考文献[3]修正后的本地化排放因子,与其他清单中畜禽源排放因子及分类参考国外文献相比更贴近实情。本研究估算的排放量大于 2003 年粤港清单,不仅基于上述排放因子的

差异,而且估算时比其多考虑水牛、鸽、兔和其他人为氨源的排放;2003 年粤港清单采用至上而下的估算方法,由广东省活动数据按照第一产业总产值比例分配到珠三角,方法上有一定的误差。近几年,珠三角的畜禽数大约为广东省的 38% 左右,纵向推导比较,本研究畜禽源的排放量与相关学者估算的广东省畜禽源排放量在基数上存在一定的合理性。

表 5 不同源的 NH₃ 排放量/ktTable 5 NH₃ emitted from different sources/kt

排放源	珠三角		广东			
	本研究	2003 年粤港清单 ^[21]	文献 [5]	文献 [1]	文献 [20]	
排放源/基准年	2006	2003	1992	1991	1990	1995
畜禽	121.0	35.4	214.8	267.3		
氮肥施用	42.3	53.7	184.3	94.5		
工业生产	1.6	2.1	5.0	2.2		
人体	7.3	12.5	84.5	85		
生物质燃烧	8.0	5.7				
垃圾处理	3.6					
燃料燃烧	2.3					
污水处理	6.4					
道路移动源	2.4	0.3				
总排放量	194.8	109.8	488.6	448.9	597.0	638.0

在氮肥施用上,其氨排放与很多因素有关,如氮肥类型、土壤类型、温度、时间、作物类型,因此不确定性很大。仅文献[1]与文献[5]估算广东省氮肥施用氨排放量就有近 1 倍的差别。本研究与 2003 年粤港清单的估算结果在总量上具有一定的可比性,但是分析估算过程可以看出:2003 年粤港清单基于至上而下的估算方法,由广东省氮肥施用量按照第一产业总产值比例(45%)分配到珠三角(PRD 地区 2003 年氮肥使用量仅为广东省的 31%),故其在活动数据选取上有所增大;排放因子的差异,本研究折算选取的排放因子略高于 2003 年粤港清单,而 2003 年粤港清单的排放因子没有根据氮肥类型折算,仅选取单一的排放因子。

2.4 不确定性分析

排放源清单估算分析过程中不确定性主要来源于关键数据的缺乏(活动数据和排放因子)、数据的代表性不足等^[32]。本研究对人为氨源排放清单的不确定性进行了定性分析。

在估算的人为源排放清单中,农业源中畜禽源主要采用本地化排放因子,活动数据来自广东省农村统计年鉴,其不确定性相对较小,但由于蛋鸡、蛋鸭的年底存栏数是基于禽蛋产量进行估算,会带来一定的不确定性;氮肥施用活动数据没有根据不同氮肥划分,排放因子是折算的平均值,故不确定性较大.非农业源中工业生产、人体、垃圾处理、燃料燃烧、污水处理、道路移动源氨排放主要不确定性来自选取国外的排放因子,农村家用秸秆、薪柴的活动数据从广东省分配到珠三角,存在着一定的误差,农田废弃秸秆焚烧量基于主要粮食作物产量的估算方法得到的,方法本身存在一定的误差.

建议进一步开展人为氨源排放网格化的空间分配研究和氨排放源清单的校验研究,以及利用空气质量模型分析氨排放对珠三角二次气溶胶、灰霾形成等的作用和影响.

3 结论

(1)珠江三角洲地区 2006 年人为氨源 NH_3 排放总量为 194.8 kt.

(2)农业源是珠江三角洲地区人为氨源的主要排放贡献源,其中畜禽源排放的 NH_3 占总排放量的 62.1%,其次是氮肥施用源,其贡献率为 21.7%.

(3)畜禽源中,肉鸡是 NH_3 排放最大贡献源,占畜禽源氨排放总量的 43.4%,其次是肉猪,其贡献率为 32.1%.

(4)广州是珠江三角洲地区 2006 年人为氨源排放量贡献最大的城市,其次是江门,分别占 NH_3 总排放量的 23.4% 和 19.1%,主要的排放源均为畜禽和氮肥施用源.

参考文献:

- [1] 王文兴,卢筱凤,庞燕波,等. 中国氨的排放强度地理分布[J]. 环境科学学报,1997,17(1):2-3.
- [2] 刘东,王方浩,马林,等. 中国猪粪尿 NH_3 排放因子的估算[J]. 农业工程学报,2008,24(4):218.
- [3] 杨志鹏. 基于物质流方法的中国畜牧业氨排放估算及区域比较研究[D]. 北京:北京大学,2008.
- [4] Wua S Y, Hub J L, Zhang Y, et al. Modeling atmospheric transport and fate of ammonia in North Carolina—Part II: Effect of ammonia emissions on fine particulate matter formation[J]. Atmos Environ,2008,42:3438-3440.
- [5] 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):590-592.
- [6] Hellsten S, Dragosits U, Place C J, et al. Modeling the spatial distribution of ammonia emissions in the UK [J]. Environ Pollut, 2008,154:370-372.
- [7] Sutton M A, Dragosits U, Tang Y S, et al. Ammonia emissions from non-agricultural sources in the UK [J]. Atmos Environ,

2000, 34:856-863.

- [8] Hutchings N J, Sommer S G, Andersen J M, et al. A detailed ammonia emission inventory for Denmark [J]. Atmos Environ, 2001, 35:1959-1963.
- [9] Roe S M, Spivey M D, Lindquist H C, et al. Estimating ammonia emission from anthropogenic nonagricultural source—Draft final report [R]. U. S. Emission Inventory Improvement Program (EIIIP), 2004.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 徐新华. 江浙沪地区人为 NH_3 排放量的估算[J]. 农村生态环境,1997,13(13):50-51.
- [13] 郑君瑜,张礼俊,钟流举,等. 珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征[J]. 中国环境科学,2009,29(5):455-460.
- [14] 陈训来,冯业荣,王安宇,等. 珠江三角洲城市群灰霾天气主要污染物的数值研究[J]. 中山大学学报,2007,46(7):103.
- [15] 段菁春,谭吉华,盛国英,等. 广州灰霾期间颗粒态 PAHs 的污染特征及来源[J]. 环境科学,2009,30(6):1574-1579.
- [16] 广东农村统计年鉴编撰委员会. 广东农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [17] 广东省统计局. 广东统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [18] 中国国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [19] 国家统计局国民经济综合统计司. 中国区域统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2008.
- [20] 住房和城乡建设部综合财务司. 中国城市建设统计年鉴[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [21] Klimont Z. Current and future emissions of ammonia in China. 10th International Emission Inventory Conference “One Atmosphere, One Inventory, Many Challenges”, US EPA [EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei10/ammonia/klimont.pdf>.
- [22] 董艳强,陈长虹,黄成,等. 长江三角洲地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. 环境科学学报,2009,29(8):1611-1616.
- [23] 广东农村统计年鉴编撰委员会. 广东农村统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2007.
- [24] 广东省环境保护监测中心站和香港特别行政区政府环境保护署. 珠江三角洲地区空气污染物排放清单编制手册[R]. 广州:广东省环境保护局,2005.
- [25] 曹国良,张小曳,王丹,等. 中国大陆生物质燃烧排放的污染物清单[J]. 中国环境科学,2005,25(4):389-390.
- [26] 王丽,李雪铭,许妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济损失研究[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(2):170-171.
- [27] 肇庆市统计局. 肇庆统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2007.
- [28] 惠州市统计局. 惠州统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2007.
- [29] 陈泽智,刘涛,唐秋萍,等. 垃圾填埋气产量的估算与测试[J]. 太阳能学报,2006,27(3):255.
- [30] 车汶蔚,郑君瑜,钟流举. 珠江三角洲机动车污染物排放特征及分担率[J]. 环境科学研究,2009,22(4):456-457.
- [31] AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Chapter8 [R]. U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 1993.
- [32] 钟流举,郑君瑜,雷国强,等. 大气污染物排放清单不确定性定量分析方法与案例研究[J]. 环境科学研究,2007,20(4):15-16.