

杨新明, 庄涛, 周伟, 等. 山东省农业源氨排放清单研究[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 568-574.

YANG Xin-ming, ZHUANG Tao, ZHOU Wei, et al. Agricultural ammonia emission inventory in Shandong Province[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(6): 568-574.

山东省农业源氨排放清单研究

杨新明, 庄涛, 周伟*, 韩磊

(济南市环境研究院, 济南 250000)

摘要:为建立山东省农业源氨排放清单,根据《山东统计年鉴2016》数据,采用排放因子法估算了山东省2015年农业源氨排放清单。结果表明,山东省2015年农业源氨排放量为105.831万t,排放强度为 $6.71\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 。畜禽养殖是最大的排放源,排放量为68.673万t,占总排放量的64.89%,猪和家禽是畜禽养殖排放量的最大贡献源,两者占畜禽养殖排放量的72.88%;其次是氮肥施用,排放量为30.835万t,占总排放量的29.14%;生物质燃烧、人体排放、土壤本底的氨排放量分别为2.173、2.117、1.943万t,分别占总排放量的2.05%、2.00%、1.84%;固氮植物的氨排放量最小,仅为0.09万t,不足总排放量的1%。菏泽、德州、潍坊、临沂、济宁、聊城是山东省农业源氨排放大市,氨排放量为7.910~13.662万t。研究表明,应从规范畜禽养殖规模和合理施肥两方面着手,精准施策,以减少山东省农业源氨排放量。

关键词:农业源氨排放;排放因子法;分布特征

中图分类号:X51

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)06-0568-07

doi: 10.13254/j.jare.2018.0111

Agricultural ammonia emission inventory in Shandong Province

YANG Xin-ming, ZHUANG Tao, ZHOU Wei*, HAN Lei

(Jinan Environmental Research Academy, Jinan 250000, China)

Abstract: Research of agricultural ammonia emission inventory in Shandong Province which can provide data support for the ammonia emission reduction. Based on the available data from Shandong Statistical Yearbook 2016, agricultural ammonia emission inventory was estimated for Shandong Province. The results showed that the total NH_3 emission from agricultural sources was $1.058\times 10^6\text{ t}$, and the ammonia emission intensity was $6.71\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$. Livestock ($6.868\times 10^5\text{ t}$) was the largest contributor which accounted for 64.89% of the total agricultural ammonia emission, followed by nitrogen fertilizer ($3.083\times 10^5\text{ t}$) accounting for 29.14%. Ammonia emission from biomass burning, human activity and soil emission was 2.173, 2.117, $1.943\times 10^4\text{ t}$, respectively, which accounted for 2.05%, 2.00%, 1.84% of the total agricultural ammonia emission. Nitrogen fixing plant (900 t) was the lowest contributor which accounted for 0.09%. Agricultural ammonia emission in Heze, Dezhou, Weifang, Linyi, Jining and Liaocheng ($7.910\times 10^4\sim 1.366\times 10^5\text{ t}$) were more serious than another city. Scientific and standardized breeding and rational fertilization should be proposed to decrease ammonia emissions.

Keywords: agricultural ammonia emission; emission factors; distribution characteristics

氨是大气中的微量气体之一,能够与 SO_2 、 NO_x 发生反应生成硝酸铵和硫酸铵等二次粒子,是细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)形成的重要前体物^[1-4]。氨排放对大气环境的

影响不容小觑,大量的氨在空气中累积将对生态系统造成破坏,引起空气质量恶化,危害人类健康^[5-8]。此外,氨排放还会造成土壤酸化、水体富营养化、温室气

收稿日期:2018-05-07 录用日期:2018-07-20

基金项目:中央环境保护专项资金项目(2110301);山东省自然科学基金项目(ZR2016DB19)

作者简介:杨新明(1986—),男,甘肃敦煌人,工程师,从事环境质量调查研究。E-mail:yangxinming@jnep.cn

*通信作者:周伟 E-mail:bsstzw@163.com

体增多等环境问题^[9]。因此,掌握氨的排放及分布特征将有利于从源头上控制氨排放,对治理雾霾、改善空气质量有重要的现实意义。

大气中的氨来源主要分为自然源和人为源,自然源包括非农用地和海洋蒸发,人为源包括农业源和非农业源^[10-11]。农业源是氨排放的主要贡献源,包括氮肥施用、畜牧养殖、秸秆燃烧等,其中氮肥施用及畜牧养殖氨排放占农业源氨排放总量的70%~90%,农业生态系统的氨排放会造成农作物营养流失以及氮肥损失^[12-14]。近年来,大气污染成为热点话题,国内外对氨排放清单及特征研究逐渐增多,已有学者从国家、区域等不同尺度进行了研究^[15-16]。

山东是我国工业、文化、农业、人口大省,随着经济社会的快速发展,人口数量持续增加,加大了对农牧产品的需求力度,增加了该地区的氨排放量。与此同时,雾霾天气时有发生,成为城市之痛,虽然近年来环保督查力度不断加大,空气质量有所好转,但是空气质量并没有从根本上得到改善。大气污染防治往往更多地集中于工业燃煤、施工扬尘、汽车尾气、散煤燃烧等方面,对农业源氨减排的关注度则较低。因此,对山东省农业源氨排放进行研究有利于全面掌握农业源氨排放现状及趋势,可为合理施肥、控制氨源、改善环境以及研究雾霾形成机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域及数据来源

以2015年为基准年,研究区域为山东省17个地市,参考环保部《大气氨源排放清单编制技术指南(试行)》^[17](以下简称《指南》)相关要求,基于《山东统计年鉴2016》牛、猪、羊、家禽、兔、氮肥折吨量、农村人口、稻谷、小麦、玉米、大豆、薯类、花生、棉花、农作物播种面积等活动水平数据(表1)^[18],计算主要的农业源氨排放量(畜禽养殖、氮肥施用、农村人口、生物质燃烧、土壤本底和固氮植物等)。

1.2 排放因子法

采用排放因子法进行估算,计算公式^[1,14]如下:

$$E_i = \sum_j (A_{ij} \times EF_j) \quad (1)$$

$$E = \sum_i E_i \quad (2)$$

式中: E 为氨排放量,t; i 和 j 分别为地市和源类别; A 为活动数据;EF为排放因子。不同排放源活动水平代表的的数据类型存在差异,不同农业源活动水平和排放因子如下。

1.2.1 畜禽养殖

以《山东统计年鉴2016》中猪、牛、羊、家禽及兔5

表1 山东各地市农业氨排放源活动水平原始数据统计^[18]

Table 1 Agricultural ammonia emission statistics in Shandong Province^[18]

地市 City	牛 Cattle/ 万头	猪 Pig/ 万头	羊 Sheep/ 万只	家禽 Poultry/ 万只	兔 Rabbit/ 万只	氮肥 Nitrogens fertilizer/万t	农村人口 Rural population/ 万人	稻谷 Paddy/ 万t	小麦 Wheat/ 万t	玉米 Corn/ 万t	大豆 Soybean/ 万t	薯类 Tuber/ 万t	花生 Peanut/ 万t	棉花 Cotton/ 万t	农作物播种 面积Sown area/hm ²
济南	48.11	304.44	217.40	3 548.74	240.10	8.430	228.51	1.518	129.750	124.392	1.661	4.992	4.226	1.475	570 093.67
青岛	5.91	304.18	19.77	5 268.46	112.88	4.966	273.04	0.054	153.524	163.661	1.465	2.573	34.552	0.222	689 502.00
淄博	9.68	103.58	50.63	1 489.47	99.77	2.954	151.98	0.430	67.134	76.464	0.273	1.230	2.255	0.397	263 266.67
枣庄	7.44	180.87	216.14	2 566.57	361.22	7.200	180.47	1.421	85.500	73.039	2.105	5.649	9.000	0.492	377 935.33
东营	11.16	92.44	87.66	2 034.83	22.56	4.104	72.77	4.073	48.065	47.137	0.214	0.152	0.312	8.626	272 881.60
烟台	6.85	420.28	42.05	4 828.61	48.53	10.064	278.10	0.088	78.499	104.760	2.326	7.352	42.364	0.033	469 020.60
潍坊	27.41	806.28	142.41	10 618.50	75.65	10.406	410.09	0.031	220.297	229.200	1.191	3.777	20.025	2.474	1 052 036.33
济宁	20.90	572.47	304.36	7 226.71	461.89	13.551	392.10	32.046	223.150	184.774	4.656	10.261	16.790	8.541	941 499.33
泰安	20.05	397.70	320.50	3 487.66	184.28	5.694	240.61	0.178	131.583	138.720	1.948	4.000	23.246	0.827	579 856.60
威海	3.06	146.63	12.18	2 096.17	57.47	3.120	103.33	0.001	31.300	44.274	1.506	4.174	24.292	0	222 530.15
日照	7.27	200.52	76.36	3 091.55	269.64	2.833	130.15	2.337	42.627	39.927	0.812	7.159	22.958	0.254	244 022.67
莱芜	0.63	53.41	34.87	710.13	82.07	1.143	55.63	0	5.200	18.224	0.062	2.312	1.963	0.156	84 333.67
临沂	30.21	611.33	313.54	6 885.42	800.88	11.108	476.19	34.049	191.093	162.726	5.698	32.562	81.473	0.947	1 024 463.67
德州	65.88	580.26	168.86	5 978.11	56.24	17.607	277.19	0.009	334.000	313.153	0.377	0.920	1.825	6.625	1 024 689.00
聊城	25.31	283.46	244.08	5 649.79	65.54	15.902	321.52	0.090	259.550	242.389	1.374	1.264	9.928	4.048	989 137.33
滨州	50.58	168.40	130.64	4 214.73	34.29	9.172	175.11	0.357	152.750	155.817	0.307	0.690	1.116	9.389	601 548.33
菏泽	45.92	585.65	1 035.22	4 877.48	287.20	22.762	466.45	3.871	369.976	238.966	4.905	2.613	23.078	16.755	1 386 846.67

种畜禽为活动数据(表1),排放因子主要参照《指南》以及国内外研究成果,优先选用国家的编制指南或国内实测数据,确定本文的畜禽养殖排放因子^[3,10-16,19],分别为牛 21.76 kg·头⁻¹·a⁻¹、猪 5.66 kg·头⁻¹·a⁻¹、羊 2.59 kg·头⁻¹·a⁻¹、兔 0.42 kg·只⁻¹·a⁻¹、家禽 0.23 kg·只⁻¹·a⁻¹。

1.2.2 氮肥施用

氮肥施用后会以氨的形式挥发到大气中,是重要的大气氨排放源。氮肥种类、施用量、土壤类型、气候条件等都会影响氨的排放。山东省氮肥施用类型主要为碳酸氢铵和尿素,因统计年鉴中未按氮肥类型给出施用量数据,所以本文参考相关文献计算不同类型氮肥的施用份额及排放因子^[9,14,20-22]:碳酸氢铵 48%,排放因子 22.8%;尿素 43%,排放因子 20.85%;硝酸铵 3%,排放因子 2.31%;硫酸铵 1%,排放因子 8%;其他氮肥 5%,排放因子 4%。

1.2.3 土壤本底

土壤本底的活动水平为各地市农作物播种面积,土壤本底排放系数定义为每亩(667 m²)耕地每年向大气排放氨的量,参考《指南》,确定土壤本底排放因子为 0.12 kg·亩⁻¹·a⁻¹。

1.2.4 固氮植物

固氮植物的活动水平为大豆、花生等固氮植物的年种植面积,固氮植物排放系数定义为该植物单位固氮量排放大气氨的量。根据统计年鉴数据并参考《指南》,确定大豆的排放因子为 0.07 kg·亩⁻¹·a⁻¹,花生为 0.08 kg·亩⁻¹·a⁻¹。

1.2.5 人体排放

人体主要通过汗液、呼吸和粪便三种途径释放氨,农业源氨排放主要考虑农村人口的排放量,活动水平为农村人口数量,排放因子取 0.5 kg·人⁻¹·a⁻¹^[20]。

1.2.6 生物质燃烧

结合山东省实际情况,生物质燃烧主要考虑秸秆焚烧氨排放量,计算公式^[4,20]如下:

$$E = \sum (P_j \times C_j \times R_j \times D \times F \times EF_j) \quad (3)$$

式中:*j*为农作物类型;*P*为农作物产量,t;*C*和*R*分别为农作物谷草比和谷草干燥比;*D*为废弃秸秆焚烧比例;*F*为焚烧效率;*EF_j*为排放因子,取 1.3 g·kg⁻¹·a⁻¹。具体取值如表 2^[20]所示。

2 结果与讨论

2.1 山东省农业源氨排放总量

山东省 2015 年农业源氨排放清单及排放贡献率

表 2 生物质燃烧相关计算数据^[20]

Table 2 Relevant data of biomass burning^[20]

作物类型 Crop type	谷草比 Grain-straw ratio	谷草干燥比 Drying ratio	秸秆焚烧比 Straw incineration ratio	燃烧效率 Combustion efficiency
稻谷	0.9	0.89	0.319	0.93
小麦	1.1	0.89	0.319	0.92
玉米	1.2	0.87	0.319	0.92
大豆	1.6	1.6	0.319	0.68
薯类	0.5	0.45	0.319	0.68
棉花	9.2	0.83	0.319	0.804
花生	0.8	0.94	0.319	0.82

如表 3 及图 1 所示,农业源氨排放总量 105.831 万 t,其中畜禽养殖排放量最大,为 68.673 万 t,占排放总量的 64.89%;其次是氮肥施用,排放量 30.835 万 t,占排放总量的 29.14%;生物质燃烧、农村人口、土壤本底的氨排放量差异不大,分别占排放总量的 2.05%、2.00%、1.84%;固氮植物的氨排放量最小,仅为 0.09 万 t,占排放总量的 0.09%,这主要是因为花生、大豆等经济作物在山东种植面积不大。由此可以看出,畜禽养殖和氮肥施用是山东省农业源氨排放的最主要贡献源,两者占总排放量的 94%,这与浙江、四川、重庆、上海、西安、苏州、长株潭地区、川渝地区等省(市)或地区的情况类似^[6-14]。

畜禽养殖是农业源氨排放的最大贡献源。具体分析(图 2)来看,猪是氨排放量最大的贡献源,排放量为 32.895 万 t,占畜禽排放的 47.9%;其次是家禽,排放量为 17.152 万 t,贡献率为 24.98%;羊和牛的氨排放量差异不大,分别为 88.493 万 t 和 84.074 万 t,贡

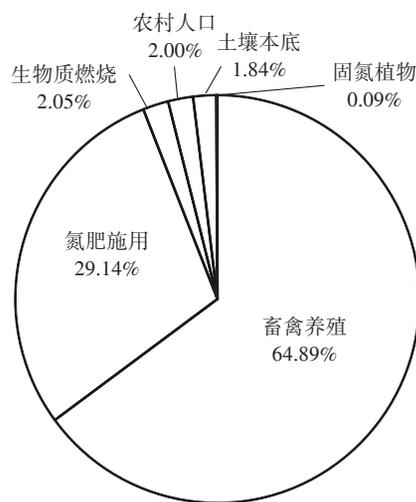


图 1 农业源氨排放量贡献率

Figure 1 Emission contribution of agricultural ammonia emission

表3 2015年山东省农业源氨排放清单

Table 3 Agricultural ammonia emission inventory of Shandong Province in 2015

地市 City	畜禽养殖 Livestock/万 t	氮肥施用 Nitrogen fertilizer/万 t	生物质燃烧 Biomass burning/万 t	农村人口 Rural population/万 t	土壤本底 Soil/万 t	固氮植物 Nitrogen fixing plant/万 t	合计 Total/万 t	排放强度 Emission intensity/t·km ⁻²
济南	4.250	1.721	0.105	0.114	0.103	0.001	6.295	0.770
青岛	3.161	1.014	0.133	0.137	0.124	0.010	4.578	0.406
淄博	1.312	0.603	0.058	0.076	0.047	0.001	2.097	0.352
枣庄	2.488	1.470	0.067	0.090	0.068	0.003	4.185	0.917
东营	1.471	0.838	0.060	0.036	0.049	0	2.454	0.310
烟台	3.768	2.055	0.084	0.139	0.084	0.012	6.143	0.447
潍坊	8.003	2.125	0.186	0.205	0.189	0.005	10.713	0.676
济宁	6.339	2.767	0.197	0.196	0.169	0.005	9.674	0.865
泰安	4.397	1.163	0.114	0.120	0.104	0.006	5.905	0.761
威海	1.434	0.637	0.037	0.052	0.040	0.008	2.208	0.381
日照	2.315	0.579	0.040	0.065	0.044	0.007	3.050	0.569
莱芜	0.604	0.233	0.010	0.028	0.015	0.001	0.891	0.397
临沂	6.849	2.268	0.176	0.238	0.184	0.021	9.738	0.566
德州	6.554	3.595	0.267	0.139	0.184	0	10.739	1.037
聊城	4.114	3.247	0.207	0.161	0.178	0.003	7.910	0.908
滨州	3.376	1.873	0.144	0.088	0.108	0	5.589	0.591
菏泽	8.238	4.648	0.287	0.233	0.250	0.007	13.662	1.116
合计	68.673	30.835	2.172	2.117	1.943	0.090	105.831	—

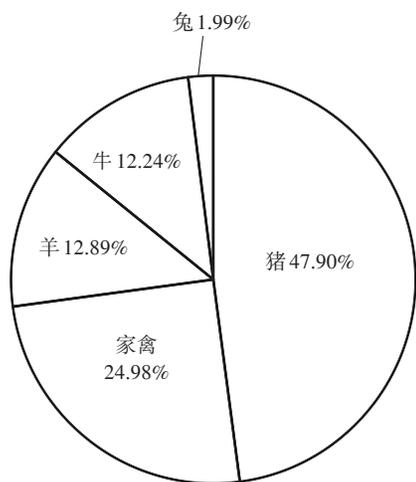


图2 畜禽养殖排放量贡献率

Figure 2 Emission contribution of livestock breeding

贡献率分别为 12.89% 和 12.24%;兔的排放量最小,为 13.693 万 t,仅占畜禽排放的 1.99%。

2.2 山东省农业源氨排放的地区差异

山东省各地市农业源氨排放特征如表 3 所示,排放量最大的地市为菏泽市,达到了 13.662 万 t,排放强度为 11.16 t·km⁻²;其次是德州和潍坊市,分别为 10.739 万 t 和 10.713 万 t,潍坊市面积大于德州市,导致潍坊市的排放强度 (6.76 t·km⁻²) 小于德州市 (10.37 t·

km⁻²);临沂及济宁市的排放量接近 10 万 t,分别为 9.738 万 t 和 9.674 万 t,排放强度为 5.66 t·km⁻² 和 8.65 t·km⁻²;排放量位于 5~8 万 t 的地市依次为聊城 (7.91 万 t)、济南 (6.295 万 t)、烟台 (6.143 万 t)、泰安 (5.905 万 t)、滨州 (5.589 万 t);其他地市排放量在 5 万 t 以下,莱芜市的排放量最小,仅为 0.891 万 t,这主要是因为莱芜市是以钢铁为主的工业市,面积较小,农业不是其主要产业。

因为畜禽养殖和氮肥施用是农业源氨排放的最主要贡献源,所以本文具体分析了这两大贡献源的地区差异。由图 3 可知,菏泽市无论是畜禽养殖氨排放量 (8.238 万 t) 还是氮肥施用氨排放量 (4.648 万 t) 都是山东省 17 地市当中最高的,畜禽养殖贡献率最大的是猪 (3.315 万 t) 和羊 (2.681 万 t),其次是家禽 (1.122 万 t)、牛 (0.999 万 t) 和兔 (0.121 万 t),这与其他地市略有区别,其他地市畜禽养殖贡献率最大的是猪和家禽。菏泽是传统农业大市,畜禽养殖和氮肥施用量均居山东省前列,而且羊汤是菏泽的传统名吃,因此羊的养殖量高于其他地市。潍坊市的畜禽养殖氨排放量 (8.003 万 t) 仅次于菏泽市,猪和家禽是其贡献源,临沂、德州、济宁的畜禽养殖氨排放量在 6 万 t 以上,其余地市均在 5 万 t 以下。氮肥施用氨排放贡

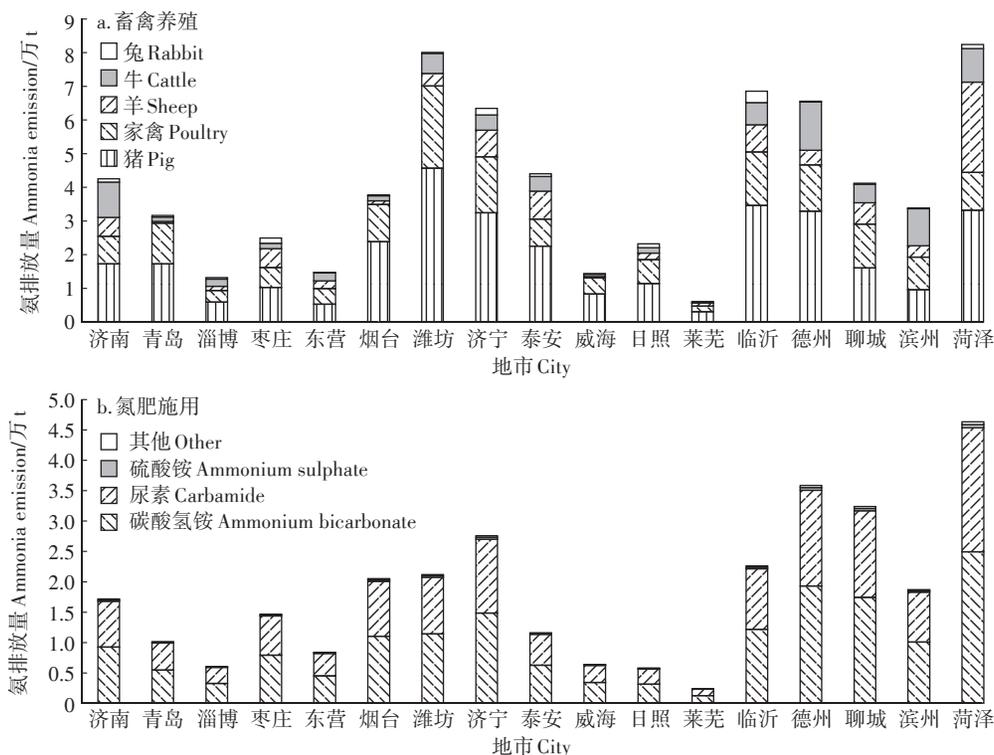


图3 山东省17地市畜禽养殖(a)和氮肥施用(b)氨排放特征

Figure 3 Ammonia emission of livestock breeding(a) and nitrogen fertilizer application(b) in 17 cities of Shandong Province

献大的是碳酸氢铵和尿素。德州、聊城、济宁、临沂、潍坊、烟台的氮肥施用导致的氨排在2万t以上,明显高于其他地市。由此可以看出,菏泽、德州、潍坊、临沂、济宁、聊城等以农业为主的地市,对其农业源氨排放量有很大影响^[6]。

2.3 山东省农业源氨排放清单与部分省份对比

与部分省份氨排放清单比较结果见表4,四川省(2012年)农业源氨排放量接近于山东省(2015年),其中畜禽养殖氨排放量较山东少6.693万t,氮肥施用氨排放量较山东少7.815万t,生物质燃烧排放量较山东多1.817万t,人口排放量较山东多4.242万t,这主要是因为四川省的人体排放包括城市人口和农村人口,而山东省农业源氨排放量仅考虑了农村人口;广东省(2010年)的畜禽养殖和氮肥施用的农业源氨排放量接近,二者之和为49.31万t,比山东省(2015年)畜禽养殖氨排放量还小;浙江省(2013年)畜禽养殖、氮肥施用、土壤本底、固氮植物的氨排放量合计为12.87万t,仅为山东省(2015年)排放总量的13%;安徽省(2014年)氮肥施用、土壤本底和固氮植物氨排放之和为4.98万t,仅占山东省(2015年)氮肥施用氨排放量的16%。由此可知,与部分省份相比,山东省农业源氨排放总量是较高的。

表4 部分省份农业源氨排放清单对比(万t)

Table 4 Agricultural ammonia emission inventory comparison with other provinces(10⁴ t)

排放类别 Type	安徽 ^[1] Anhui 2014	广东 ^[4] Guangdong 2010	浙江 ^[6] Zhejiang 2013	四川 ^[14] Sichuan 2012	山东 Shandong 2015
畜禽养殖 Livestock	—	25.75	6.896	61.98	68.673
氮肥施用 Nitrogen fertilizer	4.10	23.56	5.659	23.02	30.835
土壤本底 Soil	0.753 1	—	0.288	—	1.943
固氮植物 Nitrogen fixing plant	0.129 9	—	0.022	—	0.090
人口排放 Human emission	—	3.494	—	6.36	2.117
生物质燃烧 Biomass burning	—	3.094	—	3.99	2.172

2.4 山东省农业源氨减排措施

山东省是农业、人口、工业大省,也是农业源氨排放大省,与部分省或地区相比排放量较大^[15]。但是其区域发展不平衡问题较突出,所以农业源氨排放表现出明显的地市差异,淄博、东营、威海、莱芜等市是传统的工业城市,其农业源氨排放量较小,而菏泽、德

州、潍坊、临沂、济宁、聊城等农业大市的农业源氨排放量则较大,今后应加强监测这些重点地市,从源头加以控制农业源氨排放。

对于菏泽、德州、潍坊、临沂、济宁、聊城等农业源氨排放大市,应从控制畜禽养殖规模和合理施肥两方面着手整改,对于畜禽养殖而言,菏泽市的重点控制源是猪和羊,其他地市重点控制猪和家禽。从饲喂、畜禽圈舍、粪污存储、粪肥土地利用4个方面着手采取相应的控制措施^[23],如采取严格划定禁养区、建立规模化养殖场、低氮饲料喂养、及时清理畜舍、加强粪污密封、合理利用粪污施肥等措施减少畜禽养殖氨排放量。对于氮肥施用而言,应加强测土配方施肥力度、控制施肥强度、有机肥替代化肥、多施控释氮肥、覆土深施,大力推行种养结合模式,切实减少农业源氨排放量^[11,6-7,23]。

2.5 不确定性分析

排放因子本地化不足及部分统计年鉴数据缺失等问题是排放量估算不确定性的主要来源^[12]。畜禽氨排放主要来自圈养、放牧、厩肥保存和施肥4个阶段,但是由于年鉴提供的活动水平数据并没有将畜禽养殖细分为4个阶段,且不同排放源的排放因子未采用《指南》中列出的排放因子,而是参考以往研究折算的平均值,缺少本地化数据,这增加了研究结果的不确定性,所以在下一步研究中应结合实地调查、模型估算等手段对研究结果进行校验,不断完善估算方法及排放因子本地化研究,以获得更准确的研究结果^[3]。此外,农作物冠层氨挥发量也是农业源氨排放的重要来源,在下一步研究中,应该进一步考虑农作物冠层氨挥发,制定冠层氨挥发排放因子,使估算结果更科学准确。

3 结论

(1)山东省2015年农业源氨排放量为105.831万t,排放强度为6.71 t·km⁻²。

(2)畜禽养殖是最大的排放源,排放量为68.673万t,占总排放量的64.89%,其中猪是畜禽养殖的最大排放源,占畜禽养殖氨排放的47.90%。氮肥施用是仅次于畜禽养殖的主要排放源,排放量为30.835万t,占总排放量的29.14%,而生物质燃烧、农村人口、土壤本底和固氮植物的氨排放量较小。

(3)菏泽、德州、潍坊、临沂、济宁、聊城是农业源氨排放大市,氨排放量为7.91~13.662万t,而东营、威海、淄博、莱芜是传统的工业城市,农业源氨排放量较

小(<3万t)。

参考文献:

- [1] 郑志侠,翁建宇,汪水兵,等.安徽省农田生态系统氨排放研究[J].安徽农业大学学报,2016,43(4):562-567.
ZHENG Zhi-xia, WENG Jian-yu, WANG Shui-bing, et al. Study on ammonia emission from the farmland ecosystem in Anhui Province[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2016, 43(4):562-567.
- [2] 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 Ying-deng, YANG Ming-zhen, SHEN Li-xian. Ammonia emission and its effects on the formation of secondary particles in Beijing[J]. *Environmental Science*, 2000, 21(6):101-103.
- [3] 张双,王阿婧,张增杰,等.北京市人为源氨排放清单的初步建立[J].安全与环境学报,2016,16(2):242-245.
ZHANG Shuang, WANG A-jing, ZHANG Zeng-jie, et al. On creating an anthropogenic ammonia emission inventory in capital Beijing[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2016, 16(2):242-245.
- [4] 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 Xing-ling, YIN Sha-sha, ZHENG Jun-yu, et al. Anthropogenic ammonia emission inventory and its mitigation potential in Guangdong Province[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(1):43-53.
- [5] 刘春蕾,杨峰,姚利鹏.南京市畜禽养殖业氨排放分布特征及防治对策[J].安徽农学通报,2017,23(1):72-75.
LIU Chun-lei, YANG Feng, YAO Li-peng. Ammonia emission and countermeasures of livestock farming in Nanjing[J]. *Anhui Agri Sci Bull.* 2017, 23(1):72-75.
- [6] 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 Fei-xiang, CHAO Na, WU Jian, et al. Research on agricultural ammonia emission inventory of Zhejiang Province in 2013[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2016, 38(10):41-46.
- [7] 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 Xiao-feng, SHEN Gen-xiang, XU Chang, et al. Agricultural ammonia emission inventory and its distribution characteristics in Shanghai[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(12):2177-2185.
- [8] 李富春,韩圣慧,杨俊,等.川渝地区农业生态系统NH₃排放[J].环境科学,2009,30(10):2823-2831.
LI Fu-chun, HAN Sheng-hui, YANG Jun, et al. Agro-ecosystem ammonia emission in Sichuan-Chongqing region[J]. *Environmental Science*, 2009, 30(10):2823-2831.
- [9] 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 Xiang-yu, LIU Zhan, ZHANG Qing-mei, et al. Anthropogenic ammonia emission inventory and its spatial distribution in Chang-Zhu-Tan region[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(1):94-101.
- [10] 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 Hang, YAN Dong-jie, HUANG Xue-min, et al. Inventory and characteristics of anthropogenic ammonia emission in Xi'an[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(11):4117-4123.
- [11] 张 灿, 翟崇治, 周志恩, 等. 重庆市主城区农业源氨排放研究[J]. 中国环境监测, 2014, 30(3):90-96.
- ZHANG Can, ZHAI Chong-zhi, ZHOU Zhi-en, et al. Research on ammonia emission from agricultural sources in Chongqing urban city [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2014, 30(3):90-96.
- [12] 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 Jing, LIU Song-hua, TAN Yi, et al. Anthropogenic ammonia emission inventory and its spatial distribution in Suzhou City[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(8):1137-1144.
- [13] 蒋炳伸, 李大红, 李鸿雁. 2006—2014年驻马店地区农业源大气氨排放量变化[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(1):100-106.
- JIANG Bing-shen, LI Da-hong, LI Hong-yan. Agricultural ammonia emissions and source in Zhumadian area during 2006—2014[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 33(1):100-106.
- [14] 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 Xiao-qiong, WANG Xing-rui, HE Min, 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.
- [15] 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 Wen-xuan, XING Jia, WANG Shu-xiao. Temporal and spatial distribution of anthropogenic ammonia emission in China: 1994—2006[J]. *Environmental Science*, 2010, 31(7):1457-1463.
- [16] 董艳强, 陈长虹, 黄 成, 等. 长江三角洲地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. 环境科学学报, 2009, 29(8):1611-1617.
- DONG Yan-qiang, CHEN Chang-hong, HUANG Cheng, et al. Anthropogenic emissions and distribution of ammonia over the Yangtze River Delta[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(8):1611-1617.
- [17] 中国环保部. 大气氨源排放清单编制技术指南(试行)[EB/OL]. [2018-05-07]. http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201501/t20150113_294091.htm.
- Ministry of Environmental Protection of China. Technical guidelines for the establishment of atmospheric ammonia inventory (experimental)[EB/OL]. [2018-05-07]. http://www.mep.gov.cn/zhxx/hjyw/201501/t20150113_294091.htm.
- [18] 山东省统计局, 国家统计局山东调查总队. 山东统计年鉴 2016 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- Shandong Provincial Bureau of Statistics, Shandong Survey Team of the National Bureau of Statistics. Shandong statistical yearbook 2016 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.
- [19] 潘 涛, 薛念涛, 孙长虹, 等. 北京市畜禽养殖业氨排放的分布特征[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3):159-162.
- PAN Tao, XUE Nian-tao, SUN Chang-hong, et al. Distribution characteristics of ammonia emission from livestock farming industry in Beijing[J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, 38(3):159-162.
- [20] 沈 丽, 于兴娜, 项 磊. 2006—2014年江苏省氨排放清单[J]. 中国环境科学, 2018, 38(1):26-34.
- SHEN Li, YU Xing-na, XIANG Lei. Estimation of ammonia emissions inventories in Jiangsu Province from 2006 to 2014[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(1):26-34.
- [21] 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 Qing-rui, WANG Mei-rong. Ammonia emission and concentration in the atmosphere over China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1997, 21(5):590-598.
- [22] 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 Wen-xing, LU Xiao-feng, PANG Yan-bo, et al. Geographical distribution of NH₃ emission intensities in China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, 17(1):2-7.
- [23] 张增杰, 张 双, 韩玉花, 等. 农业源氨排放控制对策初步研究[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1):439-442.
- ZHANG Zeng-jie, ZHANG Shuang, HAN Yu-hua, et al. Preliminary study on control countermeasures of agricultural ammonia emission [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(1):439-442.