

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.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2017.01.016

2006-2014 年驻马店地区农业源大气氨排放量变化

蒋炳伸, 李大红, 李鸿雁

(黄淮学院生物工程系, 河南 驻马店 463000)

摘要: 为了研究河南省驻马店地区 2006-2014 年农业源氨排放量变化, 以《河南统计年鉴》为依据, 参考国内外文献资料确定不同农业源氨排放因子及农业源活动水平, 估算农业源氨排放量。结果显示, 驻马店地区农业源氨排放量年平均为 138.088 kt, 其中畜禽氨排放量最多, 年平均氨排放量为 97.105 kt, 占农业源氨总排放量的 68.67%。猪、牛、家禽是驻马店地区畜禽氨排放的主要贡献源, 平均每年猪粪便氨挥发量为 38.054 kt, 占畜禽养殖氨排放总量的 39.19%; 氮肥施用年平均氨排放量为 27.878 kt, 占农业源氨总排放量的 19.76%; 农作物秸秆燃烧氨排放量仅占驻马店地区农业源氨排放量的 7.75%, 但秸秆焚烧时间较为集中, 在短时间内氨排放浓度迅速增加, 使大气中二次颗粒物迅速增加, 空气污染更加严重。

关键词: 农业源; 氨排放因子; 氨排放量

中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2017)01-0100-07

Agricultural ammonia emissions and source in Zhumadian area during 2006-2014

JIANG Bing-shen, LI Da-hong, LI Hong-yan

(Department of Biological Engineering, Huanghuai University, Zhumadian 463000, China)

Abstract: In order to study the change of ammonia emission from agricultural sources in Zhumadian area during 2006-2014, the different ammonia emission factors were found from different agricultural sources and the activity of agricultural source levels according to the "Henan Statistical Yearbook" and the domestic and foreign literature. The results showed that the average amount of ammonia emission from agricultural sources a year in Zhumadian area was 138.088 kt. NH_3 emissions from livestock and poultry breeding was the most, and annual average ammonia emission was 97.105 kt, which accounted for 68.67% of the total NH_3 emissions from agricultural sources. Pig, cattle and poultry were the main source of ammonia emission from livestock in Zhumadian. Average annual volatilization from pig manure was 38.054 kt, which accounted for 39.19% of the total ammonia emission from livestock and poultry breeding. The average annual NH_3 emission of nitrogen fertilizer was 27.878 kt, which accounted for 19.76% of the total NH_3 emissions from agricultural sources. Ammonia emission from crop straw was only 7.75% of the agricultural sources in Zhumadian area. But the time of straw burning was relatively concentrated and the concentration of ammonia emissions rapidly increased in a short period of time. And the multiplying of two particulate matter in the atmosphere made the air pollution more serious.

Key words: agricultural source; NH_3 emission factors; NH_3 emission

收稿日期: 2016-04-12

基金项目: 河南省科技发展计划项目(112300410042)

作者简介: 蒋炳伸(1975-), 女, 河南中牟人, 硕士, 副教授, 主要研究方向是农业生态环境。(E-mail) 574618863@qq.com

通讯作者: 李大红, (Tel) 0396-2853041; (E-mail) lidahong27@163.com

氨(NH_3), 无色气体, 恶臭, 极易溶于水, 密度小于空气^[1]。氨是大气中重要的微量气体之一^[2], 作为大气中最重要的碱性物质, 在底层大气环境酸化

中起着重要的缓冲作用,对酸沉降和 PM_{2.5} 的形成有重要的影响^[3-4]。氨在 PM_{2.5} 中主要以硫酸铵、硝酸铵等二次颗粒物形式存在,硫酸铵和硝酸铵在轻度污染的大气中含量相对较低,但在重度污染的大气中两者浓度增长迅速^[5]。有研究结果表明,目前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^[6],例如大气沉降、NH₃ 与 NH₄⁺ 的积累促进水体富营养化,同时 NH₃ 在大气中转化为 N₂O、NO 等温室气体,引起空气质量恶化等^[7]。

氨排放的人为源主要有工业源、生活源和农业源,其中农业源氨排放主要来自畜禽养殖和放牧过程中粪尿的排放,农业氮肥的施用,农作物释放,秸秆燃烧,农业从业人员排泄物和农用柴油燃烧等。农业源氨排放是人为源氨排放的主要贡献源。宋敬阳^[8]比较了中国各种氨排放源对氨排放的贡献率,其中动物的最大,占 52%,氮肥施用占 33%。董文煊等^[9]估算了 2006 年中国人为源大气 NH₃ 排放量,其中畜禽养殖和化肥施用是最主要的氨排放源,分别为氨排放总量的 40.79% 和 53.53%。尹沙沙等^[2]估算了珠江三角洲地区人为氨源排放,结果显示农业源是氨主要排放贡献源,其中畜禽养殖 NH₃ 排放占总排放量的 62.10%,其次是氮肥施用 NH₃ 挥发,占 21.70%。欧洲畜禽养殖和化肥施用造成的 NH₃ 排放占总量的 90% 以上,美国国家畜饲养 NH₃ 排放量占全国的 80%^[10]。大部分亚洲国家化肥和家畜的 NH₃ 排放约占人为源 NH₃ 排放量的 77%^[11]。

河南省驻马店市是国家和省重要的粮油生产基地,素有“中原粮仓”、“中州油库”之称^[12]。粮油产量位居河南省之首,生猪、牛、羊等年出栏量分别位居全省第 1、第 2 和第 4 位^[13]。农业源是驻马店地区氨排放的主要贡献源,本研究以驻马店市农业源氨排放数据为基础,采用氨排放因子法估算 2006—2014 年驻马店地区农业源氨排放的时空分布特征并分析其变化趋势,为农业源氨减排提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域及对象

研究区域为河南省驻马店市,包括九县一区,即西平县、遂平县、汝南县、正阳县、泌阳县、确山县、新蔡县、上蔡县、平舆县及驿城区。估算 2006—2014

年畜禽养殖、氮肥施用、生物质燃烧以及农作物释放等农业源氨排放量的分布特征。

1.2 数据来源

以 2007—2015 年《河南省统计年鉴》^[14-22] 为依据,畜禽饲养、氮肥施用、农村人口、农作物产量、农作物种植面积及农用柴油等数据均以 2006—2014 年年底统计数据为准。

1.3 农业源氨排放量估算方法

1.3.1 氨排放因子的确定 参考伊莎莎等^[2]、董文煊等^[9]、Asman^[10]、Bouwman 等^[23]、沈兴玲等^[24]、陆炳等^[25]、He 等^[26]、孙庆瑞等^[27]、Roe 等^[28] 的研究结果,确定驻马店地区不同氨源的排放因子(表 1)。

表 1 农业源 NH₃ 排放因子

Table 1 Ammonia emission factors of agricultural sources

排放源	排放因子	参考文献
牛(1头,1年)	23.04 kg	[10]
骡、驴(1头,1年)	10.6 kg	[9]
马(1头,1年)	10.6 kg	[9]
猪(1头,1年)	4.8 kg	[9]
羊(1头,1年)	1.20 kg	[9]
兔(1只,1年)	0.62 kg	[9]
家禽(1只,1年)	0.22 kg	[9]
氮肥施用	18.5%	[2,27]
农作物释放(1年)	2.5 kg/hm ²	[23]
生物质(秸秆)燃烧	1.3 kg/t	[24-26,29]
农用柴油	0.132 kg/t	[28-29]
人(1人,1年)	0.5 kg	[9]

1.3.2 氨排放量计算方法 排放总量(Q_T) = $\sum Q_i$, $Q_i = f_e \times n$, 式中 Q_i 为不同源的排放量, f_e 为排放因子, n 为排放源的数量或者面积^[28]。

2 结果与分析

2.1 驻马店地区氨排放量的年际变化

由图 1 可知,驻马店地区 2006 年农业源 NH₃ 排放量最高,为 166.668 kt;2007 年农业源 NH₃ 排放量最低,为 133.907 kt,比上年减少 33.761 kt。驻马店地区农业源年平均 NH₃ 排放总量为 138.088 kt。畜禽养殖是农业源 NH₃ 排放的最重要贡献源。2006 年驻马店地区畜禽养殖数量达到最大,故 NH₃ 排放

量也最高,而 2007 年驻马店地区畜禽养殖量大幅度缩小,故农业源 NH_3 排放量最低。从 2008 年开始驻马店农业源 NH_3 排放量在 136.755 kt 至 141.273 kt 之间波动,其变化幅度较小。

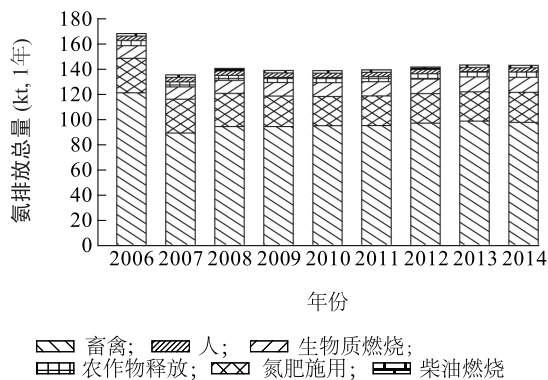


图 1 2006–2014 年驻马店地区农业源氨排放总量

Fig.1 Ammonia emissions of agricultural sources in Zhumadian area, 2006–2014

2.2 驻马店地区不同农业源 NH_3 排放量的分布特征

表 2 显示 2006–2014 年驻马店地区各类农业源 NH_3 排放量所占的百分比。在各类农业 NH_3 排放源中畜禽 NH_3 排放量最大,平均为 97.105 kt,占农业源 NH_3 排放总量的 68.67%,其中 2006 年畜禽氨排放量达到 120.122 kt,占农业源 NH_3 排放总量的 72.07%。其次是氮肥施用, NH_3 年平均排放量为 27.878 kt,占农业源 NH_3 排放总量的 19.76%。生物质(秸秆)燃烧 NH_3 排放量平均为 10.906 kt,占农业源 NH_3 排放量的 7.75%,秸秆燃烧 NH_3 排放受季节性影响较强,主要集中在农业的夏收和秋收季节,大量秸秆燃烧,造成严重的雾霾天气。农作物生长过程中 NH_3 释放量为 4.09 kt,占农业源 NH_3 排放总量的 2.90%。人体排泄 NH_3 年平均总量为 1.412 kt,占农业源 NH_3 排放总量的 1.00%,在农村从事农业生产的人数逐年减少,人体排泄产生的氨排放量也逐年降低。农用柴油燃烧 NH_3 年平均排放总量为 0.012 kt,占农业 NH_3 排放总量的 0.01%,虽然农用柴油燃烧产生的 NH_3 排放量相对较少,但使用量呈逐年递增的趋势。

表 2 2006–2014 年驻马店地区各类农业源 NH_3 排放贡献率

Table 2 Ammonia emission contribution of different agricultural sources in Zhumadian area, 2006–2014

年份	NH_3 排放贡献率(%)					
	畜禽	氮肥	生物质燃烧	农田释放	人	柴油燃烧
2006	72.07	18.55	5.99	2.43	0.94	0.01
2007	65.89	22.71	7.25	3.02	1.13	0.01
2008	67.29	21.33	7.41	2.80	1.08	0.01
2009	68.21	19.92	7.83	2.97	1.07	0.01
2010	68.78	19.17	8.03	2.98	1.04	0.01
2011	68.53	19.33	8.14	2.99	0.99	0.01
2012	68.83	18.97	8.27	2.96	0.97	0.01
2013	69.18	18.61	8.34	2.94	0.92	0.01
2014	68.49	19.20	8.48	2.97	0.86	0.01
平均	68.67	19.76	7.75	2.90	1.00	0.01

2.3 驻马店地区畜禽氨排放量分析

畜禽养殖对大气中人为 NH_3 排放总量的贡献率最大,达到 60%以上,有些地区甚至达到 80%^[30-32]。动物排泄物释放的氮是 NH_3 挥发的潜在源。超过一半的氮排泄来自哺乳动物的尿,主要以尿素的形式。

尿素在细胞外尿素酶的作用下迅速水解成碳酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$,由此成为氨气的主要来源^[33]。由表 3 可知,猪、牛、家禽是驻马店地区畜禽 NH_3 排放的主要贡献源,猪是畜禽中 NH_3 排放的第 1 大贡献源,2006 年达到 43.495 kt,年平均 NH_3 排放量为

38.054 kt,占畜禽养殖 NH₃排放总量的 39.19%;其次是牛,最高为 46.138 kt,年平均 NH₃排放量为 32.702 kt,占畜禽养殖 NH₃排放总量的 33.68%;家禽是畜禽养殖 NH₃排放量的第 3 大贡献源,年平均 NH₃排放量为 19.224 kt,占畜禽养殖 NH₃排放总量

的 19.79%。猪、家禽养殖数量逐年增加,NH₃排放量也逐年增加;牛养殖量逐年降低,NH₃排放量也逐年减少;马、驴、骡、羊、兔养殖数量年变化不大,NH₃排放量所占的比重也不高,氨排放量占畜禽养殖 NH₃排放量的 7.34%。

表 3 2006–2014 年驻马店地区畜禽源 NH₃排放量

Table 3 Ammonia emission of livestock source in Zhumadian area, 2006–2014

年份	NH ₃ 排放量 (kt)							
	牛	马	驴	骡	猪	羊	家禽	兔
2006	46.138	0.416	0.480	0.155	43.495	9.426	19.160	0.852
2007	34.249	0.408	0.550	0.139	30.432	4.355	17.154	0.939
2008	34.728	0.411	0.545	0.113	33.324	4.537	18.673	1.140
2009	33.016	0.395	0.436	0.130	34.923	4.444	18.926	1.190
2010	32.026	0.414	0.377	0.125	36.704	4.217	18.716	1.476
2011	30.182	0.420	0.398	0.126	37.902	4.150	19.461	1.562
2012	28.777	0.430	0.421	0.127	40.241	4.065	20.415	1.621
2013	28.445	0.443	0.435	0.129	42.189	4.073	20.400	1.620
2014	26.760	0.390	0.399	0.115	43.273	4.112	20.109	1.426
平均	32.702	0.414	0.449	0.129	38.054	4.820	19.224	1.314

2.4 驻马店地区氮肥施用氨排放量分析

一般而言,氨挥发损失量随氮肥施用量的增加而增加^[34-35],且因氮肥品种、施肥方式及灌溉方式不同而变化^[36-38]。氨挥发还受土壤因素(土壤质地、通气状况、pH 值、土壤含水量)、气候因素(温度、降水、光照)等影响。由图 2 可知,2006–2014 年,驻马店地区农业氮肥施用 NH₃排放总量逐年递减,到 2014 年 NH₃排放量稍微回升,氮肥施用年平均 NH₃排放总量为 27.878 kt。2006 年氮肥施用 NH₃排放量最高,为 30.922 kt,而 2010 年氮肥施用 NH₃排放总量最低,为 26.216 kt。

2.5 其他农业源氨排放量分析

农作物秸秆露天焚烧具有很强的季节性,其燃烧量因所处气候带、农村生活水平、植被覆盖状况和粮食作物秸秆产量的不同而不同,但最主要是由农民的收入水平和农民的秸秆利用成本决定^[39]。估算 2006–2014 年驻马店地区农作物秸秆产量,然后根据秸秆露天焚烧比例确定粮食作物秸秆露天焚烧量^[40],再根据排放因子估算该地区秸秆燃烧 NH₃排放量。由表 4 可知,驻马店地区主要以旱作物为主,小麦、玉米是驻马店

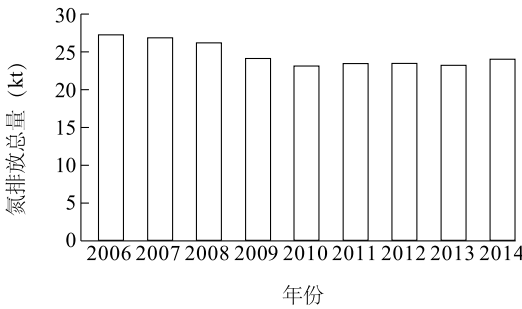


图 2 2006–2014 年驻马店地区氮肥施用氨排放量

Fig.2 Ammonia emission of nitrogen fertilizer in Zhumadian area, 2006–2014

地区主要的粮食作物,是农作物秸秆燃烧氨排放的主要贡献源,小麦与玉米秸秆燃烧平均每年氨排放量分别为 5.891 kt 和 3.326 kt,分别占生物质燃烧氨排放量的 54.01%和 30.50%。农作物秸秆燃烧氨排放量仅占驻马店地区农业源氨排放量的 7.75%,所占比例较低,但其受季节影响,生物质燃烧导致在短时间内氨排放浓度及大气中二次颗粒物迅速增加,使空气污染更加严重。

表 4 2007–2015 年驻马店地区生物质燃烧 NH₃排放量

Table 4 Ammonia emission of biomass burning in Zhumadian area, 2007–2015

年份	NH ₃ 排放量 (kt)										
	水稻	小麦	玉米	大豆	其他豆类	红薯	花生	油菜籽	芝麻	棉花	烟叶
2007	0.174	5.107	3.205	0.238	0.046	0.097	0.682	0.139	0.160	0.127	0.023
2008	0.180	5.407	2.887	0.092	0.081	0.044	0.650	0.149	0.120	0.078	0.018
2009	0.214	5.791	3.009	0.109	0.027	0.056	0.680	0.168	0.117	0.109	0.018
2010	0.221	5.912	3.127	0.153	0.035	0.080	0.775	0.165	0.139	0.089	0.025
2011	0.217	6.025	3.223	0.156	0.025	0.083	0.836	0.158	0.144	0.082	0.025
2012	0.217	6.038	3.448	0.136	0.024	0.084	0.856	0.146	0.149	0.061	0.026
2013	0.222	6.119	3.635	0.136	0.023	0.083	0.911	0.172	0.179	0.039	0.025
2014	0.215	6.191	3.711	0.134	0.022	0.068	0.993	0.189	0.192	0.035	0.026
2015	0.208	6.426	3.693	0.128	0.017	0.064	0.997	0.175	0.186	0.035	0.022
平均	0.208	5.891	3.326	0.142	0.033	0.073	0.820	0.162	0.154	0.073	0.023

农作物(农田)释放 NH₃受化学、生物和人为因素的影响。到目前为止,还没有确切数据能够证明不同农作物的氨排放因子不同,也没有数据能证明温带与热带气候下农作物 NH₃排放系数不同^[41],农作物氨释放量主要以种植面积为依据来进行估算。由图 3 可知,2006–2014 年驻马店地区农田氨释放量逐年缓慢增加,2014 年达到最高,为 4.183 kt,平均每年农作物(农田)氨释放量为 4.09 kt,占驻马店地区农业源氨排放总量的 2.90%。随着养殖小区大量建设,散养户的减少以及农业机械化的发展,农村剩余劳动力从事非农业生产,因此农业生产者产生的氨排放量逐年降低,2006 年农业生产者氨排放量最高,为 1.574 kt,2014 年最低,为 1.212 kt。由图 4 可知,2006 年农用柴油燃烧氨排放量为 0.010 3 kt,到 2014 年达到了 0.012 9 kt,两者相差 0.002 6 kt,农用柴油燃烧氨排放量与其他农业源相比,非常低,甚至可以忽略掉,但其排放量逐年增加,不可小觑。

3 讨论

本研究中驻马店地区 NH₃排放量是以《河南省统计年鉴》(2007–2015)中驻马店地区畜禽养殖情况、各类氮肥所折换的纯氮量、各类农作物产量、农作物种植面积、从事农业生产的人口数量以及农用柴油燃烧等统计资料为依据而估算的。统计中未对奶牛、肉牛、母猪、生猪、母鸡、肉鸡、鸭等进行分类,不同种类的牛、猪、家禽 NH₃排放因子不同,因此对

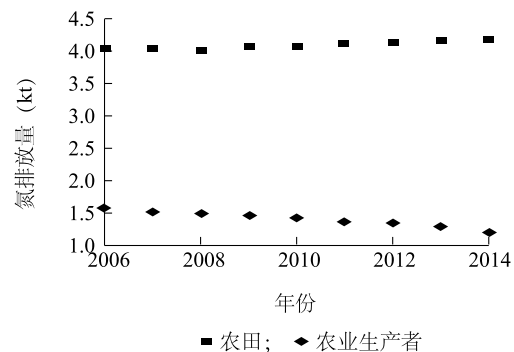


图 3 2006–2014 年驻马店地区农田释放和农业生产者人体排泄氨量

Fig.3 Ammonia emission of crop releasing and human excretion in Zhumadian area, 2006–2014

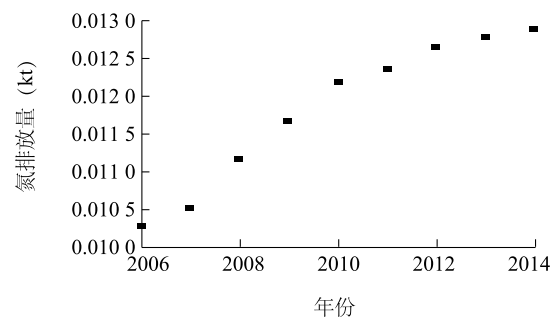


图 4 2006–2014 年驻马店地区农用柴油燃烧氨排放量

Fig.4 Ammonia emission of agricultural diesel combustion in Zhumadian area, 2006–2014

NH₃排放量的评估存在不确定性;畜禽养殖方式不同 NH₃排放因子也不同,例如散养、小区养殖等不同

方式都会影响畜禽氨排放量;畜禽数量的统计对象仅包括大型养殖场和养殖小区,而散养的畜禽数量并没有进行统计,因此实际上驻马店地区畜禽养殖 NH_3 排放量要高于估算的结果;不同种类的氮肥 NH_3 排放因子也不同,本研究所使用的排放因子为不同种类氮肥 NH_3 排放因子的平均值,而且统计年鉴中氮肥的统计量为各种氮肥折换成的纯氮量,因此氮肥施用 NH_3 排放量的估算存在不确定性;农作物秸秆露天燃烧 NH_3 排放量受谷草比以及被燃烧秸秆所占驻马店地区秸秆总产量百分比的影响,具有一定的不确定性。

参考文献:

- [1] 罗艾民. 液氨安全使用“六防止”[J]. 现代职业安全, 2013(12):16-19.
- [2] 尹沙沙, 郑君瑜, 张礼俊. 珠江三角洲人为氨源排放清单及特征[J]. 环境科学, 2010, 31(5):1146-1151.
- [3] METCALFE S E, ATKINS D, DERWENT R G. Acid deposition modeling and the interpretation of the united-kingdom secondary precipitation network data [J]. Atmos Environ, 1989, 23(9):2033-2052.
- [4] BATTYE R, BATTYE W, OVERCASH C, et al. Development and selection of ammonia emission factors: final report [M]. Research Triangle Park, NC: USA Environmental Protection Agency, Atmospheric Research and Exposure Assessment Laboratory, 1994.
- [5] 孔令钰. 氨污染被确认为雾霾最大元凶之一 [DB/OL]. (2014-09-09) [2016-04-10]. <http://china.caixin.com/100726436.html>.
- [6] 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.
- [7] HAYASHI K, NISHIMUR S, YAGI K. Ammonia volatilization from a paddy field following applications of urea: rice plants are both an absorber and an emitter for atmospheric ammonia [J]. Sci Total Environ, 2008, 390:485-494.
- [8] 宋敬阳. 我国大气 NH_3 源的排放因子及贡献率[J]. 中国环境管理干部学院学报, 1998(1):41-44.
- [9] 董文煊, 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.
- [10] ASMAN W A H. Ammonia emission in Europe, updated emission and emission variations [R]. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection, 1992.
- [11] ZHAO D W, WANG A P. Estimation of anthropogenic ammonia emission in asia [J]. Atmospheric Environment, 1994, 28(4):689-694.
- [12] 驻马店市农业局. 驻马店农业发展综述 [DB/OL]. (2015-02-11) [2016-04-11]. http://www.zhumadian.gov.cn/html/site_gov/articles/201502/11431.html.
- [13] 驻马店市畜牧局. 驻马店市 2014 年畜牧业发展综述 [DB/OL]. (2015-03-24) [2016-04-11]. http://www.zhumadian.gov.cn/html/site_gov/articles/13487.html.
- [14] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2007 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- [15] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2008 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [16] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2009 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [17] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2010 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [18] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2011 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [19] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2012 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [20] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2013 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [21] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2014 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [22] 河南省统计局, 国家统计局河南调查总队. 2015 年河南省统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [23] BOUWMAN A F, LEE D S, ASMAN W A H, et al. A global high-resolution emission inventory for ammonia [J]. Global Biogeochem Cycles, 1997, 11(4):561-587.
- [24] 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.
- [25] 陆炳, 孔少飞, 韩斌, 等. 2007 年中国大陆地区生物质燃烧排放污染物清单 [J]. 中国环境科学, 2011, 31(2):186-194.
- [26] HE M, ZHENG J Y, YIN S S, et al. Trends, temporal and spatial characteristics, and uncertainties in biomass burning emission in the Pearl River Delta, China [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45:4051-4059.
- [27] 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.
- [28] ROE S M, SPIVY M D, LINDQUIST H C, et al. Estimating ammonia emission from anthropogenic nonagricultural source Draft final report [R]. Washington, US: Emission Inventory Improvement Program (EIIP), 2004.
- [29] 肖红伟, 肖化云, 唐从国. 贵阳地区氨排放量估算 [J]. 地球与环境, 2010, 38(1):21-25.
- [30] 马宗晋, 高庆华. 中国 21 世纪的减灾形势与可持续发展 [J]. 中国人口、资源与环境, 2001, 11(2):122-125.
- [31] 范宝俊. 中国自然灾害与灾害管理 [M]. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1998.
- [32] 马宗晋. 中国重大自然灾害及减灾对策 (总论) [M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [33] 杨志鹏, 栾胜基, 陈辽辽. 养殖业氨排放清单模型进展及鸡的排放因子本地化 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(15):6490-6493, 6502.
- [34] 田光明, 蔡祖聪, 曹金留, 等. 镇江丘陵区稻田化肥氮的氨挥发及其影响因素 [J]. 土壤学报, 2001, 38(3):324-332.

- [35] LIN D X, FAN X H, HU F, et al. Ammonia volatilization and nitrogen utilization efficiency in response to urea application in rice fields of the Taihu Lake Region, China [J]. *Pedosphere*, 2007, 17 (5): 639-645.
- [36] DAS P, KIM K H, SA J H, et al. Emissions of ammonia and nitric oxide from an agricultural site following application of different synthetic fertilizers and manures [J]. *Geosci J*, 2008, 2(2) : 177-190.
- [37] 董文旭, 胡春胜, 张玉铭. 不同施肥土壤对尿素挥发的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 9(3) : 11-14.
- [38] NORMAN R J, WILSON J C E, SLATON N A, et al. Nitrogen fertilizer sources and timing before flooding dry-seeded, delayed-flood rice [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2009, 73: 2184-2190.
- [39] 赵建宁, 张贵龙, 杨殿林. 中国粮食作物秸秆焚烧释放碳量的估算 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(4) : 812-816.
- [40] 曹国良, 张小曳, 王 丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(4) : 800-804.
- [41] BOUWMAN A F, LEE D S, ASMAN W A H, et al. A global high-resolution emission inventory for ammonia [J]. *Global Biogeochem Cycles*, 1997, 11(4) : 561-587.

(责任编辑: 张震林)