

江苏省农业源氨排放分布特征

刘春蕾, 姚利鹏 (江苏省南京市环境保护科学研究院, 江苏南京 210013)

摘要 [目的]研究江苏省氨排放分布特征。[方法]根据江苏省农业源活动水平数据,采用排放因子法,建立了2014年江苏省农业源大气氨排放清单,利用GIS软件分析了江苏省农业源氨排放的分布特征。[结果]2014年江苏省农业源氨排放总量为679.23 kt,排放强度为6.61 t/km²;畜禽养殖是江苏省农业源氨排放的最大贡献源,占总排放量的67.80%,氮肥施用是第二大贡献源,占29.29%;鸡是江苏省畜禽养殖氨排放最大的贡献源,其次是猪,分别贡献了41.15%和30.17%。[结论]江苏省农业源氨排放无论是排放量还是排放强度都呈现出由南向北递增的空间分布特征,苏北地区是江苏省最需要控制的农业源氨排放贡献区。

关键词 氨排放;特征;江苏省

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)22-070-05

Agricultural Ammonia Emission Inventory and Its Distribution Characteristics in Jiangsu Province

LIU Chun-lei, YAO Li-peng (Nanjing Academy of Environmental Science, Nanjing, Jiangsu 210013)

Abstract [Objective] To research the distribution characteristics of ammonia emission. [Method] Based on the activity data of agricultural ammonia emission sources, an agricultural ammonia emission inventory of Jiangsu in 2014 was compiled by using emission factor method. GIS software was used to analyze the distribution characteristics of agricultural ammonia emission. [Result] Emission amount of Jiangsu Province was approximately 679.23 kt in 2014, and the emission intensity was 6.61 t/km². Livestock and poultry breeding and N fertilizer application were main contributor of agricultural NH₃ sources, accounting for 67.80% and 29.29% of total NH₃ emission, respectively. Meat chicken dominated the emission source of livestock and poultry with the percentage of 41.15%, followed by pork pig, which was accounted for 30.17%. [Conclusion] The agricultural ammonia emission is increasing from south to north in Jiangsu, and North Jiangsu is the area that must be controlled.

Key words Ammonia emission; Characteristics; Jiangsu Province

随着社会经济的快速发展,区域大气污染日益加重,灰霾、臭氧和酸雨等区域性大气污染问题日益突出,对人民群众的身体健康和生态安全构成威胁,2015年冬季频发的重度雾霾天气更是把PM_{2.5}推上了新的高度。国务院于2013年9月公布的《大气污染防治行动计划》中明确提出对PM_{2.5}、PM₁₀的控制,2015年3月环保部发布了《关于开展源排放清单编制试点工作的通知》(环办[2015]14号),选取了14个具有一定源排放清单工作基础和地域代表性的城市,以颁发的《城市大气污染物排放清单编制指南》(以下简称《指南》)为指导,开展源排放清单编制工作,以支撑全国大气污染防治工作,大气氨排放清单是其中的重要组成部分。欧美日等发达国家和地区对氨的研究起步较早,研究内容从氨排放清单的建立、贡献源分析等基础研究发展到侧重农业氨源对空气污染的影响,尤其是对PM_{2.5}二次粒子形成的影响。研究结果显示,减少农业源氨排放可有效降低空气中PM_{2.5}浓度,控制氨排放是降低大气颗粒物浓度最经济有效的办法^[1]。近年来,欧盟、美国已经将研究成果应用于环境管理中,开始了对养殖场氨排放的控制^[2]。我国对氨排放研究起步较晚,研究尺度由全国^[3]、长三角^[4]、珠三角^[5]、内陆川渝^[6]等大尺度逐步向单一城市^[7-9]小尺度发展,研究内容也从源清单编制到特征分析、减排潜力研究^[10]和对颗粒物形成贡献^[11]逐步深入。国内研究结果一致表明,畜禽养殖和氮肥施用是国内两大氨排放贡献源,控制二次粒子可能是目前控制大气PM_{2.5}污染一个最为有效的突破点^[12]。开展氨排放对PM_{2.5}的影响研究以及采取相应的控制措施是国内大气污染防治

的发展方向。江苏省地处长江三角洲,是我国人口最为密集、经济最为发达区域之一,是颗粒物污染最严重的地区之一,也是氨排放强度较高的地区之一^[3]。截至目前,江苏省尚无完整且详细的氨排放研究成果。笔者根据收集的江苏省农业氨源数据,选取了国内修正后的较贴近实际的排放因子,编制了2014年江苏省农业源氨排放清单,利用GIS软件对氨排放量分布、氨排放强度分布特征进行了分析,以期探索江苏省大气污染形成机制及PM_{2.5}达标治理提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区域为江苏省,位于我国大陆东部沿海中心、长江下游。东南与浙江、上海毗邻,西接安徽,北接山东。包括南京、苏州、无锡、常州、镇江、泰州、南通、扬州、徐州、连云港、淮安、盐城、宿迁共13个市。省内社会经济发展区域化明显,目前形成了三大区域——苏南(南京、苏州、无锡、常州、镇江)、苏中(南通、泰州、扬州)、苏北(徐州、连云港、宿迁、淮安、盐城)。

1.2 研究对象 包括氮肥施用、土壤本底、畜禽养殖、生物质燃烧、秸秆堆肥5项农业源。基准年为2014年。

1.3 数据来源 各市行政区域面积来源于2014年江苏省统计年鉴^[13],2014年各市主要农作物种植面积及产量、农村人口数、畜禽养殖数据来自江苏省农业委员会。

1.4 估算方法 农业源氨排放量的估算主要采用排放因子法,计算公式为:

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

式中, E 为氨排放量; i,j 分别为地区和源类别; A_i 为活动水平; EF 为排放因子。

1.4.1 氮肥施用.江苏省各城市氮肥施用量根据江苏省各

城市小麦、水稻^[14]、油菜^[15]平均施氮量计算得出,氮肥施用比例取自国内学者研究结果的平均值^[4],碳铵、硝铵、硫酸、尿素和其他氮肥的比例分别为13%、7%、4%、65%和11%,

排放因子根据各市农作物施肥时间、土壤性质选择自《指南》(表1)。

表1 氮肥施用基准排放系数
Table 1 Emission factors of nitrogen fertilizer application

土壤种类 Soil type	温度 Temperature ℃	尿素 Urea//%	碳铵 Ammonium bicarbonate//%	硝铵 Ammonium nitrate//%	硫酸 Ammonium sulphate//%	其他 Others//%
酸性土壤 Acid soil	< 10	0.51	1.71	0.36	0.66	0.21
	10~20	2.51	2.61	0.40	0.82	0.23
	20~30	4.50	3.52	0.45	0.97	0.26
	> 30	5.50	3.98	0.47	1.05	0.27
碱性土壤 Alkali soil	< 10	12.66	6.02	0.36	1.25	0.21
	10~20	14.66	6.93	0.40	1.40	0.23
	20~30	16.66	7.84	0.45	1.56	0.26
	> 30	17.66	8.29	0.47	1.63	0.27

1.4.2 秸秆堆肥。2008年苏南、苏中、苏北秸秆肥料化利用率分别为31.10%、22.00%、21.20%,苏南地区肥料化水平领先全省,无锡市达50.00%,镇江市达41.00%,苏州市达33.00%。据江苏省秸秆利用发展规划,到2012年,江苏省秸秆肥料化利用率达32.00%。该研究以50.00%、41.00%、33.00%和32.00%作为无锡、镇江、苏州及其他地区的肥料化比例来估算各城市秸秆堆肥量。

1.4.3 畜禽养殖。畜禽养殖数据包括黄牛、奶牛、水牛、马、驴、骡、能繁母猪、生猪、山羊、绵羊、蛋鸡、肉鸡、肉蛋兼用型鸡、蛋鸭、肉鸭、鹅、兔共17项。根据数据特点,该研究选取了杨志鹏^[16]的研究成果,该成果是以物质流方法为指导,根据我国国家畜粪便学、家畜环境卫生学和植物营养学等相关研究的大量基础数据,核定了符合我国畜牧生产实践的畜禽氮排泄量,然后利用粪、尿进入粪肥管理过程(圈养、放牧、储存、还田4个阶段)后的不同氮挥发率,修正了畜禽的氨排放系数,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符合国内实情。畜禽数量根据饲养周期决定,饲养周期大于1a的,取当年存栏量作为该畜禽品种数量,饲养周期小于1a的,取当年出栏量作为该畜禽品种数量(表2)。

表2 畜禽养殖业氨排放因子

Table 2 Ammonia emission factors of livestock source

畜禽种类 Livestock type	排放系数 Emission factor kg/a	畜禽种类 Livestock type	排放系数 Emission factor kg/a
牛 Cattle	奶牛	鸡 Chicken	蛋鸡
	水牛		肉鸡
	其他牛	鸭 Duck	蛋鸭
猪 Pig	母猪		肉鸭
	生猪	鹅 Goose	
羊 Sheep	山羊	马驴骡 Horse, donkey, mule	
	绵羊	兔子 Rabbit	

1.4.4 生物质燃烧。该研究估算的生物质燃烧包括露天燃

烧和户用生物质燃烧,生物质燃烧活动水平计算公式为:

$$A = P \times N \times R \times \eta \quad (2)$$

式中,A为生物质燃烧量;P为主要农作物产量;N为农作物谷草比;R为燃烧比例; η 为燃烧率。生物质燃烧活动水平可直接由主要农作物秸秆产生量、燃烧比例、燃烧率来估算,农作物秸秆燃烧率取0.9,燃烧比例取各市2014年政府公报及新闻报道数据。

户用生物质燃料包括薪柴和秸秆燃烧。户用薪柴燃烧量依据文献^[17]计算,苏南、苏中、苏北薪柴人均消费量分别为203.2、226.9、323.0 kgce/(人·a)。户用秸秆消耗量按各市农村直接生活燃料利用率计算。排放因子参考《指南》,秸秆和薪柴分别为0.53、1.30 g/kg,小麦、水稻和其他秸秆因子为0.37、0.53 g/kg。

2 结果与分析

2.1 江苏省农业源氨排放清单 根据上述研究方法和数据,建立了2014年江苏省农业源氨排放清单。由表3可见,2014年江苏省农业源氨排放总量为679 228.34 t,从排放源分担率来看,畜禽养殖是最大的农业氨排放贡献源,占总排放量的67.80%,氮肥施用是第二大排放源,占29.29%,两者合计占农业源氨排放总量的97.09%。江苏省常驻人口总体呈低速增长的态势,随着人民收入和生活水平的提高,对畜禽产品的需求量逐年增加。近年来,随着上海市控制畜禽养殖规模和数量,江苏省在一定程度上还担当了上海市的畜禽产品的供应地^[18],自身和外地的双重需求,导致了畜禽养殖量的居高不下。江苏省作为传统的肉羊、生猪、禽类养殖大省,肉羊和生猪的排放因子相对较高,氨排放贡献率也大。

氮肥施用是第二大农业氨排放源与全省的氮肥施用量大密不可分。我国氮肥施用超标,耕地仅占全世界9%,但氮肥消费量却“占全世界总消费量的1/3”,且超标施用的氮肥主要集中在东部农业发达地区^[19]。无论是单位农田面积还是单位播种面积,江苏省的氮肥施用量在全国来看都是处于最高等级的地区^[20],而且江苏省绝大部分地区的土壤性质为碱性,土壤pH是影响农田氨挥发的主要因素,施用于碱

性土壤的氨挥发率远远高于酸性土壤,另外,国内氮肥施用缺乏精细化管理,主要是表面撒施方式,长期过量施氮肥导致氨排放总量偏大。

生物质燃烧氨排放量仅占总排放量的 1.91%,这与江苏省高度重视秸秆综合利用,积极推进秸秆禁烧工作密切相关。近年来,江苏省连续出台了《江苏省秸秆禁烧考核办法》、《全面推进农作物秸秆综合利用意见》等相关政策,2015 年全省基本形成秸秆收贮利用体系,秸秆综合利用率达到 90.00%,基本杜绝露天焚烧秸秆。2014 年苏南地区秸秆综合利用率已达到 95.00% 以上,秸秆露天燃烧较严重的苏北地区也达到了 85.00% 以上,未来生物质燃烧氨排放对全省氨排放总量的贡献将进一步减小。

表 3 2014 年江苏省农业源氨排放清单

Table 3 List of agricultural ammonia emissions in Jiangsu Province in 2014

排放源 Emission source	排放量 Emission amount // t	分担率 Share rate // %
畜禽养殖 Livestock breeding	460 500.70	67.80
氮肥施用 Nitrogen fertilizer application	198 977.38	29.29
生物质燃烧 Biomass burning	12 996.22	1.91
秸秆堆肥 Straw compost	5 752.13	0.85
土壤本底 Soil background	1 001.91	0.15
合计 Total	679 228.34	100

笔者对江苏省农业源氨排放的最大排放源——畜禽养殖源进行了进一步分析。从图 1 可以看出,鸡是江苏省畜禽养殖氨排放最大的贡献源,其次是猪和羊,分别贡献了 41.15%、30.17% 和 16.38%,其他畜禽仅贡献了 1 成多。结合饲养量来看,占当年内饲养量 92.78% 的家禽 [鸡 (71.6%)、鸭、鹅] 排放了 46.49% 的氨,占当年内饲养量仅 4.36% 的大型家畜 (猪 (3.16%)、牛、羊、马驴骡) 却排放了 51.43% 的氨。可见,大型家畜由于粪便排放量大,含氮高,相应的氨排放量也大。在控制江苏省畜禽养殖氨排放时,建议重点控制畜禽品种为养殖数量最大的鸡和养殖量少但是排放量占比最大的猪。

2.2 农业源氨排放的城市分布 从图 2 可以看出,江苏省各城市农业源氨排放呈现一定的地域分布特征。盐城市是江苏省农业源氨排放的最大城市,占总排放量的 22.60%,其次为徐州和宿迁,分别占 16.67% 和 11.70%,3 个城市排放占全省总量的 50.97%。无锡、常州、苏州是前 3 个排放量最低的城市,排放量占比均小于 2.00%,南京市是苏南地区排放量最大的城市。苏中城市中,南通的排放量最大,排放量接近苏北地区的连云港、淮安。苏北、苏中、苏南的农业源氨排放占全省份额约 7:2:1。

造成江苏省农业源氨排放明显的地域差异的原因是各

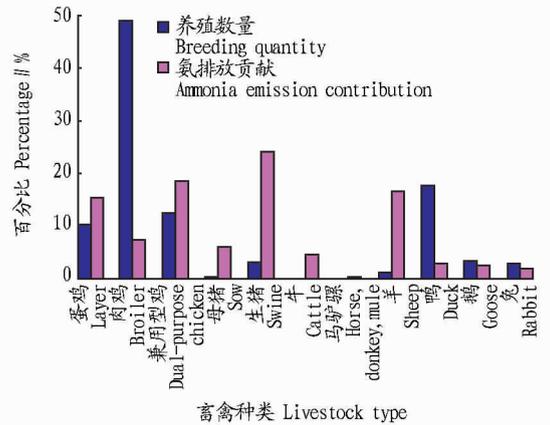


图 1 2014 年江苏省各畜禽源氨排放贡献率和养殖数量占比

Fig. 1 Ammonia emission contributions of livestock source and quantity proportion in Jiangsu Province in 2014

城市地理位置及社会经济发展不平衡,区域化明显。苏南地区位处长三角地区,基础条件优越,受经济总量位居大中华区第 1 位的上海市的辐射,经济发展水平高,第二、三产业发达,第一产业占 GDP 比重低,为 1.60%~4.40%,畜牧业占农林牧渔业总产值比重低,仅 21.95%。苏北地区经济发展相对落后,第一产业占 GDP 比重高,为 9.70%~14.50%,且与畜禽养殖大省山东省接壤,畜牧业产值占农业总产值的比率高,达 41.50%。

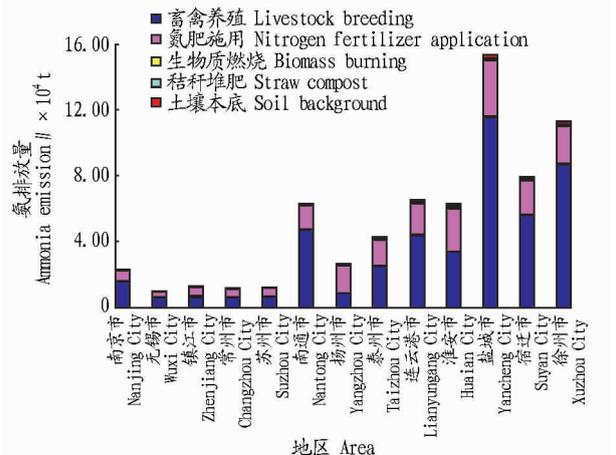


图 2 2014 年江苏省各城市农业源氨排放量及构成

Fig. 2 Ammonia emission contribution and composition of agricultural sources in Jiangsu Province in 2014

2.3 氨排放量和排放强度空间分布特征 排放强度是指一个地区单位面积污染物的排放量,衡量某个地区污染物排放情况不仅要考虑该地区的排放总量,同时也应该结合该地区的排放强度,综合进行考虑,才能更准确地反应该区域的污染情况。

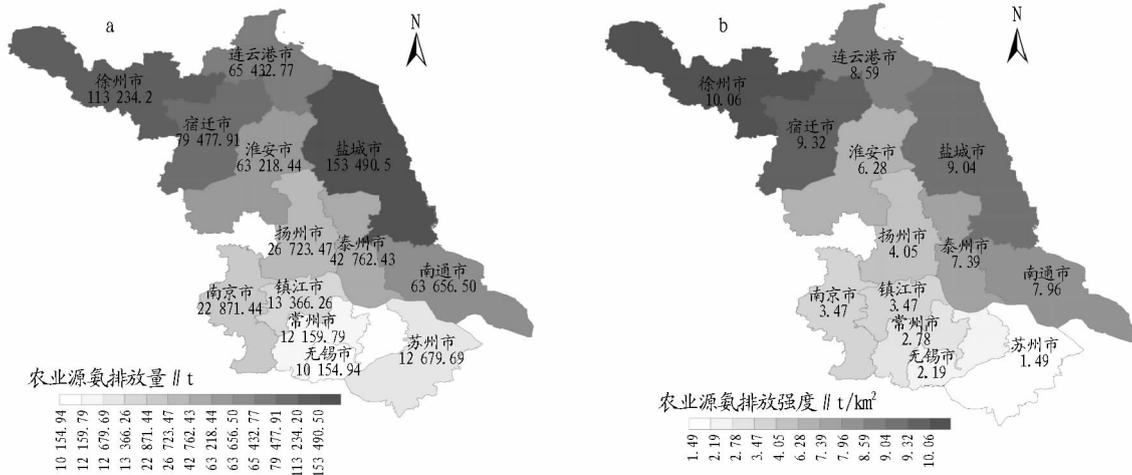
从图 3 可以看出,无论是排放量还是排放强度,从全省看,均呈现由南向北递增的空间分布特征。从区域内部看,苏北地区呈现东西高、中部低,苏中地区呈由东往西递减,苏南地区呈由西往东递减的空间分布特征。苏北地区无疑是江苏省农业源氨排放的主要贡献区,特别是盐城、徐州、宿迁

的排放量和排放强度都是前3名,是江苏省农业源氨排放最严重的3个城市。苏南地区中苏、锡、常3市是农业源氨排放量最少、排放强度最小的3个城市。苏北地区的排放量是苏南地区的6.6倍,是苏中地区的3.57倍,因此,在削减氨排放总量时,应重点控制苏北地区特别是盐城、徐州、宿迁3市即可取得可观的减排效果。

从图4可以看出,畜禽养殖氨排放量较大的城市分别是盐城、徐州、宿迁、连云港、南通、淮安;苏北、苏中、苏南的排

放份额分别为73.25%、17.61%和9.14%;从排放强度来看,徐州、盐城、宿迁、南通依次是畜禽养殖氨排放较严重的城市。

从图5可以看出,氮肥施用排放量较大的城市分别是盐城、淮安、徐州、宿迁、连云港、泰州、扬州;苏北、苏中、苏南的排放份额分别为62.21%、24.39%和13.39%;从排放强度来看,泰州、淮安、连云港、扬州、宿迁依次是氮肥施用氨排放较严重的城市。

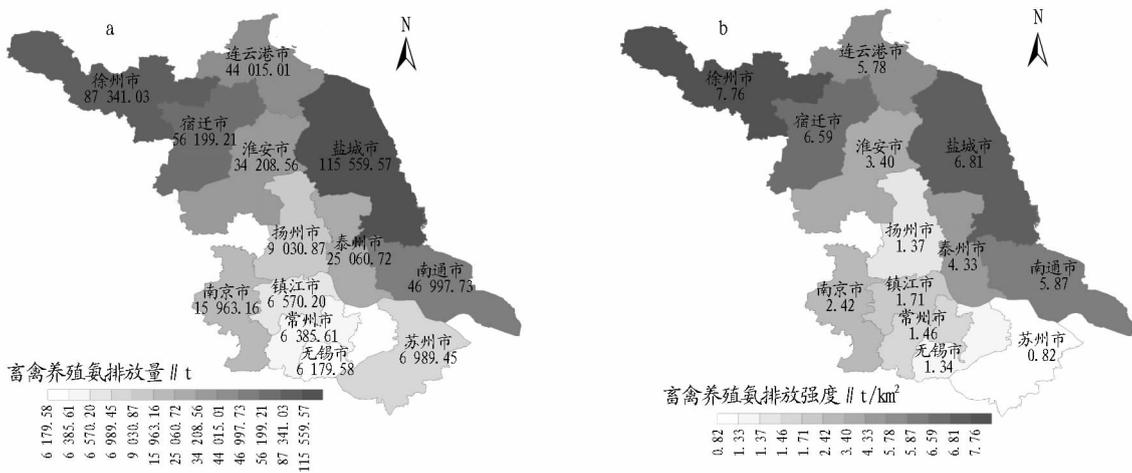


注:a为农业源氨排放量;b为排放强度。

Note: a was the emission load of agricultural source; b was the emission intensity.

图3 2014年江苏省农业源氨排放量和排放强度空间分布

Fig.3 Spatial allocation of agricultural ammonia emission and intensities in Jiangsu Province in 2014



注:a为农业源氨排放量;b为排放强度。

Note: a was the emission load of agricultural source; b was the emission intensity.

图4 2014年江苏省畜禽养殖氨排放量和排放强度空间分布

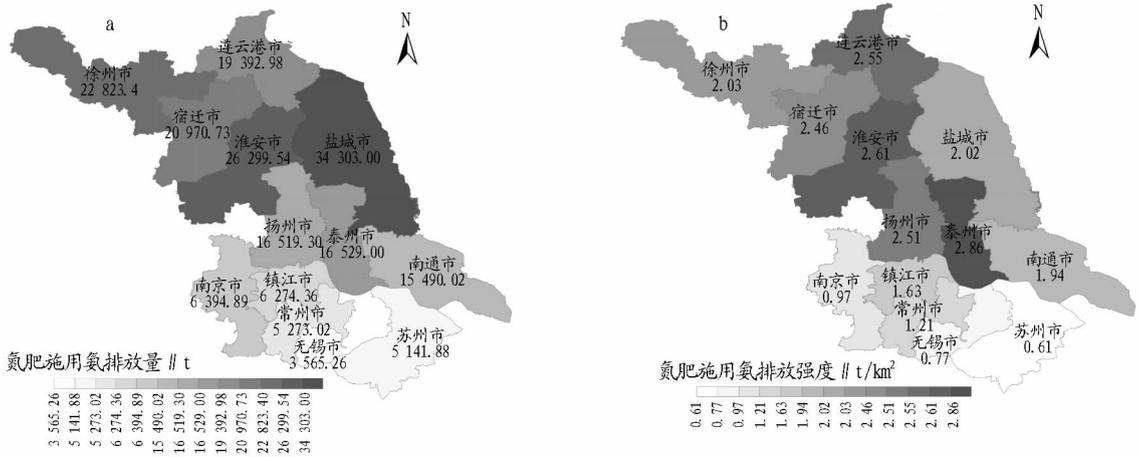
Fig.4 Spatial allocation of livestock ammonia emission and intensities in Jiangsu Province in 2014

3 结论与讨论

(1)该研究结果表明,2014年江苏省农业源氨排放总量为679 228.34 t,排放强度为6.61 t/km²;畜禽养殖是江苏省农业源氨排放的最大贡献源,占总排放量的67.80%,氮肥施用是第二大贡献源,占29.29%;鸡是江苏省畜禽养殖氨排放最大的贡献源,其次是猪,分别贡献了41.15%和30.17%;江

苏省农业源氨排放无论是排放量还是排放强度均呈现出从南往北递增的空间分布特征,苏北地区是江苏省最需要控制的农业源氨排放贡献区。

(2)据调查,我国90%以上的规模化养殖场缺乏必要的污染治理措施,大量畜禽粪便不经处理就排放到环境中^[21],结合该研究结果,江苏省农业源氨排放控制的重点首先是畜



注:a为农业源氨排放量;b为排放强度。

Note: a was the emission load of agricultural source; b was the emission intensity.

图5 2014年江苏省氮肥施用氨排放量和排放强度空间分布

Fig. 5 Spatial allocation of ammonia emission and intensities of nitrogen fertilizer in Jiangsu Province in 2014

禽养殖,其次是氮肥施用。分城市看,扬州市的氮肥施用氨排放量是氮肥施用的近2倍,是唯一一个氮肥施用氨排放量大于畜禽养殖氨排放的城市,该市应当重点控制氮肥施用源。南京市、无锡市、南通市、连云港市、盐城市、宿迁市、徐州市的畜禽养殖氨排放量是氮肥施用源的2~4倍,这些城市应当重点控制畜禽养殖源。镇江市、淮安市、苏州市、常州市、泰州市氮肥施用和畜禽养殖氨排放量大致持平。

(3)随着江苏省畜牧业专业化程度不断提高,区域特色逐步显现,畜禽养殖种类发展不平衡,地区分布差异明显^[22-23]。从各城市畜禽养殖业排放量及各畜禽排放分担情况来看,鸡、猪、羊3种畜禽是各城市最主要的贡献源,三者合计氨排放量占各市的74.87%以上,但是各市的最大贡献畜禽品种不同。除了其他城市为鸡,苏州、泰州、连云港3个城市为猪的贡献最大。因此,在实际管理时,需梳理各城市的优先控制源及主要控制畜禽品种,各城市区别对待,“对症下药”。

参考文献

- [1] PINDER R W, ADAMAS P J, PANDIS S N. Ammonia emission controls as cost-effective strategy for reducing atmospheric particulate matter in the Eastern United State[J]. *Environmental science & technology*, 2007, 41: 380-386.
- [2] 钱晓雍, 郭小品, 林立, 等. 国内外农业源 NH₃ 排放影响 PM_{2.5} 形成的研究方法探讨[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(10): 1908-1914.
- [3] 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): 1059-1064.
- [4] 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.
- [5] 尹沙沙, 郑君瑜, 张礼俊, 等. 珠江三角洲人为源氨排放清单及特征[J]. *环境科学*, 2011, 31(5): 1146-1151.

- [6] 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.
- [7] 王平. 南通市人为源大气氨排放清单及特征[J]. *环境科学与管理*, 2012, 37(11): 25-28.
- [8] 叶贤满, 徐昶, 洪盛茂, 等. 杭州市大气氨排放清单及特征[J]. *中国环境监测*, 2015, 31(2): 5-11.
- [9] 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.
- [10] 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): 43-52.
- [11] 尹沙沙. 珠江三角洲人为源氨排放清单及其对颗粒物形成贡献的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [12] 彭应登, 杨明珍, 申立贤. 北京氨源排放及其对二次粒子生产的影响[J]. *环境科学*, 2000, 21(6): 101-103.
- [13] 江苏省统计局. 江苏省2014年统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [14] 马立珩. 江苏省水稻、小麦施肥现状的分析与评价[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [15] 徐华丽, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 江苏省油菜施肥状况调查[J]. *土壤*, 2011, 43(5): 746-750.
- [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] 王效华. 江苏农村家庭能源消费研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(26): 196-200.
- [18] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J]. *环境科学*, 2007, 28(6): 1311-1318.
- [19] 陈希廉, 丘亮辉. 治霾可以不考虑农村面源污染吗? [N]. *中国冶金报*, 2015-07-29(002).
- [20] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(4): 783-795.
- [21] 朱海生, 陈志宇, 栾冬梅. 畜禽粪便的综合利用[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2004(4): 59-60.
- [22] 梁永红, 管永祥, 吴昊. 江苏省畜禽养殖污染减排措施与政策研究[J]. *农业资源与环境学报*, 2013, 30(6): 7-13.
- [23] 吴云波, 田爱军, 邢雅因. 江苏省畜禽养殖业污染状况分析及政策建议[J]. *江苏农业学报*, 2013, 29(5): 1059-1064.