

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.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.128

农业源氨排放控制对策初步研究

张增杰,张 双,韩玉花,王军玲,王阿婧,毕海涛

(北京市环境保护科学研究院/国家城市环境污染控制工程技术研究中心,北京 100037)

摘要:阐述了欧洲、美国的农业源氨排放控制框架和采取的主要控制措施,并结合我国实际,基于种养结合、源头控制、过程减排和末端治理的理念,提出了我国农业源的氨排放控制框架,以及化肥施用和畜禽养殖方面可采取的主要氨排放控制措施。化肥施用氨排放控制,可从化肥品种选择、施用强度控制和施肥方式选择3方面着手,结合土壤特性、气候条件、作物种类和生长需求采取相应的控制措施。畜禽养殖氨排放控制,可基于粪便管理系统的氮物质流,从饲喂、畜禽圈舍、粪污存储和粪肥土地利用方面采取相应的控制措施。

关键词:农业源;氨;排放;控制对策

中图分类号: X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)01-0439-04

氨(NH_3)是大气中细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 形成的重要前体物,它可以与二氧化硫和氮氧化物等经大气化学反应生成硫酸铵和硝酸铵等二次粒子。研究表明,北京环境空气中铵根离子占 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度的11%^[1],且在重污染天气下,空气中铵根离子质量浓度明显高于非污染天气^[2]。因此,为治理 $\text{PM}_{2.5}$ 污染必须加强对氨排放的控制。

大气氨人为源主要包括农田生态系统、畜禽养殖业、生物质燃烧、人体活动、化工生成、废物处理以及移动源等,其中农业源(畜禽养殖、化肥施用)是最大的氨排放源。2011年欧洲

环保署33个成员国氨排放总量为428万t,其中农业源占氨排放总量的93.7%^[3];2011年美国氨排放总量为392万t,其中农业源占排放总量的81.8%(畜禽养殖占54.3%、化肥施用占27.5%)^[4];国内学者对我国不同区域氨排放清单的研究结果也表明,我国农业源氨排放量占排放总量的80%以上^[5-8]。当前,我国大气污染控制重点仍在常规污染物上,缺乏对氨排放控制的研究和实践。因此,本研究针对主要氨农业排放源,介绍了欧洲和美国的控制框架和控制措施,并对我国农业源氨排放控制工作提出了建议,旨在为我国开展农业源氨排放控制提供参考。

1 欧洲农业源氨排放控制措施

针对农业带来的环境问题,欧盟出台了一系列农业管理方面的政策法规、标准以及其他规范性文件。1999年,欧洲

收稿日期:2015-02-04

基金项目:北京市科技计划(编号:Z131100001113029)。

作者简介:张增杰(1968—),男,河北保定人,硕士,副研究员,主要研究方向为大气污染防治与环境规划与政策。E-mail: zhangzengjie100@163.com。

参考文献:

- [1]梁流涛,曲福田,王春华. 基于DEA方法的耕地利用效率分析[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(2):242-246.
- [2]赵翠萍. 河南省耕地生产效率及其影响因素分析[J]. 河南农业大学学报,2012,46(4):469-472,481.
- [3]徐 进,傅庆林. 浙江省耕地质量调查与保育措施的探讨[J]. 浙江农业科学,2009(5):997-999.
- [4]俞勇军,陆玉麒. 江阴市耕地变化驱动因素及耕地利用效率定量研究[J]. 经济地理,2002,22(4):440-443,447.
- [5]徐 琼. 基于DEA模型的技术效率实证分析——浙江省地区农业效率差异分析[J]. 宁波大学学报:理工版,2005,18(2):215-218.
- [6]王淑艳,葛家麒,赵红杰. 科技进步对黑龙江省农业产值增长贡献率的测算和分析[J]. 东北农业大学学报,2006,37(1):89-92.
- [7]刘玉海,武 鹏. 转型时期中国农业全要素耕地利用效率及其影响因素分析[J]. 金融研究,2011(7):114-127.
- [8]叶 浩,濮励杰,张 健. 我国粮食主产区耕地产出效率研究[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):584-587.
- [9]刘玉海,张 丽. 耕地生产率与全要素耕地利用效率——基于SBM-DEA方法的省际数据比较[J]. 农业技术经济,2012(6):47-56.
- [10]杨 宇,郑循刚. 基于DEA的四川农业规模效率的两阶段实证分析[J]. 科技管理研究,2008,28(4):3-5.
- [11]魏权龄. 数据包络分析[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [12]Banker R D. Estimating most productive scale size using data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 1984,17(1):35-44.
- [13]范碧霞,宋秀芬. 基于数据包络分析的长三角地区第一产业投入产出效率[J]. 贵州农业科学,2013(4):202-205.
- [14]Fried H O, Lovell C, Schmidt S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of Productivity Analysis, 2002,17(1/2):157-174.
- [15]Timmer P C. Using a probabilistic frontier production function to measure technical efficiency[J]. Journal of Political Economy, 1971,79(4):776-794.
- [16]吕竺笙. 我国农地产权制度的现状及变迁方向[J]. 浙江学刊, 2003(3):156-159.
- [17]杨 琰. 基于DEA的陕南循环农业经济效率评价研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.

和北美签订的“哥德堡协议”是最早的针对氨排放控制的国际条约。该协议规定,到2010年公约签署国的氨排放量较1990年削减约20%。2001年,欧盟又颁布了《大气污染物国家排放限值指令》(2001/81/EC),并于2006年进行了修订,该指令直接确定了欧盟氨气的排放总量和各国分摊目标,要求最迟到2010年27个成员国的氨排放总量限值不超过429.4万t,并保证在2010年之后也不超过。同时,为指导各国开展氨排放控制工作,欧盟还先后制定了预防和减少氨排放的相关指导文件^[9-11]。

欧盟实施种养结合的农业发展模式,考虑土地对粪污的消纳容量,合理布局畜禽养殖场,控制养殖密度,并根据土地粪肥消纳容量以及作物不同生长阶段的需求,限定了粪肥施用时间和施用量。欧盟法令规定在1 hm²土壤中可施入的畜禽粪便氮的总量不超过170 kg/年^[12]。此外,欧盟还对畜禽养殖和化肥施用提出了针对性的氨排放控制措施。

畜禽养殖控制措施。畜禽养殖氨排放控制措施主要涉及饲喂、畜禽圈舍、粪便存储和粪肥土地利用4个阶段:(1)饲喂措施包括阶段性饲喂、减少超额蛋白质供给和日粮中粗蛋白的比例、定制基于易消化/有效养分配比的饮食、采用低蛋白氨基酸补充饮食以及喂食添加剂/补充剂等;(2)畜禽圈舍措施主要通过减少粪肥暴露的表面积,频繁地移除粪肥到禽舍外的存储区以及降低家禽粪便含水量来减少氨排放,如对猪舍采用漏缝地板、对于大规模养殖场采用湿式洗涤器处理废气、减少家禽饮水系统的溢漏等;(3)粪污储存措施主要是提供粪污储罐或筒仓一个“紧盖”、顶盖或顶棚,以减少与空气的交换;(4)粪肥土地应用措施主要是通过施肥机械降低液态粪便的表面面积或迅速将粪肥(液态、固态)翻耕入土壤中,如使用粪液肥注入机、犁或耕耘机等。

化肥施用控制措施。因尿素相对于其他氮肥氨排放量较大,欧盟要求减少尿素肥料的使用,提倡对硝酸铵肥料的使用。当施用尿素肥料时,可添加使用脲酶抑制剂或缓释涂层(如包裹尿素颗粒的聚合物),采用注入土壤、快速混入土壤或灌溉施肥的方式,以减少氨的排放。此外,硫酸铵或磷酸施用于石灰质土壤时也应采取与尿素同样的施肥方式。

2 美国农业源氨排放控制措施

美国畜禽污染防治体系较为成熟,从联邦、州到地方逐层细化。地方法规要求,在制定地方区划和土地利用计划时,要对牲畜饲养数量控制提出一系列具体要求,地方区划也要把畜牧企业的规模与土地面积紧密地联系起来,以保证有足够土地用于处理牲畜粪便^[13]。在美国,要求单个畜禽场每天氨气排放量不能超过45.4 kg^[14]。为控制和预防氨排放,美国环保局控制技术中心还于1995年编制了《氨排放控制和污染防治方法报告》(EPA-456/R-95-002)^[15]。该报告中阐述了对牲畜管理方面的氨排放控制,主要包括牲畜养殖过程和粪肥农田施用过程2个阶段。

牲畜养殖过程中氨排放的控制。牲畜粪便厌氧分解产生氨气,有时会引起臭气问题,研究表明,粪便的氨排放量与臭气强度相对应。针对该问题,美国有些州基于可达到的控制技术制定了臭气排放限值。同时,为减少牲畜粪便导致的臭气,可采取的措施包括:(1)使用有充足容量的厌氧塘对粪便

进行处理,通过冲洗、刮除或者排水来频繁收集粪便,可有效地吸收臭气和消除粪便储存所的厌氧条件;(2)使用湿式洗涤器、土壤过滤系统等来捕获和处理臭气;(3)让气体在设施的下风向蔓延,这样会降低臭气的排放强度。

粪肥农田施用过程中氨排放的控制。牲畜和家禽的排泄物施用于农田引起的氨排放与土壤类型、排泄物的特征、通风条件以及施用方法有关。研究表明,土壤吸附和保持铵离子的能力随阳离子交换能力的增加而增加,因此具有强阳离子交换能力的土壤将抑制氨的挥发;粪肥施用于湿润的土壤比干燥的土壤氨排放量大;较高的温度和风速也会造成氨气的大量挥发。因此,为尽可能地减少粪肥施用过程中氨的排放,在施用粪肥时要综合考虑上述因素。

3 我国农业源氨排放控制对策研究

目前,我国养殖业和种植业发展结合不足,引发的农业面源污染日益严重。我国是畜禽养殖大国,每年产生大量的畜禽粪便,但因养殖布局和规模未充分考虑土地配置,畜禽粪肥得不到及时消纳,利用率很低,产生大量氨排放。在畜禽养殖场环境管理上也较发达国家具有一定的差距,未充分考虑对氨的控制。此外,我国化肥过量施用现象严重,作物肥料吸收率低,这不仅导致了大量的氨排放,而且也减少了畜禽粪肥的出路。因此,针对上述问题,在借鉴国外经验的基础上,提出了我国农业源氨排放控制建议。

3.1 种养结合

畜禽粪肥是一种优质的有机肥源,施于农田有助于改良土壤结构、提高土壤有机质含量、促进农作物增产、减少化肥施用量^[16]。因此,应当基于种养结合的理念,即采用“畜禽养殖—粪污还田—种植”的种养模式,在确保有足够的农田来消纳畜禽粪污的条件下,调整畜禽养殖布局和规模,提高农田有机肥施用比例,从而达到粪污资源化利用,减少氨排放。如固液分离—液体厌氧发酵处理下,安全消纳万头猪场(存栏)的有机肥和沼液,需要配置的最少农田面积分别为粮油作物地299~313 hm²,或茄果类蔬菜地145~179 hm²,或果树苗木地553~1366 hm²^[17]。如果某区域没有足够的土地来消纳畜禽粪污,应当建立具有废气处理系统的有机肥厂,对粪便进行集中处理。

3.2 农田化肥施用

农田化肥施用控制对策包括选择适宜的化肥类型、控制化肥施用强度、采用合理的施肥方式3个方面。

3.2.1 化肥类型 常用的氮肥类型主要有尿素、硫酸铵、硝酸铵、磷酸铵、碳酸氢铵、氯化铵等,应当根据土壤特性、氮肥特性、作物种类、气候条件选择适宜的化肥品种。如硫酸铵、磷酸铵、碳酸氢铵施用于碱性土壤如石灰质土壤时,氨排放率会大大增加^[18];尿素氨挥发率较高,在满足条件的情况下应当尽量选择使用其他类型的氮肥;铵态氮肥不能与碱性肥料如草木灰混合使用;稻田不宜选用硫酸铵和硝态氮肥,因为硫酸根在水田中易还原为硫化氢,使稻根发黑甚至腐烂,硝酸根在水田易随水淋失及发生反硝化作用造成氮的损失^[19];气温较高的地区或时期,不宜使用铵态氮肥等^[19]。同时,应当提高缓释肥的使用,我国《大气污染防治行动计划》也明确指出,要积极开发缓释肥料新品种,减少化肥施用过程中氨的

排放。

3.2.2 化肥施用强度 发达国家为防止化肥污染设置化肥施用量安全上限为 225 kg/hm^2 , 农业部提出我国适宜的氮磷比 ($\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5$) 在 $1 : 0.4$ 左右^[19]。因此,在不考虑钾肥的情况下,氮肥施用强度最高为 161 kg/hm^2 。美国、西欧氮肥施用强度分别为 69 、 124 kg/hm^2 ^[20]。而我国中东部和东南部地区,包括北京、河南、江苏、湖北、福建、广东等,其单位农田面积施氮量均高于 350 kg/hm^2 , 远高于国际公认的安全施用上限^[21]。因此,为减少化肥施用产生的氨排放,需对氮肥施用强度进行控制。氮肥施用量与作物种类、目标产量、土壤养分状况以及有机肥输入情况等因素有关。在确定施用强度时,应当做好土壤测试、氮素供需分析等相关基础工作,避免过量施氮现象。

3.2.3 施肥方式 施肥方式主要分为表层撒施和覆土深施 2 类,其中氮肥表层撒施氨排放率明显高于覆土深施。英国国家氨减排措施评价体系 (NARSSES) 模型中显示,氮肥表面撒施是撒施后深耕以及穴施的氨排放率的 5 倍^[18], 2014 年环保部制定的《大气氨源排放清单编制技术指南(试行)》中也表明,氮肥表面撒施约是覆土深施的 3 倍。如尿素撒施在地表,常温下要经过 $4 \sim 5 \text{ d}$ 转化过程才能被作物吸收,大部分氮素在铵化过程中被挥发掉,利用率只有 30% 左右^[22]。而氮肥覆土深施时,可通过土壤胶粒对铵离子的吸附作用,减少氨的挥发损失^[19]。因此,施用氮肥时应当尽量采用覆土深施的方式。同时,为减少氨排放,《化肥使用环境安全技术导则》(HJ 555—2010)指出,施用尿素时可加施脲酶抑制剂以延缓尿素的水解。

3.3 畜禽养殖

基于畜禽养殖粪便管理系统的氮物质流,针对氨排放环节采取相应的控制措施,主要包括以下几个方面。

3.3.1 饲喂 加强饲喂管理,从源头控制氨排放。畜禽饲养普遍存在着蛋白质摄入量过剩问题,应当根据畜禽的生理阶段调整饲料配比、设定蛋白质供给量推荐值,进行阶段性饲喂,减少超额的蛋白质供给。也可通过添加合成氨基酸(如赖氨酸、甲硫氨酸、苏氨酸、色氨酸)或特殊的饲料组分优化氨基酸的供应,减少日粮的粗蛋白质含量。据研究证实,按照理想蛋白质模式以可消化氨基酸为基础来配制符合猪营养需要的平衡日粮,可将传统日粮的粗蛋白质水平降低 3 百分点,而日粮中粗蛋白水平每降低 1 百分点,氨的排放量降低 10%^[23]。在饲料中添加适量的粗纤维以及沸石、益生菌、酶制剂、酸制剂、丝兰提取物等,也可降低畜禽的氨气排放。如在饲料中添加 $0.05\% \sim 0.2\%$ 的含有枯草杆菌、芽孢杆菌的益生菌添加剂可使氨气排放减少 50%^[24]。此外,通过改进日粮中配料的加工工艺,以改善饲料原料的粒度、混合均匀度等指标,也可提高氮的消化率,其中膨化方式最为有效^[25]。

3.3.2 畜禽圈舍 畜禽圈舍是畜禽氨排放的重要环节,该部分氨排放量约占总量的 30% ~ 40%^[26],应加强对畜舍的控制。在进行畜舍设计时,应从几何结构上对地板、粪坑和清除系统进行整合,来确定畜舍饮水区和排便区的组合。畜禽圈舍可采用的控制措施主要有:(1)采用干清粪工艺,粪尿分离,分开进行后续的粪污处理和处置;(2)提高粪便清除频率,及时将畜舍内粪便转移到密闭的存储设施内,采用该措施

的猪场氨排放可减少 25%;(3)采用可吸附粪污、利于粪污综合利用的垫料模式,常用的垫料有稻草、沙子、锯末、谷糠等,其中在自然通风的育肥猪舍中采用 60% 沙土和 40% 稻草混合物为垫料代替切碎的稻草时,可以减少氨气排放 60%^[27];(4)使用漏缝地板,减少粪便污染的畜舍地板面积,特别是板条具有金属或塑料涂层的,粪便可更快速、完全地落入下面的深坑中,研究表明采用铸铁、金属或塑料代替水泥制作地板,氨排放可减少 10% ~ 40%^[27];(5)强制干燥家禽粪便,当通过强制通风快速干燥粪便至干物质含量为 60% ~ 70% 时可降低氨的形成,层叠式鸡笼通过强制空气干燥,氨减排率最高可达 94%,同时也可通过减少饮水系统的溢漏来保持家禽粪便的干燥,如鸡场可采用乳头式饮水器^[12];(6)对于大规模的封闭式管理的养殖场,如猪场、鸡场等,对废气进行收集,采用酸式洗涤器或生物滴滤器进行处理,酸式洗涤器主要用硫酸作为吸收剂,将氨转化为硫酸铵,生物滴滤器主要利用生物将氨转换为硝酸盐,其氨减排率为 70% ~ 95%。此外,在满足动物福利要求和保障产品品质的前提下,尽量降低舍内温度、减少通风率,也可减少氨的排放。

3.3.3 粪污存储 将粪污分为液态粪便和固态粪便分别进行存储处理。液态粪便可存储在混凝土或钢制的储罐或筒仓内,或具有良好防渗措施(将黏土、不渗水的塑料膜填在土坑内等)的氧化塘内。对于储罐或筒仓粪便存储设施,减少氨排放的最好方法是设置密闭顶盖、顶板或帐篷结构等,以加强密闭性减少空气交换,但也要做好排气设施,以防止甲烷等易燃气体的积累。对于小型的氧化塘,因其表面积较大,可以用塑料、帆布或其他材料形成浮动盖,以减少表面的空气流动,采用此方法氨减排率可达 60%^[11]。家禽粪便相对比较干燥,可存储在具有防渗地板、通风较好的建筑物中。

畜禽粪便中含有丰富的有机质、氮、磷、钾及微量元素等营养成分,是制肥的有效原料。固态粪便一般进行堆肥处理,作为有机肥施用于农田。但研究表明,粪便堆肥常会增加氨的排放。因此,应当对堆肥条件进行调控,研究表明 pH 值介于 $5 \sim 6$ 之间时保氮效果最好,堆肥过程中最佳 C/N 比为 $25 \sim 35$,低 C/N 的堆肥氨挥发损失较高^[29]。同时要做好各处理设施的密闭性,对于规模较大的集中堆肥处理设施,可考虑将收集的废气采用空气洗涤系统进行处理。

3.3.4 粪肥土地利用 粪肥土地利用也是畜禽养殖氨排放的重要环节,且在氨排放控制上比畜禽圈舍具有更高的成本效益。该阶段氨排放与粪肥成分、施用量、当时的气象条件、土壤条件以及施肥方式有关。其中,气象条件影响因素主要包括气温、风速、太阳辐射,土壤条件主要为土壤的入渗滤。粪肥施用于排水较好、质地粗糙和干燥的土壤,会比施用于湿润和质地密实的土壤较快速地渗入土壤中,因此氨排放较低。粪肥施用于土壤表面时,会迅速造成氨的挥发(在几个小时或几天)。因此,应当依据粪肥类型(液态粪肥、固态粪肥)、土地利用类型(草地、耕地等)、土壤条件、气象条件,采用适宜的施肥技术,通过尽量减少粪肥在空气中暴露的表面积及暴露时间来降低氨的排放。液态粪肥施用于可采用带状喷洒、从蹄式喷洒或注入(开槽式、闭槽式)的方式,其中闭槽式深层注入氨减排率可达 80%;液态粪肥或固态粪肥施用于耕地时,应将表面撒施的粪肥在短时间内翻耕入土壤中,特别是在

炎热的中午,将粪肥快速混入土壤中对氨减排十分重要,其氨减排率可达90%^[12]。

4 结语

我国是农业大国,农业源是主要的氨排放源,控制农业源氨排放是治理PM_{2.5}污染的重要工作之一。欧洲、美国均较早的开展了氨排放控制工作,具有成熟的氨排放控制框架和氨排放控制措施。基于当前我国农业发展存在的问题,通过借鉴国外经验,建议我国采取的农业源氨排放控制对策为:(1)大力推行种养结合模式,调整畜禽养殖布局和规模,提高农田有机肥施用比例,减少化肥的施用;(2)施用化肥时,进行测土配方,选择适宜的品种,提高缓释肥的使用,控制施用强度,尽量采用覆土深施的施肥方式;(3)基于畜禽养殖粪便管理系统的氮物质流,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。其中,畜禽养殖氨控制措施主要包括:降低畜禽日粮中的粗蛋白质含量,从源头上减少氮的摄入;合理设计畜禽圈舍,推行干清粪工艺,及时清除粪便,对规模化养殖场采用空气洗涤系统处理废气;加强对粪污存储处理设施的密闭,减少粪污表面的空气流动;采用适宜的施肥技术,减少粪肥在空气中的暴露等。

为更好地推进农业源的氨排放控制,我国也应当做好氨排放控制基础研究,开展控制技术试验,制定相关政策文件,加强政府引导和扶持。如种养统筹规划,制定畜禽养殖区划定方案,编制粪肥科学还田技术指南以及农业源氨排放控制指定文件等;经济补贴扶持氨气排放量大的规模化养殖场开展技术示范推广,引导鼓励农业生产综合应用氨排放控制技术。

参考文献:

- [1]北京市环境保护局. 5来源解析研究成果[EB/OL]. [2014-12-07]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/323265/340674/396253/index.html>.
- [2]王志娟,韩力慧,陈旭锋,等. 北京典型污染过程PM_{2.5}的特性和来源[J]. 安全与环境学报,2012,12(5):122-126.
- [3]European Environment Agency (EEA). Ammonia (NH₃) emissions (APE 003) - assessment published Jan 2014 [R/OL]. [2014-01-29]. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-ammonia-nh3-emissions-1/assessment-4>.
- [4]US EPA. 2011 National emissions inventory, version 1 technical support document [R/OL]. [2013-12-04]. http://www.epa.gov/ttn/chief/net/2011nei/2011_neiv1_tsd_draft.pdf
- [5]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.
- [6]尹沙沙,郑君瑜,张礼俊,等. 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.
- [7]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(8):1611-1617.
- [8]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.
- [9]Economic and Social Council. Unece framework code for good agricultural practice for reducing ammonia [R]. 2001
- [10]Economic and Social Council. Guidance document on control techniques for preventing and abating emissions of ammonia [R]. 2007.
- [11]Economic and Social Council. Draft guidance document for preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources [R/OL]. [2014-02-19]. http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/EB/N_6_21_Ammonia_Guidance_Document_Version_20_August_2011.pdf
- [12]邓小闻,张宏娟,张学兰,等. 猪舍氨气的危害及降低氨气浓度的意义[J]. 现代畜牧兽医,2012(3):67-69.
- [13]金书琴,韩冬梅,王莉,等. 畜禽养殖污染防治的美国经验[J]. 环境保护,2013,41(2):65-67.
- [14]朱志平,董红敏,尚斌,等. 妊娠猪舍氨气及氧化亚氮浓度测定与排放通量的估算[J]. 农业工程学报,2006,22(增刊2):175-178.
- [15]US EPA. Control and pollution prevention options for Ammonia Emissions (EPA-456/R-95-002) [R]. 1995.
- [16]那伟,赵新颖,高星爱,等. 吉林省畜禽粪便污染及资源化利用研究[J]. 安徽农业科学,2014,42(36):13012-13014,13030.
- [17]盛婧,孙国峰,郑建初. 典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合规模配置研究 I. 固液分离-液体厌氧发酵模式[J/L]. 中国生态农业学报,2015,23(2):199-206.
- [18]张美双,栾胜基. NARSES模型在我国种植业氮肥施用氨排放估算中的应用研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(8):3583-3586.
- [19]国家环境保护总局南京环境科学研究所. 《化肥使用环境安全技术导则》(征求意见稿)编制说明[R]. 2008.
- [20]FAO. FAOSTAT:FAO statistical databases [DB/OL]. 2014.
- [21]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.
- [22]王海龙,姚志国. 化肥施用技术初探[J]. 中国新技术新产品,2009(24):222.
- [23]王建彬,田林春,王倩倩,等. 谈利用营养调控减少猪粪尿中氮、磷对环境的污染[J]. 猪业科学,2009(2):62-64.
- [24]Wang Y, Cho J H, Chen Y J, et al. The effect of probiotic BioPlus 2B® on growth performance, dry matter and nitrogen digestibility and slurry noxious gas emission in growing pigs [J]. Livestock Science, 2009, 120(1/2):35-42.
- [25]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,2008:74.
- [26]EEA. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - 2013 [M/OL]. [2013-8-29]. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.
- [27]李新建,吕刚,任广志. 影响猪场氨气排放的因素及控制措施[J]. 家畜生态学报,2012,33(1):86-93.
- [28]李顺义,张红娟,郭夏丽,等. 畜禽粪便堆肥过程中氨挥发及调控措施[J]. 农机化研究,2010(1):13-17.