

畜禽养殖污染防治及环境管理

董雪霁¹, 吴志毅¹, 么瑞林¹, 郭朝明¹, 吴娟^{2*}, 马利军¹, 贾燕玲¹
(1. 包头市九原区环境保护局, 内蒙古 包头 014060; 2. 包头市环境监测站, 内蒙古 包头 014060)

摘要: 随着我国畜禽养殖业的迅猛发展, 畜禽养殖废弃物造成的环境污染日趋严重。本文综述了畜禽养殖废弃物对环境造成的危害, 畜禽粪便处理技术和资源化利用模式, 梳理了畜禽养殖污染防治的政策法规文件, 以及发达国家畜禽养殖环境管理措施, 提出畜禽养殖污染防治和环境管理的建议。

关键词: 畜禽养殖; 污染防治; 环境管理; 法规政策

中图分类号: X713 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-672X(2018)03-0067-04

DOI:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2018.03.038

Prevention and control of livestock and poultry pollution and environmental management

Dong Xueji¹, Wu Zhiyi¹, Yao Ruilin¹, Guo Chaoming¹, Wu Juan², Ma Lijun¹, Jia Yanling²

(1. Environmental Protection Bureau of Baotou Jiuyuan District, Baotou Inner Mongolia 014060, China; 2. Environmental Monitoring Station of Baotou, Baotou Inner Mongolia 014060, China)

Abstract: With the rapid development of livestock and poultry industry in China, environmental pollution caused by livestock and poultry waste is becoming more and more serious. This paper summarizes the hazards of livestock and poultry waste on the environment caused by the livestock waste treatment technology and resource utilization mode, combing the livestock farming pollution prevention policies and regulations, as well as developed countries, livestock breeding environment management measures, put forward the livestock pollution prevention and environmental management advice.

Key words: Livestock and poultry breeding; Pollution prevention and control; Environmental; Management; Regulation and policy

随着我国经济的飞速发展, 居民对肉类的需求逐年增加, 畜禽养殖产业发展迅猛。与此同时, 畜禽养殖废弃物造成的环境问题也日益突出^[1]。2010年环境保护部、国家统计局和农业部共同发布的《第一次全国污染源普查公报》指出, 我国农业源普查对象中畜禽养殖业化学需氧量(Chemical Oxygen Demand)、总氮(TN)、总磷(Total Phosphorus)、铜(Cu)和锌(Zn)的排放量分别占农业污染源排放总量的95.78%、37.89%、56.34%、94.03%和97.83%, 是我国环境污染的重要来源^[2]。畜禽养殖废弃物是我国水体污染的主要来源, 畜禽粪便中含有大量的有机质、氮、磷、钾、硫及致病菌等污染物, 排入水体后会在水体溶解氧含量急剧下降、水生生物过度繁殖, 从而导致水体富营养化^[3]。畜禽粪便还会导致区域内地下水硝态氮浓度超标, 导致水生生态系统中氮和病原微生物污染增加。畜禽养殖对农田土壤的危害主要表现在畜禽粪便还田不当导致的养分过剩和重金属等有害污染物累积^[4,5]。畜禽粪便中含有作物生长所需的氮、磷、钾和有机质等养分, 传统散养方式下的畜禽粪便还田不仅能提高农作物产量, 还能起到改良土壤和培肥地力的作用, 但过量施用也会造成农作物减产与产品质量下降^[4]。现如今饲料添加剂和预混剂在畜禽养殖业中广泛使用, 导致畜禽粪便中重金属、兽药残留、盐分和有害菌等有害污染物增加, 引起农田土壤的健康功能降低, 生态环境风险增加, 并对食品安全构成威胁^[6,7]。畜禽养殖对空气环境的污染主要包括自畜禽粪便的恶臭和畜禽养殖引起的温室气体排放两个方面。畜禽养殖场的恶臭主要来源于畜禽粪便排出体外后, 腐烂分解所产生的硫化氢、胺、硫醇、苯酚、挥发性有机酸、吡啶、粪臭素、乙醇、乙醛等上百种有毒有害物质^[8,9]。温室气体排放主要包括畜禽饲养、粪便管理阶段和后续的加工、零售以及运输阶段直接或间接的CO₂、CH₄和N₂O排放, 其中畜禽饲养与粪便管理阶段直接排放的温室气体占主导^[9,10], 有报道指出畜牧业已成为我国农业领域最大的CH₄排放源^[11]。我国畜禽养殖主要集中在山东、河南、四川、河北和湖北等省份, 占全国饲养量半数以上, 其农业面源污染在全国总排放量中占比也较高, 内蒙古自治区农

业面源污染等标排放强度尽管低于全国平均水平, 但仍呈逐年呈上升趋势^[12]。内蒙古自治区畜禽养殖以牛、羊为主, 近30年来出栏量年增长率达到10%以上, 单位耕地面积氮污染负荷的年平均增长率非常大大^[13]。目前相关部门对畜禽养殖业监管能力有限, 政策不完善, 对于畜禽养殖环境污染控制和环境管理存在一定的难度。内蒙古自治区土地资源丰富, 足够容纳所产生的畜禽粪便, 但由于监管的局限性, 仍然存在环境污染和环境纠纷, 导致废弃物资源化利用率较低。

1 畜禽养殖废弃物处理技术与资源化利用模式

1.1 畜禽养殖废弃物处理技术

(1) 堆肥化处理。畜禽养殖废弃物堆肥处理后回用到土壤中作为土壤有机质、养分的补给是长期以来有机废弃物的再利用技术。目前, 高温堆肥和厌氧消化成为处理畜禽养殖废弃物的主要途径, 经过高温好氧堆肥处理, 病虫卵害会被杀死, 达到国家卫生标准要求^[14]。也有研究证实, 畜禽粪便经过堆肥后重金属活性被钝化, 堆肥可有效降低重金属的生物有效性^[15]。因此, 堆肥是畜禽养殖废弃物资源化利用的最佳途径之一。畜禽粪便经有效的堆肥化处理后可以达到稳定、腐熟, 降低对空气、地下水、土壤环境的危害。堆肥中通过对工艺参数的控制, 添加膨松剂、化学添加剂、微生物菌剂等手段可以有效的控制堆肥过程中污染气体的排放以及养分元素碳、氮的损失^[16,17]。(2) 沼气工程。畜禽粪便沼气工程即厌氧发酵, 厌氧微生物活动将有机物分解为甲烷、二氧化碳和水。这种处理方式可以达到废弃物污染零排放, 近年来国家扶持和推广力度较大。利用沼气工程处理畜禽粪便污水, 可获得一定的清洁燃料—沼气; 沼液是可用于生产绿色食品的优质农田有机肥; 沼渣经处理后可制成商品化的有机肥料, 部分还可作为饲料用于养鱼等。从经济效益角度分析, 畜禽粪便有机物含量高, 经过厌氧生物处理能回收大量沼气。有机物质转变成甲烷的过程中实现了废弃物的减量化。沼气是一种宝贵的清洁能源, 其热值比城市管道煤气高, 一般情况下, 1t粪便可产生100-150 m³沼气、0.58t有机质残渣。为维持厌氧消化正常进行,

耗能约 1.6×10^6 kJ 能量, 反应产生的沼气可提供 2.7×10^6 kJ 能量, 如转化为电能约 $200 \text{ kW} \cdot \text{h}^{[18]}$ 。从厌氧消化过程相对于好氧堆肥而言, 不需要氧气, 降低动力消耗, 因而使用成本降低。对水分的要求不如好氧堆肥条件严格, 反应温度的保持可通过回收能量的全部或部分来维持, 能实现能量的平衡。从环境效益角度分析, 由于厌氧发酵处在封闭的系统中, 避免了臭气和大量的 CO_2 气体, 无尾气污染, 具有生态优点。发酵沼渣、沼液可作为良好的有机肥, 其有机质含量高, 施用该肥料后, 不但有明显的增产效果, 还具有减少病虫害, 改善土壤结构, 改良水果、茶叶等作物品质等特点^[12]。(3) 饲料化处理。畜禽粪便好氧堆肥和厌氧发酵是现阶段资源化利用最为常见的技术, 同时也有畜禽粪便饲料化处理的技术研究与应用, 这也是畜禽粪便综合利用的一种重要途径^[19]。畜禽粪便含有大量未消化的蛋白质、B 族维生素、矿物质元素、粗脂肪和一定数量的碳水化合物, 特别是粗蛋白质含量较高, 经过加工处理后可成为较好的畜禽饲料资源。但是畜禽粪便的成分比较复杂, 它含有多种对动物健康不利的成分, 极易造成畜禽交叉感染或传染病的爆发。

1.2 畜禽粪便资源化利用模式

1.2.1 自然发酵-还田模式

这种模式由传统的家庭副业养殖中的畜禽粪便堆肥模式发展演化而来, 主要适用于有足够农田消纳面积的中小型畜禽养殖场和散养户。这是一种经济实用的技术模式, 投资较少、工艺简单, 目前在生产中应用较多, 要求是必须配套足够的农田^[19]。

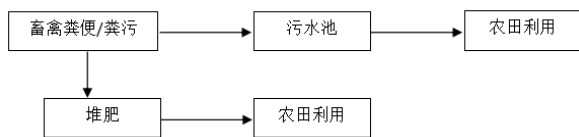


图1 自然发酵-还田处理模式

1.2.2 好氧堆肥有机肥生产模式

有机肥生产主要是采用好氧堆肥发酵, 也是由传统的农家肥生产方式发展演化而来。对大型畜禽养殖场可自建有机肥厂, 对养殖户数多、规模小、密度大、消纳地紧张的畜禽高密度养殖区, 可分区域建专门有机肥厂, 将粪污统一收集、集中处理。

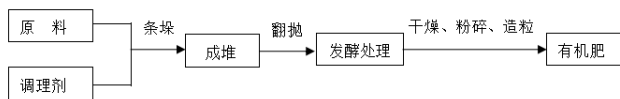


图2 有机肥生产模式

1.2.3 厌氧发酵沼气工程模式

沼气工程根据其沼液处理方式分能源生态型和能源环保型。能源生态型沼液(出水)可直接作肥料用于农田施肥; 能源环保型, 即达标排放模式, 沼液(出水)经好氧发酵、自然处理等深度处理达标排放。畜禽粪便厌氧发酵产生的沼气可用于生产生活, 沼液多直接还田, 也有生产企业将沼液再进行加工处理, 生产叶面肥进行销售。

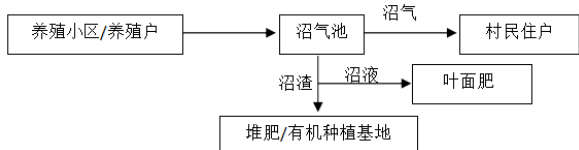


图3 厌氧发酵沼气工程模式

图3 厌氧发酵沼气工程模式

1.2.4 畜禽粪便沼气发电模式

对于大型规模化养殖场或畜禽废弃物沼气发电厂, 沼气发电工程不但可以解决农村企业农户的生产生活用能问题, 沼气发电的余热又可以用于反应器料液的加热或者锅炉热水加热。较没有建设沼气工程时, 不但节约了大量电能和热能、减少排放到环境中的污染物, 还能减少企业开支, 提高经济效益。

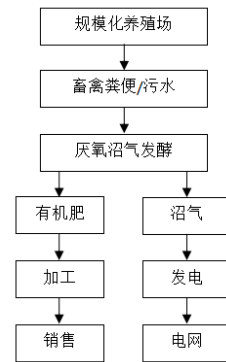


图4 畜禽粪便沼气发电模式

2 畜禽养殖环境管理国内外现状

2.1 畜禽养殖国家政策法规

2001 年以前, 我国关于畜禽养殖污染防治的法律法规较少, 仅有《环境保护法》《水污染防治法》和《畜牧法》等, 对畜禽养殖业发展造成的环境污染监管有限。2001 年以后, 环境保护部相继出台了有针对性的政策法规及标准(表 1), 其中:《畜禽养殖业污染物排放标准》首次明确规定了畜禽养殖业污染物排放标准, 并提出了“无害化处理、综合利用”的总原则, 规定:“畜禽养殖业应积极通过废水和粪便的还田或其他措施对所排放的污染物进行综合利用, 实现污染物的资源化”;《畜禽养殖污染防治管理办法》(国家环境保护总局令 9 号)规定:“畜禽养殖污染防治实行综合利用优先, 资源化、无害化和减量化的原则”;《畜禽养殖业污染防治技术规范》(HJ/T 81-2001)规定:“沼液尽可能进行还田利用, 不能还田利用并需外排的要进行进一步净化处理, 达到排放标准”;《畜禽养殖业污染防治技术政策》(环发[2010]151 号)从技术政策层面鼓励畜禽污染防治的专业化, 鼓励因地制宜开展畜禽污染防治, 并优先考虑畜禽粪便的综合利用。面对严峻的畜牧业环境污染形势, 我国政府陆续出台了一系列以沼气治污为主的经济激励政策, 鼓励畜禽养殖场配套建设沼气工程, 促进了农村沼气工程建设快速增长。

2014 年 1 月 1 日, 我国颁布并实施了第一部专门针对畜禽养殖污染防治的法规性文件《畜禽规模养殖污染防治条例》(以下称《条例》), 针对畜禽养殖场、养殖小区等规模化畜禽养殖单位提出了必需进行污染防治的要求和措施, 并鼓励和支持采取粪肥还田、沼气工程和有机肥生产等废弃物资源化的综合利用。随着《条例》的实施, 国家和地方政府加强了对已建、改扩建和新建规模化畜禽养殖企业的监督和环境管理, 并相继修改和完善国家法律以及制定系列环境保护规划, 将畜禽养殖废弃物管理纳入环境保护工作重点。《中华人民共和国畜牧法》(2015 年修正)第三十九条提出畜禽养殖场、养殖小区应当具备对畜禽粪便、废水和其他固体废弃物进行综合利用的沼气池等设施或其他无害化处理设施, 第四十六条指出造成环境污染危害的需依法赔偿损失。2015 年制定的《水污染防治行动计划》中要求在 2017 年底前依法关闭或搬迁畜禽养殖禁养区内的畜禽养殖场和养殖户。2016 年 10 月环保部和农业部联合印发《畜禽养殖禁养区划定技术指南》(环办水体[2016]99 号),

明确了禁养区概念、养殖场含义,明确了禁养区范围以及不同区域的管理要求。2016年底国务院印发《“十三五”生态环境保护规划的通知》(国发[2016]65号)要进一步完善“畜禽养殖污染物排放标准”“大力推进畜禽养殖污染防治”,环境治理保护重点工程中对农村环境综合整治行动重点包括实施畜禽养殖废弃物污染治理与资源化利用,要求“十三五”期间“实现75%以上的畜禽养殖场(小区)配套建设固体废弃物和污水贮存处理设施”。2017年4月国家环境保护部印发《国家环境保护标准“十三五”发展规划》(环科技[2017]49号),在“十三五”期间将开展《畜禽养殖业污染物排放标准》修订工作,并加强对农业污染源的排放控制,促进畜禽养殖业生产模式的转变。2017年6月国务院办公厅印发《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》(国办发[2017]48号)提出“到2020年,建立科学规范、权责清晰、约束有力的畜禽养殖废弃物资源化利用制度,构建种养循环发展机制,全国畜禽粪污综合利用率达到75%以上,规模养殖场粪污处理设施装备配套率达到95%以上,大型规模养殖场粪污处理设施装备配套率提前一年达到100%。畜牧大县、国家现代农业示范区、农业可持续发展试验示范区和现代农业产业园率先实现上述目标”,并明确各部门职责,涉及环境保护部门职责的任务主要包括环评、环境监管执法、排污许可、监测等方面。9月环保部对全国各省市环保厅(局)下发了《关于在畜禽养殖废弃物资源化利用过程中加强环境监管的通知》(环水体[2017]120号),要求严格落实环评制度并紧密衔接水环境管理,完善污染监管制度。可以看出近年来国家对畜禽养殖污染防治和废弃物管理的重视程度越来越高,加强畜禽养殖污染治理的任务愈发迫切。

表1 畜禽养殖污染防治国家政策法规文件

编号	政策法规	发布单位	实施时间
1	《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596-2001)	环境保护总局 国家质量监督检验检疫总局	2003-01-01
2	《畜禽养殖业污染防治技术规范》(HJ/T 81-2001)	环境保护总局	2002-04-01
3	《畜禽养殖污染防治管理办法》(国家环境保护总局令 第9号)	环境保护总局	2001-05-08
4	《畜禽场环境质量及卫生控制规范》(NY/T 1167-2006)	农业部	2006-10-01
5	《畜禽粪便无害化处理技术规范》(NY/T 1168-2006)	农业部	2006-10-01
6	《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》(HJ 497-2009)	环境保护部	2009-12-01
7	《畜禽养殖业污染防治技术政策》(环发[2010]151号)	环境保护部	2010-12-30
8	《畜禽养殖场(小区)环境监察工作指南》(试行)(环办[2010]84号)	环境保护部	2010-06-03
9	《规模畜禽养殖污染防治最佳可行技术指南》(试行)(HJ-BAT-10)	环境保护部	2013-07-17
10	《畜禽规模养殖污染防治条例》(国务院令 第643号)	国务院	2014-01-01
11	《畜禽养殖禁养区划定技术指南》(环办水体[2016]99号)	环境保护部 农业部	2016-10-28
12	《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》(国办发[2017]48号)	国务院	2017-06-12
13	《关于在畜禽养殖废弃物资源化利用过程中加强环境监管的通知》(环水体[2017]120号)	环境保护部	2017-09-08

2.2 内蒙古自治区畜禽养殖污染防治政策

2014年,内蒙古自治区已明确将农业源污染治理纳入污染物总量减排计划中,并指出要以加强畜禽养殖业治理作为主要的减排措施(内政办发[2013]54号)。2015年9月内蒙古农牧业厅发布《关于做好2015年畜禽标准化养殖项目和畜禽粪污等农业农村废弃物综合利用试点项目实施工作的通知》,给予呼伦贝尔天佐牧业有限公司、内蒙古上库力农场、

内蒙古科尔沁牛业股份有限公司、内蒙古美天旺牧业有限公司和巴彦淖尔市荣威种养殖有限公司等5家企业各400万元补助资金,作为内蒙古自治区畜禽粪污资源化利用试点。2016年3月,内蒙古农牧业厅发布印发《内蒙古2016年畜禽养殖标准化示范创建实施方案》(内农牧畜发[2016]49号),要求创建畜禽养殖标准化示范场,必须遵守《畜牧法》《畜禽规模养殖污染防治条例》等相关法律法规,推进全区畜禽养殖规范化。2017年3月,《内蒙古畜牧业发展“十三五”规划》(内农牧畜发[2017]17号)提出“畜禽规模养殖废弃物综合利用率达到85%”,“大力推进农牧结合,夯实绿色发展基础”。5月内蒙古自治区人民政府印发《内蒙古自治区“十三五”节能降碳综合工作方案》,要求“控制畜禽温室气体排放,推进标准化规模养殖和畜禽废弃物综合利用,因地制宜建设畜禽养殖场大中型沼气工程。到2020年,全区规模化养殖场、养殖小区配套建设废弃物处理设施比例达到75%以上。”其中牵头单位为自治区农牧业厅、发展改革委,参加单位包括自治区科技厅、经济和信息化委、环保厅、住房城乡建设厅等相关部门。

2.3 发达国家的畜禽养殖污染防治及环境管理

与我国相比,欧美等发达国家大规模畜牧业发展较早,不适当的畜禽粪便处置方式导致了严重的环境污染,也较我国更早地面对畜牧业环境污染问题。

2.3.1 美国畜禽养殖污染防治政策

美国畜牧业污染防治领域的法规由联邦政府制定的《净水法案》《联邦水污染法》和州地方制定各级法规构成,形成了“联邦—州—地方”三位一体式的畜牧业环境污染管理体系。《净水法案》规定未经许可,任何企业不得向任一水域排放任何污染物,把畜禽养殖场列入污染物排放源,并将饲养1000个畜牧单位(折合肉猪2500头)以上的养殖场纳入点源污染环境监管^[20]。《联邦水污染法》对全州的畜牧业经营许可、建筑许可和畜禽粪便利用做了详细规定:采用露天敞开式畜舍、养殖数量在1000个畜牧单位以上的养殖场需申请畜牧业经营许可证;建设养殖数量大于2000个畜牧单位或采用厌氧发酵工艺处理畜禽类便的养殖场则必须获得建筑许可证。近年来,美国政府对规模化养猪场的粪污管理更为严格,业主配套一定面积土地用作消纳粪污方可向所在州一级政府申请建设一定规模的养猪场,且还需派人到州政府所委托的大学培训相关技术合格后,才能获得建场许可。美国各州环保部门对造成污染的畜禽养殖场的处罚十分严格,一般采用每天罚金100美元以上,直至污染清除为止^[21]。

2.3.2 欧盟畜禽养殖污染防治政策

在畜牧业污染防治领域,欧盟成员国国家结合畜禽粪便利用对畜禽养殖规模、养殖密度、畜禽粪便贮存、利用方式及施用量限制等做出了详细规定。荷兰政府规定草地的畜禽粪便氮施用限制标准为250 kg·hm⁻²,而耕地的施用限制标准为170 kg·hm⁻²。荷兰政府还建立了畜禽粪便处置协议机制,无法处置过剩畜禽粪便的养殖业主将面临缩减饲养规模或停产^[22]。英国政府于1988年颁布施行并于1991年修订的《城乡总体发展规划法令》规定:畜禽养殖场的建设与任何保护性建筑之间必须有400m以上的隔离区域。德国政府对水源环境敏感区的畜禽饲养密度进行明确规定:牛3~9头·hm⁻²、马3~9匹·hm⁻²、羊18头·hm⁻²、猪9~15头·hm⁻²、鸡1900~3000只·hm⁻²、鸭450只·hm⁻²,并规定畜禽粪便必须经过处理后才能排放到外部水体^[23]。丹麦政府根据丹麦的气候状况对畜禽粪肥的还田利用标准作了详细规定,充分考虑了寒冷气

候对畜禽粪便施用的影响。

2.3.3 日本畜禽养殖污染防治政策

为解决畜牧业环境污染问题,日本政府出台了一系列污染防治法规。如《水污染防治法》规定猪舍、牛棚和马厩面积分别为 50 m^2 、 200 m^2 和 500 m^2 以上,畜禽养殖场的污水排放标准: BOD_5 和 COD 日平均质量浓度为 $120\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,上限值为 $160\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;固体悬浮物(SS)日平均质量浓度为 $150\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;氮的允许质量浓度上限限制为 $129\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,日平均浓度为 $60\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;磷的允许质量浓度上限限制为 $16\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;日平均浓度为 $8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ [22]。日本政府还出台了一系列经济激励政策,激励畜禽养殖场业主开展污染防治,如养殖场粪污处理设施的建设和运行费用由国家和道府县分别补贴50%和25%。日本政府农林水产省也出台了相关行政管理措施以保护畜产环境:一方面,在经济上资助有助于改善和保护畜产环境设施的事业,如畜产环境对策研究事业、畜产经营环境改善事业、改进畜产经营事业以及促进家畜粪尿处理利用新技术实用化事业等;另一方面为畜产环保事业建立良好的融资机制,畜禽养殖场的粪便处理设施所需资金可申请都道府县设置的农业改良资金特别会计处或农林渔业金融公库的免息贷款;此外,在课税政策上,对于畜禽养殖场环保设施采取减轻课税标准和减免不动产所得税的办法[24]。

3 结论与建议

(1)我国畜禽养殖污染防治工作起步较晚,职责分工和政策法规的落实还不太完善,目前关于畜禽粪污处理和资源化利用的技术以及模式都较为成熟,但由于环境管理和法律法规的滞后导致在我国城市近郊或农村地区畜禽养殖污染问题显著,对邻近水域仍存在较为严重的威胁。

(2)发达国家在畜禽养殖环境管理上有着丰富的可供借鉴的经验,在政策法规的制定和执行上,地方政府不仅应做到严格落实国家提出的任务和要求,还需多参考和学习发达国家的治理经验,控制畜禽养殖污染物的排放,制定严格的污染物排放标准,提高资源化利用效率。(3)我国占地面积广,不同地区环境气候差异显著,北方地区在畜禽养殖废弃物资源化利用和环境管理还需因地制宜提出可行性解决方案。堆肥对环境温度、管理技术、资金投入和维护等条件的限制都明显低于沼气工程,利于中小型养殖场和养殖户废弃物现阶段资源化利用的施和用。对于大规模养殖企业仍需积极推行沼气工程,并确保其技术的可行性和监管力度。(4)畜禽养殖规模化在我国并不是可以快速实现的,在中小型城市养殖业分散,养殖户和企业管理人员环保意识淡薄仍旧普遍存在,为畜禽养殖环境管理带来很大的困难。取缔还是加强对中小型养殖场管理,如何实施监管以及全面落实国家和地方畜禽养殖污染防治法规政策,是科研工作者和政府管理部门需要面对的重要问题。

参考文献

- [1] 贾伟.我国粪肥养分资源现状及其合理利用分析[D].北京:中国农业大学,2014.
- [2] 孟祥海.中国畜牧业环境污染防治问题研究[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [3] 周轶韬.规模化养殖污染治理的思考[J].内蒙古农业大学学报(社会科学版),2009,11(1):117-120.
- [4] 李金峰,聂兆君,赵鹏等.畜禽粪便配施对冬小麦产量及Cu、Zn、As在植株累积和土壤中垂直分布的影响[J].江苏农业科学,2016(4):13.
- [5] 张云青,张涛,李洋等.畜禽粪便有机肥中重金属在不同农田土

壤中生物有效性动态变化[J].农业环境科学学报,2015,(01):87-96.

- [6] 田哲,张昱,杨敏.堆肥化处理对畜禽粪便中四环素类抗生素及抗性基因控制的研究进展[J].微生物学通报,2015,(05):936-943.
- [7] 严莲英,刘桂华,秦松等.畜禽粪便堆肥中抗生素和重金属残留及控制研究进展[J].江西农业学报,2016,(09):90-94.
- [8] 黄灿,李季.畜禽粪便恶臭的污染及其治理对策的探讨[J].家畜生态,2004,(04):211-213.
- [9] Foster C, Green K, Bleda M, et al. Environmental impacts of food production and consumption: final report to the Department for Environment Food and Rural Affairs[J]. Proc Natl Acad Sci U S A. 2007,102(6):1871-1876.
- [10] Berlin J. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese.[J]. International Dairy Journal. 2002, 12(11):939-953.
- [11] 邹晓霞,李玉娥,高清竹等.中国农业领域温室气体主要减排措施研究分析[J].生态环境学报,2011,20(z2):1348-1358.
- [12] 吴义根,冯开文,李谷成.我国农业面源污染的时空分异与动态演进[J].中国农业大学学报,2017,(07):186-199.
- [13] 杨飞,杨世琦,诸云强等.中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J].农业工程学报,2013,(05):1-11.
- [14] Guo R, Li G, Jiang T, et al. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost[J]. Bioresource Technology. 2012,1(12):171-178.
- [15] 吕兑安.猪粪堆肥过程中重金属形态变化特征及钝化技术研究[D].北京:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2014.
- [16] 江滔.堆肥化过程中温室气体产生机理及减排技术研究[D].北京:中国农业大学,2011.
- [17] 吴娟.过磷酸钙对猪粪堆肥碳、氮转化及减缓有机质降解技术机制研究[D].中国农业大学,2017.
- [18] 马传杰.牛粪厌氧发酵处理研究[D].合肥:安徽农业大学,2009.
- [19] 周晖.当前畜禽粪便资源化利用技术模式分析[J].今日畜牧兽医,2017,(06):13.
- [20] 余海波,方向东,刘开武.欧美发达国家的畜禽养殖污染防治[J].中国畜牧业,2015,(22):53-55.
- [21] 金书秦,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.
- [22] 武淑霞.我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响[D].北京:中国农业科学院,2005.
- [23] 蒋丽丽.国外畜禽业的环境管理[J].农村新技术,2002,(1):10.
- [24] 张彩英.日本畜产环境污染的现状及其对策[J].农业资源与环境学报,1992,(2):6-9.

收稿日期:2018-02-09

项目基金:包头市环境保护局科学技术研究项目。

作者简介:董雪霁(1972-),男,包头市九原区环境保护局局长,工程师,研究方向为环境保护。

通信作者:吴娟(1981-),女,博士,包头市环境监测站工程师,研究方向为固体废弃物资源化利用、农业环境保护等。