

## 我国养禽业粪污排放·治理现状·建议

范建华<sup>1</sup>, 李尚民<sup>1</sup>, 胡艳<sup>1</sup>, 王晓峰<sup>1</sup>, 吴荣富<sup>1</sup>, 窦新红<sup>1\*</sup>, 邹剑敏<sup>1</sup>, 陈勋<sup>2</sup>

(1. 江苏省家禽科学研究所, 江苏扬州 225003; 2. 上海复振科技有限公司, 上海 200437)

**摘要** 阐述了当前我国养禽业粪污排放现状, 从对大气、水体和土壤的污染 3 个方面, 分析了粪污外排对环境的影响, 并介绍了我国家禽粪污主要治理技术, 包括无害化处理技术、资源化利用技术。最后提出了我国家禽业粪污治理的几点建议, 包括政府实施粪污治理政策要松紧有度, 循序渐进; 完善建立宏观、整体且行之有效的粪污综合治理措施; 坚决执行种养结合的粪污消纳可持续发展战略。

**关键词** 家禽; 粪污排放; 粪污治理; 资源化利用

**中图分类号** X713 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)30-0064-03

## Current Situation and Consideration of Chinese Poultry Industry Manure Emissions and Governance

FAN Jian-hua, LI Shang-min, HU Yan, DOU Xin-hong\* et al (Jiangsu Institute of Poultry Science, Yangzhou, Jiangsu 225003)

**Abstract** The poultry manure emission status of China was elaborated from the 3 aspects of the atmosphere, water and soil pollution, the influence of the outside environment on the environment was analyzed, and the main treatment techniques of poultry manure in China were introduced, including harmless treatment technology and resource utilization technology. Governance suggestion of poultry industry manure was put forward, including the implementation of government waste treatment policy to a degree of tightness, step by step; establishing comprehensive control measures to improve sewage overall and effective; resolutely implement the strategy of sustainable development of farming manure consumptive combination.

**Key words** Poultry; Manure emissions; Manure countermeasure; Resource utilization

随着我国养禽业的快速发展和农村产业结构的转变及务工方式调整, 家禽的粪污排放和实际消纳出现了严重矛盾, 加剧了粪便对环境的污染, 引起了全社会关注。针对我国当前复杂的养殖国情, 积极探索和研究科学合理的粪污治理对策, 确保家禽业健康可持续发展已迫在眉睫。笔者综述了我国家禽业粪污排放现状、危害, 提出了当前在家禽粪污治理过程中可能面临的困难和建议, 以期今后进一步合理制订家禽粪污治理方案和尽快实施可资源化利用提供参考。

## 1 当前我国养禽业粪污排放现状

我国养禽业是一个涉及 4 000 余万养殖场(户)和 7 000 余万从业人员, 关乎 1.3 亿人生计的民生行业, 在满足居民日常动物蛋白, 保证主要禽产品稳定供给, 促进农民增收, 以及参与国际竞争等方面, 都发挥着极其重要的作用。改革开放以来, 我国的养禽业取得了举世瞩目的成就, 无论从养殖规模、数量还是技术水平, 都有了很大提高。

然而, 家禽业在集约化、现代化迅猛推进的同时, 农村的产业结构和务农方式也发生了重大转变, 使得养禽业的发展与环境污染之间的矛盾日益凸显<sup>[1-2]</sup>。特别是现阶段农业耕作施用的肥料被无机肥主导替代以后, 给家禽粪便的还田增加了极大难度, 从而也引发了许多环境污染问题<sup>[3]</sup>。根据中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所出版的《畜禽产排污系数手册》<sup>[4]</sup>给出的排污参考计算公式 [ $M = cQT/1\ 000$ , 式中,  $M$  为年粪便产生量(万 t);  $c$  为排泄系数;  $Q$  为出栏量(万只);  $T$  为饲养周期天数(d)] 和中国畜牧

兽医协会 2014 年的中国禽业发展报告提供的家禽存、出栏量数据(表 1)估算, 2014 年我国肉鸡的全年排粪量约 8.17 亿 t, 鸽子和鹌鹑等特禽较低, 仅 2.03 亿 t(图 1)。

表 1 2014 年我国家禽年平均存、出栏量及粪污排放系数

Table 1 Average annual storage, slaughter volume and fecal emission coefficient in China in 2014

家禽种类 Poultry species	项目类型 Project type	存栏量 Livestock stocks	出栏量 Slaughter volume 亿只	粪污平均外排系数 Average coefficient of fecal discharge kg/(只·d)
鸡 Chicken	祖代	309.29		0.11
	父母代	5 800.28		
	商品代	11.70	82.09	
鸭 Duck	蛋鸭	1.94		0.11
	肉鸭		29.29	
	番鸭、半番鸭		4.00	
鹅 Goose		3.52	7.14	0.11
鸽子 Dove		3 300.00	4.50	0.04

注: 数据来源于 2014 年畜牧兽医协会调查报告。鸡的祖代、父母代的存栏量单位为万套, 蛋鸭、鹅的存栏量单位为亿只, 鸽子的存栏量单位为 3 300 万对

Note: The data were from the 2014 survey of the society for animal medicine and veterinary medicine. Grandparent, parents on unit of livestock stock of chicken was million units, unit of livestock stock of duck and goose was billion, unit of livestock stock was 33 million

## 2 粪污外排对环境的影响

据统计, 2014 年我国家禽排粪量约为 25.43 亿 t(图 1), 如果再加上未纳入畜牧兽医协会调查报告内的其他小型养殖公司和猪、马、牛、羊等粪便排污系数更大的家畜, 数据将更为惊人。有报道称<sup>[5]</sup>, 目前我国畜禽粪便的产生量已超过工业固体废弃物, 成为当前环境治理的主要负担。大量畜禽粪污若不能实现资源化综合利用, 及时还田消纳, 将会给生态环境带来严重污染。

## 2.1 对大气的污染 家禽粪便长期堆积, 发酵后会产生大

**基金项目** 国家科技支撑项目(2012BAD3904); 江苏省农业三新工程项目(SXGC[2016]291)。

**作者简介** 范建华(1978—), 男, 安徽安庆人, 助理研究员, 博士, 从事家禽养殖场粪污综合治理技术研究。\* 通讯作者, 研究员, 博士, 从事家禽环境控制与设施技术研究。

**收稿日期** 2017-09-15

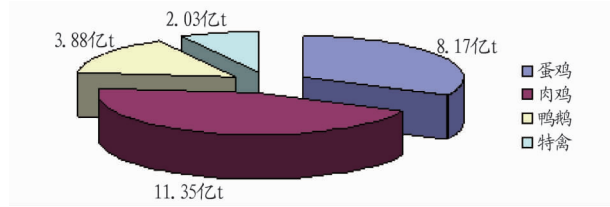


图1 2014年我国主要家禽粪污排放现状

Fig.1 Status of poultry manure discharge in China in 2014

量的氨气( $\text{NH}_3$ )、硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、甲烷( $\text{CH}_4$ )、非甲烷烃化合物(NMHCs)和挥发性硫化物<sup>[6]</sup>等有害气体,多达数十种。根据2006年发表的《牲畜的巨大阴影:环境问题与选择》报告数据统计,10只鸡排放的有害气体量相当于7个人,以2014年存栏的11.7亿只商品代估算,相当于8.19亿人的有害气体排放。

大量有害气体排放到环境中,不仅对养禽业从业者、家禽本身和周围居民的身体健康造成伤害,还对全球空气质量造成影响<sup>[7-8]</sup>。这些有害气体随着环境浓度的升高,是造成恶臭的主要原因;而且大部分气体都具有毒性,是造成家禽体质变弱,抗病力下降,诱发胃肠炎、气管炎、支气管炎及结膜炎等多种疾病;高浓度的有害气体还可导致家禽呼吸中枢麻痹,窒息死亡;长期处于有害气体中的从业人员和居民,也会出现咳嗽、气管炎和支气管炎等不良反应;同时有害气体也是某些疾病气溶胶传播的媒介;有害气体突破大气层,也会对全球气候变暖产生一定影响。2009年丹麦哥本哈根召开的世界气候大会强调指出,畜禽粪便排放的有害气体,在全球气候变化中起重要作用,已成为全球变暖的主要因素之一。

**2.2 对水体的污染** 养殖场的粪污未经处理,直接排放进入开放水体中。粪污中富含氮、磷及其他有害物质(表2),极易造成水体富营养化,使藻类大量繁殖,极大地降低了水中的溶解氧含量,导致鱼类死亡。另外,粪尿中含有的部分病原微生物,本身就对水体中水生生物致病。高浓度的污水排放入河,长期会造成水质恶化,有些甚至会威胁到居民饮用水源。

表2 家禽粪便中氮、磷等主要污染物的排泄量

Table 2 Excretion of major pollutants such as nitrogen and phosphorus in poultry manure

家禽分类 Poultry classification	日排泄量 Daily excretion		年排泄量 Annual excretion	
	氮 Nitrogen g/(只·d)	磷 Phosphorus g/(只·d)	生化需 氧量 BOD g/L	化学需 氧量 COD g/L
肉禽 Table poultry	2.62	0.29	0.74	0.10
蛋禽 Egg poultry	2.41	0.20	2.46	0.32

**2.3 对土壤的污染** 随着饲料工业的发展,饲料中会添加大量的Cu、Zn、Cr、Fe等多种重金属元素<sup>[8]</sup>。据不完全调查,家禽饲料中Cu的添加量最高可达数百毫克,Zn的添加量最高约达数千毫克。数据还显示,全国每年使用的重金属元素有15万~18万t,而约有10万t是未被吸收利用的,随粪便

排放到环境中。

大量重金属一旦富集于土壤,超出土壤环境容量和消纳时,就会导致土壤硬化。另外,粪便还含有大量的病原微生物和寄生虫虫卵,如不及时进行无害化处理,还会造成病原微生物的散播,威胁周边养殖场,甚至还会引起人畜共患病的发生。

### 3 现阶段我国家禽粪污主要治理措施

有关家禽粪污治理方法,国外最早起始于20世纪40年代,我国相对滞后。经过几十年的发展,目前治理的技术和手段都相对成熟,畜禽养殖业粪污处理主推4种模式<sup>[9]</sup>,即种养结合模式、清洁回用模式、达标排放模式和集中处理模式。由于养禽业的污水量相对较少,因此对于粪污的处理主要依靠种养结合和集中处理模式。但不管采用何种模式,实施的核心技术主要还是无害化处理技术和资源化利用2个环节。

**3.1 无害化处理技术** 由于家禽没有咀嚼,肠道较短,而且消化腺分泌又不旺盛,因此几乎70%的饲料未经消化就随排出,使得粪便中含有大量氮、磷等污染物,若不及时处理,将对环境造成严重污染。

无害化处理技术早期是采用自然堆肥发酵法和太阳能大棚发酵法。自然堆肥发酵法,是将粪便自然堆放在露天广场上,使其自然发酵。这种方法最早使用,措施简单,投资少,但占地面积大,周期长,对环境有一定污染,适用于饲养规模小、人口稀少的偏远地区;太阳能大棚发酵法,其方法是将粪便置于塑料大棚内,利用太阳能加快发酵速度。其优点是投资少,运行成本低,但发酵时间相对较长。以上两种粪污处理方法属非主流技术,对病原微生物处理并非彻底,因此目前在养殖场较少施用。

随着畜禽粪污处理技术和手段的发展升级,目前应用于家禽粪便无害化处理的方法,主要是厌氧发酵法、好氧发酵法、发酵床降解技术、利用舍内余热烘干粪便制粒技术和高温快速干燥法等。厌氧发酵和好氧发酵尽管相对节能环保,也符合资源化循环利用的主流,但是发酵后的臭气问题和下脚污水问题,仍难以完全解决;发酵床降解技术尽管能便利解决粪尿消纳、除臭灭菌问题,但发酵后的产热与育成和育肥期畜禽的生产需要还存在矛盾;利用舍内余热粪便制粒技术必须有特殊的饲养设备条件配套,一般养殖场很难推广实施;高温快速干燥法,虽然能较好地杀灭病原,一次完成干燥,生产率高,可实现工业化生产,但设备投资大,能耗高,对原料的含水量有一定要求。

### 3.2 资源化利用技术

**3.2.1 用作肥料。** 家禽粪便中含有丰富的粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、矿物质及钙、磷、钾、氮等营养成分,是一种优质的肥源,应用价值较高。因此,粪便通过无害化处理之后,通过一定处理措施,可以制成有机肥应用于种植业,通过种养结合,进一步还田或还林等资源化利用,实现养分循环,减少化学肥料的施用,这对于保护环境及推动农业的可持续发展具有重要意义。

目前国际、国内许多大型养殖公司均采用这种模式,既经济,又实用。如比利时的 Lavidor 公司,将鸡粪预处理中挥发的氨气进行硫酸中和反应后,可制得无机肥硫酸氨,再进一步发酵处理,又可制得有机肥;巴西的 BRF 公司,将鸡粪通过槽式发酵堆肥和无害化处理之后,可直接作为种植甘蔗的优质肥料。

**3.2.2 用作饲料。**家禽粪便中含有的粗蛋白质、矿物质和粗脂肪等营养元素,不仅是优质的肥源,还是良好的饲料源,若经去臭、除菌、消毒、脱水等加工处理后,可作为养殖业的饲料。

目前因受疫病的生物安全防范意识和家禽粪便的前处理成本影响,家禽粪便的饲料化应用模式仅限于水产养殖业。

**3.2.3 用作能源。**利用厌氧发酵技术,可将家禽粪便中大量有机物质进行发酵处理,转化为二氧化碳和甲烷。甲烷是沼气的主要成分,燃烧值较高。在家禽养殖场建立沼气池,既可有效解决粪污治理问题,又是二次开发新能源。

通过厌氧发酵制沼气的粪便处理模式目前在国内外非常流行。但该模式目前还难以全面推广实施,受诸多条件因素限制,如北方气候冬季寒冷,致使产沼气量不足或不产气<sup>[10]</sup>;饲料中的重金属,特别是高浓度的 Cu 易造成厌氧菌失活;另外处理后的沼渣或沼液难以消纳,带来二次污染问题。

#### 4 对我国国家禽业粪污治理的几点建议

有报道显示,目前我国环境污染物的排放总量正处于历史高位,特别是畜禽粪便的污染问题,已关系到全人类和人类的健康<sup>[11]</sup>。为此,习近平总书记和李克强总理在 2015 年“两会”的政府工作报告上,对我国未来“十三五”环境污染治理问题都做出了重要批示,即新常态下的资源节约、环境友好型的人与自然和谐共生、和谐发展,才是现代化建设的新格局。

家禽业是环境污染的主要源头之一。随着家禽养殖业的持续发展,养殖排泄物及养殖场污水等对环境治理的压力也越来越大。虽然目前已引起了国际、国内的重视,并有了许多粪污治理的先进经验和方法可以借鉴,但整体在实际实施过程中,仍有很多举措值得忧虑和推敲,还难以解决养殖业的发展与环境污染之间的矛盾。笔者对我国目前养禽业粪污治理现状进行了认真梳理和总结,提出了以下几点建议。

**4.1 政府实施粪污治理政策要松紧有度,循序渐进** 我国是一个养殖国情特别复杂的国家。几十年来,尽管养禽业在养殖技术水平、发展模式等方面取得了巨大突破,但现阶段仍以 5 000 只以下中小型的零散规模为主,特别是水禽和特种禽养殖。这部分养殖企业(户)养殖技术水平相对起点较低,主要依靠所居住的村落和河塘等农村自然便利条件发展养殖,基础力量薄弱,但在服务“三农”、创造劳动力就业和稳定民生等方面也发挥着一定作用。这就给出一个提示,在短期内,政府完全按照《畜牧法》《土地法》《环保法》和《畜禽规模

养殖污染防治条例》等要求,全面界定禁养区、限养区以及养殖发展区,强制执行《畜禽粪污排放标准》,实施难度很大,不利于社会的和谐和稳定。因此,笔者建议政府和环境主管部门在实施粪污治理及相关政策时,一定要循序渐进,松紧有度,以激励政策为先导,逐步引导和鼓励农民参与家禽粪污的治理和农村养殖环境保护的长远规划,如政府可以拿出一部分经费或通过组织建立社会公益基金的模式,根据养殖场具体粪污治理实施的优劣,设置优差等级,优先铭牌或予以一定项目和经费扶持。

**4.2 完善建立宏观、整体且行之有效的粪污综合治理措施** 近年来,随着健康养殖技术和理念的大力宣传与推广,环境污染治理措施的优化与应用,我国局部地区的家禽粪便污染问题得到了一定改善。但是,就整个养禽业来看,粪污治理仍缺乏一个宏观、整体、有效的实施方案,因此应切实针对不同类型、所在区域的自然气候条件、养殖规模大小和基础设施水平等诸多因素,采用不同的粪污治理措施,低成本投入,高效益地实现资源化利用。对于规模较大、条件较好的企业,建议可以结合国家节能减排项目资金激励机制,率先扶持、开发沼气发电。对于沼气发电,一定要切合实际生产和当地的区域优势,并结合农村积余秸秆,充分利用积余碳源,综合研究制沼气模式和能源化利用技术;对于零散养殖场(户),可借鉴市场化运营模式,以经纪人形式,集中收纳粪便,设置粪污集中区,预处理后直接或间接还田、还林,或送沼气发电场发电<sup>[12]</sup>。当然,国家在制定宏观粪污治理政策之前,还需建立一个完善的监管机制,防止项目投入和激励资金空挂而不实。

**4.3 坚决执行种养结合的粪污消纳可持续发展战略** 目前多数业内专家认为,家禽粪便本身并非是导致养殖环境污染的真正元凶,现有的处理技术和手段都不成问题,关键是如何开发可资源化利用技术和手段,将粪污治理变为企业的经济增长点,种养结合,形成种养可持续发展战略<sup>[12]</sup>。这方面,欧美国家做得较好。日本、美国和巴西等国家,十分推崇农牧结合的发展模式,大部分农场都是农牧结合型的,养殖业与种植业之间在饲草、饲料和肥料 3 个物质经济体系方面相互促进、相互协调,养殖场的动物粪便或通过输送管道,或直接干燥固化成有机肥还田、还场,既防止了环境污染,又提高了土壤的肥力。而我国现阶段种植业与家禽养殖业衔接有太大误差。一方面,家禽养殖量在不断扩大,粪污排放量也在不断上升;另一方面,许多农田、农牧种植公司又主要依托化肥,无粪可施,使得粪污的产出与消纳出现了 2 个极端。因此,建议可将家禽粪便商品化,由政府或经纪人形式牵头,架构一个养殖业与种植业紧密链接、长效市场化需求机制。

我国养禽业发展至今,技术水平日趋成熟,基本满足了人民日益增长的“菜篮子”需求,也确保了养殖户“钱袋子”的稳定。但现阶段,最紧迫、突出的矛盾是解决家禽粪便对环境的污染问题。而家禽粪污的治理,就目前来看,还不能直接给养殖企业带来经济效益,费时又费力。因此,家禽

用模式,企业化的优良模式如“德青源模式”和“民和牧业模式”等仍较少。总体来看,我国农业废弃物利用模式缺乏集约、规模效应,其结果是资源利用率很低,产业化水平低。集约利用的关键在于资金和技术。因此,如何进一步提高农业废弃物利用的技术水平,拓展农业废弃物沼气产业化发展的投、融资渠道是促进我国农业废弃物沼气化利用的关键环节。

**3.4 我国农业废弃物处理的相关政策亟待完善** 大中型沼气工程一次性投资较大,且当前情况下企业能从工程项目建设中获得的收益相对较低,投资回收期长,商品化程度低造成了建设融资难,运行获利难。企业没有经济效益就很难推动我国沼气产业的发展。我国在沼气工程建设的用地、用电、税收以及排污费收取等方面没有优惠政策和措施,这些都需要完善。只有完善政策,确保沼气工程的健康运转,让高品质的燃气进入市场产生经济效益,才能反过来促进这个行业的发展。此外,我国始终禁而不止的秸秆禁烧问题充分反映出相关政策的实效性低<sup>[19]</sup>。如何制定出政府满意、百姓支持且实施效果良好的农业废弃物处理政策是我国农业废弃物高效、综合利用的政策保障。

**3.5 我国低碳循环农业发展模式的重视程度不够** 众多研究证明,利用农业废弃物生产沼气具有显著的温室气体减排效果,但我国以农户为主要处理单位的废弃物利用模式在减污和减排效果效率上还不如企业,这主要涉及到资源利用效率及沼气逃逸等问题。尽管我国已经有了一些效果极好的企业模式,但推广力度还不够,也就造成了我国农业废弃物集约化利用程度很低,从而导致低碳农业在我国农业生产和农业废弃物处理中的重要性将会愈加凸显。

## 4 结语

推进资源循环利用,发展清洁能源,是全世界都将面临的重大挑战。21世纪注重低碳发展,废弃物的减量化、资源化、综合化处理利用是实现低碳发展的基本要求。农业与农村废弃物的资源化循环利用和生物能源化已经成为许多国家低碳发展与可再生能源开发的战略重点,并有望成为极具

发展潜力的战略性行业。在我国现有的农业废弃物资源基础上,如何进一步优化利用农业废弃物资源将是一个长久的具有重要价值的课题。

## 参考文献

- [1] 陈利洪. 中国生物质废弃物资源空间分布及其燃气潜力[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
  - [2] 郭瑞琦, 张雅聪, 桑明娟, 等. 江苏省农作物秸秆的生物天然气潜力及其温室气体减排估算[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(34): 111-114, 181.
  - [3] 朱建国, 陈维春, 王亚静. 农业废弃物资源化综合利用管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
  - [4] 石元春. 中国生物质原料资源[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 16-23.
  - [5] 程序, 朱万斌. 产业沼气——我国可再生能源家族中的“奇兵”[J]. 中外能源, 2011, 16(1): 37-42.
  - [6] 王明新, 夏训峰, 柴育红, 等. 农村户用沼气工程生命周期节能减排效益[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 245-250.
  - [7] CHEN L H, CONG R G, SHU B R, et al. A sustainable biogas model in China: The case study of Beijing Deqingyuan biogas project [J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2017, 78: 773-779.
  - [8] 石建福, 高桂花, 施兴荣, 等. “气热电肥联产”模式秸秆沼气工程探索与经济效益分析: 上实农业园生物质循环利用示范工程模式解析[J]. 可再生能源, 2012, 30(6): 107-110.
  - [9] 贾春雨. 规模化畜禽养殖场废弃物处理工程模式研究[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(8): 29-30, 44.
  - [10] 毛薇, 吴国斌. 规模化畜禽养殖废弃物循环利用模式及实施路径[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(6): 71-74.
  - [11] 石祖梁, 刘璐璐, 王飞, 等. 我国农作物秸秆综合利用发展模式及政策建议[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(6): 16-22.
  - [12] 党金霞. 寒区高效小型沼气工程的设计与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
  - [13] 方琦, 华永新. 低碳乡村建设中发展沼气技术典型模式分析[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2010(8): 19-22.
  - [14] 张鑫. “四位一体”农业生态系统能流与能值分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
  - [15] 屠云璋. 中国沼气发展现状(2003)[EB/OL]. [2017-07-05]. <http://wenku.baidu.com/view/c50a3bfa770bf78a6529542a.html>.
  - [16] 耿维, 胡林, 崔建宇, 等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 171-179.
  - [17] CHEN Y, YANG G H, SWEENEY S, et al. Household biogas use in rural China: A study of opportunities and constraints[J]. Renewable and sustainable energy reviews, 2010, 14(1): 545-549.
  - [18] 中国农业推广网. 沼气池使用率偏低原因分析与对策[EB/OL]. (2012-03-16)[2017-07-05]. <http://www.farmers.org.cn/Article/ShowArticle.asp?ArticleID=161249>.
  - [19] 王舒娟, 蔡荣. 农户秸秆资源处置行为的经济学分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(8): 162-167.
- (上接第66页)
- 的粪污治理,应该是全社会公益性的事业,长期而又艰巨,必须动员全社会和多渠道力量共同参与实施,才能确保我国畜禽业的健康、可持续发展,环境友好型生态和谐共生。
- 参考文献**
- [1] 林源, 马骥, 秦富. 中国畜禽粪便资源结构分布及发展展望[J]. 中国农学通报, 2012, 28(32): 1-5.
  - [2] 王秋侠. 有效治理畜禽粪便污染, 扼制农业面源污染来源[J]. 吉林农业, 2015, 24(9): 85.
  - [3] 张绪美. 中国畜禽养殖及其粪便污染特征与发展趋势分析[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2008.
  - [4] 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册[EB/OL]. [2017-08-07]. <http://doc.mbalib.com/view/e4c6ba36add152acdffa0bf7db0e5>.
  - [5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策
  - [6] 朱丰华, 程相鲁. 家禽粪便污染治理现状及发展趋势[J]. 新疆畜牧业, 2014, 12(3): 8-10.
  - [7] 高艳臣, 沈维力. 畜牧业产生的环境污染及其治理措施[J]. 养殖技术顾问, 2012(6): 227.
  - [8] 曹英华. 畜禽粪便污染治理研究的新视角: 评《畜禽粪便污染治理的环境成本控制和区域适宜性分析》[J]. 湖南饲料, 2013, 12(5): 3.
  - [9] 廖新伟. 我国畜禽粪便创新性处置影响因素分析[J]. 中国家禽, 2012, 34(5): 1-4.
  - [10] 陈出清, 崔丰元, 庞梅, 等. 中国北方某流域畜禽养殖污染与防治对策研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(2): 39-42.
  - [11] 白延飞, 王子臣, 吴昊, 等. 建立小型分散养殖粪污集中收集处理服务体系的研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(33): 11844-11847.
  - [12] 何瑞银, 姚立健, 骆娅君, 等. 中小型养鸡场鸡粪处理的现状分析[J]. 农机化研究, 2005(6): 71-73.
  - [13] I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.