

天津市规模化畜禽养殖污染现状及减排潜力挖掘

唐丽丽¹, 包景岭², 张维^{3,4}, 高郁杰^{3,4}, 李燃^{3,4}, 常文韬^{3,4}, 温娟³, 孙静^{3*}

(1. 河北工业大学经济管理学院, 天津 300401; 2. 天津市环境保护局, 天津 300191; 3. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191; 4. 天津市联合环保工程设计有限公司, 天津 300191)

摘要 以2014年天津市十大涉农区县规模化畜禽养殖量数据为基础, 核算出天津市规模化畜禽养殖典型污染物COD和氨氮的排放量, 并运用地理信息系统(GIS)对天津市规模化畜禽养殖污染的区域分布特征进行了分析。基于该市规模化畜禽养殖污染现状, 以粪尿处理工艺与排放去向为控减方向, 设定了3种控减情景, 深度挖掘规模化畜禽养殖污染减排潜力。结果表明: 2014年天津市规模化畜禽养殖COD排放量为29 795.20 t, 氨氮排放量为1 805.71 t。通过大力推进商品有机肥生产、实现畜禽污水深度处理与资源化利用以及应用生物发酵床养殖技术等控减措施, 能够实现近12 424.50 t COD和1 044.24 t 氨氮的削减量, 污染减排潜力巨大。在此基础上, 有针对性地提出了天津市畜禽养殖业污染防治对策与建议, 为相关部门进一步开展规模化畜禽养殖污染防治提供参考。

关键词 规模化畜禽养殖; 污染现状; 减排潜力; 天津市

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)34-0110-04

The Current Pollution Situation and Potential of Emission Reduction for Large-scale Livestock and Poultry Breeding in Tianjin

TANG Li-li¹, BAO Jing-ling², ZHANG Wei^{3,4}, SUN Jing^{3*} et al (1. School of Economics and Management, Hebei University of Technology, Tianjin 300401; 2. Tianjin Environment Protection Bureau, Tianjin 300191; 3. Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin 300191; 4. Tianjin United Environmental Engineering Design Co. Ltd., Tianjin 300191)

Abstract The total emissions of COD and NH₃-N are calculated based on the amount in 2014 of livestock and poultry in Tianjin. To apply Geographic Information System (GIS) to analyze the spatial distribution characteristics of livestock manure production in Tianjin. Then on the basis of the development status and pollution situation that we analyzed, with the treatment technique and emission direction of animal feces and urine as the control orientation, we set up to three emission reduction scenario to exploit potential of scale Livestock and poultry pollution at depth. Results indicate that: Tianjin livestock farm emissions 29 795.20 tons of COD and 1 805.71 tons of NH₃-N in 2014. The potential of emission reduction in Tianjin's scale livestock and poultry pollution is tremendous. By taking control measures which include the promotion in commodity organic fertilizer production, depth processing and utilization of sewage and application of fermentation bed cultivation, its annual emissions may be up to 12 424.50 tons of COD and 1 044.24 tons of NH₃-N. Based on the above analysis, we put forward pollution prevention countermeasures for the corresponding problems, which provide some references for relevant departments to develop further pollution prevention of scale livestock and poultry.

Key words Large-scale livestock and poultry breeding; Current pollution situation; Potential of emission reduction; Tianjin City

近年来,随着国家各项惠农政策对畜牧业发展的有力扶持,我国畜禽养殖业得到了蓬勃发展,成为农民增收创收的主要来源。然而,畜禽养殖业带来的生态环境问题日益突出,尤其是传统分散型畜禽养殖逐渐转变为现代化大规模集中生产,致使畜禽粪便与污水排放密度增加,大量未经处理或处理不当的废弃物随意排入外环境,对水源、土壤和空气的污染性更强,加重了环境的负荷压力。据2010年发布的《第一次全国污染源普查公报》显示,畜禽养殖业排放的化学需氧量(COD)和氨氮分别占全国COD和氨氮总排放量的41.90%和41.50%,成为农业面源污染的重要来源^[1]。

“十二五”期间,国家环保部出台了《“十二五”主要污染物总量减排核算细则》(以下简称《核算细则》),将规模化畜禽养殖污染减排纳入国家“十二五”农业源减排的重点工作。在此背景下,上海、南昌等^[2-3]市积极开展了畜禽养殖污染专项治理行动。截至2015年,天津市完成了对718家规模化养殖场的粪污综合治理,实现了规模化畜禽养殖场COD与氨氮排放量分别削减0.95万和0.06万t的目标,但防治形势依然严峻,工程减排潜力空间收窄,使得天津市规模化畜

禽治理进入到一个新时期。笔者全面调研和分析了天津市规模化畜禽养殖污染现状,基于现有治理工作经验,深度挖掘规模化畜禽养殖污染减排潜力,旨在为今后天津市加大规模化畜禽养殖污染治理力度提供明确的治理方向。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源 按照2014年天津市行政区划,以天津市10个涉农区县(东丽、津南、静海、西青、宝坻、蓟州、宁河、北辰、武清、滨海)为划分单元,基于5类畜禽规模化养殖场界定标准,对天津市规模化养殖场数量、养殖总量污水处理情况等原始数据进行统计分析。具体数据来源于《中国畜牧业统计年鉴》《天津市统计年鉴》等及相关农业部门提供的原始资料。

1.2 研究方法 在规模化养殖场正常生产和管理的条件下,畜禽产生的原始污染物主要来自于固体粪便与尿液两部分。一般来讲,畜禽养殖污染物的产生量和排放量与动物种类、生长阶段、饲养方式以及管理水平等密切相关,不同生产方式使得污染物的排放量存在很大差异。也就是说,畜禽产生的污染物并不是全部排入外环境,而是在规模化养殖场中,畜禽粪便污染物经由自然堆沤或生产商品有机肥的方式得以削减;简单存储、厌氧沼气发酵、好氧等污水处理方式对污染物也具有一定的去除效果^[4]。基于此,笔者结合天津市规模化畜禽养殖基本现状,以COD和氨氮为主要污染物,对

基金项目 天津市环保专项(201212);天津市科技支撑计划重点项目(14ZCZDSF00003)。

作者简介 唐丽丽(1991-),女,河北唐山人,硕士研究生,研究方向:环境规划与管理。*通讯作者,高级工程师,从事水环境管理和环境规划研究。

收稿日期 2016-10-12

该市规模化畜禽养殖污染现状进行分析,计算公式如下:

$$Q_{\text{排放}} = Q_{\text{产生}} - Q_{\text{削减}}$$

$$Q_{\text{产生}} = \sum (P_i \times e_{i,k}) \times 10^{-3}$$

$$Q_{\text{削减}} = Q_{\text{产生}} \times r_{i,j,k}$$

式中, $Q_{\text{排放}}$ 、 $Q_{\text{产生}}$ 、 $Q_{\text{削减}}$ 分别为各类规模化养殖场主要污染物的排放量、产生量与削减量,t; P_i 为规模化养殖场各类畜禽

存(出)栏量,其中,生猪、肉牛、肉鸡以出栏量计,奶牛、蛋鸡以存栏量计,头或只; $e_{i,k}$ 表示各类畜禽粪污产污系数,为确保核算统一性采用“十二五”规模化畜禽养殖场粪污产污系数(表1); $r_{i,j,k}$ 为各类规模化养殖场在粪污处理模式j下的第k种污染物去除率,现状分析中采用现阶段国家认定的天津市在该领域的污染物平均去除率^[5](表2)。

表1 “十二五”规模化畜禽养殖场粪污产污系数

Table 1 Pollutants producing coefficient of large-scale livestock and poultry farms during the “12th Five-Year” period

指标 Indicators	猪 Pig kg/(头·a)	奶牛 Cow kg/(头·a)	肉牛 Beef kg/(头·a)	蛋鸡 Layer kg/(只·a)	肉鸡 Broiler kg/(只·a)
COD	36.00	1 065.00	712.00	3.32	0.99
氨氮 NH ₃ -N	1.80	2.85	2.52	0.10	0.02

表2 规模化畜禽养殖场污染物去除率

Table 2 Pollutant removal rate of large-scale livestock and poultry farms %

排放源 Emission source	平均去除率 Average removal rate	
	COD	氨氮 Ammonia nitrogen
猪 Pig	85.14	37.79
奶牛 Cow	85.48	32.35
肉牛 Beef	89.44	29.65
蛋鸡 Layer	89.67	69.32
肉鸡 Broiler	87.10	60.94

2 结果与分析

2.1 天津市规模化畜禽养殖污染现状 近年来,天津市畜牧业生产呈稳中有升态势,据《天津市统计年鉴 2014》显示,全市畜禽养殖业产值占农业总产值的 50.96%,已成为天津市农村经济的“半壁江山”。截至 2014 年底,天津市规模化养殖主要以生猪、奶牛、肉牛、蛋鸡和肉鸡为主,共 1 680 家。依据畜禽污染物排放总量计算公式,对天津市规模化畜禽养殖 COD、氨氮排放量进行核算,结果显示,2014 年全市规模化畜禽养殖 COD 排放量为 29 795.20 t,氨氮排放量为 1 805.71 t,分别为当年农业源污染物排放总量的 26.17% 和 30.37%,成为天津市农业面源污染的重要来源。

为了进一步了解天津市规模化畜禽养殖污染的区域差异性,运用地理信息系统(GIS)对天津市规模化畜禽养殖污染负荷的空间分布特征进行了探讨。从图 1、2 可见,COD 污染负荷最大的是武清区,其次是宝坻区和宁河区;氨氮污染负荷比较严重的为武清区、宁河区、宝坻区。由此可知,天津市畜禽污染负荷存在着分布不均现象,其中污染负荷较大的区县主要集中于武清、宝坻和宁河等传统农业区县,与规模化畜禽养殖总量的分布情况基本吻合。

将 5 类规模化畜种的排放量进行对比分析,由图 3、4 可知,规模化各畜种 COD 排放量按从大到小依次为奶牛、生猪、蛋鸡、肉牛、肉鸡;规模化各畜种氨氮排放量从大到小依次为生猪、蛋鸡、奶牛、肉鸡、肉牛。这与现阶段各畜种的产污系数、排污量测算方法及全市畜牧业养殖结构密切相关,

尤其是规模化畜禽养殖结构与养殖规模决定了畜禽养殖污染物的排放量。

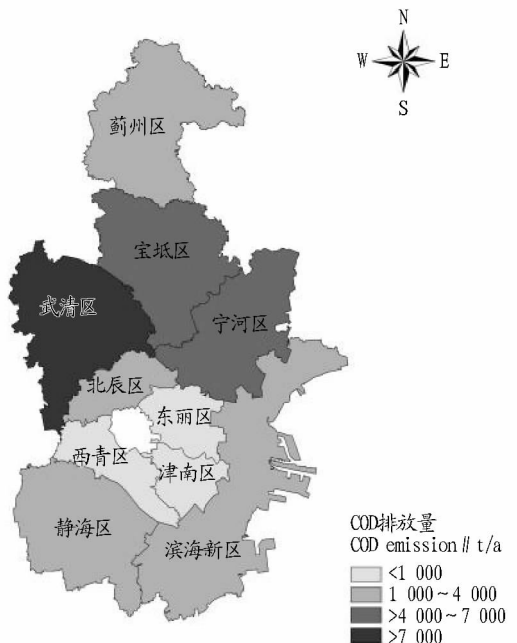


图1 天津市规模化畜禽养殖 COD 污染负荷分布

Fig. 1 COD pollution loading of large-scale livestock and poultry breeding in Tianjin City

2.2 天津市规模化畜禽养殖污染减排潜力挖掘 相关评估结果表明^[6-7],不同粪尿处理方式对规模化畜禽养殖污染物排放量有很大影响,具有不同的减排效益。由此,根据《核算细则》要求以 5 类畜种为规模化畜禽污染治理的主要范畴,结合规模化畜禽减排 5 种鼓励模式,基于天津市规模化畜禽养殖污染治理现状,以粪尿处理工艺与排放去向为控减方向,设定 3 种控减情景,深度挖掘规模化畜禽养殖污染减排潜力。

2.2.1 情景 1. 大力推动商品有机肥生产。目前,天津市规模化养殖场粪便处理方式有自然堆沤、售卖、沼气工程、回填牛床、用于生态养殖以及自行生产有机肥等多种形式,并以粪肥还田为主要模式。在传统的畜禽养殖模式下,畜禽粪便中的氮、磷、钾等多种营养成分能够通过农田自身消化,削减

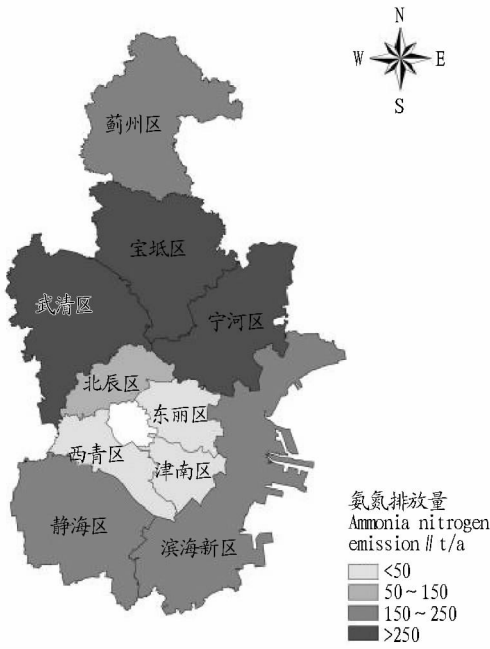


图2 天津市规模化畜禽养殖氨氮污染负荷分布

Fig.2 Ammonia nitrogen pollution loading of large-scale livestock and poultry breeding in Tianjin City

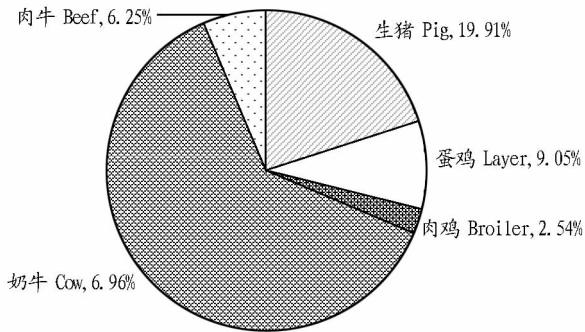


图3 规模化养殖场各畜种 COD 排放量占比

Fig.3 Proportion of COD emission of each breed in large-scale farm

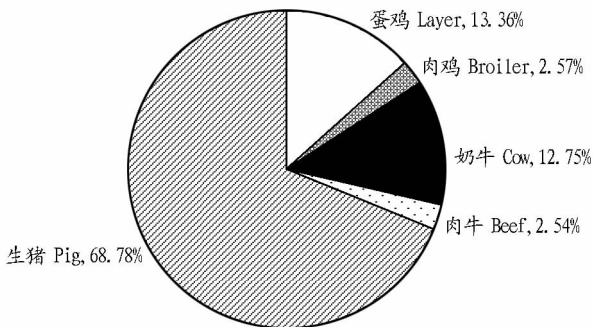


图4 规模化养殖场各畜种氨氮排放量占比

Fig.4 Proportion of ammonia nitrogen emission of each breed in large-scale farm

粪便污染物排放,维持土壤肥力^[8]。然而,粪便中还含有大量的铜、铁等重金属元素及病原菌,如果对畜禽粪便不加以无害化处理便施入农田,将对地下水、土壤及农产品的安全

造成严重危害。此外,近5年来天津市耕地面积以1.2%的速度逐年递减,尤其是近郊区县(东丽、北辰、津南、西青、滨海5个区县)的耕地面积仅占全市耕地面积的18.29%,随着城市近郊区县规模化畜禽养殖场数量的不断增加,配套耕地的缺乏使得大量集中的畜禽粪便难以被消纳,随意堆放于周围,严重威胁着生态安全。由此,生产有机肥是解决畜禽粪便出路的重要途径^[9]。

根据实地调研,全市主要农畜产品主产区将建设12座商品化有机肥厂,分布于蓟县、宝坻、武清、静海、宁河。据有机肥厂生产数据结果显示,每4.2t畜禽粪便可生产1.360万t有机肥,以1.000万t畜禽粪便可生产有机肥0.025t计,预计有机肥厂年产有机肥超过6.000万t,畜禽发酵原料预计需求量超过24.000万t。由此,在满足最佳运距的前提下,在有机肥厂10km以内^[10],对围绕有机肥厂周围的规模化养殖场进行治理模式提升项目的选取,即固体粪便采用干清粪工艺收集并防雨、防渗暂存,运输至有机肥厂生产商品有机肥,供本地农田和周边外地利用(图5)。

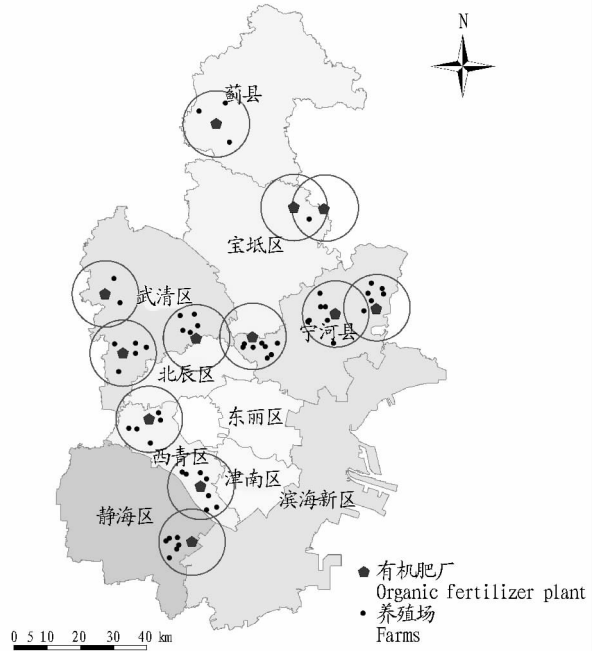


图5 天津市商品有机肥厂分布及收纳范围

Fig.5 Distribution and storage area of commercial organic fertilizer plant in Tianjin City

依据污染物削减量的测算方法,进行年减排量测算,结果表明:在此情景下,基本能够实现COD新增年削减量2421.58t,氨氮新增年削减量213.02t。

2.2.2 情景2. 实现污水深度处理与资源化利用。天津市规模化畜禽养殖场污水治理经历了简单处理、达标治理、综合利用3个阶段,且全市42.00%以上的规模化畜禽场完成了雨污分流、污水储存等一系列污水治理工程的建设工作^[11]。然而整体来说,仍普遍存在污水设施管理不当等问题,且大部分未经处理的畜禽粪尿污染物经地表径流排入附近河道池塘,提高了水环境中的有机物浓度,加剧了水体的富营养化,加重了环境的污染负荷。由此,在总结天津市“十

二五”规模化畜禽场污染综合治理工程实施效果的基础上,以污水处理为核心,本着资源利用、技术可行、经济合理、因地制宜的原则,将畜禽污染治理模式分为生态还田、达标排

放、污水纳管和循环利用4种模式。规模化畜禽养殖污水处理工艺流程见图6。

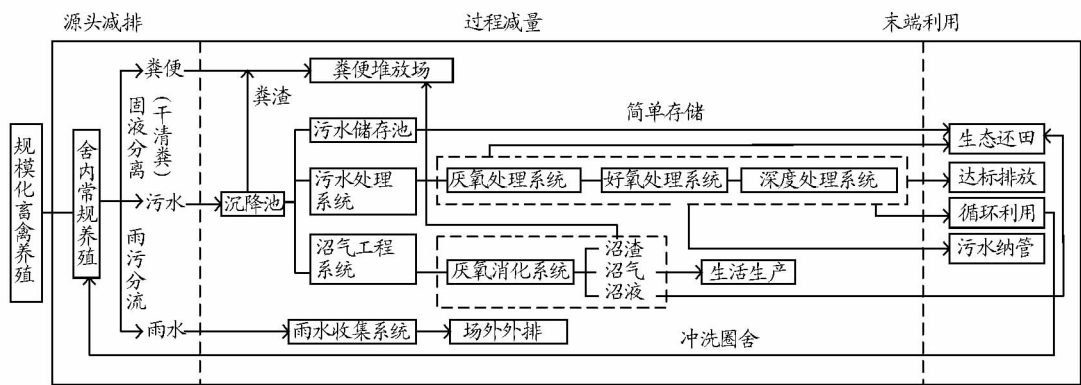


图6 规模化畜禽养殖污水处理工艺流程

Fig. 6 Sewage treatment process of large-scale livestock and poultry breeding

基于此,从更为严格的环境政策与减排效益最大化的角度,对天津市规模化畜禽养殖场粪污处理方式进行提升和完善。以污染负荷较大的武清、宝坻和宁河为研究对象,在已完成治理的生猪和肉牛养殖场应用厌氧-好氧-深度处理系统,实现尾水的达标排放;在建有自由卧床的奶牛养殖场实施循环利用模式,将养殖过程中产生的尿液、清洗栏舍和挤奶厅的污水经处理后回用于圈舍冲洗。由于这2种模式的构筑物包括预处理系统、厌氧-好氧处理设施、深度处理设施以及污水纳管设施等一次性投资较大;加上每年需投入一定的资金确保设施日常运行与维护,中小规模养殖场很难负担,因此,选取大型规模化养殖场[生猪(出栏) $\geq 10\ 000$ 头,奶牛(存栏) ≥ 500 头,肉牛(出栏) ≥ 500 头]进行污水处理设施升级改造。根据《核算细则》认定的达标排放与循环利用2种鼓励模式的去除率,即COD去除率分别为99.00%和97.00%,氨氮去除率分别为94.00%和89.00%,对17个生猪养殖场和54个奶牛养殖场进行减排挖掘,结果表明,在这种情景下,COD新增年削减量8 174.81 t,氨氮新增年削减量657.25 t。

2.2.3 情景3. 应用生物发酵床养殖技术。除水体污染、土壤污染外,畜禽养殖产生的温室气体也是大气污染的重要组成部分。Hansen等^[12-13]研究表明,与传统养殖相比发酵床猪场每小时 N_2O 的排放量基本不变或略有下降, CH_4 的排放量下降50%以上。由此,基于低碳经济视角,在生猪养殖场内应用生物发酵床养殖技术具有较高的环境经济效益,并有效促进了流域水环境保护与养殖业的协调发展。生物发酵床治理畜禽污染主要是依据微生物理论和生物发酵理论,通过在畜禽养殖舍的垫草中构建一个以有益菌为强势菌的生物运行系统,进而对畜禽排泄物进行直接处理,抑制大肠杆菌、泻痢杆菌等有害生物的繁殖。在整个养殖过程中无需冲洗猪舍,其排泄物经垫料中的微生物快速降解和消化,实现了污染物的零排放^[14]。

天津市一直比较重视生物发酵床技术的推广应用,于

2012年将该技术引进到于桥水库周边养殖场中,为区县养殖业注入了新的活力。目前,生物发酵床养殖技术仅适用于少数中小规模生猪养殖场,尚未在散户与大型养殖场有效实施。由此,以天津市小型规模生猪养殖场(2014年天津市小型生猪规模养殖场423户,共出栏生猪34.17万头)为研究对象,假定该模式下COD和氨氮去除率为100%,对污染物削减量进行测算。结果表明,基本能够实现COD新增年削减量1 828.11 t,氨氮新增年削减量173.97 t。

3 结论与建议

3.1 结论 通过大力推进商品有机肥生产、实现畜禽污水深度处理与资源化利用以及应用生物发酵床养殖技术等控制措施,能够实现近12 424.50 t COD和1 044.24 t氨氮的削减量,可见天津市规模化畜禽养殖污染减排的潜力巨大。

3.2 建议 今后应充分认识到规模化畜禽养殖污染减排工作的重要性,在此基础上,采取积极有效措施,加快推进规模化畜禽养殖污染减排工作的开展。

3.2.1 科学制订区域畜牧业发展规划。针对各区县环境负荷不均的现象,合理配置区域畜禽养殖场的养殖规模与养殖结构,推动养殖布局由养殖密集、对环境影响大的区域向环境承载力较大的区域调整转移,即根据环境容量来确定养殖场的规模,合理布局禁养区、限养区和饲养区,通过构建相对集中、布局合理的养殖小区达到管理方便、降低污染危害的目的。

3.2.2 持续推进有机肥生产激励政策。与一般的工业污染物不同,畜禽粪便与污水是宝贵的有机质资源。未来随着天津市畜禽产品需求的持续增长,畜禽粪便排放量将不可避免地增加,因此必须完善相关激励政策。针对武清、宁河、宝坻等养殖大县,利用信贷、税收与补贴等经济激励政策支持商品有机肥厂的设施建设与技术改进^[15],促进过剩粪肥的有效利用,为有机肥的商业化运作提供良好的政策环境;提高种植户对商品有机肥的认可程度,通过制订相应的优惠政

(下转第118页)

染危害程度最大,往往需要保护,其余地区则需要进行防治。因此,在Y镇这样的小尺度区域,重金属污染评价适宜采用内梅罗指数的改进方法,因为该方法更符合实际,对于制订针对性调控措施具有更大的参考价值。

参考文献

- [1] 范拴喜,甘卓亭,李梅娟,等.土壤重金属污染评价方法进展[J].中国农学通报,2010,26(17):310-315.
- [2] LIN Y P. Multivariate geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil heavy metals[J]. Environmental geology,2002,42(1):1-10.
- [3] 吴虹虹,戴塔根,方建武,等.长沙、株洲、湘潭三市土壤中重金属元素的来源[J].地质通报,2007,26(11):1453-1458.
- [4] 陈怀满.土壤-植物系统中的重金属污染[M].北京:科学出版社,1996.
- [5] HU Y N, CHENG H F. Application of stochastic models in identification and apportionment of heavy metal pollution sources in the surface soils of a large-scale region[J]. Environmental science & technology,2013,47(8):3752-3760.
- [6] 肖智,刘志伟,毕华.土壤重金属污染研究述评[J].安徽农业科学,2010,38(33):18812-18815.
- [7] 方如康.环境学词典[M].北京:科学出版社,2003:530.
- [8] 卢瑛,龚子同,张甘霖,等.南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J].应用生态学报,2004,15(1):123-126.
- [9] 马成玲,周健民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究:以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.

- [10] 潘勇军,陈步峰,肖以华,等.广州市城市森林土壤重金属污染状况及其评价[J].生态环境,2008,17(1):210-215.
- [11] 沈体忠,肖杰.绿色食品产地土壤重金属生态风险预警评估:以湖北省天门市为例[J].农产品质量与安全,2013(6):65-68.
- [12] 何厅厅,赵艳玲,李建华,等.基于GCM_CB模型的土壤重金属污染评价[J].环境工程学报,2012,6(10):3781-3786.
- [13] RAN J, WANG D, WANG C, et al. Using portable X-ray fluorescence spectrometry and GIS to assess environmental risk and identify sources of trace metals in soils of per-urban areas in the Yangtze Delta region, China[J]. Environmental science: Processes & impacts, 2014, 16(8):1870-1877.
- [14] LEIVUORI M. Heavy metal contamination in surface sediments in the Gulf of Finland and comparison with the Gulf of Bothnia[J]. Chemosphere,1998,36(1):43-59.
- [15] 夏立江,王宏康.土壤污染及其防治[M].上海:华东理工大学出版社,2001.
- [16] 钱新锋,沈国清.苏南河网地区河岸带土壤重金属污染生态风险评价[J].南京师大学报(自然科学版),2012,35(4):78-83.
- [17] 国家环境保护局南京环境科学研究所.土壤环境质量标准:GB 15618-1995[J].北京:中国标准出版社,1996.
- [18] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal,1969,2(3):108-118.
- [19] MULLER G. Die schwermetallbelastung der sedimente des neccars und seiner nebenflusse: Eine bestandsaufnahme [J]. Chemiker-Zeitung, 1981, 105:156-164.
- [20] NEMEROW N L. Industrial water pollution: Origins, characteristics and treatment[M]. London: Addison-Wesley Pub Co,1978.

(上接第113页)

策,改变“重化肥轻有机肥”的现象,增加有机肥的施用量,减轻化肥对环境的影响;在政府部门、有机肥企业、规模化养殖场以及种植户之间建立合理的畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式(图7)。

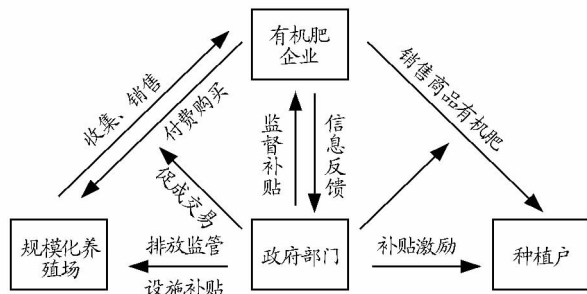


图7 畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式

Fig.7 Management mode of resource utilization of livestock and poultry wastes

3.2.3 积极探索全过程污染治理模式。畜禽养殖污染物的产生与排放贯穿于畜禽养殖的全过程,因此,采取适宜的污染治理模式,通过源头减排、过程减量、末端治理逐步强化对畜禽养殖污染减排治理技术的研究。一是抓好畜禽养殖源头减排,采取科学的饲养配方、清洁的干清粪工艺以及生物发酵床技术,在满足畜禽生产效率与产量需求的同时,从源头削减畜禽污染产生量。二是做好畜禽养殖过程减量工作,在畜禽养殖过程中,禁止使用化学消毒药品以及抗生素类药

物,降低粪污中的污染物含量。三是开展畜禽养殖末端治理工程,实现畜禽粪便与污水的资源化循环利用与达标排放。

参考文献

- [1] 环保部,国家统计局,农业部.第一次全国污染源普查公报[Z].2010:5-10.
- [2] 王振旗,钱晓雍,沈根祥.上海市规模化畜禽场污染减排模式分析与应用[J].农业环境科学学报,2014,33(10):2030-2035.
- [3] 郭军,海热提,王芳.南昌市畜禽养殖业污染减排研究[J].环境科学与技术,2011,34(12H):88-92.
- [4] 董红敏,朱志平,黄宏坤,等.畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J].农业工程学报,2011,27(1):303-307.
- [5] 环境保护部.关于印发《“十二五”主要污染物总量核算细则》的通知[R].北京:环境保护部,2011.
- [6] 方颖,赵敏燕,吴以中,等.太湖流域畜禽养殖不同污染减排模式的环境绩效评估[J].环境科学与技术,2014,37(60):311-314.
- [7] 金成舟,方炳南,杨翘强,等.典型养殖场污水治理模式分析与比较[J].北京农业,2011(15):20-21.
- [8] 贾伟,李宇虹,陈清.京郊畜禽粪肥资源现状及其替代化肥潜力分析[J].农业工程学报,2014,30(8):156-166.
- [9] 吴根义,廖新伟,贺德春,等.我国畜禽养殖污染防治现状及对策[J].农业环境科学学报,2014,33(7):1261-1264.
- [10] 吴丽花.农户购买有机肥的影响因素分析:以江苏省为例[D].南京:南京农业大学,2010.
- [11] 李纪周.天津市规模化畜禽养殖场粪污治理及资源化利用调查研究[D].天津:中国农业科学院,2011.
- [12] HANSEN J E, LACIS A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. Nature, 1990, 346(6286):713-719.
- [13] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [14] 刘顺平.渝东北地区生物发酵床养殖技术应用探析[J].环境与可持续发展,2015(5):191-192.
- [15] 任顺荣,邵玉翠,王正祥.天津市利用畜禽废弃物生产有机肥料的现状与问题[J].天津农业科学,2004,10(4):37-40.