

宣梦,许振成,吴根义,等.我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J].农业资源与环境学报,2018,35(2):126-132.

XUAN Meng, XU Zhen-cheng, WU Gen-yi, et al. Analysis of Utilization of Fecal Resources in Large-scale Livestock and Poultry Breeding in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(2): 126-132.

我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析

宣梦¹,许振成²,吴根义^{1,2*},欧玮祺¹,李婧¹,何文博¹

(1.湖南农业大学资源环境学院,湖南长沙410128;2.环境保护部华南环境科学研究所,广东广州510655)

摘要:针对我国规模化畜禽养殖污染严重的突出问题及推动粪污资源化利用的技术需求,以“十二五”污染物总量减排认定规模化畜禽养殖场为例,统计了粪污资源化利用模式的类别及比例,并结合全国典型地区规模化畜禽养殖粪污治理现状对其进行了深入调研与分析。结果表明:不同规模、不同畜种粪污资源化利用模式存在一定差异,生猪、奶牛、肉牛养殖采用储存农用模式处理粪便的占75%以上,蛋鸡、肉鸡养殖采用粪便生产有机肥的占65%左右,粪污资源化利用模式主要与该地区的自然特征、农业生产方式、养殖场规模、经济发展水平等相关;规划不合理、养殖清洁生产严重不足、区域粪污资源化利用模式选择不当是当前我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用中存在的主要问题。

关键词:规模化畜禽养殖;粪污资源化;模式

中图分类号:X713

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)02-0126-07

doi:10.13254/j.jare.2017.0257

Analysis of Utilization of Fecal Resources in Large-scale Livestock and Poultry Breeding in China

XUAN Meng¹, XU Zhen-cheng², WU Gen-yi^{1,2*}, OU Wei-qi¹, LI Jing¹, HE Wen-bo¹

(1.College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environment Protection, Guangzhou 510655, China)

Abstract: The purpose of this paper is to develop a systematic investigation for the serious problems of livestock and poultry breeding in China and the technical demand of promoting the utilization of manure. Based on the status quo of large-scale livestock and poultry farming in typical areas in China, the work had been done based on statistics and analysis of the modes and proportions of utilization of manure resources. Such a statistical method had been applied to the country-identified large-scale farm, which the total amount of pollutants reduction was in accordance with the "12th Five-Year Plan" standards. The results showed that there were some differences in the modes of resource utilization due to livestock and poultry manure at different scales and types: (1) Hogs, dairy cattle and beef cattle in total accounted for more than 75% of the agricultural manure storage; (2) Laying hens and broiler chickens accounted for about 65% of the total production of the organic manure produced by fecal production. It is demonstrated that the major modes of resource utilization of dung and urine were related to the natural characteristics, agricultural production methods, farming scale and economic development level in the area. It was concluded that the unreasonable planning, lacking of cleansing during breeding, false selection of manure utilizing modes were the major problems in China's large-scale livestock and poultry fecal resources utilization.

Keywords: large-scale livestock and poultry breeding; fecal resources; mode

近几年,我国畜禽养殖业呈现散养户—专业户—规模化的梯度发展,极大地丰富了人民生活需求,根据2016年中国统计年鉴,我国2015年大牲畜年底养

殖量数为12195.7万头,其中牛养殖量为10817.3万头,占88.7%;生猪年出栏量达到70825万头,年末存栏量45112.5万头,禽蛋产量达到2999.2万t^[1]。但规

收稿日期:2017-10-25 录用日期:2017-12-20

基金项目:湖南省重点研发计划项目“养殖业农业面源污染发生规律与减排机制”(2016JC2003)

作者简介:宣梦(1992—),女,陕西西安人,硕士研究生,主要从事农业面源污染研究。E-mail:393053220@qq.com

*通信作者:吴根义 E-mail:wugenyi99@163.com

模化的发展带来的环境污染问题也日渐突出,根据第一次全国污染源普查公报结果显示,规模化畜禽养殖粪便产生量 2.43 亿 t,尿液产生量 1.63 亿 t,畜禽粪便污染已居农业源污染之首^[2]。

畜禽养殖粪污采用工业化治理受养殖低利润与高风险的约束,难于稳定正常运行;畜禽养殖粪污在不合理排放造成环境污染时是污染物,但如粪污作为农业种植施肥利用时就是一种资源,我国既是养殖大国,也是种植业大国,但因种养分离,养殖粪污资源化利用受阻,一方面大量排放的粪污对环境造成污染,另一方面农业种植时大量施用化肥造成土壤有机质下降^[3-5],农业面源污染加剧。畜禽粪污是提供土壤有机质的重要来源,畜禽粪污肥料化利用既可有效解决养殖污染问题,同时也可提高土壤有机质含量、减少种植氮磷流失^[6-7]。

我国地域辽阔,各区域之间自然条件、农业生产方式、经济发展水平差异大,粪污资源化利用受这些条件的影响大,通过总结现有养殖场粪污资源化利用的经验与存在的问题,探讨符合各区域特点的粪污资源化模式,对全面推动畜禽粪污资源化利用具有积极意义。

1 “十二五”污染物总量减排认定规模化畜禽养殖场治理模式分析

为全面掌握我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用模式,对我国“十二五”期间国家污染物总量减排考核获得认定的规模化畜禽养殖场粪污治理设施进行统计分析,从粪便和污水两方面着手分析我国不同区域、不同规模、不同畜种粪污治理设施上的特点。根据减排要求以及核查相关规定,五类畜禽规模化养殖场规模确定为:生猪 ≥ 500 头(出栏)、奶牛 ≥ 100 头(存栏)、肉牛 ≥ 100 头(出栏)、蛋鸡 $\geq 10\ 000$ 只(存栏)、肉鸡 $\geq 50\ 000$ 只(出栏)。

1.1 我国规模化养殖场粪污处理模式分析

“十二五”全国污染物总量减排考核共认定规模化畜禽养殖粪污治理项目 61 054 家,其中生猪养殖场占 68%。从粪便和污水两个部分对其主要治理方式进行统计分析,结果如表 1。

从表 1 结果可知,我国规模化畜禽养殖粪污处理仍以肥料化利用模式为主。从粪便处理结果看,规模化畜禽养殖粪便处理以储存农业利用和生产有机肥为主,粪便生产沼气的方式较少,全国占比在 1%左右。从养殖种类分析,生猪、奶牛、肉牛养殖粪便处理模式主要以储存农用为主,占比均在 75%以上,而蛋鸡、肉鸡养殖粪便生产有机肥的比例达到 65%左右。这主要是由于生猪、奶牛、肉牛养殖粪便含水率高,生产有机肥成本高、难度大,养鸡大部分采用笼养、粪便清理难度小,粪便含水率低,便于有机肥的生产。从污水处理结果看,污水主要以还田利用方式为主,全国 35%左右的规模化养殖场采用储存农业利用的方式,55%左右的规模化养殖场采用厌氧后农业利用的方式,采用污水厌氧+好氧达标排放或循环利用模式的仅占 7%左右,采用生物发酵床养殖的仅占 2%左右。

1.2 区域规模化养殖场粪污治理模式分析

参考代思汝^[8]对我国畜禽养殖污染防治模式分区研究,根据我国农业经济自然条件,结合我国畜禽养殖分布和粪污治理现状,将我国(不包含港澳台、西藏以及南沙群岛)分为 6 个区,分别为:东北平原区、中部平原区、南方丘陵区、南方水网区、西部干旱区、西南山区,按分区对规模化畜禽养殖粪污治理模式进行统计,结果如表 2。

东北平原区包括:辽宁、吉林、黑龙江、内蒙东部,该区域年均气温低,地势平坦,土地肥沃,集中连片种植面积大。从区域粪污治理模式统计看,该区域粪便肥料化利用为主,且粪便生产有机肥比例较高,特别

表 1 “十二五”污染物总量减排考核认定的规模化养殖场粪污治理模式统计表

Table 1 Statistics of "12th Five-Year" national emission reduction project governance model

地区	种类	全国认定情况		粪便处理模式占比/%			污水处理模式/%				
		养殖场数	养殖量 (万头/万羽)	储存 农用	生产 有机肥	生产 沼气	储存农业 利用	厌氧农业 利用	达标排放	厌氧好氧 回收利用	无污水 (垫草垫料)
全国	生猪	42 054	16 311	80.09	18.81	1.10	30.86	59.56	2.71	4.59	2.28
	奶牛	4 125	404	77.49	21.22	1.29	57.41	37.02	1.98	3.07	0.44
	肉牛	3 052	263	76.44	22.55	1.01	56.91	38.77	1.21	1.51	1.58
	蛋鸡	7 070	43 200	37.94	61.41	0.65	—	—	—	—	—
	肉鸡	4 753	180 111	28.68	71.03	0.29	—	—	—	—	—

注:蛋鸡、肉鸡养殖污水产生量较少,大部分采用储存农业利用方式,基本不会对环境造成影响,未统计其污水处理情况。

表 2 “十二五”期间各分区规模化畜禽养殖粪污治理模式统计表
Table 2 Statistics of "12th Five-Year" regional emission reduction project governance model

区域	养殖种类	认定养殖场数	认定养殖量 (万头/万羽)	粪便利用模式占比/%			污水治理与利用模式/%				
				储存农业利用	生产有机肥	生产沼气	储存农用	厌氧农用	达标排放	厌氧好氧回收利用	垫草垫料
东北平原区	生猪	4 074	1 576	77.60	21.64	0.76	72.68	20.13	0.76	0.44	5.99
	奶牛	858	76	76.12	23.45	0.43	73.33	23.18	1.98	0.70	0.70
	肉牛	927	103	72.15	27.73	0.11	74.12	22.86	0.33	0.22	2.37
	蛋鸡	1 009	5 752	22.91	77.04	0.00	—	—	—	—	—
	肉鸡	706	18 113	20.61	78.64	0.75	—	—	—	—	—
中部平原区	生猪	9 888	4 486	61.45	36.98	1.57	42.71	50.63	2.84	1.37	2.45
	奶牛	2 129	219	63.02	34.97	2.01	51.48	44.72	1.13	2.49	0.19
	肉牛	985	97	51.52	47.29	1.19	46.09	49.95	2.74	0.61	0.61
	蛋鸡	3 620	18 118	24.11	75.73	0.16	—	—	—	—	—
	肉鸡	2 657	112 014	11.84	87.17	0.67	—	—	—	—	—
南方丘陵区	生猪	9 750	3 730	81.17	18.04	0.90	15.19	74.96	2.17	7.11	0.57
	奶牛	46	13	68.35	29.47	2.17	32.61	50.00	4.35	13.04	0.00
	肉牛	72	5	85.88	13.50	0.62	41.67	51.39	2.78	4.17	0.00
	蛋鸡	298	3 187	25.63	73.36	0.67	—	—	—	—	—
	肉鸡	586	1 1482	53.41	44.74	0.17	—	—	—	—	—
南方水网区	生猪	8 092	3 430	67.19	29.66	2.48	22.63	59.92	6.70	7.52	3.24
	奶牛	237	21	48.46	51.48	0.06	24.29	50.64	13.74	10.07	1.27
	肉牛	110	9	47.26	52.74	0.00	26.55	67.56	0.00	1.82	4.07
	蛋鸡	1 154	9 699	27.25	72.01	0.74	—	—	—	—	—
	肉鸡	496	31 364	12.90	86.80	0.29	—	—	—	—	—
西部干旱区	生猪	2 275	662	88.27	11.63	0.09	65.50	31.03	0.31	1.49	1.50
	奶牛	752	67	77.33	19.03	3.46	74.87	21.14	0.40	2.92	0.40
	肉牛	651	36	83.92	16.08	0.00	74.44	21.56	0.00	2.01	2.00
	蛋鸡	478	2 747	64.35	35.41	0.24	—	—	—	—	—
	肉鸡	104	2 155	77.72	22.28	0.00	—	—	—	—	—
西南山区	生猪	7 975	2 428	86.31	12.43	0.74	12.70	80.29	0.50	4.94	1.57
	奶牛	103	7	70.44	29.56	0.00	17.48	72.82	1.94	7.77	0.00
	肉牛	307	12	75.92	23.91	0.17	15.64	77.85	0.98	4.89	0.65
	蛋鸡	511	3 697	24.90	69.60	5.50	—	—	—	—	—
	肉鸡	204	4 983	37.55	58.59	3.86	—	—	—	—	—

是蛋鸡、肉鸡养殖场 80%左右采用粪便生产有机肥方式,这主要是由于该区域集中连片的种植面积大,需肥量大,但该区域种植季节短,非施肥间隔期长,粪便生产有机肥便于储存与运输;污水以储存农业利用为主,这主要是由于东北地区地势平坦、集中连片种植面积大,便于污水浇灌,但受气温低的影响采用厌氧农业利用比例明显低于全国平均水平;另外因温度较低,适合生物发酵床养殖,采用垫草垫料方式养殖比例明显高于全国平均水平,其中生猪养殖采用生物发酵床方式的占比达到 5.99%。

中部平原区包括:北京、天津、河北、河南、山西、山东、安徽北部,该区域气温较低、地势平坦、设施化

农业种植水平高,是全国棉花、花生、芝麻、烤烟、蔬菜的主要生产基地,也是我国大型规模养殖场分布最多的地区。从区域粪污治理模式统计看,该区域粪便肥料化利用为主,粪便生产有机肥比例全国最高,规模化生猪、奶牛、肉牛养殖场粪便生产有机肥的比例达到 40%左右,这主要是由于该区域大型规模养殖场多,粪便相对集中,生产有机肥便于储存、降低运输成本;污水以农业利用为主,厌氧后农业利用比较高,采用好氧处理排放或循环利用比例略高于全国平均水平,这主要是由于该区域内养殖场规模大、配套沼气池比例较高,且区域地势平坦、设施化农业比例高,沼液需求量大、施用方便,而采用好氧处理受温度较低

影响,建设成本高、运行维护难度大。

南方丘陵区包括:湖南南部、广东、海南、江西、安徽南部,该区域气温较高,河网水系密集,属于亚热带和热带气候,年均温度 12℃以上,主要种植水稻(2~3季),人均 GDP 较高,降雨量丰富,奶牛、肉牛养殖量较低。从区域粪污治理模式统计看,该区域粪便肥料化利用为主,畜禽粪便多采用储存农用模式,主要是由于南方气温较高,粪便在自然储存过程即可完成厌氧发酵环节,种植间隔期短,粪便储存时间短,相对于生产有机肥来说,储存农业利用成本更低。污水以厌氧农业利用方式为主,规模化生猪养殖场污水厌氧农用模式占比达到 75%。采用好氧处理排放或循环利用比例高于全国平均水平,主要是由于该区域气温较高,适合污水厌氧沼气发酵处理,且国家在农村沼气能源开发利用方面进行了扶植和引导,该地区养殖场大部分已配套有厌氧沼气池。

南方水网区包括:浙江、福建、江苏、上海、湖北、湖南北部,该区域环境容量较小,人均土地面积小,人均 GDP 高,相对其他地区对畜禽养殖污染治理要求更高,主要分布大型规模养殖场。区域粪污治理模式统计看,该区域粪便肥料化利用为主,地区规模化养殖场粪便生产有机肥的比例较高,规模化生猪、奶牛养殖场粪便生产有机肥比例分别为 30%与 51%。主要是因为该地区环境容量较小,人均 GDP 水平较高,消纳土地较少。污水处理主要以厌氧处理为主,采用深度处理排放或循环利用比例全国最高,占比达到 20%左右,主要是由于该地区主要分布大型规模化养殖场,人均耕地面积较少,人均 GDP 高,对畜禽养殖治理模式配套设施建设提供一定的经济支撑,相对于我国其他地区污水处理力度较大。

西部干旱区包括:陕西、甘肃、云南、新疆、宁夏、内蒙西部,该区域地广人稀、气候干燥、降雨量少,经济相对较落后,区域环境容量较大。区域内规模化畜禽养殖场分布较少,其粪污处理模式主要以储存农用为主。

西南山区包括:四川、重庆、广西、贵州、湖南西部,该区域地形主要以丘陵高山为主,人均耕地面积少,交通不便。区域粪污治理模式统计看,该区域粪便肥料化利用为主,畜禽养殖粪便处理主要以储存农用为主,规模化生猪养殖场粪便储存农用比例高达 86%。主要是由于该地区主要分布中小型规模化养殖场,且交通不便,多采取就近处理原则。污水处理厌氧农用模式占比在 80%左右,主要该地区人均耕地面积

较少,年均温度较高,适合污水厌氧沼气发酵处理,同时该地区政府积极推动畜禽养殖深度处理,规模化养殖场污水处理厌氧-好氧-回用比例达到了 5%左右,略高于全国平均水平。

2 粪污资源化利用中存在的主要问题分析

2.1 规划不合理,区域内粪污肥料化利用受阻

肥料化利用是当前养殖粪污处理的主要方式,粪污肥料化利用的前提是“种养平衡”,确保养殖场养殖规模与消纳土地匹配。种养是否平衡一般通过耕地畜禽承载量进行评价。

耕地畜禽承载量计算方法:

$$L_R = \frac{O_R}{S}$$

式中: L_R 为耕地畜禽实际承载量(生猪当量· hm^{-2}); O_R 为生猪当量养殖数量(头); S 为耕地面积(hm^2)。

标准生猪当量折算方法:根据中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所和环境保护部南京环境科学研究所编写的我国第一次全国污染源普查畜禽养殖业产排污系数手册,按主要畜禽产氮量系数折算如表 3。

表 3 畜禽污染物产污系数

畜禽品种	COD	总氮	氨氮	总磷	备注
猪/kg	36	3.7	1.8	0.56	出栏量
奶牛/ $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$	2 131	105.8	2.85	16.73	存栏量
肉牛/kg	1 782	70.8	2.52	8.96	出栏量
蛋鸡/ $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$	7.18	0.5	0.12	0.12	存栏量
肉鸡/kg	2.92	0.06	0.02	0.02	出栏量

根据生猪当量产氮量系数折算,换算比例为 7.4 只蛋鸡、61.7 只肉鸡折算为一头猪,一头奶牛折算为 28.59 头猪,一头肉牛折算为 19.14 头猪^[9]。

通过查阅 2016 年《中国畜牧业年鉴》和《中国国家统计年鉴》,2015 年我国农作物播种面积为 166 374 000 hm^2 ,2015 年年末折算生猪当量养殖量为 308 305 万头,我国现有耕地畜禽承载量平均为 19 头· hm^{-2} 。同时对我国各省地区之间的畜禽承载量进行了统计分析,如图 1。

根据意大利、英国、美国等国家规定 N 每公顷年最大负荷在 250 kg 左右^[10],我国以生猪养殖为主,根据生猪当量产氮量系数折算,每公顷最多容纳粪便 N 含量为 68 头生猪所产粪污。北京、青海省的现有耕地畜禽承载量分别为 69、56 头· hm^{-2} ,接近最大承载

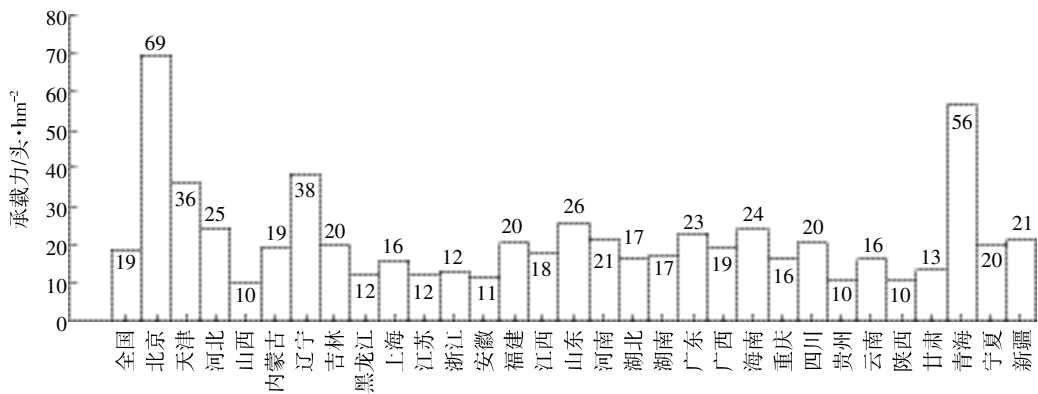


图 1 2015 年我国各省(市)耕地畜禽承载量

Figure 1 Cultivated land load of various provinces in China in 2015

值,全国其他各省地区耕地畜禽承载量基本在 20 头·hm²左右,从这一数据可知我国现有耕地畜禽承载量远低于最大承纳量,只要布局合理,完全可通过肥料化利用方式消纳养殖粪污。

粪污肥料化利用受施用成本的影响,根据李汪晟等^[11]核算采用车辆运输方式粪污肥料化利用的经济运输距离为 3.6 km,而我国实际家庭联产承包责任制的土地政策,畜牧业脱离种植业而独立发展,在实际调研中,部分养殖场没有配套粪污消纳的土地,区域内种养平衡无法实现,导致粪污肥料化利用受阻。合理规划,根据耕地消纳能力合理确定养殖量、优化养殖产业布局是解决养殖污染的基础。

2.2 未形成因地制宜的区域粪污资源化利用典型模式

养殖污染防治起步较晚,加之养殖从业人员综合素质较低,对养殖污染治理技术缺乏基本了解,盲目选择粪污治理模式,导致设施运行费用高、处理效果差等一系列问题。根据“十二五”污染物总量减排考核认定情况,出栏量万头以上的大型生猪规模化养殖场共计 3 410 家,粪污储存农用的共计 732 家,所占比例高达 21.5%,大型规模化养殖场粪污集中,需要消纳的地多,粪污施用运输距离远,部分养殖场为节约成本,存在靠近养殖场周边的土地过量施用或直排,污染周围水域和地下水,并可能导致土壤硝酸盐、磷及重金属的累计问题^[12-14]。我国东北平原区年均气温低、污水采用生化处理建设成本高、运行维护难度大,但从统计结果看东北地区有 4%左右的养殖场采用污水达标排放模式,通过调查发现,该地区采用达标排放模式的养殖场,大部分设施不能正常运行的。

综上所述,畜禽养殖粪污的资源化利用方式不应一刀切进行选择,应根据地区自然特征、农业生产方式、经济发展水平相结合,因地制宜地选择适合的模

式,通过典型示范,形成具有区域特点的养殖粪污资源化利用的典型模式。

2.3 养殖清洁生产严重不足

根据对 2015 年环境统计数据进行分析可知,我国 2015 年规模化养殖场共计 138 827 家,其中 38 401 家采用水冲粪的清粪方式,占比达到 27.67%,水冲粪工艺用水量大,不仅造成水资源浪费,而且因污水产生量大,产生污水中污染物浓度高,处理和利用难度大、成本高^[15-16]。刘永丰等^[17]在清粪方式对养猪废水中污染物迁移转化的影响中研究表明,水冲粪工艺进入水体的 COD、总氮、总磷、氨氮的负荷量分别是干清粪工艺的 15.5、5.7、9.5、11.5 倍。调研发现,在南方水网地区采用干清粪工艺的养殖场,30%左右存在用水量严重偏高,超量用水现象普遍,同时对该地区的规模化生猪养殖场的饮水设备进行抽样调查分析,采用鸭嘴式和乳头式饮水器的占比高达 81%,该类水器一方面造成大量的水源浪费,增加污水产生量,后期处理难度偏大^[18-19];另一方面溢流的水造成圈舍潮湿,易滋生细菌,进而导致生猪免疫力变低^[20-21]。

严格执行清洁生产要求,从源头减量着手,养殖企业必须逐步实行干清粪代替水冲粪的清粪方式、改造安装节能饮水器,采用科学饲养方法减少污染物产生量,加强养殖人员环保意识的培养。

3 各区域不同规模畜禽粪污资源化利用模式的优选

根据“十二五”污染物总量减排考核认定的规模化畜禽养殖场治理模式以及典型养殖场实测结果,我国规模化养殖场粪污处理主要以资源化利用为主,而不同区域不同规模畜禽养殖场的粪污资源化利用方式存在较大差异,与区域之间自然条件、农业生产方

式、经济发展水平等存在明显的相关性。通过总结现有养殖场粪污资源化利用的经验与存在的问题,根据各区域特点,优选适合各区域不同规模畜禽养殖场粪污资源化利用方式,如表4。

我国的畜禽养殖污染防治政策不完善,以及现有研究缺乏系统可操作性,难以运用于实际生产中。提出符合地区特点的畜禽养殖污染防治技术模式,引导养殖企业高效开展污染设施的建设已成为现阶段推进养殖污染治理的迫切需求。对各区域“十二五”减排认定养殖场治理模式的分析,提出各地区适用型治理模式,引导规模化养殖场因地制宜建设合适的污染防治设施,同时也可通过分区引导畜禽养殖业合理布局,为制定畜禽养殖污染防治管理措施与政策提供支撑。

4 结论

随着规模化畜禽养殖业的发展,养殖污染防治已成为环保管理的重要任务,资源化利用仍是我国粪污处理的主要途径,不同种类、不同规模、不同区域养殖场粪污资源化利用方式存在一定差别,并明显与地区自然条件、农业生产方式、经济发展水平相关。

当前阻碍我国规模化畜禽养殖粪污治理的主要因素有:(1)规划滞后导致局部地区粪污资源化利用受阻;(2)缺乏养殖污染防治知识,养殖场粪污处理模式选择不当,导致建设的粪污处理设施无法正常运行;(3)养殖清洁生产重视和建设不足,大量水冲粪、饮水设备选择不当等高水污染物产生的工艺存在,增加粪污资源化利用的难度和成本。

推行粪污资源化利用,解决养殖污染问题已上升为国家导向:(1)地方政府应通过合理规划、科学确定各区域最大养殖承载量以实现种养平衡;(2)因地制宜地选择粪污治理模式、加大养殖清洁生产力度;(3)实

现粪污最大限度的资源化利用。

参考文献:

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴(2016)[M].北京:中国统计出版社,2016. National Bureau of Statistics of the People's Republic of China.China statistical yearbook (2016)[M]. Beijing:China Statistics Press, 2016. (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华人民共和国农业部.第一次全国污染源普查公报[N].人民日报,2010-02-10(016) Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. First national pollution source bulletin[N]. People's Daily, 2010-02-10(016). (in Chinese)
- [3] 王莹.我国农业面源污染防治法律制度研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2011. WANG Ying. Agricultural non-point source pollution control legal system of research[D]. Harbin:Northeast Forestry University, 2011(in Chinese)
- [4] 王阳.长期施用化肥对土壤有机质含量及其组成的影响[D].长春:吉林农业大学,2015. WANG Yang. Effects of long-term application of chemical fertilizers on soil organic matter content and its composition[D]. Changchun:Jilin Agricultural University, 2015.(in Chinese)
- [5] 宋秀杰.我国有机肥利用现状及合理利用的技术措施[J].农村生态环境,1997(2):57-60. SONG Xiu-jie. Current situation of utilization of organic fertilizer in China and technical measures for rational use[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 1997(2):57-60. (in Chinese)
- [6] 唐海龙.有机肥与化肥配施对土壤环境质量影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2012. TANG Hai-long. Effects of organic manure and chemical fertilizers on soil environmental quality[D]. Tai'an:Shandong Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [7] 郎晓峰,徐阳春,沈其荣.不同有机无机复混肥对土壤供氮和玉米生长的影响[J].生态与农村环境学报,2008(3):33-38. LANG Xiao-feng, XU Yang-chun, SHEN Qi-rong. Effects of different

表4 不同区域不同规模畜禽养殖场粪污资源化利用方式

Table 4 Utilization of fecal resources in different scale livestock and poultry farms in different regions

区域	适用模式					
	小型规模化养殖场		中型规模化养殖场		大型规模化养殖场	
	粪便	污水	粪便	污水	粪便	污水
东北平原区	储存农用	储存农用	储存农用	储存农用	堆肥农用/生产有机肥	厌氧农用
中部平原区	储存农用	储存农用	堆肥农用	厌氧农用	生产有机肥	厌氧农用/达标排放
西部干旱区	储存农用	储存农用	储存农用	储存农用/厌氧农用	堆肥农用/生产有机肥	厌氧农用
南方水网区	堆肥农用	储存农用/厌氧农用	生产有机肥	厌氧农用	生产有机肥	厌氧农用/达标排放
南方丘陵区	储存农用	储存农用	堆肥农用	厌氧农用	生产有机肥	厌氧农用/达标排放
西南山区	储存农用	储存农用	堆肥农用	厌氧农用	生产有机肥	厌氧农用/达标排放

- organic-inorganic compound fertilizers on soil nitrogen supply and maize growth[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008(3): 33-38. (in Chinese)
- [8] 代思汝. 我国畜禽养殖污染防治模式分区研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
DAI Si-ru. Poultry farming pollution prevention and control of our country zoning[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [9] 陈海媛, 郭建斌, 张宝贵, 等. 畜禽养殖业产污系数核算方法的确定[J]. 中国沼气, 2012, 30(3): 14-16.
CHEN Hai-yuan, GUO Jian-bin, ZHANG Bao-gui, et al. Study on accounting method of pollution coefficient of livestock and poultry industry[J]. *China Biogas*, 2012, 30(3): 14-16. (in Chinese)
- [10] 邓良伟, 陈子爱, 袁心飞, 等. 规模化猪场粪污处理工程模式与技术定位[J]. 养猪, 2008(6): 21-24.
DENG liang-wei, CHEN Zi-ai, YUAN Xin-fei, et al. Project mode and technical orientation of large-scale pig farm manure disposal[J]. *Swine production*, 2008(6): 21-24. (in Chinese)
- [11] 李汪晟, 彭河山, 宋李思莹, 等. 大中型生猪养殖场污染防治模式研究[J]. 中国猪业, 2016, 11(11): 24-28.
LI Wang-sheng, PENG He-shan, SONGLI Si-ying, et al. Study on pollution prevention and control model of large and medium pig farm[J]. *China Swine Industry*, 2016, 11(11): 24-28. (in Chinese)
- [12] 田伟, 李刚, 陈秋会, 等. 等氮条件下化学肥料与有机肥连续大量施用下的环境风险[J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(5): 440-445.
TIAN Wei, LI Gang, CHEN qiu-hui, et al. Environmental risk caused by successive and heavy application of mineral fertilizer and compost with the same amount of nitrogen applied[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(5): 440-445. (in Chinese)
- [13] 汪开英, 王福山, 周斌, 等. 畜禽粪肥对土壤和农产品重金属残留的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(16): 34-37.
WANG Kai-ying, WANG Fu-shan, ZHOU Bin, et al. Effects of livestock manure on heavy metal residues in soil and agricultural products[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 46(16): 34-37. (in Chinese)
- [14] 叶必雄, 刘圆, 虞江萍, 等. 施用不同畜禽粪便土壤剖面中重金属分布特征[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1708-1714.
YE Bi-xiong, LIU Yuan, YU Jiang-ping, et al. Characteristics of heavy metals distribution in soil profiles of different livestock and poultry manure[J]. *Advances in Geography*, 2012, 31(12): 1708-1714. (in Chinese)
- [15] 吴根义. 铁岭市规模化畜禽养殖污染防治技术指南[M]. 北京: 中国环境出版社, 2016: 13-14.
WU Gen-yi. Tieling City, large-scale livestock and poultry breeding pollution control technology guide[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2016: 13-14. (in Chinese)
- [16] 张庆东, 耿如林, 戴晔. 规模化猪场清粪工艺比选分析[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(2): 232-235.
ZHANG Qing-dong, GENG Ru-lin, DAI Ye. Comparative analysis of the process of large-scale pig farms[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2013, 40(2): 232-235. (in Chinese)
- [17] 刘永丰, 许振成, 吴根义, 等. 清粪方式对养猪废水中污染物迁移转化的影响[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(6): 318-320.
LIU Yong-feng, XU Zhen-cheng, WU Gen-yi, et al. Effect of the method of clear dung on the migration and transformation of pollutants in pig wastewater[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(6): 318-320. (in Chinese)
- [18] 王美芝, 赵婉莹, 吴中红, 等. 不同饮水器保育猪用水总量及浪费水量对比试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4): 242-247.
WANG Mei-zhi, ZHAO Wan-ying, WU Zhong-hong, et al. Comparison experiment of total water consumption and water leakage of different types of drinker for nursery pig[J]. *Transactions of CSAE*, 2017, 33(4): 242-247. (in Chinese)
- [19] 汪勇, 邓仕伟, 薛春芳. 生长猪和育成猪在乳头式饮水器条件下的日摄水量和浪费水量研究[J]. 中国猪业, 2006(4): 48.
WANG Yong, DENG Shi-wei, XUE Chun-fang. Study on daily water intake and waste water under the condition of nipple-type drinking fountains[J]. *China Swine Industry*, 2006(4): 48. (in Chinese)
- [20] 郑艳君. 猪肺炎的病因与防治[J]. 养殖技术顾问, 2014(5): 109.
ZHENG Yan-jun. Causes and prevention of porcine pneumonia[J]. *Breeding Technology Consultants*, 2014(5): 109. (in Chinese)
- [21] 王健. 高温季节生猪的饲养管理对策探求[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(6): 83.
WANG Jian. Study on feeding and management of pig in high temperature season[J]. *Chinese Abstracts of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017, 33(6): 83. (in Chinese)