

省域尺度下畜禽粪便的农田消纳量及承载负荷研究

杨世琦^{1,2} 韩瑞芸^{1,2} 刘晨峰^{3*}

(1. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所,北京 100081;

2. 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室,北京 100081;

3. 环保部环境规划院,北京 100012)

摘要 为了解畜禽养殖粪便还田利用消除养殖污染的重要途径,在构建畜禽粪便的农田消纳量及承载负荷模型的基础上,在省域尺度下分析了我国不同省区主要畜禽类型粪便产生总氮(TN)、单位面积畜禽粪便 TN 的容纳量以及单位面积畜禽粪便 TN 的承载负荷。结果表明,全国畜禽粪便 TN 产生量是 380.56 万 t,其中猪、奶牛、肉牛、蛋鸡和肉鸡粪便 TN 分别占 41.2%、13.7%、8.7%、1.5% 和 34.9%,总量分布山东最高占到 15.9%,其次河南占 13.4%,河北第三占 9.2%。单位面积的畜禽粪便 TN 容纳量北京最高,单位耕地面积达到 83.2 kg/hm²,单位播种面积达到 68.2 kg/hm²,低于耕地面积的承载量 90 kg/hm² 的安全消纳的临界点。基于欧盟标准,省域尺度下的 TN 承载负荷均小于 0.5,其中北京最高,耕地面积下的承载负荷是 0.48,播种面积下的承载负荷 0.39。畜禽粪便 TN 负荷主要来自生猪与肉鸡,差不多是畜禽 TN 负荷的一半,因此,畜禽粪便污染的防治主要是生猪与肉鸡,其中重点是生猪。由此可见,我国农田消纳畜禽粪便的潜力较大,通过畜禽粪便还田利用能够有效的解决粪便污染问题。

关键词 省域尺度;畜禽粪便;农田消纳量;承载负荷

中图分类号 S 141.3; S 158.5

文章编号 1007-4333(2016)07-0142-10

文献标志码 A

Study on the given amount per unit field and load capacity of livestock and poultry manure at provincial scale

YANG Shi-qi^{1,2}, HAN Rui-yun^{1,2}, LIU Chen-feng^{3*}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture,

Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Key Laboratory of Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;

3. Chinese Academy for Environment Planning, Beijing 100012, China)

Abstract Applying livestock and poultry manure (LPM) to field is the key approach of decontamination and a key model of the nutrient cycle in agricultural ecosystem. The models of the given amount per unit field (GAPU) and capacity load (CL) of LPM were constructed, and the total nitrogen (TN) production, GAPU, CL of LPM were analyzed at provincial scale. The TN of LPM was 380.56 million ton, TN of swine, cow, beef, laying hens and table poultry were 41.2%、13.7%、8.7%、1.5% and 34.9%, respectively. The TN of LPM was 15.9% of national amount in Shandong province, 13.4% in Henan province, and 9.2% in Hebei province. The highest GAPU of LPM was in Beijing; Farmland area per unit reached 83.2 kg/hm² and sown area per unit was 68.2 kg/hm², and they were less than the safety critical point 90 kg/hm². The CL of LPM are all less than 0.5 at provincial scale based on the EU's standards, and the highest CL of LPM was in Beijing, which were 0.48 farmland area and 0.39 sown area, respectively. The CL of LPM was mainly from swine and table poultry and consisted of almost half of total amount. Therefore, the key of LPM pollution control is

收稿日期: 2015-09-16

基金项目: 环保部“十三五”前期研究课题(2014A158)

第一作者: 杨世琦, 副研究员, 主要从事农田面源污染控制研究, E-mail: shiqiyang@126.com

通讯作者: 刘晨峰, 副研究员, 主要从事农田面源污染控制研究, E-mail: liucf@caep.org.cn

managing swine and table poultry manure. The potential of LPM application is still very large in China, and it is the most efficient approach to control manure pollution.

Keywords provincial scale; livestock and poultry manure; the given amount per unit field; capacity load

畜禽粪便还田利用是消除养殖污染的重要方式,一方面为种植业提供有机肥源,减少了化肥投入,另一方面提高了农业生态系统氮磷物质循环利用效率。我国畜禽养殖规模化发展较快,导致畜禽粪便污染问题日趋突出,第一次全国农业污染源普查结果显示,畜禽养殖业粪便年产生量达2.43亿t,尿液年产生量达1.63亿t^[1]。

关于畜禽粪便产生量及单位面积的负荷量,吴根义等^[2]基于开展了不同地区土地与耕地载畜量研究。耿维等^[3]利用2010年统计数据,研究了中国及各省的畜禽粪便资源总量、能源潜力及农地的氮磷负荷,并以欧盟的农地氮磷施用标准对中国畜禽养殖的环境容量和污染风险进行了初步评估,考虑化肥施用的影响,约有20个省超过本省50%环境容量。杨飞等^[4]研究表明,全国平均单位耕地面积的畜禽氮污染负荷达138.13 kg/hm²。张旭美等^[5]研究表明,我国的畜禽粪便N污染负荷呈现由西北内陆向东南沿海逐渐加重的趋势,可以400 mm等降水量线为界分为高污染负荷区和低污染负荷区,畜禽粪便N污染负荷量预警分析,发现全国只有8省(自治区、直辖市)污染负荷量对环境尚未构成潜在威胁,其余省份理论上对环境均构成潜在威胁。林源等^[6]估算2020年我国的畜禽粪尿产生量为28.11亿t猪粪当量。王方浩等^[7]研究表明部分地区的畜禽养殖业已经对当地环境构成了污染。刘晓利等^[8]研究表明,部分省区的单位面积畜禽粪便的氮素承载量已经超出了欧盟制订的农田有机肥氮的限制标准。黄红英等^[9]对江苏省的研究结果是,粪便氮、磷污染风险指数均低于0.4,属于I级无污染水平,各市畜禽污染指数存在较大差异,且总体呈现苏北>苏中>苏南。

关于畜禽粪便的施用安全量问题,李祖章等^[10]研究表明每年每公顷稻田施用猪粪量应控制在15t以内,每公顷农田承载母猪粪便能力为15头、果园为30头,承载存栏育肥猪粪便能力为45头、果园为60头。武深树等^[11]研究洞庭湖农地畜禽粪便承载量平均为19.25 t/hm²,风险预警值平均为0.47,仍未造成环境污染。陆善玲对上海郊区研究表明,在每公顷施225 kg纯氮的基础上,水稻田的猪粪肥适

宜施用量为15~35 t/hm²,临界施用量为45 t/hm²,蔬菜作物施专用复合肥2250 kg/hm²基础上,以每季施鸡粪45 t/hm²为宜,两季施用鸡粪量为90 t/hm²^[12]。宁夏引黄灌区在化肥施用300 kg/km²(N)情况下,增施6~9 t/hm²猪粪产生轻微淋失^[13-14]。关中灌区的小麦-玉米两季,施用猪粪75 t/km²时1 m土层的硝态氮90 kg/km²^[15]。加拿大1 km²土地可用30头育肥猪,德国规定15头,丹麦30头商品猪或1.7头母牛(牛粪尿53 m³/hm²(52.5 t),猪粪尿30 m³/hm²(30 t)^[16],欧共体规定农田施用畜禽粪便不超过175 kg/hm²(N),英国洛桑试验站为276 kg/hm²^[17]。土壤粪便的年施用量磷不能超过35 kg/hm²(P₂O₅ 80 kg/hm²),否则引起磷的淋洗造成环境污染^[18]。朱兆良^[19]院士认为大面积化肥年施氮(N)量应该控制在150~180 kg/m²,或者按照土壤氮磷安全残留量,90 cm土层纯氮60~90 kg/hm²,不超过100 kg/hm²。

关于畜禽粪便的养分含量由于养殖方式、饲料结构的变化也在发生改变。李书田等^[20]取样并分析了我国20个省(市)主要畜禽粪便的养分含量。结果表明,畜禽粪便中养分含量变异很大。产排污系数作为畜禽粪便资源量评估的重要参数,其值的选取也千差万别^[21-22]。由于畜牧业环境问题的突出,很多国家都研究制定了相关的产排污系数^[23-25],中国于2009年颁布了《畜禽养殖业源产排污系数手册》。畜禽粪便从养殖场到农田由于管理方式、运输方式、施用方式的差异决定氮磷养分损失差别较大,一般只有50%的氮素养分能回田利用,其余的通过挥发或淋失进入环境^[26-28]。

基于我国畜禽粪便污染现状与治理需求,以往主要关注了畜禽粪便产生量,对其氮磷养分总量考虑不够,实际应用中误差较大。本研究通过构建畜禽粪便的农田消纳量及承载负荷模型,分析我国单位面积畜禽粪便TN的容纳量以及单位面积畜禽粪便TN的承载负荷,旨在为畜禽粪便安全还田利用提供依据。

1 资料与模型构建

畜禽养殖量数据依据2013年《中国畜牧业统计

年鉴》,耕地面积与复种指数数据依据2013年《中国农业统计年鉴》。

畜禽粪便的农田容纳量(Given amount of per unit field)是指一定区域农田单位面积分摊的畜禽粪便产生数量或氮、磷产生数量。其中,GAPF代表畜禽粪便的农田容纳量, M 代表畜禽粪便量或氮磷产生量, S 代表耕地面积或播种面积。

$$GAPF = \sum_{i=1}^n M/S$$

农田畜禽粪便承载负荷(Manure capacity load)是指一定区域的畜禽粪便的农田容纳量与畜禽粪便安全消纳容量(Safety capacity)的比值。其中,MCL代表农田畜禽粪便承载负荷,MPUA代表畜禽粪便的农田容纳量,SC代表畜禽粪便安全消纳容量。农田畜禽粪便承载负荷通常用畜禽粪便的含氮量表示,也可以用含磷量表示。MCL是大于0的

数值,值越大表明承载负荷越大。当MCL=0时,表示0负荷;当MCL=1时,表示满负荷;当MCL>1时,表示超负荷。

$$MCL = GAPF/SC$$

关于畜禽粪便氮素的承载负荷,本研究选择较苛刻的欧盟标准175 kg/hm²(N)。

2 畜禽粪便氮磷养分含量系数

畜禽粪便氮磷养分含量系数见表1。其中,生猪是保育期与育肥期加和((70+95)d);母猪不考虑;奶牛是育成期与产奶期加和除以6年(育成期1.5年,产奶期4.5年),肉牛以1年计算,蛋鸡是育雏育成与产蛋期加权平均((140+365)d),肉鸡按55d计(计量单位按1年计算)。依据第一次全国污染源普查资料,将各个地区计算结果取其平均值。

表1 畜禽粪便氮磷养分含量系数

Table 1 Coefficients of nitrogen and phosphorus of manure

指标 Index	生猪 Swine	奶牛 Cow	肉牛 Beef	蛋鸡 layer	肉鸡 Broiler
粪尿量/(kg/(头·年))	553.73	14 389.36	8 050.70	7.52	41.91
TN/(kg/(头·年))	4.73	79.02	39.61	0.07	0.39
TP/(kg/(头·年))	0.67	12.92	4.96	0.02	0.08
粪尿 N/(kg/1 000 kg)	8.54	5.49	4.92	9.09	9.27
粪尿 P/(kg/1 000 kg)	1.21	0.90	0.62	2.57	2.00

3 结果与分析

3.1 畜禽粪便产生的总氮(TN)量

依据2013年数据,全国(不包含港澳台,全文同。)规模化养殖畜禽粪便产生的总氮(TN)量见表2

与图1。全国的TN产生量380.56万t,其中,猪占41.2%、奶牛占13.7%、肉牛占8.7%、蛋鸡占1.5%和肉鸡占34.9%。从区域总量分布看,山东最高15.9%,其次河南13.4%,河北第三占9.2%。第四是四川5%。广东、福建、湖南、安徽和江苏等介于4%~5%。

表2 2013年全国规模化养殖畜禽粪便产生的TN量

Table 2 Total nitrogen of manure of national large scale farming in 2013 万t

省市自治区 Province	生猪 Swine	奶牛 Cow	肉牛 Beef	蛋鸡 Layer	肉鸡 Broiler	合计 Total
北京市	0.90	1.01	0.20	0.06	1.67	3.86
天津市	0.51	1.00	0.02	0.02	1.01	2.56
河北省	9.77	15.55	2.04	0.65	7.10	35.11
山西省	2.62	1.52	0.58	0.28	2.25	7.25
内蒙古自治区	0.93	4.45	1.92	0.05	0.80	8.16
辽宁省	3.59	1.89	1.82	0.35	6.50	14.15
吉林省	2.72	0.94	2.52	0.17	3.37	9.71

表 2(续)

省市自治区 Province	生猪 Swine	奶牛 Cow	肉牛 Beef	蛋鸡 Layer	肉鸡 Broiler	合计 Total
黑龙江省	4.64	5.32	3.24	0.09	1.41	14.70
上海市	0.74	0.52	0.00	0.01	0.36	1.64
江苏省	3.87	1.51	0.38	0.28	10.39	16.43
浙江省	5.54	0.35	0.04	0.09	2.59	8.60
安徽省	7.22	0.89	0.82	0.20	9.32	18.45
福建省	6.12	0.23	0.11	0.07	10.37	16.90
江西省	9.72	0.16	0.44	0.10	1.87	12.28
山东省	13.93	5.40	3.87	0.67	36.64	60.51
河南省	22.68	4.78	5.83	1.06	16.59	50.94
湖北省	10.19	0.36	1.08	0.46	6.08	18.19
湖南省	13.89	0.12	0.52	0.19	1.03	15.75
广东省	10.49	0.27	0.07	0.09	6.83	17.75
广西壮族自治区	3.77	0.19	0.02	0.04	1.98	6.00
海南省	1.31	0.00	0.00	0.01	1.35	2.68
重庆市	2.67	0.08	0.22	0.09	0.66	3.70
四川省	12.38	0.49	4.41	0.17	1.54	18.99
贵州省	0.61	0.17	0.13	0.06	0.22	1.20
云南省	1.13	0.29	0.13	0.06	0.59	2.20
西藏自治区	0.03	0.02	0.00	0.00	0.03	0.08
陕西省	2.55	1.69	0.16	0.07	0.28	4.76
甘肃省	0.48	0.37	0.34	0.04	0.05	1.29
青海省	0.14	0.13	0.15	0.01	0.02	0.44
宁夏回族自治区	0.16	1.56	0.28	0.01	0.07	2.09
新疆维吾尔自治区	1.27	0.49	0.75	0.11	1.76	4.38
合计	156.80	52.16	33.18	5.63	132.79	380.56

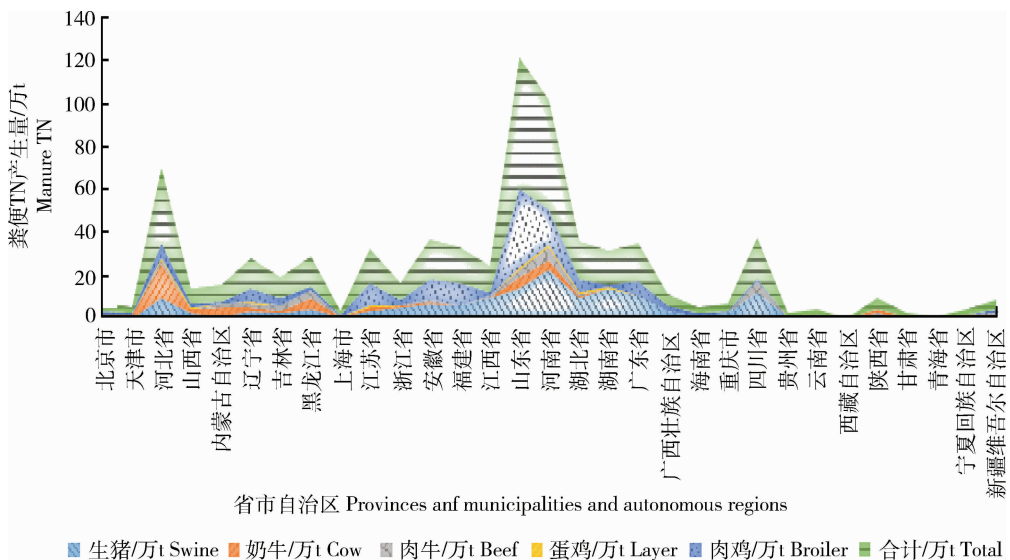


图 1 2013 年全国规模化养殖畜禽粪便产生的 TN 量

Fig. 1 Manure TN of national large scale farming in 2013

3.2 畜禽粪便 TN 的单位面积消纳量

2013 年全国规模化养殖畜禽粪便 TN 的单位面积消纳量见表 3。在省域(市、区)尺度上,综合考

虑畜禽粪便的产生量与还田量,当耕地面积的承载量大于 90 kg/hm^2 是安全消纳的临界点(假定一半的农田用于消纳畜禽粪便,按照最严格的欧盟标准)。

表 3 2013 年全国规模化养殖畜禽粪便 TN 的消纳量

Table 3 Manure total nitrogen capacity of national large scale farming in 2013 kg/hm^2

省市区 Province	畜禽粪便 TN Manure TN					TN 合计 Total of TN	
	生猪 Swine	奶牛 Cow	肉牛 Beef	蛋鸡 Layer	肉鸡 Broiler	耕地面积 Farmland area	播种面积 Sown area
全国 [*]	6.4	2.1	1.4	0.2	5.5	15.6	11.7
北京市	19.5	21.9	4.4	1.3	36.1	83.2	68.2
天津市	5.8	11.3	0.2	0.3	11.5	29.0	26.6
河北省	7.7	12.3	1.6	0.5	5.6	27.8	20.0
山西省	3.2	1.9	0.7	0.3	2.8	8.9	9.5
内蒙古自治区	0.7	3.1	1.3	0.0	0.6	5.7	5.7
辽宁省	4.4	2.3	2.2	0.4	8.0	17.3	16.8
吉林省	2.5	0.8	2.3	0.2	3.0	8.8	9.1
黑龙江	2.0	2.3	1.4	0.0	0.6	6.2	6.0
上海市	15.2	10.7	0.0	0.2	7.4	33.5	21.1
江苏省	4.1	1.6	0.4	0.3	10.9	17.2	10.7
浙江省	14.4	0.9	0.1	0.2	6.8	22.4	18.5
安徽省	6.3	0.8	0.7	0.2	8.1	16.1	10.3
福建省	23.0	0.9	0.4	0.3	39.0	63.5	37.4
江西省	17.2	0.3	0.8	0.2	3.3	21.7	11.1
山东省	9.3	3.6	2.6	0.4	24.4	40.3	27.8
河南省	14.3	3.0	3.7	0.7	10.5	32.1	17.9
湖北省	10.9	0.4	1.2	0.5	6.5	19.5	11.3
湖南省	18.3	0.2	0.7	0.3	1.4	20.8	9.2
广东省	18.5	0.5	0.1	0.2	12.1	31.3	19.1
广西壮族自治区	4.5	0.2	0.0	0.0	2.3	7.1	4.9
海南省	9.0	0.0	0.0	0.1	9.3	18.4	15.8
重庆市	6.0	0.2	0.5	0.2	1.5	8.3	5.3
四川省	10.4	0.4	3.7	0.1	1.3	16.0	9.9
贵州省	0.7	0.2	0.1	0.1	0.3	1.3	1.2
云南省	0.9	0.2	0.1	0.1	0.5	1.8	1.6
西藏自治区	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	1.1	1.7
陕西省	3.2	2.1	0.2	0.1	0.4	5.9	5.6
甘肃省	0.5	0.4	0.4	0.0	0.1	1.4	1.6
青海省	1.3	1.2	1.3	0.1	0.2	4.1	4.0
宁夏回族自治区	0.7	7.1	1.3	0.1	0.3	9.4	8.4
新疆维吾尔自治区	1.5	0.6	0.9	0.1	2.1	5.3	4.3

注: * 全国统计数据不包括港澳台。下表同。

Note: National statistical data excluding Hongkong, Macao and Taiwan. The same as below.

畜禽粪便还田完全能够按照洛桑试验标准(275 kg/hm²),这里的安全消纳量临界点仅仅是洛桑试验站标准的1/3不到。依据计算结果,2013年全国畜禽粪便TN单位面积的承载量排名前10名的是:北京市最高单位耕地面积达到83.2 kg/hm²,单位播种面积达到68.2 kg/hm²;福建省排全国第二,单位耕地面积达到63.5 kg/hm²,单位播种面积达到37.4 kg/hm²;山东省第三,单位耕地面积达到40.3 kg/hm²,单位播种面积达到27.8 kg/hm²;上海第四,单位耕地面积达到33.5 kg/hm²,单位播种面积达到21.1 kg/hm²;河南第五,单位耕地面积达到32.1 kg/hm²,单位播种面积达到17.9 kg/hm²;广东省第六,单位耕地面积达到31.3 kg/hm²,单位播种面积达到19.1 kg/hm²;天津第七,单位耕地面积达到29.0 kg/hm²,单位播种面积达到26.6 kg/hm²;河北省第八,单位耕地面积达到27.8 kg/hm²,单位播种面积达到20.0 kg/hm²;浙江省第九,单位耕地面积达到22.4 kg/hm²,单位播种面积达到18.5 kg/hm²;江西省第十,单位耕地面积达

到21.7 kg/hm²,单位播种面积达到11.1 kg/hm²。由此看来,前八名是有一定压力,其中包括了北京、上海和天津3个直辖市。因此,总的来讲,在省域(市、区)尺度上规模化畜禽养殖粪便的农田消纳也是安全的。

3.3 畜禽粪便TN的单位承载负荷

从表4和图2可以看出,基于欧盟标准,省域尺度下的TN承载负荷均小于0.5,其中北京最高,耕地面积下的承载负荷是0.48,播种面积下的承载负荷0.39;基于洛桑试验站的标准,承载负荷则更低。就承载负荷结构而言,就承载负荷结构而言,全国总体趋势是以生猪与肉鸡粪便负荷较大,2项合计差不多均高于总负荷的一半;另外对于东北与华北地区而言,如北京、天津、河北、内蒙与黑龙江奶牛的粪便负荷最高,占到总负荷的1/3,东南沿海区域的上海是总负荷的1/4,而宁夏回族自治区的奶牛粪便负荷是总负荷的1/2。由此可见,规模化养殖粪便污染的防治应该以猪和鸡为主,其中重点是规模化养猪。

表4 2013年全国规模化养殖TN承载负荷

Table 4 TN of Manure capacity load of national large scale farming in 2013

省市区	生猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡	TN/耕地面积	TN/播种面积
Province	Swine	Cow	Beef	Layer	Broiler	TN/Farmland area	TN/Sown area
全国	0.04	0.01	0.01	0.00	0.03	0.09	0.07
北京市	0.11	0.13	0.03	0.01	0.21	0.48	0.39
天津市	0.04	0.07	0.00	0.00	0.07	0.17	0.16
河北省	0.05	0.07	0.01	0.01	0.03	0.16	0.12
山西省	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.05	0.06
内蒙古自治区	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04
辽宁省	0.03	0.02	0.02	0.00	0.05	0.10	0.10
吉林省	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.05	0.05
黑龙江省	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	0.04
上海市	0.09	0.06	0.00	0.00	0.04	0.19	0.12
江苏省	0.03	0.01	0.00	0.00	0.06	0.10	0.06
浙江省	0.08	0.01	0.00	0.00	0.04	0.13	0.11
安徽省	0.04	0.01	0.01	0.00	0.05	0.09	0.06
福建省	0.13	0.01	0.00	0.00	0.23	0.37	0.22
江西省	0.10	0.00	0.01	0.00	0.02	0.13	0.07
山东省	0.06	0.02	0.02	0.01	0.14	0.23	0.16
河南省	0.08	0.02	0.02	0.01	0.06	0.19	0.10

表4(续)

省市区	生猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡	TN/耕地面积	TN/播种面积
Province	Swine	Cow	Beef	Layer	Broiler	TN/Farmland area	TN/Sown area
湖北省	0.06	0.00	0.01	0.01	0.04	0.11	0.07
湖南省	0.11	0.00	0.01	0.00	0.01	0.12	0.06
广东省	0.11	0.01	0.00	0.00	0.07	0.18	0.11
广西壮族自治区	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03
海南省	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.11	0.09
重庆市	0.04	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.03
四川省	0.06	0.00	0.02	0.00	0.01	0.09	0.06
贵州省	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
云南省	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
西藏自治区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
陕西省	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03
甘肃省	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
青海省	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03
宁夏回族自治区	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.06	0.05
新疆维吾尔自治区	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03

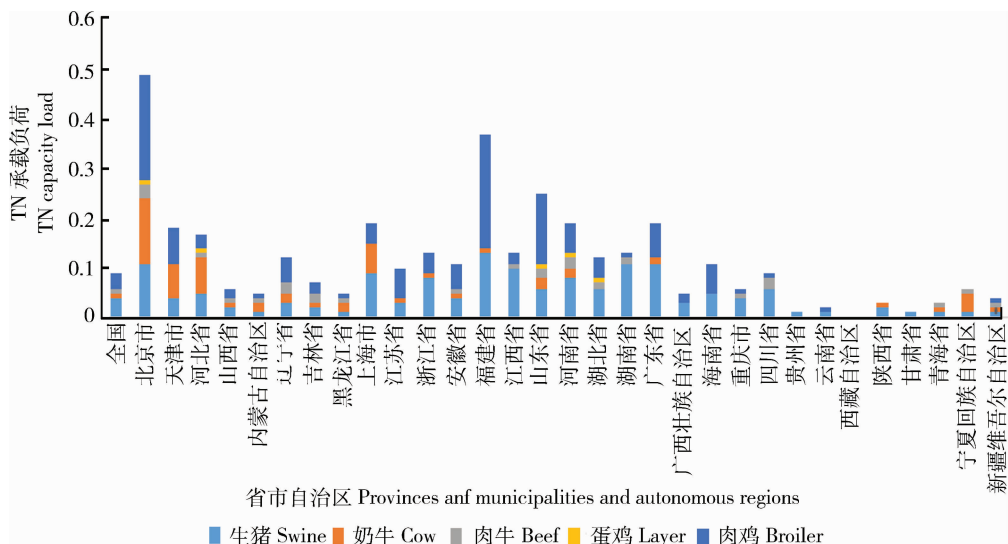


图2 2013年全国规模化养殖TN承载负荷

Fig. 2 TN capacity load of national large scale farming in 2013

4 结论与讨论

1) 规模化畜禽养殖粪便污染防治的最好途径是还田利用。由3.2与3.3的分析可以得出结论,我国规模化养殖的畜禽粪便产生数量与农田消纳量及

承载负荷还有很大距离,开展还田利用是安全可行的。畜禽粪便还田利用不但解决污染问题,而且为作物生长提供养分,长期还田还能减少化肥投入,对控制农田面源污染有重要意义。目前,总体状况是源小库大不流畅。源小是畜禽粪肥的产生量上并不

大,只是相对集中而已,远远未达到污染环境的程度,只是由于处理方式与管理疏漏产生局部污染;库大是畜禽养殖场周边有足够的农田消纳粪肥,不存在消纳不了的问题。不流畅指的是畜禽粪肥从养殖场到农田的转移存在一定障碍。主要表现是运输成本、农田施用成本与土地所有制现状,其他还有环境保护意识、企业责任、政府引导与管理、法律法规约束、种养机制、技术投入和资金投入等。

2) 规模化养殖场畜禽粪便应该与有机农业相结合。有机农业(Organic agriculture)是指在生产中完全或基本不用人工合成的肥料、农药、生长调节剂和畜禽饲料添加剂,而采用有机肥满足作物营养需求的种植业,或采用有机饲料满足畜禽营养需求的养殖业。有机产品市场不但在欧洲、北美,发展中国家也在持续扩大。发展有机农业的重要条件之一就是要有充足的有机肥,才能维持较高的产出。畜禽粪便是重要的有机肥,如果能把养殖场畜禽粪便充分还田和有效利用起来,不但解决了养殖场污染问题,还催生了新的有机农业产业,生产高附加值的农产品,在时空上实现了种养最佳结合模式,反过来还可以推动养殖业发展。发展有机农业重点考虑蔬菜、水果等作物,各地区最好能突出特色,发挥自身优势,实现综合效益最大化。

3) 规模化养殖场与设施蔬菜种植相结合。采用管道输入将畜禽养殖粪便送入蔬菜大棚,一方面减少输送过程中氮磷损失,另一方面减少存储过程中的环境污染风险,更为重要的是可以根据蔬菜生长过程中多次施用,形成常年追施有机肥制度,解决了畜禽粪便一年一施难题。调研中发现,山东东平安大集团在这方面做的很好,不但解决了畜禽粪便回田利用问题,还成功的推动了有机蔬菜产品,并创建了有机农产品品牌,取得良好的生态、经济和社会效益。

4) 养殖企业选址合理有助于畜禽粪便还田利用。首先,考虑3个远离是远离人口密集区、远离湖库河流和远离地下水位高的地区;其次,考虑2个靠近是靠近大田(果园最好)、靠近温室大棚;最后,考虑3个最好(最好在盐碱地、荒滩、草场等建养殖场)。东北与西北地区在这方面有得天独厚条件,适宜发展规模化养殖,养殖规模也可适度增加;而南方地区适宜发展小规模与家庭养殖,养殖规模可适度减小。

5) 规模化养殖应该与有机肥加工相结合。针对

超大型规模养殖场,周边粪便还田利用遇到困难或农田消纳不了情况下,建议建立有机肥加工厂(但不主张超大型规模养殖)。传统农业阶段,畜禽粪便是作物生产重要的养分来源,由于养殖数量少,堆积有机肥空间需求小,一般不存在环境污染问题。规模化养殖带来的主要问题是,粪便产生量大,存储空间相对较小,容易产生环境污染;同时由于种种原因不能还田,因此,畜禽粪便的商品化成为重要途径。通过有机肥料商品化的途径进入相对长距离的农田消纳(有机废弃物原料不宜长距离搬运)。企业生产规模大小取决于有机废弃物原料的数量规模。肥料造粒方便施用,至于有机肥料是否造粒,要看生产原料的性质。一般利用畜禽粪便等有机废弃物生产商品化有机肥料,因造粒困难、成本高,可以不造粒,生产粉状有机肥即可。若有机原料是食品等加工企业产生的有机废渣等,这样的工业有机废弃物颗粒一般都比较细,容易造粒,可以制成颗粒状有机肥或有机无机复混肥,方便施用。

参 考 文 献

- [1] 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[R/OL]. [2014-08-09]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201002/t20100210_185698.htm. 2010-02-06
The People's Republic of China Ministry of Environmental Protection, National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, People's Republic of China Ministry of Agriculture. *The first national pollution census bulletin* [R/OL]. [2014-08-09]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201002/t20100210_185698.htm 2010-02-06 (in Chinese)
- [2] 吴根义,廖新伟,贺德春,李季. 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
Wu G Y, Liao X D, He D C, Li J. Current situation and countermeasures of livestock industry pollution control in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(7): 1261-1264 (in Chinese)
- [3] 耿维,胡林,崔建宇,卜美东,张蓓蓓. 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): 171-180
Geng W, Hu L, Cui J Y, Pu M L, Zhang B B. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1): 171-180 (in Chinese)
- [4] 杨飞,杨世琦,褚云强,王娟乐. 中国近30年畜禽养殖量及耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 1-11
Yang F, Yang S Q, Zhu Y Q, Wang J L. Analysis on livestock

- and poultry production and nitrogen load of cultivated land during last 30 years in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(5): 1-11 (in Chinese)
- [5] 张旭美,董元华,王辉,沈旦. 中国畜禽养殖结构及粪便 N 污染负荷特征分析[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1311-1318
Zhang X M, Dong Y H, Wang H, Shen D. Structure of livestock and variation of fecal nitrogen pollution load in China [J]. *Environmental Science*, 2007, 28(6): 1311-1318 (in Chinese)
- [6] 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(3): 1-5
Lin Y, Ma J, Qin F. The structure distribution and prospect of China manure resource [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(3): 1-5 (in Chinese)
- [7] 王方浩,马文奇,窦争霞,马林,刘小利,许俊香,张福锁. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617
Wang F H, Ma W Q, Dou Z X, Ma L, Liu X L, Xu J X, Zhang F S. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 614-617 (in Chinese)
- [8] 刘晓利,许俊香,王方浩,张福锁,马文奇. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 27-32
Liu X L, Xu J X, Wang F H, Zhang F S, Ma W Q. The resource and distribution of nitrogen nutrient in animal excretion in China[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28(5): 27-32 (in Chinese)
- [9] 黄红英,常志州,叶小梅,马艳,于建光,靳红梅,许建平. 区域畜禽粪便产生量估算及农田承载预警分析:以江苏为例[J]. 江苏农业学报, 2013, 29(4): 777-783
Huang H Y, Chang Z Z, Ye X M, Ma Y, Yu J G, Jin H M, Xu J P. Estimation of regional livestock manure production and farmland loading capacity: A case study of Jiangsu Province [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2013, 29(4): 777-783 (in Chinese)
- [10] 李祖章,谢金防,蔡华东,曾观红,刘光荣,刘益仁. 农田土壤承载畜禽粪便能力研究[J]. 江西农业学报, 2010, 22(8): 140-145
Li Z Z, Xie J F, Cai H D, Zeng G H, Liu G R, Liu Y R. Environmental loading capacity of farmland soil for dung of livestock and poultry[J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2010, 22(8): 140-145 (in Chinese)
- [11] 武深树,谭美英,黄璜,龙岳林,朱好,甘德欣. 湖南洞庭湖区农地畜禽粪便承载量估算及其风险评价[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1245-1251
Wu S S, Tan M Y, Huang H, Long Y L, Zhu H, Gan D X. Loading capacity estimation and risk assessment of livestock manure in cultivated lands around Dongting Lake[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6): 1245-1251 (in Chinese)
- [12] 陆善玲,沈根祥,汪雅谷. 粮区和菜区的畜禽粪便适宜施用量[J]. 上海农业学报, 1994, 10(增刊): 51-56
Lu S L, Shen G X, Wang Y G. Study on suitable application amount of livestock and poultry droppings in Shanghai area [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 1994, 10(spple): 51-56 (in Chinese)
- [13] 杨世琦,王永生,谢晓军,韩瑞芸,杨正礼. 宁夏引黄灌区猪粪还田对稻作土壤硝态氮淋失的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4572-2579
Yang S Q, Wang Y S, Xie X J, Han R Y, Yang Z L. Effect of nitrate nitrogen leaching of paddy field based on swing manure application in the Yellow River irrigation district of Ningxia [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(16): 4572-2579 (in Chinese)
- [14] 杨世琦,王永生,谢晓军,杨正礼. 宁夏引黄灌区猪粪还田对麦田土壤硝态氮淋失的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1759-1764
Yang S Q, Wang Y S, Xie X J, Yang Z L. Effect of swine manure application on nitrate leaching in winter wheat field in the Yellow River irrigation area of Ningxia, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(6): 1759-1764 (in Chinese)
- [15] 袁新民,同延安,杨学云,李晓林,张福锁. 有机肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 197-200
Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y, Li X L, Zhang F S. Effect of organic manure on soil nitrate nitrogen accumulation[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(3): 197-200 (in Chinese)
- [16] 韩冬梅,金书秦,沈桂银,梁健聪. 畜禽养殖污染防治的国际经验与借鉴[J]. 世界农业, 2013, 409(5): 148-153
Han D M, Jin S Q, Shen G Y, Liang J C. The international experience livestock pollution prevention [J]. *World Agriculture*, 2013, 409(5): 148-153 (in Chinese)
- [17] Canterl W. *Nitrates in groundwater* [M]: New York: CRC Press Incorporated Lewis Publishers, 1997: 204
- [18] Oenema O, Van Liere E, Plette S, Prins T, Van Zeijts H, Schoumans O. Environmental effect of manure policy options in the Netherlands[J]. *Water Science Technology*, 2004, 49: 101-108
- [19] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(1): 1-6 (in Chinese)
- [20] 李书田,刘荣乐,陕红. 我国主要畜禽粪便含量及变化分析[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 179-184
Li S T, Liu R L, Shan H. Nutrient contents in main animal manures in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1): 179-184 (in Chinese)
- [21] 董红敏,朱志平,黄宏坤,陈永杏,尚斌,陶秀萍,周忠凯. 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): 303-308

- Dong H M, Zhu Z P, Huang H K, Chen Y X, Shang B, Tao X P, Zhou Z K. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 303-308 (in Chinese)
- [22] 景栋林, 陈希萍, 于辉, 黄得纯. 佛山市畜禽粪便排放量与农田负荷量分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(1): 108-111
- Jing D L, Chen X P, Yu H, Huang D C. Analysis on the total amount of domestic animal excrement and the load in farmland in Foshan [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2012, 28(1): 108-111 (in Chinese)
- [23] American Society of Agricultural Engineers. Manure production and characteristics [R]. ASAE Standards (D384.1 FEB03), 2003: 682-285
- [24] 农文协. 畜产环境对策大事典 [M]. 东京: 东京农山渔村文化协会出版社, 1995
- Agriculture and Civilization. *Encyclopedia of Livestock Environment Strategy* [M]. Tokyo: Tokyo Agriculture Fishing Village Culture association Publishing House, 1995 (in Japanese)
- [25] Hanne D P, Verner F K. *Standard Values for Farm Manure-A Reevaluation of the Danish Standard Values Concerning the Nitrogen, Phosphorous and Potassium Content of Manure*. DIAS report. No7. *Animal Husbandry*, [M/OL]. 1998: 167
- [2014-08-09] <http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical/nygcxb201101049>
- [26] 常志州, 靳红梅, 黄红英, 吴华山, 付广青, 沈明星. 畜禽养殖场粪便清扫、堆积及处理单元氮损失率研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(5): 1068-1077
- Chang Z Z, Jin H M, Huang H Y, Wu H S, Fu G Q, Shen M X. Nitrogen loss during cleaning, storage, compost and anaerobic digestion of animal manures in individual treatment unit [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(5): 1068-1077 (in Chinese)
- [27] 曹喜涛, 黄为一, 常志州. 鸡粪堆制过程中氮素损失及减少氮素损失的机理 [J]. *江苏农业学报*, 2004, 20(2): 106-110
- Cao X T, Huang W Y, Chang Z Z. Mechanism of nitrogen loss and reduction in nitrogen loss during the compost of chicken manure [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Science*, 2004, 20(2): 106-110 (in Chinese)
- [28] 史春梅, 王继红, 李国学, 江滔, 魏洪飞, 马志宏. 不同化学添加剂对猪粪堆肥中氮素损失的控制 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(5): 1001-1006
- Shen C M, Wang J H, Li G X, Jiang T, Wei H F, Ma Z H. Control of different chemical additives on nitrogen loss during composting of pig manure [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5): 1001-1006 (in Chinese)

责任编辑: 苏燕