

# 中国畜禽粪污处理利用现状及对策探讨

许文志<sup>1</sup>, 欧阳平<sup>2</sup>, 罗付香<sup>1</sup>, 刘海涛<sup>1</sup>, 朱永群<sup>1</sup>, 林超文<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>四川省农业科学院土壤肥料研究所, 成都 610066; <sup>2</sup>四川省农业厅土壤肥料测试中心, 成都 610041)

**摘要:**随着畜禽养殖规模的不断扩大,由畜禽粪污大量排放引起的环境污染问题日益严重,并引起了广泛关注。本研究在分析中国畜禽粪污排放量、各地区分布情况及主要污染物种类的基础上,归纳总结了我国畜禽粪污肥料化、饲料化及能源化综合利用的现状,并且指出目前存在的突出问题是政策法规不完善、种养业脱节、技术与装备落后、相关从业人员认识不足、政府及社会投入不足等。此外,针对这些问题还提出了相应的对策建议。

**关键词:** 畜禽粪污; 排放量; 化学需氧量; 规模化养殖

中图分类号: X713

文献标志码: A

论文编号: casb17030078

## Livestock Manure Treatment in China: Utilization Status and Countermeasures

Xu Wenzhi<sup>1</sup>, Ouyang Ping<sup>2</sup>, Luo Fuxiang<sup>1</sup>, Liu Haitao<sup>1</sup>, Zhu Yongqun<sup>1</sup>, Lin Chaowen<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Soil and Fertilizer Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066;

<sup>2</sup>Chengdu Soil and Fertilizer Testing Center, Sichuan Provincial Agricultural Department, Chengdu 610041)

**Abstract:** With the continuous expansion of the scale of livestock and poultry breeding, the environmental pollution caused by large emission of livestock manure is becoming increasingly serious, which has drawn widely concern. Based on the analysis of livestock manure emission, regional distribution and kinds of the main pollutants, the utilization status of livestock manure as fertilizer, feed and energy was summarized in this paper. Moreover, the prominent problems so far were also pointed out, which were imperfect policies and regulations, disjointed planting and breeding industry, backward technologies and equipment, lack of knowledge for the related practitioners and insufficient government and society inputs. In addition, the appropriate countermeasures were proposed in this paper.

**Key words:** livestock manure; emissions; chemical oxygen demand (COD); large-scale breeding

## 0 引言

虽然中国畜禽养殖业取得了巨大成就,但粪污处理和利用相对落后,导致大量粪污处理不当或缺乏处理,由此产生的养殖污染排放问题日益加剧,对环境造成严重威胁<sup>[1-2]</sup>。

据第一次全国污染源普查资料显示,在中国主要污染物排放量中,农业源排放的总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD)排放量达271万t、29万t和1324万t,

分别占各类污染物总排放量的57%、67%和44%,已远超过工业与生活源,成为污染源之首<sup>[3-4]</sup>。在农业源中,畜禽养殖源排放总氮102万t,总磷16万t,化学需氧量1268万t,又成为农业源的主要排放源<sup>[5]</sup>。特别是在畜禽密集养殖区内养殖场布局紧密,畜禽存栏数量大,粪污产生量大,不能及时得到有效处置,导致有害物质排放成倍增加,环境自净能力难以承载,区域内生态环境恶化问题就显得尤为严重。

**基金项目:**四川省财政创新能力提升工程“优质饲草种养结合循环农业关键技术集成与示范”(2016GYSH-022);四川省财政创新能力提升工程青年基金项目“箭筈豌豆与多花黑麦草混播对草地生产性能及土壤性质的影响”(2016QNJJ-029);农业部牧草产业技术体系资阳综合试验站(CARS-35)。

**第一作者简介:**许文志,男,1984年出生,甘肃泾川人,助理研究员,博士,研究方向:牧草育种及栽培。通信地址:610066 四川省成都市锦江区狮子山路2区4号 四川省农业科学院土壤肥料研究所, Tel:028-84504285, E-mail:xuwenzhi\_herb@126.com。

**通讯作者:**林超文,男,1968年出生,四川资中人,研究员,博士,研究方向:农业资源环境,饲草栽培等。通信地址:610066 四川省成都市锦江区狮子山路2区4号 四川省农业科学院土壤肥料研究所, Tel:028-84790327, E-mail:lcw-11@163.com。

**收稿日期:**2017-03-13, **修回日期:**2017-07-07。

如何采取有效措施解决密集养殖区内畜禽粪污所导致的环境问题,已经成为中国乃至世界养殖业发展面临的重要难题,也受到广泛关注<sup>[6-11]</sup>。本研究在探讨中国畜禽养殖粪污处理利用现状的基础上,总结出了目前存在的突出问题,并提出了相应的对策建议,以期为中国畜禽养殖粪污科学合理的利用提供参考。

## 1 中国畜禽粪污排放现状及主要污染物

### 1.1 排放数量

根据环境保护部发布的《第一次全国污染源普查公报》显示,畜禽养殖源排放COD 1268万t、TN 102万t、TP 16万t,分别占农业源的96%、38%和56%,使得畜禽养殖业成为农业源的首要排放源<sup>[5,8]</sup>。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2.43亿t,尿液年产生量1.63亿t<sup>[12-13]</sup>。畜牧业已成为国内仅次于钢铁、煤炭的最大污染行业<sup>[14]</sup>。

随着畜禽养殖集约化程度不断提高,养殖业与种植业的日益分离,大量集中产生和排放的废弃物,无法在周围土地上完全消化,同时规模化养殖将引发多层次的环境污染问题。一些研究表明,随着畜禽养殖规模化发展,畜禽粪便的利用率逐渐下降,畜禽粪污对环境的污染有日益加重的趋势<sup>[15-16]</sup>。在传统散养方式下,农户将畜禽养殖和种植业相结合,畜禽粪便的还田率较高;而当畜禽养殖业集约化、专业化不断提高时,种、养分离成为普遍趋势,加上专业养殖场主要集中分布在中国东部和城市郊区,导致了配套耕地严重不足,畜禽养殖污染已经成为农村重要的面源污染来源<sup>[17]</sup>。

统计数据显示,2014年中国农业源化学需氧量排放量1102.4万t,其中畜禽养殖业排放1049.1万t;农业源氨氮排放量75.5万t,其中畜禽养殖业排放58.0万t。畜禽养殖业的COD及TN排放占农业源总排放的比例分别达到95.17%和63.37%,畜禽养殖污染的问题日益突出<sup>[18]</sup>。

### 1.2 排放方式

根据养殖规模的不同,畜禽粪污的处理及排放方式有所不同。传统农户小规模养殖的畜禽固体粪污大多以农家肥的形式直接回田,或者用于沼气发电、制作堆肥出售。此类小规模养殖造成的污染主要是以液态形式污染地表水质<sup>[19-20]</sup>。如同其他农业面源污染一样,养殖粪污的污染以扩散的方式发生,时断时续,且绝大部分与降雨的发生有关。因此,同样具有发生时间、发生源、污染物浓度很难确定的特点<sup>[3]</sup>。

然而,随着畜禽养殖业向规模化、集约化的发展,专业化养殖的特点越来越明显,且养殖场均集中在人口密集的大城市近郊,导致养殖业逐渐与种植业分

离。从事养殖的没有配套的耕地,粪便不能当作肥料资源化利用;种植户也不再从事养殖,农田化肥施用增多,畜禽粪便等农家肥的比重大幅度下降。因此,畜禽粪污不处理或处理不当,均会对环境造成较大的污染<sup>[21]</sup>。

规模化养殖场的畜禽粪污主要包括固体粪便、尿液和生产过程中产生的废水等<sup>[22]</sup>。根据清粪方式的不同,粪污的排放方式也有所不同。目前国内常用的清粪方式分为干清粪、水冲粪和水泡粪3种工艺<sup>[23]</sup>。干清粪是将干粪由人工或机械进行清扫收集,然后运送至存放或处理地点;水冲粪是粪尿及污水混合进入漏缝地板下的粪沟,每天用水喷头放水冲洗,粪水顺粪沟流入粪便主干沟,最后汇入地下贮粪池或用泵抽吸到地上贮粪池;水泡粪是在粪沟中注入一定量的水,粪尿污水混合进入漏缝地板下的粪沟中,储存一定时间后再将粪水排出到贮粪池<sup>[24-25]</sup>。

养殖场的干粪如果收集、处理、贮存得当,可作为商品化的粪肥进行再利用,对环境的影响较小。粪水通过适当工艺干湿分离后,通过管道将液体输送至周边耕地,可作为灌溉用水,实现水肥化利用,但是如果处理不当或施用量,容易对耕地及水体造成污染;如果不处理,污染物将直接释放环境,对周边土壤、水体造成污染。此外,畜禽养殖所产生的气味可污染空气,对附近的人畜造成潜在危害<sup>[26]</sup>。

### 1.3 排放分布

由于农户小规模养殖粪污排放时间及排放量的不确定性,以及排放源头的难追溯性,导致了农户养殖污染排放检测较为困难。因此,环保部会同农业部,重点对规模化养殖场及养殖小区进行了系统检测,其中2014年各省市重点监测养殖场及养殖小区的分布情况如图1所示<sup>[27]</sup>。

关于畜禽粪污排放量的估算,目前普遍采用公式(1)计算。

$$LM = \sum_{i=1}^n (Q_i \times T_i \times e_i) \dots\dots\dots (1)$$

式中:LM(livestock manure)为各省的畜禽粪污排放量。 $Q_i$ 为第*i*类畜禽品种的出栏数量, $T_i$ 为第*i*类畜禽品种的出栏天数, $e_i$ 为第*i*类畜禽品种的每天的粪污排放量。

由于单独计算每种畜禽种类每天的排放系数比较困难,本研究将畜禽分为猪、大牲畜、羊及家禽4类,各类畜禽每天的粪便排放量参照仇焕广等2013年的研究成果,即:猪按5.9 kg/天计、大牲畜按肉牛及奶牛的平均值41 kg/天计、羊按2.2 kg/天计、家禽按0.11 kg/天

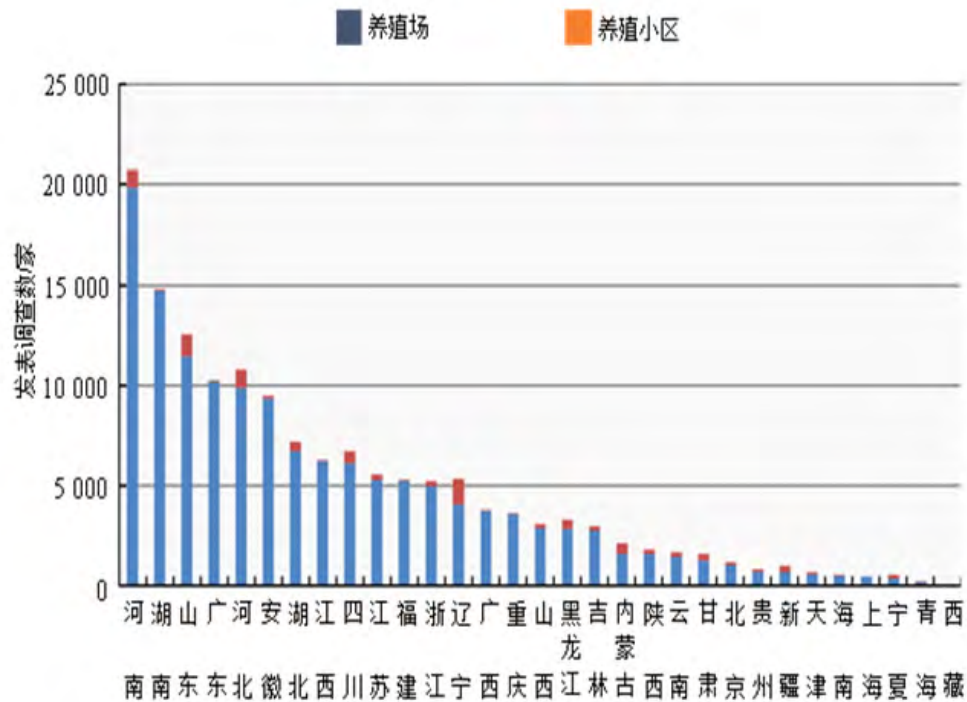


图1 各地区规模化养殖场及养殖小区数量分布图

计。其中,家禽养殖周期不足1年,养殖数量按国家统计局的出栏量计,其余按国家统计局的年底数计。此外,猪的养殖周期平均为256天,家禽的养殖周期平均为177天,大牲畜及羊养殖周期为365天<sup>[2]</sup>。根据国家统计局2014年分省年度统计数据中的牲畜饲养及出栏数据<sup>[28]</sup>,基于上述公式换算得到2014年各省畜禽粪污排放总量的数据如表1所示(香港、澳门、台湾及部分岛屿不在统计范围)。

由表1可知,单就估算的2014年各省畜禽粪污排放总量来说,四川、河南两省的排放量超过了2亿t。这2个省为养殖业大省,规模化养殖场数量较多(见图1),且养猪场及养牛场占比较重,猪和牛的粪污排放系数较大,因此排放总量最大,粪污处理压力也较大。

#### 1.4 畜禽粪污主要污染物

畜禽养殖的粪尿、污水及恶臭气体等可以对水体、大气、土壤造成污染,从而对生态环境造成的直接和间接的不良影响<sup>[29]</sup>,其污染可分为水体污染<sup>[30-32]</sup>、大气污染<sup>[33-35]</sup>、土壤污染<sup>[36-37]</sup>和微生物污染<sup>[38]</sup>等。

在畜禽养殖造成的污染中,畜禽粪尿是畜禽养殖场最主要的污染源。畜禽粪尿中除了生化耗氧量(BOD<sub>5</sub>)、COD、TN及TP容易污染水体和土壤外<sup>[39]</sup>,还包含多种污染物,例如硫化氢、氨、醇类、酚类、酰胺类、胺类和吡啶等有机物,以及大量的病原菌、微生物等<sup>[40]</sup>。一些饲料本身含过量的矿物质和金属元素,经

运输、贮存、饲喂等过程,造成矿物质污染和重金属污染,其中比较突出的重金属污染有Cu、Zn、Hg、As、Cd、Mn等<sup>[40-41]</sup>。另外,一些兽药运输、用药过程不合理,也会污染环境,尤其是目前普遍使用含铜和肿制剂的药物<sup>[42]</sup>。此外,若养殖场管理不规范,场地消毒及畜禽饮后的污水、洗刷用具、羽毛、孵化残余物等,容易滋生蚊蝇等病虫,从而污染周围环境<sup>[46]</sup>。

## 2 中国畜禽粪污处理方式

畜禽粪污不仅含有氮、磷、钾等多种营养元素,可作为作物生长的肥料;还含有大量的蛋白质、维生素等,经处理后用作动物饲料;另外还含有大量的有机物,可经过厌氧发酵制作沼气。因此如果处理得当,不仅可减少环境污染,还能带来可观的经济效益和社会效益。畜禽粪污的处理方式因养殖场的规模不同而有所不同,目前中国畜禽养殖粪污处理的方式可分为肥料化、饲料化、能源化等方式<sup>[21]</sup>。

### 2.1 肥料化

畜禽粪污的肥料化利用可分为直接还田和制作肥料两类,其中直接还田是散养农户采用较多的方式,也有部分配套有耕地的养殖场通过该方式处理部分粪污。采用直接还田可以节约粪污处理的成本,实现种养结合循环利用,但是由于粪污没有经过适当处理直接释放环境,对土壤和水体造成污染的机会较大。

此外,畜禽粪污通过固液分离技术产生的固体,可



表1 各省市2014年畜禽粪污排放总量

| 地区       | 大牲畜年底头数/万头 | 猪年底头数/万头 | 羊年底只数/万只 | 家禽出栏量/万只 | 粪污排放总量/万t |
|----------|------------|----------|----------|----------|-----------|
| 四川省      | 1082.05    | 5000.59  | 1750.75  | 64667.6  | 25983.89  |
| 河南省      | 943.85     | 4420     | 1886     | 90087.2  | 23474.56  |
| 云南省      | 922.33     | 2678.85  | 1008.03  | 19701.8  | 18911.81  |
| 内蒙古自治区   | 839.86     | 669.44   | 5569.28  | 11534.9  | 18200.21  |
| 山东省      | 511.04     | 2910.7   | 2174.56  | 169396   | 15970.33  |
| 湖南省      | 462.15     | 4188.3   | 529      | 40003.8  | 14181.72  |
| 新疆维吾尔自治区 | 575.88     | 303.6    | 3883.98  | 7274.6   | 12289.06  |
| 河北省      | 488.23     | 1915.45  | 1526.4   | 59627.5  | 12192.56  |
| 广西壮族自治区  | 484.68     | 2360.31  | 201.63   | 78288.1  | 11987.73  |
| 甘肃省      | 618.82     | 619.6    | 1960.5   | 3616.2   | 11817.31  |
| 辽宁省      | 502.25     | 1558.8   | 793.5    | 76814.8  | 11496.37  |
| 贵州省      | 573.57     | 1600.57  | 337.4    | 9162.1   | 11389.82  |
| 黑龙江省     | 536.58     | 1360.29  | 856.84   | 19975.4  | 11029.63  |
| 西藏自治区    | 652.48     | 39.85    | 1457.08  | 166.4    | 10996.73  |
| 湖北省      | 353.19     | 2550.67  | 469.89   | 51635.8  | 10179.89  |
| 吉林省      | 490.66     | 1000.4   | 410.82   | 37676.2  | 9668.51   |
| 青海省      | 484.74     | 120.56   | 1457.07  | 412.4    | 8611.56   |
| 广东省      | 241.97     | 2130.1   | 39.84    | 95128    | 8094.67   |
| 江西省      | 305.12     | 1738.55  | 57.34    | 45854.2  | 7828.21   |
| 安徽省      | 153.01     | 1585.35  | 642.75   | 71619.1  | 6122.17   |
| 重庆市      | 143.64     | 1483.76  | 209.58   | 23601.3  | 4862.69   |
| 江苏省      | 34.54      | 1799.5   | 413.8    | 75739.6  | 4541.91   |
| 陕西省      | 168.22     | 879.41   | 700.17   | 5043.7   | 4472.82   |
| 山西省      | 123.87     | 514.74   | 922.74   | 7592     | 3469.85   |
| 福建省      | 67.8       | 1149.35  | 121.44   | 39145.1  | 3351.92   |
| 宁夏回族自治区  | 110.92     | 75.43    | 611.95   | 1204.4   | 2280.74   |
| 海南省      | 79.13      | 412.86   | 67.97    | 13966.9  | 2042.10   |
| 浙江省      | 15.75      | 964.64   | 111.42   | 17379    | 2005.83   |
| 天津市      | 30.38      | 199.78   | 46.76    | 8136.1   | 898.64    |
| 北京市      | 20.32      | 179.6    | 68.35    | 7550.7   | 727.42    |
| 上海市      | 5.9        | 171.68   | 28.08    | 2166     | 398.02    |

用于制作堆肥,实现商品化利用<sup>[43]</sup>,而分离产生的废水,可以用于水肥一体化<sup>[44]</sup>。

畜禽粪污中的固体部分通常用好氧堆肥技术进行堆肥<sup>[45]</sup>,目前国内普遍采用条垛、反应器或槽型动态连续堆肥等方式。在堆放过程中通过粪肥翻堆并结合通气可以加速降解过程,堆肥过程产生的高温会杀死部分病原体和杂草种子等,最后再经过造粒和袋装,形成商品化堆肥产品,便于远距离运输,实现异地利用,减少对养殖场周围环境的污染。因此,商业堆肥方法是

配套耕地相对匮乏的规模化养殖场固体粪污处理的最合理方式<sup>[46]</sup>。

## 2.2 饲料化

畜禽粪便的营养成分因畜禽日粮配方及饲喂管理方式的不同而不同,还随饲养动物的种类、年龄、动物的不同生长期,粪便收集系统、粪便的贮存形式和时间长短的不同而改变。目前畜禽粪便饲料化利用途径主要有直接用作饲料、用作青贮原料、干燥处理以及分解利用等。

以鸡粪为例,由于鸡的肠道较短,饲料在鸡的肠胃中通过的时间也短,饲料中大部分营养物质没被吸收就排出体外。据测定,鸡粪中蛋白质含量为20%~30%,其氨基酸含量也不低于玉米等谷物饲料,此外还含有丰富的微量元素,故可将此类粪便代替部分精料来养牛、喂猪。另外,畜禽粪便与禾本科饲草一起混合青贮,可以增加青贮料的酸香气味,提高适口性;通过热效应和专业工程装备进行干燥处理,可制成高蛋白饲料;利用选育的种蝇、蚯蚓和蜗牛等低等动物分解畜禽粪便,直接生产动物蛋白,既能处理粪便,又能制作蛋白饲料,获得较好的生态和经济效益<sup>[47]</sup>。

### 2.3 能源化

畜禽粪污纤维素类物质含量较高,通过糖酵解处理可以制成乙醇,也可通过直接热裂解释放能量。此外,畜禽粪便能能源化利用最主要的方式是生产沼气,即通过密封容器内厌氧发酵,在释放热能的同时生产沼气,可以用作建筑取暖,或者用作燃料燃烧取暖做饭,实现能源化利用<sup>[48]</sup>。畜禽粪污厌氧发酵可以在户用尺度、村级尺度和工业化尺度上进行。虽然小型的沼气池建设得到了政府的大力支持,但是仍然存在一些问题,比如部分农户缺乏劳动力,沼气池一旦满了也不能及时清空,导致部分小型沼气池被废弃;较大规模沼气设施投资大,见效慢收益低,基本需要政府扶持才能建成运行。因此提高沼气工程的生产效率需更深入的研究<sup>[49]</sup>。

## 3 中国畜禽粪污处理的问题

### 3.1 政策法规不完善

随着畜禽粪污引起的环境问题日益突出,国家对这一问题越来越重视,社会各界也普遍关注。因此近年来,很多法律法规逐步建立健全<sup>[50]</sup>,但是中国现有的政策、法规还是不能涵盖所有问题,现行的畜禽污染防治法规和污染物排放标准不够细化,或执行力度不够,再加上民众认识、资金投入、技术设备等方面原因,导致部分规定难以有效落实。当前中国大部分畜禽养殖场还存在管理粗放、薄弱等问题,加上粪污处理投入较大,有些规模化畜禽养殖场甚至缺乏必要的污染治理设施<sup>[51]</sup>。

### 3.2 种养业脱节

随着畜禽养殖由农户养殖向规模化养殖场的不断发展,养殖场逐渐向人口密集的城市郊区集中,导致种养脱节严重<sup>[52]</sup>。加上部分养殖区域布局不合理,规模化畜禽养殖场周边没有足够的耕地消纳粪污,配套的污染治理设施和技术也较为匮乏,粪污难以肥料化、资源化利用,无法实现种养结合良性循环,达不到

可持续发展的要求。

### 3.3 技术与装备落后

与畜禽养殖粪污治理的法律法规类似,中国在畜禽粪污处理技术及装备的研发与创新方面取得一定的成绩,但经济有效的收集、处理和综合利用技术以及相关配套设施并没有完全跟上<sup>[53-54]</sup>。畜禽粪污治理方面的技术创新能力不足,具有自主知识产权的先进技术更加缺乏,功能性和实用较强的技术设备也较缺乏,国外引进技术和设备没能很好的结合国内养殖的实际情况,导致畜禽粪污资源化综合利用程度较低,养殖粪污污染治理形式依然严峻。

### 3.4 相关从业人员认识不足

目前,为了最大限度满足民众对畜禽产品的需求,赢取较高的经济效益,国内畜禽养殖方面人才培养大多集中在良种选育及高效饲养等方面,畜禽粪污处理方面的专业人才相对较少。此外,由于畜禽粪污处理比较困难,养殖场负责粪污处理的人员大多文化水平较低,专业知识不足,加上部分养殖场负责人为了追求经济效益最大化,不重视粪污治理技术及法律法规的培训,导致相关环节从业人员环保意识淡薄,粪污科学处理的认识不足<sup>[55]</sup>,日常工作中难免操作不当,一定程度上加剧了粪污对环境的污染。

### 3.5 配套资金投入不足

以规模化养殖场为例,从粪污的干湿分离开始,到堆肥处理、干燥处理、商品化加工,以及沼气发酵及利用,所需专业技术设备较多,土地、资金等投入较大,单个养殖场在建立之初,很难配备全套设备。而小规模养殖场配备粪污处理及综合利用设备更加困难。

## 4 对策建议

目前,中国各界普遍重视畜禽养殖粪污的处理工作,政府部门在政策扶持和资金投入方面逐渐强化,但由于缺乏足够的土地进行消纳,且相关处理技术和设施不完善,无法真正实现科学合理的粪污处理方式。因此,早在“十二五”期间,政府就在《全国畜禽养殖污染防治“十二五”规划》中提出了“发展中保护、保护中发展”总要求,要加快建立健全中国粪污处理的长效机制,提高粪污处理水平,完善相关配套设施设备。

### 4.1 进一步完善法律法规,强化宣传力度和环保执法力度

在《畜禽养殖污染防治条例》、《畜牧法》等法律法规的基础上,进一步完善畜禽养殖污染治理的制度体系,并且细化各项条款,使制度落到实处。同时加强畜禽养殖粪污处理的法律法规、专业技术等的宣传工作,在养殖场建立初期,就制定粪污日常管理制度和应急

预案,从源头上严格控制污染物的释放,确保周边环境的清洁安全。此外,还应该加强环保执法,强化社会监督,对违纪违规养殖户、养殖场依法严格处理,增加违法成本,使得相关从业人员从根本上重视环保工作<sup>[56]</sup>。

#### 4.2 科学合理布局,减少治理成本

地方有关单位,在规划新的养殖场、养殖区域的时候,应严格按照相关法规及技术要求,综合考虑当地自然资源、产业基础和粪污处理的实际情况,科学划定养殖区、禁养区和限养区,选择合理的养殖品种和规模,优化产业布局,尽可能实施种养结合循环利用<sup>[57]</sup>。以单位面积载畜量为基础,通过测算养殖区周边土地和水域的消纳能力,确定适宜的养殖规模和数量,从源头上减少粪污的直接排放。此外,还要充分考虑疫病防治和粪污处理技术体系,在建设养殖场的同时完善配套实施设备,使得养殖业与种植业、林业及水产业协调发展,形成畜禽养殖粪污资源化利用的长效机制。

#### 4.3 加强粪污处理技术创新和设备研发

按照源头控制、减量减排的原则,从畜禽良种选择、科学饲喂等入手,深入研究高转化率的配方及降低排泄率的饲喂方式,把源头控制与末端治理相结合。针对国内畜禽粪污治理技术和设备匮乏的问题,在充分理解国内实际和当地具体情况的基础上,社会各界应强化畜禽粪污处理及资源化利用的技术创新和设备研发<sup>[58]</sup>。引进国外先进技术和设备后,应切合当地具体情况,使得技术和设备发挥最大效用。另一方面,要加强新技术、新工艺、新设备的推广应用,用创新带动产业升级,以科技维护环境安全,逐步建立适合国情的生态养殖模式,最大程度地减少粪污排放。

#### 4.4 加大投入,以经济激励促进长效发展

由于畜禽粪污治理需要的投入较大,单个养殖场无法完全负担,因此需要政府和社会各界共同努力,加大资本等投入,完善粪污资源化综合利用的各个环节,在确保经济效益的前提下,最大限度维护环境安全。此外,还可以通过经济激励机制控制畜禽养殖粪污污染<sup>[59]</sup>,在综合考虑污染者付费、政策成本、激励手段等因素的基础上,通过环境税费、环境补贴、补偿以及排污权交易等经济激励措施配合利用,刺激养殖场自主处理粪污,减少排放<sup>[60-61]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 孙铁珩,宋雪英.中国农业环境问题与对策[J].农业现代化研究,2008,29(6):646-648,652.
- [2] 仇焕广,廖绍攀,井月,等.我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J].环境科学,2013,34(7):2766-2774.
- [3] 吴永红,胡正义,杨林章.农业面源污染控制工程的“减源-拦截-修复”(3R)理论与实践[J].农业工程学报,2011,27(5):1-6.
- [4] 杨林章,冯彦房,施卫明,等.我国农业面源污染治理技术研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(1):96-101.
- [5] 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].2010-02-06.
- [6] 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.
- [7] 陆文聪,马永喜,薛巧云,等.集约化畜禽养殖废弃物处理与资源化利用:来自北京顺义区农村的政策启示[J].农业现代化研究,2010,31(4):488-491.
- [8] 仇焕广,井月,廖绍攀,等.我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J].中国环境科学,2013,33(12):2268-2273.
- [9] 王子臣,沈建宁,管永祥,等.小型分散畜禽场粪污综合治理思路探讨——以武进区礼嘉-洛阳片区畜禽养殖业为例[J].农业环境与发展,2013(2):11-14.
- [10] 李亮科,朱宁,马骥.我国蛋鸡密集养殖区粪便处理与利用问题探讨[J].农业现代化研究,2015,36(3):394-398.
- [11] 李有志,张淑二,胡洪杰.我国畜牧业污染现状、处理方法及应对措施[J].家畜生态学报,2013,34(4):76-79.
- [12] 中华人民共和国环境保护部.环发[2010]151号畜禽养殖业污染防治技术政策[R].2010-12-30.
- [13] 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.
- [14] 孙良媛,刘涛,张乐.中国规模化畜禽养殖的现状及其对生态环境的影响[J].华南农业大学学报:社会科学版,2016,15(2):23-30.
- [15] 苏杨.我国集约化畜禽养殖场污染问题研究[J].中国生态农业学报,2006,14(2):15-18.
- [16] 陈晓鸥,贾永全,王喜文.规模化畜禽养殖污染现状及防治对策[J].中国畜牧兽医,2007,34(5):137-138.
- [17] 陈瑶,王树进.我国畜禽集约化养殖环境压力及国外环境治理的启示[J].长江流域资源与环境,2014,23(6):862-868.
- [18] 谷晓明,邢可霞,易礼军,等.农村养殖户畜禽粪污综合利用的公私营合作制(PPP)模式分析[J].生态与农村环境学报,2017,33(1):62-69.
- [19] 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,2014:3-4.
- [20] 刘忠,段增强.中国主要农区畜禽粪尿资源分布及其环境负荷[J].资源科学,2010,32(5):946-950.
- [21] 朱德文,钟成义,陈永生.畜禽养殖业粪污处理现状与对策研究[J].家畜生态学报,2007,28(6):163-166.
- [22] 董红敏,刘长春.粪污处理技术百问百答[M].北京:中国农业出版社,2012:14-20.
- [23] 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.
- [24] 祝其丽,李清,胡启春,等.猪场清粪方式调查与沼气工程适用性分析[J].中国沼气,2011,29(1):26-28.
- [25] 李俊卫,那蕊,陈冲,等.规模化猪场粪肥处理利用工艺[J].中国猪业,2016,11:55-58.
- [26] 冯伟燕,孟令辉,王战予,等.养殖场的气体污染及其防治[J].现代农业,2014,12:68-69.
- [27] 中华人民共和国环境保护部.2014年环境统计年报[R].Http://



- [www.mep.gov.cn/gzfw\\_13107/](http://www.mep.gov.cn/gzfw_13107/).
- [28] 中华人民共和国国家统计局.2014年分省年度统计数据[R].[Http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103](http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103).
- [29] 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,2009,43(11):117-120.
- [30] 宋秀杰,张增杰,闫育梅,等.密云水库流域畜禽养殖粪便的污染影响及污染控制[J].农业环境与发展,2008,25(3):65-68.
- [31] 谢飞.江苏太湖地区畜禽养殖业产排污环境影响研究[D].南京:南京农业大学,2014:50-55.
- [32] 陈绍华,李哲,吴逸雪,等.清江流域畜禽养殖污染负荷研究[J].环境污染与防治,2016,38(7):25-30.
- [33] 刘月仙,刘娟,吴文良.北京地区畜禽温室气体排放的时空变化分析[J].中国生态农业学报,2013,21(7):891-897.
- [34] 杨璐,于书霞,李夏菲,等.湖北省畜禽粪便温室气体减排潜力分析[J].环境科学学报,2016,36(7):2650-2657.
- [35] 陈守越,王梁.山东省畜禽养殖温室气体排放时空格局分析[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2016,37(1):16-22.
- [36] 戴婷,章明奎.长期畜禽养殖污水灌溉对土壤养分和重金属积累的影响[J].灌溉排水学报,2010,29(1):36-39.
- [37] 刘红恩,聂兆君,刘世亮,等.养殖污水灌溉对土壤养分和重金属含量的影响[J].环境科学与技术,2016,39(S1):47-51.
- [38] 陈滨江.畜牧业生产中的人畜共患病[J].黑龙江畜牧兽医,2011(22):61-63.
- [39] 白明刚,马长海.河北省畜禽粪尿污染现状分析及对策[J].广东农业科学,2010,37(2):161-164.
- [40] 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,2016,44(4):137-140.
- [41] 杨育林,文勇立,李昌平,等.规模化畜禽养殖场产生的废水污染物调查[J].四川畜牧兽医,2007,34(10):32-34.
- [42] 李艳提.土壤中肿、铜兽药残留对空心菜、苋菜的影响[D].南京:南京师范大学,2011:1-6.
- [43] 黄慧,牛冬杰,潘朝智.畜禽粪便脱水干燥技术的研究进展[J].山西能源与节能,2010,61(4):48-52.
- [44] 周国安,吴恩勤,严建刚.规模养殖场污水减量化与无害化处理的探索[J].中国畜牧杂志,2011,47(8):57-61.
- [45] 李玉轩.畜禽养殖场固体粪便好氧堆肥处理技术[J].山东畜牧兽医,2014,35(9):95-96.
- [46] 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,2014:5-6.
- [47] 张淑芬.畜禽粪便饲料化生产利用技术[J].饲料研究,2016(17):48-50.
- [48] 秦翠兰,王磊元,刘飞.畜禽粪便生物质资源利用的现状与展望[J].农机化研究,2016(6):234-238.
- [49] 塔莉,高辉,李想.农村沼气的可持续发展探析[J].中国环境管理干部学院学报,2011,21(3):53-55.
- [50] 胡哲,吴文英.我国畜禽养殖业粪污管理立法现状及建议[J].中国猪业,2016(11):58-60.
- [51] 李晓光,周其文,胡梅,等.中国畜禽粪便污染现状及防治对策[J].中国农学通报,2008,24(S1):77-80.
- [52] 林启才,杜利劳,张振文.陕西省畜禽养殖业污染成因及防治问题研究[J].陕西农业科学,2014,60(6):56-58.
- [53] 赵晨曦,肖波,禹逸君.畜禽粪便污染和处理技术现状与发展趋势[J].湖南农业科学,2003(6):52-55.
- [54] 丁凡琳,董晓霞,郭江鹏,等.北京市奶牛养殖场废弃物资源化利用现状、问题及对策[J].中国畜牧杂志,2015,51(4):41-46.
- [55] 王庸爱.生猪规模养殖场粪污处理存在的问题及防治对策[J].基层农技推广,2015,3(7):84-86.
- [56] 冷罗生.面源污染防治立法的现状、困境与出路[J].环境保护,2009,424(14):71-73.
- [57] 阎波杰,吴文英,潘瑜春,等.畜禽养殖场空间布局规划评价研究[J].安徽农业科学,2010,38(5):2487-2490.
- [58] 尹澄清,毛战坡.用生态工程技术控制农村非点源水污染[J].应用生态学报,2002,13(2):229-232.
- [59] 华春林.我国农业面源污染治理机制研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009:24-31.
- [60] 郭晓.规模化畜禽养殖业控制外部环境成本的补贴政策研究[D].重庆:西南大学,2012:52-59.
- [61] 魏欣.中国农业面源污染管控研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014:71-84.