

我国畜禽养殖粪污产生量及其资源化分析

武淑霞¹, 刘宏斌¹, 黄宏坤², 雷秋良¹, 王洪媛¹, 翟丽梅¹, 刘申³, 张英¹, 胡钰⁴

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业农村部农业面源污染控制重点实验室, 北京 100081;

2. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京 100125; 3. 航天信息股份有限公司, 北京 100195;

4. 农业农村部农村经济研究中心, 北京 100810)

摘要: 畜禽养殖业粪污的不合理排放是我国农业面源污染的主要来源, 但粪尿本身也是潜在资源, 如何将畜禽粪污最大程度资源化、减少对环境的污染, 成为我国养殖业可持续发展中必须面对并解决的一个重大问题。本文采用排污系数法计算了我国畜禽养殖粪污产生量, 并针对其资源化现状、问题等进行了分析。结果表明, 随着畜禽养殖规模化、集约化程度的提高, 畜禽粪便可资源化利用的数量不断增加。2015 年规模化畜禽养殖粪污产生量为 3.834×10^9 t, 其中新鲜粪便 6.36×10^8 t, 尿液 5.65×10^8 t, 污水 2.633×10^9 t。从总量上看, 我国畜禽粪尿中氮、磷产生量分别为 1.229×10^7 t 和 2.046×10^6 t, 以河南省产生量最高, 其次为山东、河北、四川、湖南等省。畜禽粪便资源化利用方式主要作为肥料、能源和饲料等使用, 对畜禽粪污农田利用现状进行了调查和研究, 针对畜禽粪便资源化过程中的问题给出了建议。

关键词: 畜禽养殖; 粪污; 氮; 磷; 资源化

中图分类号: X713 **文献标识码:** A

Analysis on the Amount and Utilization of Manure in Livestock and Poultry Breeding in China

Wu Shuxia¹, Liu Hongbin¹, Huang Hongkun², Lei Qiuliang¹, Wang Hongyuan¹, Zhai Limei¹,
Liu Shen³, Zhang Ying¹, Hu Yu⁴

(1. Key Laboratory of Nonpoint Source Pollution Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China; 3. Aisino Corporation, Beijing 100195, China;

4. Research Center for Rural Economy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100810, China)

Abstract: Unreasonable discharge of manure from livestock and poultry breeding is a main source of agricultural non-point source pollution in China, but the manure is also a potential resource. How to achieve the best resource utilization of livestock manure and reduce environmental pollution has become a major problem that must be solved in the sustainable development of China's breeding industry. In this paper, the pollutant discharge coefficient method is used to calculate the amount of manure produced by livestock and poultry breeding in China, and the current situation and problems of its resource utilization are analyzed. The results show that, with the expansion of the scale of livestock and poultry breeding and the increase of intensification, the amount of livestock manure

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2018-09-18

通讯作者: 武淑霞, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 副研究员, 主要研究方向为施肥与环境; E-mail: wushuxia@caas.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国农业资源环境若干战略问题研究”(2016-ZD-10); 农业部专项“农业生态环境保护”; 中英牛顿基金项目(BB/N013484/1)

本刊网址: www.enginsci.cn

resources has increased significantly. In 2015, the amount of manure produced by large-scale livestock and poultry breeding is 3.834×10^9 tons, including 6.36×10^8 tons of fresh manure, 5.65×10^8 tons of urine, and 2.633×10^9 tons of sewage. In terms of the total amount, the nitrogen and phosphorus in livestock and poultry manure in China are 1.229×10^7 tons and 2.046×10^6 tons, respectively, with the highest production in Henan province, followed by Shandong, Hebei, Sichuan, and Hunan. The livestock manure is mainly utilized as fertilizer, energy, and forage. We investigated and studied the current situation of the utilization of livestock and poultry manure, and analyzed and proposed suggestions to the problems in the resource utilization of livestock manure.

Keywords: livestock and poultry breeding; manure; nitrogen; phosphorus; resource utilization

一、前言

随着生活水平的提高,畜牧业迅猛发展,畜禽养殖在为人们提供肉蛋奶的同时,也产生了大量的废弃物,成为我国农业面源污染的主要来源[1],也是发达国家和发展中国家共同关心的问题。早在20世纪六七十年代,世界上许多畜牧业发达的国家和地区,就出现了畜禽粪便污染问题[2~4]。在畜禽高度密集的地区,畜禽废弃物已成为主要的环境污染源。例如,英国每年有 8×10^7 t 畜禽粪便需要处理,其中可回收利用119 000 t 磷。荷兰南部地区畜牧业密集度最高,结果造成畜禽粪便量大大超过农田畜禽粪便承载量,从而引起粪便硝酸盐污染。据报道,荷兰每年粪便总产出量为 9.5×10^7 t,其中过剩 1.5×10^7 t;比利时每年粪便总产出量为 4.1×10^7 t,过剩 8×10^6 t;法国的布列塔尼省集中了全国集约化畜牧业的40%,该地区从20世纪80年代初只有一个地区饮用水硝酸盐含量超过饮用水标准,逐步发展到2005年6个地区饮用水超标,21个地区接近超标;在美国,畜禽养殖场产生的废弃物是人类生活废弃物的130多倍,严重威胁着当地的生态环境。在中国,畜禽粪便堆存量、环境影响广泛,畜禽粪便利用率低。在我国部分地区,畜禽粪尿污染已超过城乡结合带居民生活、农田氮磷流失等对环境的影响,是造成许多重要水源地、江、河、湖等水体严重污染的主要原因之一[5]。

畜禽养殖粪污在不合理排放造成环境污染时被认为是污染物,但如施入农田作为农业生产肥料而被作物吸收利用时就变成了资源,可以替代化肥为作物持续提供营养,并能提高土壤有机质。畜禽粪污产生量是畜禽粪便污染治理和资源化利用的基础和前提。本文在计算我国畜禽粪污的产生量基础上,对其资源化、耕地承载力等热点问题进行了分析和讨论。

二、我国畜禽粪污产生量现状

(一) 畜禽养殖粪污产生量的计算方法

近十几年来,关于我国及各地区畜禽粪便排放量及其对环境影响评价的研究较多,排污系数法为当前所普遍采用的估算方法[6,7]。目前虽然很多资料对各种畜禽的畜禽粪尿发生总量和氮、磷产生系数进行了估算,但是差异很大。造成差异的原因主要有:畜禽种类不齐全,大多数只选取猪、牛、鸡、鸭,而其他畜禽未统计;畜禽粪便的产排污系数和饲养期的选取与确定存在差异;有些研究中未区分畜禽出栏量和存栏量,或存在错算、漏算的问题;而有些研究中同时计算同一种畜禽的出栏量和存栏量,又存在重复计算的问题;近几年畜禽养殖方式由原来的农户散养变成如今的规模化、集约化养殖,因此畜禽养殖污染也发生巨大变化;牲畜日排粪量和日排尿量因品种、年龄、体重、饲料、地区、季节等不同而有差异,例如,随着饲料配方日渐合理,牲畜有排粪减少、排尿增多的趋势;取样方式和鲜样的含水量等影响也很大,按干重和湿重不同的估算方式会有差别。

本文中的畜禽粪污量计算沿用农业农村部2013年针对我国畜禽粪污计算时所采用的方法。全国及各省畜禽统计数据来自《2015年中国农业统计资料》,畜禽种类选取对农业生产及环境影响较大的猪、牛、禽和羊,分别采用生猪出栏数、奶牛存栏数、肉牛出栏数、家禽存栏数、羊存栏数进行计算,畜禽粪尿、氮磷产污系数主要参照2009年《第一次全国污染源普查—畜禽养殖业源产排污系数手册》[8,9],生猪年排污量根据万头猪场仔猪、育肥猪和母猪的构成比例及相应的产污系数进行计算,奶牛产污系数采用育成牛和产奶牛的平均值计算,奶牛、肉牛、蛋禽、羊的养殖天数为365天,家禽年粪便产生量计算采用3/4家禽养殖50天、1/4家禽养殖365天计算。据农业农村部调查,生猪年污水产生量为

5.26 t/头, 牛年污水产生量为 0.46 t/头, 家禽污水产生量为 0.001 t/羽。

(二) 畜禽粪尿产生量

2015 年全口径统计测算全国生猪、奶牛、肉牛、家禽和羊的粪污产生量为 5.687×10^9 t, 其中新鲜粪便产生量约为 1.019×10^9 t, 尿液约为 8.9×10^8 t, 冲洗污水约为 3.778×10^9 t。在 2007 年我国开展第一次全国污染源普查中畜禽养殖业源普查口径为: 生猪出栏 50 头以上, 奶牛存栏 5 头以上, 肉牛出栏 10 头以上, 蛋鸡存栏 500 羽以上, 肉鸡出栏 2000 羽以上, 肉羊未纳入普查范围。按照此划分标准, 我国畜禽规模化养殖生猪所占比例为 69.9%, 蛋鸡所占比例为 81%, 肉鸡所占比例为 85.6%, 奶牛所占比例为 57%, 肉牛和肉羊未见相关数据, 分别采用 50% 和 80% 进行计算。从而得出我国 2015 年规模化畜禽养殖粪污产生量为 3.834×10^9 t, 其中新鲜粪便为 6.36×10^8 t, 尿液为 5.65×10^8 t, 污水为 2.633×10^9 t。

单从不同畜禽种类上看, 2015 年我国畜禽粪尿产生量约为 1.91×10^9 t, 其中猪、牛、禽和羊的粪尿产生量分别为 6.5×10^8 t、 9.2×10^8 t、 9×10^7 t 和 2.5×10^8 t, 分别占总产生量的 33.9%、48.3%、4.7% 和 13.1%。在同时考虑污水排放的情况下, 全口径畜禽养殖粪污产生量为 5.687×10^9 t, 其

中猪排污总量为 4.37×10^9 t, 占 76.8%, 牛排污总量为 9.7×10^8 t, 占 17.1%, 而禽排污总量为 9.639×10^7 t, 占 1.7%, 羊排污总量为 2.5×10^8 t, 占 4.4%。

从区域分布看(见图 1), 畜禽粪尿产生量(不含污水)以河南省最多, 其次为四川省、湖南省、山东省, 均超过 1×10^8 t, 产生量在 $5 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8$ t 间的省(区)有 11 个, 从大到小依次为云南省、湖北省、河北省、广西省、黑龙江、内蒙古、辽宁、广东、吉林、江西和贵州, 小于 5×10^7 t 的省(市、区)有 16 个, 以上海、北京、宁夏粪尿产生总量最小, 不足 1×10^7 t, 其他省的粪尿产生总量均在 $1 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7$ t。

从不同畜禽种类粪尿产生量所占比例可以看出(见图 2), 在浙江、江苏、上海、福建、广东、重庆, 猪粪尿所占比例最高, 超过 60%。湖南、湖北、安徽和北京猪粪尿产生量占 50%~60%, 在这些区域, 需要加强对猪粪尿的处理和利用。牛粪尿占比较高的区域主要发生在我国西部和北部的地区, 超过 60% 的有 10 个省(区), 主要包括西藏、青海、宁夏、内蒙古、新疆、甘肃、黑龙江、贵州、吉林和云南, 牛粪尿比例在 50%~60% 的省份有 6 个, 为河南、山西、河北、海南、广西和四川, 其余 15 个省份牛粪尿比例则小于 50%, 以江苏、浙江比例最低, 仅为 10%~11%。禽粪在畜禽粪尿中所占比

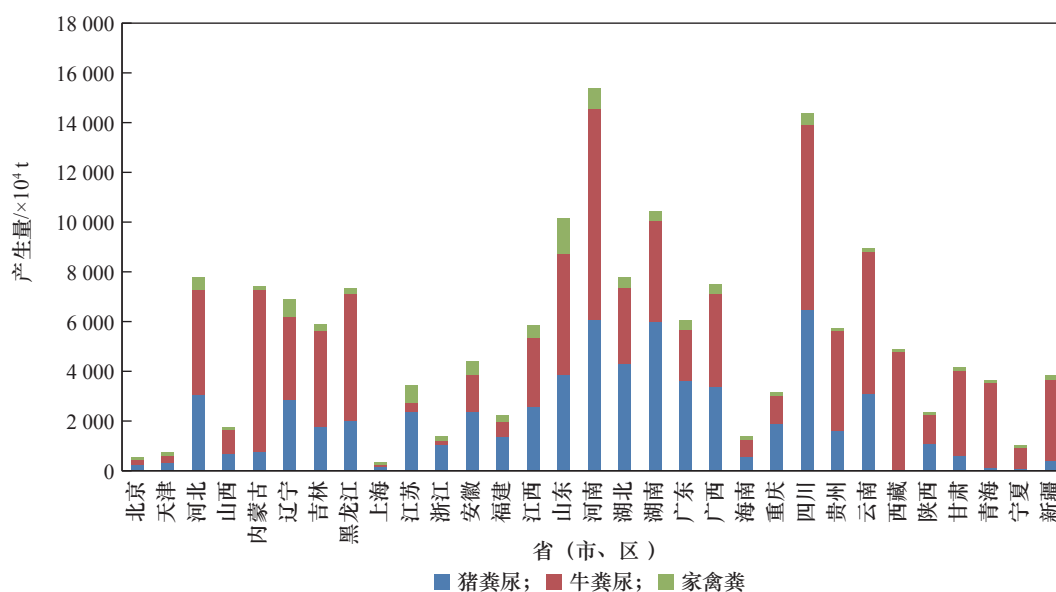


图 1 2015 年我国各省畜禽粪尿产生量

重较高的省份为江苏、山东、浙江、安徽、福建和辽宁，均在 10% 以上，其他省份所占比例则较低。

三、畜禽粪尿养分资源分析

(一) 畜禽粪便资源现状

我国畜禽养殖发展迅速，与建国初期相比，2016 年大牲畜、猪、羊、禽的年末存栏数分别增加了 1.98 倍、7.53 倍、7.11 倍和 27.96 倍。与世界其他国家相比，我国生猪的存栏量及出栏量均居世界第一位，约占世界总量的一半。

利用第一次全国污染源普查成果《畜禽养殖业源产排污系数手册》计算了我国畜禽粪尿中氮、磷的含量。从总量上看，在不计污水的情况下，我国猪、牛、羊、禽粪尿资源中氮、磷产生量分别为 1.229×10^7 t 和 2.046×10^6 t，各省（市、区）产生量分别如图 3 所示，以河南省产生量最高，其次为山东、河北、四川、湖南等省。

在养殖方式上，也从以前的散养为主开始向规模化和集约化发展，21 世纪初，规模化养殖场初具规模，约有 5 万余个。近十几年来规模化发展更为迅速，尤其是规模化养猪场的发展最为迅速。畜

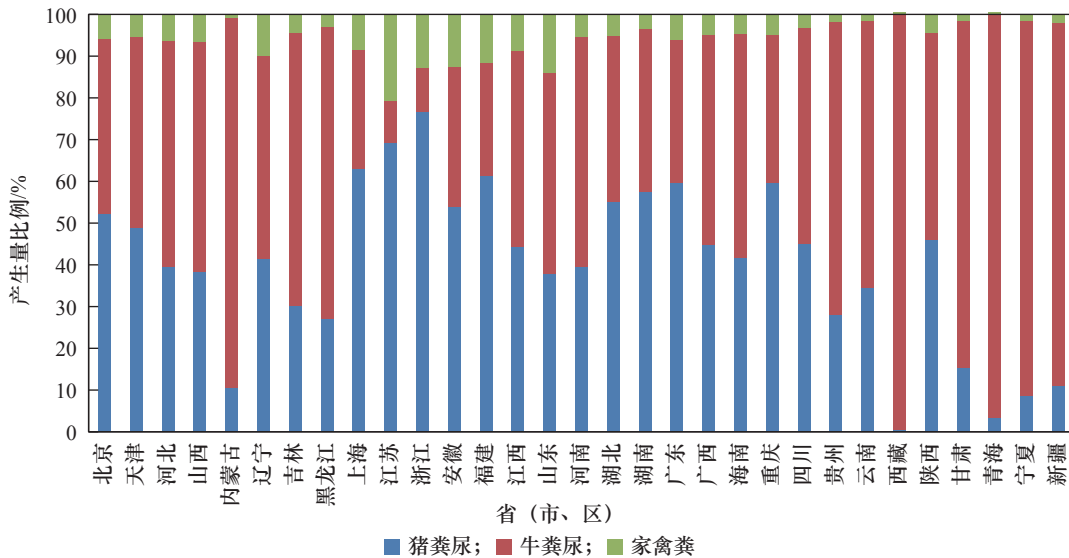


图 2 2015 年各省不同畜禽粪尿产生量比例

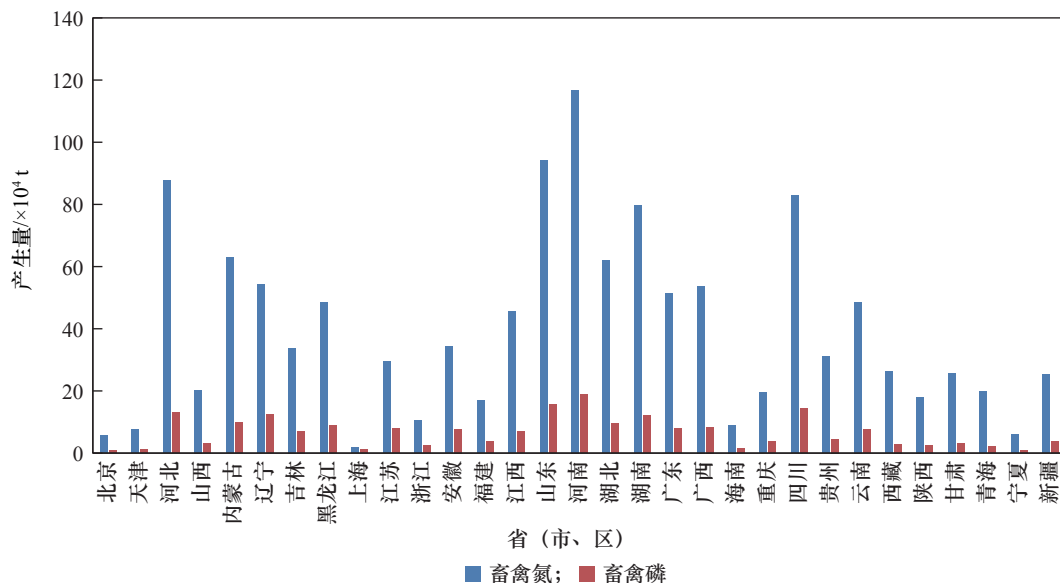


图 3 我国各省(市、区)畜禽养殖氮、磷产生量

禽养殖的规模化有利于采用先进设备对粪污进行处理,进而促进畜禽粪便资源化利用的机械化和工厂化水平,提高了畜禽粪便资源量。

(二) 畜禽粪便资源化利用方式

我国是养殖大国,生猪的存栏量及出栏量均居世界第一位,同时也是种植大国,种养结合不仅可以提高土壤质量,减少化肥投入,还能减轻畜禽养殖对环境造成的污染。促进畜禽粪便废弃物的综合利用,已成为中国养殖业发展亟待解决的重要问题之一,有利于缓解突出的环境问题,促进循环农业的实现,有利于资源节约及环境保护。畜禽粪便经过“减量化、无害化、资源化”处理,转换为肥料、饲料或能源,不仅可消除其对环境的影响,还可产生较大的经济价值和社会效益。

1. 畜禽粪便肥料化

畜禽粪便中含有丰富的有机物和氮、磷、钾及多种微量元素物质,能够为作物生长提供营养,并培肥地力,是一种优质的有机肥源。较早的资料记载表明,我国在建国初期就提倡“大建田头肥库,大沤优质肥料”,其中畜禽粪尿就是最好的原料[10]。畜禽粪便肥料化是其资源化的最主要途径。

我国畜禽养殖方式在改革开放以前多为散户饲养,所产生的粪尿作为农家肥就近施用到农田,主要是一家一户堆沤模式。随着人们生活水平的提高,对肉蛋奶供应的需求不断增长,越来越多的规模化养殖场出现在大中城市近郊,在畜禽粪便肥料化处理方式上也开始发生转变。

传统堆肥技术由于占地面积大、周期长,不能控制畜禽粪便臭气等缺点,限制了其在规模养殖下的应用与推广。而工厂化生产模式的高温好氧堆肥以其有机物分解速度快、发酵时间短、最大限度杀灭病原菌等优点成为畜禽粪便堆肥的首选方式。高温好氧堆肥是有机物在一定条件下,依靠微生物的相互协同作用,通过高温发酵分解转变为肥料的技术,这期间合成的有机物腐殖质等能作为提高土壤肥力的重要活性物质。这是当前畜禽粪便资源化利用相对成熟的技术模式。据农业农村部不完全统计[11],截至2015年我国有机肥生产企业达2961个。当前,在我国规模化畜禽养殖场的畜禽粪便处理模式中,储存农用和生产有机肥的比例均在65%~75%[12]。

2. 畜禽粪便能源化

畜禽粪便还可以作为一种生物质能源,经过开发利用,可以节约和替代原生资源,减少对不可再生资源的依赖,实现资源可持续利用。畜禽粪便能源化以在较大规模的养殖场所进行的沼气工程为主体,以能源生产为目标,通过对畜禽粪污等养殖废弃物进行厌氧发酵,能够分解畜禽粪便中的大部分有机物,所生产的沼气可以作为能源用于燃烧发电,沼气工程中的副产品沼渣、沼液可作为肥料还田利用,最终实现沼气、沼液、沼渣综合及有效利用。

随着畜禽粪便原料型沼气生产技术的不断发展,在农村能源需求增长、规模化养殖快速发展以及环境治理压力加大等驱动因素下,畜禽粪便原料型沼气工程得到了国家政策的大力推动及经费上的大力支持并迅速发展。在发展畜禽养殖业的同时,将粪污通过沼气发酵处理“变废为宝”,获得生活、生产能源和有机肥料,进行资源化利用。总之,利用沼气技术对污水进行综合处理,不但可以解决规模化畜禽养殖带来的污染问题、消除规模化畜禽养殖与环境保护的矛盾,还可以对污水进行资源化利用,在取得生态效益的同时获得可观的经济效益,是保护农业自然资源,优化生态环境,促进现代化养殖业的好办法。在我国规模化畜禽养殖场的畜禽粪便处理模式中,当前粪便生产沼气的方式与肥料化相比仍然少得多,全国占比仅在1%左右[12],有较大的发展空间。

3. 畜禽粪便饲料化

由于畜禽粪便含有丰富的粗蛋白,粗纤维、纯蛋白、粗脂肪,以及矿物质元素如钙、磷等,畜禽粪便再生饲料化成为畜禽粪便资源利用的途径之一。鸡粪的饲料化价值最高,一方面是因为鸡饲料营养成分较全,另一方面是鸡的自身结构导致饲料在消化道里停留时间短,鸡对饲料的消化吸收率低,因而鸡粪的营养物质含量也较高。鸡粪再生饲料可用于饲喂鸡、猪、牛、羊等多种畜禽。猪粪再生饲料也较多地用于反刍动物,由于反刍动物特有的消化能力能有效利用这种饲料。用猪粪喂猪通常应该控制在15%左右的比例,太高会影响猪的生长。另外,加工后的畜禽粪便再生饲料还可以用于水产养殖等。有些鱼类利用动物粪便的能力很强,如热带鱼、鲢鱼、鳙鱼和罗非鱼等,通过控制动物粪便养分流量,实现繁殖速生鱼的最佳条件。

畜禽养殖粪便再生饲料大幅度地降低了养殖业肉类、奶类和其他畜产品的成本。畜禽粪便再生饲料的制作方法包括干燥法、发酵法（又可分成厌氧发酵、充氧发酵和青贮发酵等）、热喷处理法、物理方法、化学方法等 [13]，有时也可以和其他物质配合直接用来饲养反刍动物、鱼、蝇蛆等，来增加动物蛋白质饲料资源。

四、畜禽粪污农田利用现状分析

（一）农业生产有机肥施用比例调查

尽管畜禽粪污作为肥料施用已经有近千年的历史，也积累了大量关于有机肥具有培肥地力、提高土壤质量等方面的研究，与化肥相比，有机肥的推广难度要大得多。这是由于畜禽粪便作为有机肥具有体积大、不易运输、施用时费工、费力等特性，而在我国以小农户为主体的农业生产中，尤其是农村大量年轻劳动力涌向城市和工厂，在务农的人群以妇女和老年人所占比重较大的情况下，有机肥的推广还有很大的空间。

根据农业农村部对全国 23 706 个典型地块的最新调查，种植粮食作物施用了有机肥（主要为畜禽粪便等粪肥，不含秸秆等有机肥）的田块比例合计为 19.1%，其中水稻、小麦、玉米、甘薯和马铃薯分别为 11.9%、34.5%、20.5%、31.7% 和 48.2%；经济作物施用有机肥的田块比例约占 36.9%，其中，花卉、果树的有机肥施用比例均在 50% 以上，甘

蔗、甜菜、烟草、茶、桑类作物施用有机肥的地块约占调查地块的 30%~40%，棉花、油菜及其他油料作物则较低。瓜果蔬菜施用有机肥的田块比例较高，其中根茎叶类蔬菜和瓜果类蔬菜分别为 56.1% 和 56.4%，水生蔬菜较低，为 24.6%（见图 4）。

调查结果表明，在当前农业生产中仍有大量种植粮食作物和部分经济作物的地块没有施用有机肥，有机肥替代部分化肥的工作仍需进一步加强。我国近年来为促进和引导农民使用有机肥出台了一些补贴政策和措施，部分地方政府如北京、上海、江苏等省市也出台了有机肥补贴政策，开展有机肥替代化肥试点工作等，这些措施较为有效地推进了畜禽粪便的还田利用。

（二）农用耕地畜禽粪尿承载力水平现状

目前已有大量文献对于单位耕地面积的畜禽粪便承载力进行了评价。国内有学者 [6] 提出耕地能够承载的畜禽粪便为 30 t/hm² 左右，欧洲畜禽粪便的施用量限值为 35 t/hm²。畜禽粪便年施用量与土壤质地、肥力和气候等自然条件有关，综合考虑这些因素，欧洲将粪肥年施用量的限量标准定为 170 kg N/hm²，超过这个极限值将会带来硝酸盐的淋洗；土壤的年施粪肥磷量不能超过 35 kg/hm²，过量会引起土壤磷的淋洗，造成环境污染 [14]。国内有学者 [15] 根据我国的情况，认为单位耕地氮或磷最大可施用量分别为 150 kg N/hm² 和 30 kg P/hm²。据沈根祥等 [16] 的研究结果，粮食作物氮、磷年

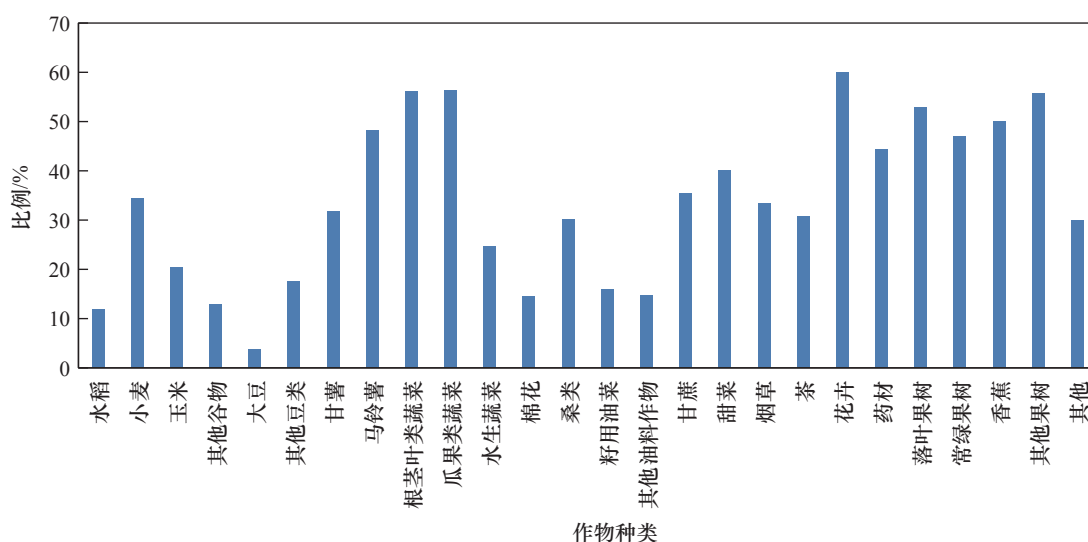


图 4 不同作物施用有机肥的田块比例

平均需求量分别为 219 kg N/hm² 和 63 kg P₂O₅/hm²。另外，在评估耕地和果园对畜禽粪便承载力时，应考虑化肥施用的影响。

综合以上因素，本研究采用每公顷耕地能够承载的畜禽粪便量上限为 30 t/hm²，单位耕地氮、磷最大可施用量分别为 150 kg N/hm² 和 30 kg P/hm²，超过该限定值，则认为畜禽养殖超过单位耕地面积承载力。

从图 5 中可以看出，我国单位耕地面积的畜禽承载量有 16.1% 的省（市、区）超过 30 t/hm² 粪污限制值，这些地区主要为西藏、北京、广东、福建和湖南。以单位耕地氮承载力来计（见图 6），则有 10 个省（市、区）超过了 150 kg N/hm²，分别为北京、西藏、广东、天津、山东、湖南、福建、河南、江西和海南；其中，除海南、河南、湖南和江西外，

其他 6 省（市、区）及辽宁的单位耕地磷承载力超过了 30 kg P/hm²。为保障国家粮食安全、提高人们营养健康水平，我国畜禽养殖产品仍呈持续增长势头。在很多地区资源短缺、环境承载力超负荷的情况下，做好畜禽粪污资源化、减少对环境的污染，成为我国养殖业可持续发展中必须面对并解决的重大问题。

五、畜禽粪污资源化中的问题及建议

（一）开展清洁生产，提高粪污利用率

畜禽养殖粪污能够被利用则成为资源，而当不合理排放到水体中时，就变成了污染物。规模化畜禽养殖场采用的清粪工艺主要是水冲粪、水泡粪和干清粪工艺，养猪场以这三种工艺为主，养鸡场和

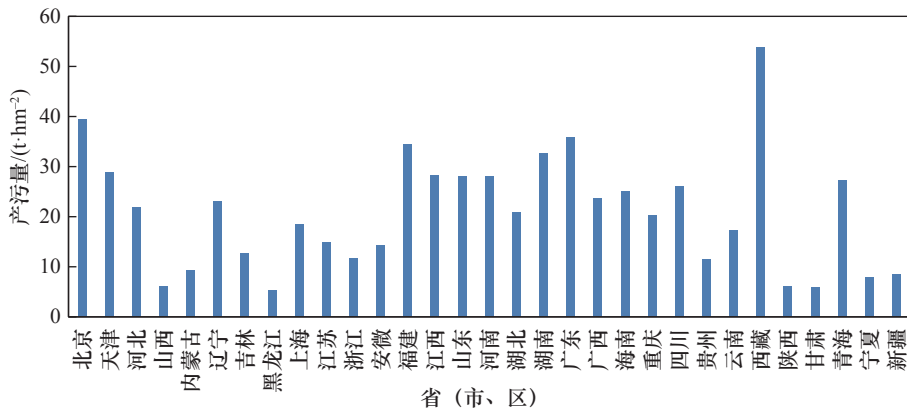


图 5 各省（市、区）耕地均畜禽粪便产污量

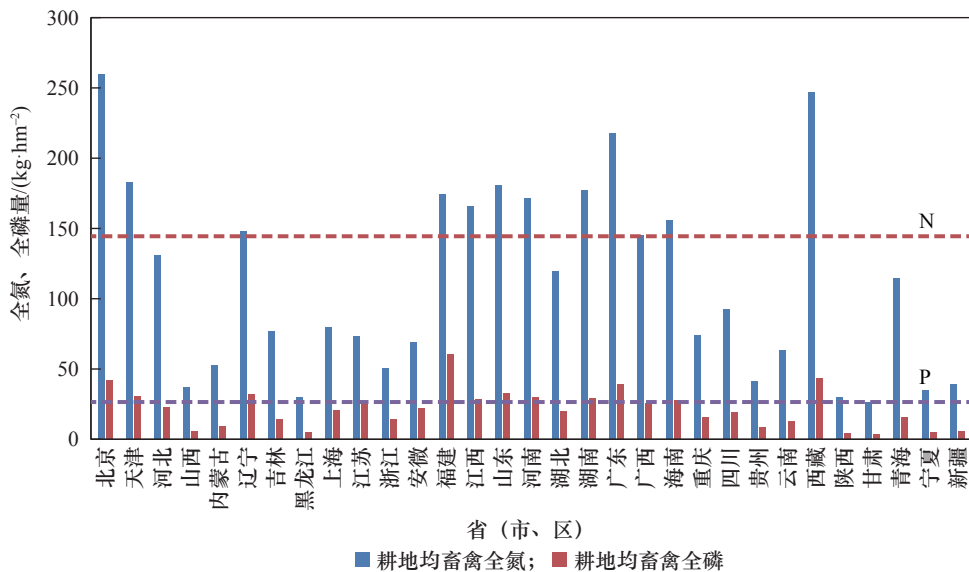


图 6 我国各省（市、区）耕地均畜禽全氮、全磷量

养牛场以干清粪为主。对于水冲粪工艺，由于排出的粪水含水率高（95%~98%），肥料化的难度较大，其运输、贮存和施用都不方便。分离粪水的工艺复杂，并且所分离出的固体粪便养分含量低，作为肥料的价值也较低。

清洁生产是从源头控制开始，以预防为主，将污染物尽可能消除在它生产之前。在人力、物力和财力允许的情况下，优化饲料配方，提高饲养技术，采用能够减少畜禽养殖污水产生量、降低处理难度、节约处理成本的清洁生产工艺，积极推行干清粪工艺，将干粪及时、单独清理出，减少与尿、污水的混合排出量，并及时将清出的粪便进行贮存或处理，提高粪污回收利用率，便于进行资源化使用。

（二）优化畜禽养殖场布局，加强种养结合

从整体上看，我国畜禽养殖业正从传统养殖业转向现代养殖业，从以散养为主转向规模化发展，同时小型养殖场和散养群体依然占较大比例。传统养殖业主要集中在农区和牧区，周边有较充足的土地来消纳养殖废弃物。随着大型养殖场逐渐向城郊结合带转移，养殖业和种植业开始脱节，养殖场与农田的距离增大，养殖废弃物难以被运输到农田加以利用。

从长远发展看，畜禽养殖场的建设布局应遵循“种养结合、畜地平衡”的原则，首先要考虑当地的环境承载能力，兼顾市场需求、效益及污染治理，目前国家和部分地区已经出台了划定畜禽禁养区、限养区技术指南，在这些指南的基础上，应根据可接纳畜禽养殖废弃物的土地布局，合理确定畜禽养殖场的布设区域、畜禽种类、总量及规模。

（三）加强畜禽粪便无害化处理

在畜禽粪污资源化过程中，仍有不少问题必须引起重视。

当畜禽粪便肥料化时，如果使用不当，有可能对土壤造成二次污染，影响作物生长，甚至导致农产品质量下降，进而危害人类健康。这是由于规模化养殖场所用饲料中含有大量添加剂，导致畜禽粪便中抗生素、重金属的含量较高，另外畜禽粪便中还含有大量病原体，在使用前需要进行无害化处理。农业农村部在2018年5月出台了畜禽粪便无害化处理技术规范（GB/T 36195—2018），该规范对畜

禽粪便无害化处理做出了基本要求，还从粪便处理场选址及布局、粪便收集、贮存和运输、粪便处理及粪便处理后的利用等方面进行了规定。在畜禽粪污资源化过程中，应遵循该技术规范，作为有机肥施用时应与化肥进行合理配合，避免过量施用畜禽粪尿，以免对土壤和农产品造成污染。

在畜禽粪便饲料化过程中，由于粪便成分复杂并含有病原微生物、寄生虫等易造成传染疾病和爆发性疾病的成分，抗生素和重金属等有害物质超标的现象较多，作为饲料应用时不安全隐患较大，所以畜禽粪便饲料化的利用争议较大，目前有些发达国家已不主张利用畜禽粪便作为饲料。必须经过适当的加工处理后再制作成饲料原料。不同畜禽种类、不同地区、不同饲养管理方式等所产生的粪便均可能不同，在饲料化过程中要根据实际情况进行利用，加大畜禽粪便饲料化利用各个环节研究的深度和广度。

参考文献

- [1] 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. 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.
Zhang W L, Wu S X, Ji H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [2] 武淑霞. 我国农村畜禽养殖业氮磷排放变化特征及其对农业面源污染的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院研究生院(博士学位论文), 2005.
Wu S X. The spatial and temporal change of nitrogen and phosphorus produced by livestock and poultry & their effects on agricultural non-point pollution in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences (Doctoral dissertation), 2005.
- [3] 闫杰, FE de Buissonjé, Melse R W. 荷兰经验对中国畜禽粪便治理的启发白皮书 [R]. 瓦格宁根: 荷兰瓦赫宁根畜牧科学研究院, 2017.
Yan J, FE de Buissonjé, Melse R W. White paper—Livestock manure treatment technology of the Netherlands and situation of China [R]. Wageningen: Wageningen Academy of Animal Science, 2017.
- [4] Bai Z, Ma L, Jin S, et al. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium flows through the manure management chain in China [J]. Environmental Science Technology, 2016, 50(24): 13409-13418.
- [5] 中华人民共和国国家环境保护总局, 自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
Department of Nature Environmental Conservation, Ministry of Environment Protection of the PRC. The pollution investigation

- and prevention countermeasures on national large-scale livestock and poultry breeding [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [6] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 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, et al. The estimation of the production amount of animal manure and its environmental effect in China [J]. China Environmental Science, 2006, 26(5): 614–617.
- [7] 刘晓永, 李书田. 中国畜禽粪尿养分资源及其还田的时空分布特征 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 1–14.
Liu X Y, Li S T. Temporal and spatial distribution of nutrient resource from livestock and poultry feces and its returning to cropland [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(4): 1–14.
- [8] 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 环境保护部南京环境科学研究所. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册 [Z]. 2009.
Research Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agriculture Science, Nanjing Institute of Environmental Sciences, MEP. Booklet of excreta factor in animal farming, the first national census of pollution sources [Z]. 2009.
- [9] 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): 303–308.
Dong H M, Zhu Z P, Huang H K, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(1): 303–308.
- [10] 贺用才. 大建田头肥库, 大沤优质肥料 [J]. 农业科学通讯, 1959 (24): 842–843.
He Y C. Build the field fertilizer bank, compost high quality organic fertilizer [J]. Scientia Agricultura Sinica, 1959 (24): 842–843.
- [11] 马常宝, 史梦雅. 我国主要畜禽粪便资源利用现状与分析研究 [J]. 中国农技推广, 2016, 32(11): 7–11.
Ma C B, Shi M Y. Status and analysis of utilization of livestock and poultry manure resources in China [J]. China Agricultural Technology Extension, 2016, 32(11): 7–11.
- [12] 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 M, Xu Z C, Wu G Y, 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.
- [13] 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.
Zhang S F. Technology of feed production and utilization using livestock and poultry manure [J]. Feed Research, 2016 (17): 48–50.
- [14] Oenema O, van Liere L, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands [J]. Water Science & Technology, 2004, 49(3): 101–108.
- [15] 武兰芳, 欧阳竹, 谢小立. 不同种养结合区农田系统氮磷平衡分析 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 943–954.
Wu L F, Ouyang Z, Xie X L. Nitrogen and Phosphorus balance of cropland at regional scale for integrated crop-livestock farming system in two different areas [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(6): 943–954.
- [16] 沈根祥, 钱晓雍, 梁丹涛, 等. 基于氮磷养分管理的畜禽场粪便匹配农田面积 [J]. 农业工程学报, 2006 (S2): 268–271.
Shen G X, Qian X Y, Liang D T, et al. Research on suitable area for cropland application of animal manure based on nutrients management of nitrogen and phosphorus [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006 (S2): 268–271.