

张玉兰, 孙彩霞, 强者, 解宏图. 2023. 辽宁省畜禽养殖粪污处理的种养关系现状及影响因素. 生态学杂志, 42(5): 1234–1242.
Zhang YL, Sun CX, Qiang Z, Xie HT. 2023. Current situation and the influencing factors of planting-breeding relationship for feces and sewage of livestock and poultry in Liaoning Province. *Chinese Journal of Ecology*, 42(5): 1234–1242.

辽宁省畜禽养殖粪污处理的种养关系 现状及影响因素

张玉兰^{1,4,5} 孙彩霞² 强者³ 解宏图^{1,4,5*}

(¹中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ²东北大学生命科学与健康学院, 沈阳 110169; ³辽宁省昌图县现代农业发展服务中心, 辽宁昌图 112599; ⁴辽宁省现代保护性耕作与生态农业重点实验室, 沈阳 110016; ⁵辽宁沈阳农田生态系统国家野外科学观测研究站, 沈阳 110107)

摘要 在“南养北移”的布局下, 辽宁省畜禽数量快速增加, 2019年近7000万头生猪当量, 2020年近亿头。传统畜牧养殖业快速转型进入规模化养殖, 畜禽粪污数量、集中度猛增, 给辽宁省生态环境带来巨大污染风险。畜禽粪污资源化利用与种植业关系不紧密问题加剧, 规模养殖发展使得“种养脱节”问题愈加严重。造成畜禽粪污处理“种养脱节”问题的影响因素较多, 包括: 畜禽养殖和种植生产经营主体利益的不一致性; 畜禽养殖区域规划不合理; 辽宁省现有中小型养殖场历史欠账多, 散养密集区粪污, 尤其是液态粪污处理是种养结合的难点之一; 粪污处理设备老旧, 技术落后且程序繁琐; 畜禽粪污资源化利用技术不规范, 损失养分并损毁耕地。本文针对以上诸多影响因素, 为促进辽宁省畜禽粪污资源化利用的种养结合, 建议首选策略是协调种养利益, 并改进粪污资源化技术和设施, 标准化粪污资源还田技术, 加强成果推广和政府引导, 为辽宁省畜牧养殖业和种植业结合提供策略支持。

关键词 散养密集区; 种养脱节; 液态粪污; 全量利用; 种养结合

Current situation and the influencing factors of planting-breeding relationship for feces and sewage of livestock and poultry in Liaoning Province. ZHANG Yulan^{1,4,5}, SUN Caixia², QIANG Zhe³, XIE Hongtu^{1,4,5*}
(¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ²College of Life and Health Sciences, Northeastern University, Shenyang 110169, China; ³Modern Agriculture Development Service Center of Changtu in Liaoning Province, Changtu 112599, Liaoning, China; ⁴Key Laboratory of Conservation Tillage and Ecological Agriculture, Liaoning Province, Shenyang 110016, China; ⁵National Field Observation and Research Station of Shenyang Agro-ecosystems, Shenyang 110107, China).

Abstract: Under the layout “from-south-to-north strategy of livestock and poultry breeding” in China, the quantities of livestock and poultry have increased rapidly in Liaoning Province, with nearly 70 million pigs equivalent in 2019 and nearly 100 million in 2020. With the rapid transformation of from traditional pattern to large-scale animal husbandry, the sharp increase in the quantities and concentration of livestock and poultry manure has brought huge pollution risks to the ecological environment of Liaoning Province. The imbalance and disconnection between crop planting and breeding is increasingly serious. There are many factors leading to the exacerbation of disconnection between crop planting and breeding. The inconsistency of the interests between the livestock and poultry breeding and crop planting is the primary cause. The rapid development of large-scale breeding makes the problem more and more serious. The regional planning of livestock and poultry breeding is unreasonable. The existing small and medium-sized farms in Liaoning Province have a lot of historical problems. Fecal sewage of smallholders in intensive breeding areas, especially liquid fecal sewage, is a big problem. The equipments for feces and fecal sewage treatments are outdated, the technologies are antiquated, and technical procedures are cumbersome. The non-standard technology has resulted in nutrient losses and land degradation. To promote the combination of planting and breed-

中国科学院战略性先导科技专项《黑土地保护与利用科技创新工程》(XDA28090100)和辽宁省现代保护性耕作研发与应用高水平创新创业团队(XLYC2008015)资助。

收稿日期: 2021-12-22 接受日期: 2022-09-07

* 通信作者 E-mail: xieht@iae.ac.cn

ing in the utilization of livestock and poultry manure resources in Liaoning Province , we suggest that the preferred strategies are to coordinate the interests of planting and breeding , improve the manure reclamation technology and facilities , standardize the manure resource return technology , strengthen the promotion of research achievements and government guidance. This work would provide strategic supports for the integration of livestock and breeding industry and planting industry in Liaoning Province.

Key words: intensive breeding area; disconnection between planting and breeding; feces and sewage; total disposal and utilization of livestock wastes; integration of planting and breeding.

辽宁省作为全国重要的粮食生产基地,是玉米主产区和土地消纳区,同时具有优越的交通和资源等条件,畜禽养殖量居全国前列,且传统畜牧业规模以下养殖户点多面广。2017年辽宁省被农业农村部评定为全国生猪潜力增长区和重要的畜产品生产基地。基于优化南方水网地区畜禽养殖区域重新布局,在“南养北移”的布局下开展“秸秆变肉”工程,诸多大型养殖企业进驻辽宁省,带动大批小规模养殖企业和散户兴盛(周晶等,2014)。面对养殖业由传统散养迅速向专业化、规模化、集约化、标准化发展的巨大转变,本文基于辽宁省养殖业粪污处理与种植业的“种养关系”现状,多角度分析其影响因素,并提出改善建议,以期对辽宁省畜牧养殖业、种植业、政府和科研人员等提供信息,进一步有的放矢地制定相应对策,逐一解决问题,减轻环境污染和资源浪费,缓解或解除养殖业对人类健康的威胁。

1 辽宁省畜禽粪污处理的“种养关系”

20世纪70年代辽宁省传统农业以种植业为核心,畜禽养殖以副业形态存在,占农林牧渔业总产值的15%,畜牧业为农业生产提供肥料与牵引力,形成良好的“种养结合”模式。近50年来,辽宁省农业与畜牧业的关系渐行渐远,主要体现在三个方面:一是越来越多种植业经营主体退出畜牧业生产经营,使得畜牧业对农民就业与收入的贡献率逐年下降。自20世纪90年代至2016年,辽宁省畜牧业产值占农林牧渔总产值比重由27.57%增长到35.63%,但农户纯收入中仅有8.15%来自畜牧业(郭庆海,2019)。这些数据表明绝大多数农户退出畜牧业,畜牧业经营主体为规模化养殖企业,揭示了辽宁省农牧经营主体分离,即养畜的不种地,而广大种地的不养畜(杜欣等,2018)。二是畜牧业生产带来的副产物——畜禽粪污的不妥善处理污染空气、土地和水资源,危害环境。张敏等(2021)计算了辽宁省2019年畜禽粪尿产生量及其农田负荷,指出朝阳和本溪预警级别最高,沈阳、阜新、铁岭和葫芦岛已稍

有粪污污染威胁。但2020年辽宁南部家禽养殖数量剧增,其预警级别超过朝阳和本溪2019年数据。规模养殖场配备土地不足并受限于储、运、施费用投入,无法及时有效地处理和利用。另外,因气候因素影响,只能在秋季或早春转运固态粪肥还田,加剧了寒冬季节产生的养殖粪污处理、存放和运输的困难,大量固态粪污大部分时间堆放在畜禽舍周边成为污染源。粪污造成的环境威胁远超邻近区域的环境消纳承载和自净极限,更增加其资源化利用和防污控污难度,严重破坏养殖生产及周边环境的生态平衡,畜禽粪污处理的“种养脱节”问题加剧(徐伟朴等,2004;吴学兵等,2012)。2016年辽宁省有414个规模养殖场完成粪污资源化利用,但其畜禽粪污处理技术是采用固液分离后将固粪堆肥利用,部分养殖场采用沼液厌氧发酵或深度处理技术液态粪污处理,原有老旧养殖场多采用临时储存池结合冬春季过量排放于农田方式,导致部分耕地严重受损(李金祥,2018;刘永岗等,2018)。实地考察发现,很多散户或小型养殖场处理不彻底或不进行粪污无害化处理,随意堆放或者被丢弃,导致局部地块中氮磷营养过量而随地表水径流和地下水渗流污染河流和地下水(齐星宇,2019)。第三是导致了耕地质量的下降和农田生态功能的退化(王加启,2018)。大部分区域农牧能量循环关系中断,耕地有机质流失而无补充(乔金亮,2018)。据监测,近60年来,东北黑土地耕作层土壤有机质含量平均下降1/3,部分地区下降50%(郭庆海,2019)。近2~3年辽宁省牲畜饲养密度大幅度增加,尤其是规模养殖牛、猪产生大量液态粪污,粪肥还田路径日益变窄。局部区域粪污的集中度加大,畜禽养殖集中区域粪污在同一片耕地中集中连续过度施用畜禽粪便造成重金属积累超标,作物品质降低,土地健康损坏而难以逆转,导致土地不可持续农用(黄治平等,2007;薄录吉等,2018)。随着“南养北上”规划,东北地区规模化养殖场占比仍将持续增加,辽宁省畜禽粪污处理方面种养关系将愈发疏离(郭庆海,2019;张克强

等 2021)。

2 辽宁省畜禽粪污“种养关系”现状的影响因素

2.1 种养两端经营主体利益的不一致性是根本原因

养殖业和种植业生产经营主体均首先考虑自身利益,阻碍了畜禽粪污处理工艺和资源化利用工艺发展,催生了“种养脱节”问题(Moran *et al.*, 2007; Van Herzele *et al.*, 2013; Nyongesa *et al.*, 2016; 张扬等 2021)。种、养两端的经济利益的不一致性是造成辽宁省畜禽粪污种养关系不紧密现状的首要因素和根本原因(孙考仲 2019)。

农牧失衡主要体现在末端利用环节,即种植生产经营主体对粪污资源化利用还田的采用。粪污资源化利用的利益是影响农民个体的意愿和决策的重要因素。与化肥的普及、便利、低运输成本、低施用成本及其施用对作物特有的当年即可高产功能相比,畜禽粪污肥料化使用具有增产幅度低、施用不方便、施用劳动强度大、人工成本高等短板,商品有机肥价格高,性价比远低于化肥,使得绝大多数种植业经营主体倾向单一使用化肥,施用粪肥主动性极低(张克强等 2021)。粪肥获取渠道不便和施用过程繁琐也是影响粪肥施用利润的重要因素(张诒等, 2019a, b)。部分种植户对畜牧粪污资源理解程度低,对粪污资源农用产生误解,将其视作污染源,为保护自身利益而不愿使用畜禽粪便污水资源(陈贺亮 2015; 王小彬等 2021)。种植户不具备粪污堆肥技术,粪污无害化处理不当,施用腐解不完全未达农用标准的粪肥会造成庄稼“烧苗”烂根,并损坏农用土地,造成坑农害农现象,严重影响种植户利益,则种植户宁可投入高量化肥保产而无使用粪肥意愿。黄晓英等(2022)调查指出,粪肥施用导致的土壤重金属和抗生素污染以及地下水污染是影响农户粪肥施用的障碍因素之一。我国农村耕地细碎化,而且我国人均耕地资源较少(赵凯, 2011),不利于消纳粪肥。2013年中国农村统计年鉴表明,农村家庭人均耕地经营面积仅1亩左右。当前城市化发展吸引大量的农村青壮年进城,农村从事种植业人员老化,接受新事物意识差,施用粪肥能力低,更倾向于放弃粪便回收这项需要大量劳力的工作,影响种植业使用粪肥(江丽等, 2021)。固态畜禽粪污资源化、运送机械、施用机械和施肥方式均缺乏适用的轻简技术,粪肥不能直接、及时送到农民手上,客观上导致粪肥难以还田,影响了养殖粪污的肥料化应用(张

克强等 2021)。辽宁省粮食种植户占比较大,缺乏粪肥施用经验,粮食种植业生产经营利润小,粮食种植户应用粪肥意愿在很大程度上受政府补偿认知度和补偿方式的选择偏好的影响,种植户没有能力和意愿投入粪污资源化处理和利用(舒畅等 2016)。

从养殖生产经营主体角度来看,畜禽养殖生产利益受资金周转、价格波动等因素影响较大,风险较大,畜禽粪污治理或资源化相关设施装备投入高,需要投入较大人力,人工成本较高,且粪污处理达到一定标准才允许施用或灌溉到农田,运行成本代价较高,净利润较低,影响经营主体利益,阻碍了粪污资源的应用(张诒等, 2019b)。畜禽经营主体中散养户经济能力低,且没有粪污资源化技术,粪污利用意愿和环保意识较低,为粪污直接还田利用增大难度(陈秀萍等 2020)。较多原有养殖场规模设计与土地消纳能力及面积无测算或测试不精确,废弃物产生和利用不能有效循环。随着“南养北移”布局,辽宁省养殖量剧增,粪污数量、规模和集中度同时提高,养殖废弃物肥料化利用辐射土地范围不足,且堆腐或商品化粪肥运输半径扩大,增加了养殖企业粪污处理、转运和消纳的成本和难度,限制了养殖经营主体资源化利用畜禽粪污意愿。规模养殖经营主体的土地不足,配套土地面临众多农户土地流转或承包重任,运送粪肥需要投入成本,周边种植户不能接受有偿消纳粪肥,无力独立配套高价格的粪污全量资源化设施建设,不能承担粪肥或粪浆还田种养结合费用(张诒等, 2019a)。同时,养殖经营主体还需在种植方面投入大量人力、物力、设备、经验和管理等,这几方面均增加了养殖场独立资源化利用粪污的难度(郝生宏等 2020)。这些问题导致部分养殖业生产经营主体企业追逐眼前利益先发展,优先考虑保证养殖生产,通常在养殖行情好的时候会考虑投资粪污处理,但在养殖行情不好时即随意排放。因此,单独依靠养殖企业独立承担粪污资源化费用可行性不高。王建华等(2019)调查发现,养殖户在粪污堆肥发酵、沼气发酵、鲜装出售以及直接还田等多种处理方式选择上,受经济绩效期望、养殖劳动人口、养殖数量和主观规范的影响。

另外,影响养殖/种植经营主体参与畜禽粪污资源化利用意愿的因素较多,包括经营者性别、年龄、受教育程度、耕地面积、废弃物资源化价值感知、政策认知、用法认知、农业经济规模、环境知识了解程度、信息获取容易程度、人均年收入、农业收入占比等(何可等 2013b; Pan *et al.*, 2016)。

2.2 辽宁省畜禽养殖迅猛发展加剧了种养分离

近年来随着我国养殖业布局的变化, 辽河平原地区养殖业发展非常迅速。《全国生猪生产发展规划(2016-2020)》以资源承载能力为基础, 将东北三省划定为生猪生产“潜力增长区”(陈秀萍等, 2020)。在2018年“非洲猪瘟”后, 辽宁省的畜禽养殖业发展加快(图1A)。根据《辽宁省统计年鉴》数据推算, 2019年辽宁省畜禽养殖数量达到6996万头猪当量, 是吉林省和黑龙江省养殖数量的1.3倍和1.5倍(图1C)。

根据《畜禽粪污土地承载力测算技术指南》核算畜禽粪污中氮磷养分含量, 2019年辽宁省单位面积耕地(421.7万 hm^2)承载16.6头猪当量 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 所含养分接近欧盟规定养分供应量(N 170 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; P 35 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)(表1)。2020年辽宁省畜禽数量近1亿头猪当量, 全省单位面积耕地承载畜禽数量达24头猪当量 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 畜禽粪污中氮素养分产生量超过欧盟规定的土地承载量。基于粪污肥料化工序中养分损失和作物吸收效率等核算, 辽宁省畜禽可替代化肥30%~40%。根据辽宁省畜禽养殖场信息直联直报平台数据统计, 2020年末畜禽粪污9325.3万t, 平均每亩耕地负荷粪污约1.5t。规模养殖场畜禽粪污2400万t, 约占全省总量的25%, 畜禽粪污综合利用率达到98%, 资源化利用量2247.4万t、委托处理量98.3万t。辽宁西部的朝阳市和阜新市, 西南部的锦州市和葫芦岛市单位面积耕地承载畜禽数量远超其他地区。根据养殖业发展规划, 未来5年生猪养殖翻番, 则畜禽养殖数量将超过1.20亿猪当量, 近2~3年内辽宁省畜禽粪污处理任务剧增、压力增大; 同时表明, 辽宁省粪污资源利用潜力巨大, 并将持续增加。

表1 2019年和2020年辽宁省区域耕地承载畜禽和畜禽粪污氮、磷养分数量

Table 1 Land bearing quantity of livestock and poultry breeding and nitrogen and phosphorus nutrients in livestock and poultry in Liaoning Province in 2019 and 2020

年份 Year	耕地承载畜禽 数量(猪当量 $\cdot\text{hm}^{-2}$) Land bearing quantity of livestock and poultry breeding (pig equivalent $\cdot\text{hm}^{-2}$)	耕地承载粪污 氮素养分数量 Land bearing nitrogen quantity in the manure of livestock and poultry for cultivated land ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	耕地承载粪污 磷素养分数量 Land bearing phosphorus quantity in the manure of livestock and poultry for cultivated land ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
2019	17	182.6	27.4
2020	24	259.6	38.9

2.3 固粪资源化利用率低

很多养殖场或有机肥厂粪污设施配建与管理程度不符合实际养殖, 各项资源化技术环节多、工艺繁杂且应用不合理, 体系不成熟, 导致粪污利用程度低, 资源化效果差。当前辽宁省粪污资源化处理仍然以固体粪污的场地微生物堆积发酵(地上罐式、地上箱式和地下槽式等)堆制或生产商品有机肥为主(杜欣等, 2018)。固体粪污生产有机肥商品化增值模式中, 只有少部分粪污经过处理后所产生的有机肥不对外销售, 直接应用到作物种植中去, 做到“自产自销”种养一体化经营(王京航, 2019); 大部分生产过程中存在“各自为战、产用分离”的情况, 粪污处理与种植业之间的不平衡加剧且分离, 出现种养脱节问题(庄文才等, 2017)。据统计, 辽宁省有60余家企业以畜禽粪便为主料加工有机肥, 年可利用畜禽粪便低于全省总产生量的10%, 如2020年有机肥产量约130万t(杜欣等, 2018; 师晓春, 2020)。有机肥产品加工、运输增加投入, 产品销售有限。目前有机肥企业利润较低, 市场不景气, 许多

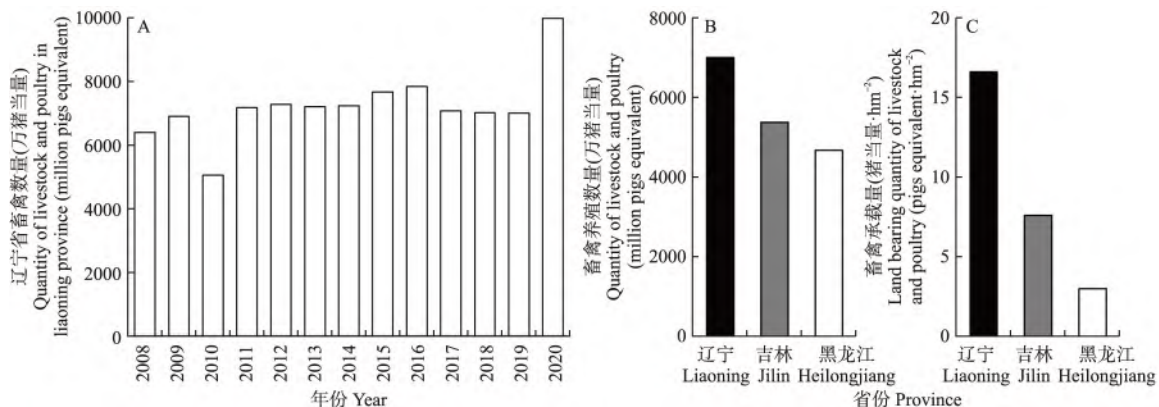


图1 2007—2020年辽宁省畜禽养殖数量(A)、2019年东北三省畜禽养殖数量(B)和畜禽耕地承载数量(C)

Fig.1 Quantity of livestock and poultry breeding from 2007 to 2020 year in Liaoning Province (A), quantity (B) and land bearing quantity (C) of livestock and poultry breeding of Liaoning, Jilin, Heilongjiang provinces in 2019

企业处于半停产状态,致使畜禽粪便有机肥产品利用率低。通过微生物发酵方式生产腐熟的有机肥,运行成本投入相对略高,占地面积较大,且工艺复杂,难以普及应用。散养户以自然堆积方式为主,自然堆积发酵方式成本低、容易操作。散养户自然堆肥技术不达标,其肥效通常较低,且经常发生发酵不完全的情况,随意施用严重破坏土壤的微生物生态环境。很多堆肥产品不合格而无法销售,重新成为污染物。

2.4 液态粪污处理是种养结合难点之一

传统养殖大多采用固液分离后双线处理粪污和废水。将固体粪污处理制备有机肥或堆腐后施用于农田技术趋于成熟,但液态粪污处理技术的应用和普及方面不足。受限于储存池用地和建设成本,诸多老旧养殖场和散户将液态粪污储存在露天氧化塘,经多级沉淀好氧发酵后集中随意排放或超量排放小块农田中,导致大量氮磷等养分浪费,污染环境并毁坏土地(杜欣等,2018)。国家和辽宁省均已颁布法令禁止向河流倾泻粪污,许多中小型养殖场向附近少量农田超量倾泄液态粪污,造成农田损毁(姜海等,2015)。目前国际和国内有部分养殖规模适度、管理精细的养殖企业改变露天堆放和氧化塘方式为全封闭式储粪池、静态发酵固体粪便堆制有机肥、液体尿污好氧发酵处理工艺升级为厌氧储粪等技术,既解决粪污对场区环境的污染问题,同时将利用沼渣、沼液作为有机肥施用于果园生产高品质的有机水果或将粪浆销售当地农户用于农田灌溉,采用田园利用技术模式多层次循环利用畜禽粪污中的有机物资源,实现种养结合,达到畜牧业与环境和谐。液态粪肥处理技术在应用过程中不断改进,如露天敞口式氧化发展为覆盖或密闭贮存发酵,在发酵过程中引入酸化保氮减少氨挥发技术(Khoshnevisan *et al.*, 2021)。这些技术分别适用不同气候、地形以及养殖场(Lyu *et al.*, 2016)。覆盖或密闭贮存发酵包括采用几何形状的塑料覆盖或蛭石等可漂浮物的浮漂式覆盖和贮存设施加盖或覆膜的固定式覆盖贮存。辽宁省地区厌氧发酵沼气工程因产气不足无法有效能源化,因沼液发酵和施用技术不够成熟、缺乏配套的消纳用地、储存和运送成本高等问题,沼液商品化市场空间小,该技术尚未能在辽宁省推广应用(Wang *et al.*, 2021)。辽宁省黑土地地区春夏降雨集中,液态粪污处理适宜采用固定式覆盖贮存,以密闭式贮存和半年厌氧发酵为优。近10年来,国内山西省、江苏省、黑龙江省和河南省等地养殖场陆续

采用美国、丹麦、加拿大和意大利等发达国家20世纪末发明的密闭贮存囊(Nyord *et al.*, 2012),结合全量固液粪污混合发酵肥料化技术与粪浆还田技术,同时处理液体和固体粪污,“轻简化”利用粪污资源(薛同宣等,2019;姜佰文等,2020;马艳茹等,2020)。目前辽宁省尚未应用该技术处理液态粪污。

2.5 养殖场历史问题是种养结合难点

当前辽宁省非规模中小养殖户基数依旧非常庞大,2019年辽宁省规模以下养殖场户畜禽养殖粪污产生量约5000万t,规模养殖场约2000万t;2020年规模以下养殖场户粪污产生量6925.3万t,约占全省总量的75%(师晓春,2020)。中小养殖户粪污处理方面存在历史欠账多、区域规划不合理和散养密集区粪污处理未纳入监管体系等问题,是种养结合难点。畜禽粪污综合利用率达到76%。许多中小型养殖场建设较早,养殖场选址不合理,最初多定址临近沟渠,采用向沟渠、河流直排方式,严重破坏周边生态环境;当时没有充分考虑养殖粪污资源化设备建设问题,普遍存在污水管道为明沟、雨污混流和分流设施不完善等问题,没有规划出改建用地(陈贺亮,2015;庄文发等,2017)。多数畜禽规模养殖场建设与其配套的堆粪场、污水池用地需要重新征地,但其建设选址具有很大特殊性,选地和征地都存在很多困难,对畜禽粪污资源化和与种植业结合产生一定程度上制约。基于历史沿袭和经济投入考虑,辽宁省内大量中小养殖户存在设施设备陈旧且有限的问题,难以及时有效处理粪污。散养经营利润低、风险大,经济实力不够雄厚,鲜少购买粪污处理利用设施设备。全省采用项目带动方式,试验探索散养密集区粪污治理模式,取得一定的效果和经验。国家和地方财政通常支持规模养殖场较多,对散户支持较少。辽宁省散养密集区(村)大部分村内散户以养殖业为主要生计来源,带来诸多不稳定因素(毛薇等,2016)。大多数散养密集区人畜混居,尚未建设粪污治理设施,粪污乱排乱堆造成严重的环境污染问题;部分散养密集区建设的处理设施费用由政府承担,但运营不畅。目前国内和辽宁省内开展的禽养殖场的废弃物污染防治工作并不适用于这些“非规模化”的畜禽养殖户。辽宁省尚没有合适的政策对非规模中小养殖场加以规范和约束,没有将其纳入监管。需要探讨将中小散户的养殖户纳入监管体系的标准,探索出行之有效的散养密集区粪污资源化利用模式。国家环境保护部等发布《水污染防

治计划实施情况考核规定(试行)》要求规模畜禽养殖场(小区)配套建设废弃物处理利用设施。《辽宁省畜禽养殖业污染防治工作方案》要求“2020年底前,基本完成现有畜禽规模养殖场(区)粪便污水治理设施改造升级,规模养殖场(区)粪便污水基本实现无害化处理、资源化还田利用”。辽宁省仍需加大力度清理养殖场粪污处理历史欠账。

2.6 畜禽粪便资源化利用技术不规范

因不同畜禽养殖废弃物成分差别较大,需对应不同的最佳处理方式获得不同处理效果,但目前畜禽粪便资源化利用技术不规范。不同规模养殖户没有针对性的管理粪污标准,畜禽粪污资源化利用管理中科研力量不足。虽中央政府和辽宁省政府陆续出台了相关条例和办法,但缺乏相关指导性政策,缺乏碳减排量、水土影响力和土壤环境评价的标准机制,无法衔接畜禽粪便资源化利用方法的经济可行性、技术可行性和生态环保性(姚成胜等,2017;陈秋红等,2022)。国内外液态粪污运送方式有采用管路输送田间和采用粪肥施用器就近还田技术,施肥机运送方式具备节省时间、运输半径大和灵活机动等优点受到更多青睐。田间播撒方式由漫灌或喷洒技术发展覆盖式施用、半注入和注入式施肥等(Chadwick *et al.*, 2015)。据笔者调查,辽宁省内有部分大型猪牛养殖场将粪污干湿分离后以管带施用粪水,或结合喷洒式液体肥施肥机,易造成氨气挥发、养分损失,污染环境,且施用不均匀。喷洒式粪浆施用机械能够较好地适用于牧业草地生产,农业生产中宜采用注入式施肥技术,但因一次性投入较高,制约了辽宁省养殖户或种植户利用液态粪污资源意愿。2022年,辽宁省农业农村厅、省生态环境厅联合印发《辽宁省规模以下畜禽养殖污染防治和粪污资源化利用技术指南(试行)》(辽农办畜发(2022)233号),为规模以下畜禽养殖户开展污染防治工作提供了技术遵循。粪污肥料化利用模式和宣传的缺乏,一定程度上影响养殖和种植生产经营者参与管理意识不足。通过调查问卷可知,目前大多数养殖和种植生产经营者已具备环保和维权意识,能够认可畜禽粪便资源化的效果,期待改善生活环境和减少资源浪费(Pan *et al.*, 2016),但对粪污肥料化利用政策和技术的了解尚不充分(申贵男等,2020)。辽宁省缺乏优秀模式的建立与示范拉动市场,宣传不足。

2.7 政策不够完善并且落实不到位

2000年以来,国家层面和种养生产经营主体均

意识到畜禽粪污利用与环境保护的必要性、重要性和紧迫性,中央和辽宁省地方政府出台一系列法律法规。但国家相关法律和利用标准体系尚不明晰,多为提出要求条款,可操作性不强。如,在《中华人民共和国宪法》中没有对公民环境权等相关权益保护的内容,在《中华人民共和国环境保护法》中没有农村污染防治的相关内容,缺乏农村污染防治的基本原则与制度,各级政府、组织与个人在其中所承担的职责与责任不明。在《畜禽养殖污染防治条例》等规范条例中,没有对应畜禽养殖业发展的现状和畜禽粪污资源化利用的特点细化内容、统一资源化利用评判标准。辽宁省目前尚未出台资源化利用相关的法律法规,对资源化利用产物没有明确的评价。资源化利用实施细则缺乏,不利于推动政策执行,阻碍了畜禽排泄物资源化利用。

基层监管部门缺乏完备的参与监管与治理的法律法规技术操作规程,管理权责部门不够明确,使得政策落地难以匹配制定初衷。当前辽宁省有关畜禽粪污资源化利用相关工作多沿用中央政府下达的各种项目,也有贯彻国家以奖促治、以奖促建、以奖代补以及以奖促保激励政策等机理政策。“十三五”期间,辽宁省共有27个畜牧大县和3个非畜牧大县承担畜禽粪污资源化利用整县推进项目。通过项目实施县域内畜禽养殖建立起明确的粪污收集、储运、资源化利用运行体系,实现农牧结合、种养循环的农业可持续发展机制,有机肥替代化肥的比例不断提升,粪污治理和资源化已有新进展。政策和资金通常对养殖大县倾斜,中小县没有或缺少资金,有赖于养殖企业的自觉自主处理,同时,经费投入多偏向于规模养殖户的污染防治,而非粪污的资源化再利用,同时对数量居多的小型畜禽养殖户缺乏必要有效的补贴政策(白晓龙,2016;李俊营等,2017)。少数散养户在属地政府的扶持下配备粪污处理和资源化利用设施设备,但为“只赔不赚”,则在运行中弃之不用。《畜禽规模化养殖污染防治条例》规定“购买使用有机肥产品的,享受不低于国家关于化肥的使用补贴等优惠政策”。但对于有机肥的补助多倾向有机肥生产商,补贴畜禽养殖和种植生产主体较少,不利于养殖生产主体积极利用畜禽粪污,也不利于种植生产经营主体业利用畜禽粪便资源。

2.8 社会融资制度不完善

对于全省诸多养殖生产经营主体而言,在粪污资源化种养结合方面的社会资本投入严重不足,投融资制度尚不完善,缺乏适宜的畜禽粪便市场交易

机制,尚未完全建立政企合作支持粪污处理模式。依靠项目支持只是杯水车薪,不能从根本上解决养殖密集区粪污问题(杜欣等,2018)。目前养殖企业与种植企业间关联不紧密,缺乏专业性强的衔接种养的一体化第三方服务机构,缺乏规范化组合,没有形成紧密的服务关系,且服务范围不确定、不统一、服务对象不稳定。没有完善的农产品可追溯体系和绿色认证门槛,消费者对农产品质量没有信任度,使得种植户对施用畜禽粪便资源化利用产量没有积极性,不能发挥有机肥等生态产品的经济价值。施用畜禽粪污生产的优质农产品尚未真正形成质量和价格优势,没有形成优质优价的农产品市场拉动机制,未能传导到上游农作物生产环节和促进种植业使用粪污肥料意愿。

3 建议

综上所述,众多畜禽规模化养殖入驻辽宁省使得禽养殖数量和密集度剧增,同时散户仍占较大比例,畜禽养殖粪污处理历史问题仍有存留,粪污处理种养结合任务亟待解决。辽宁省养殖规模发展迅猛,但开展粪污资源化利用还没有成为畜禽养殖生产的法定任务。为减轻或解决辽宁省畜禽粪污处理种养脱节问题,辽宁省畜牧养殖业的发展必须以土壤和环境承载力为依据,以粪污合理肥料化利用为基础,避免承担“先污染后治理”的高昂代价。畜禽粪便污水资源化后与农业结合,经济性是关键和前提,需要考虑产业特点,尤其是业主的投入能力。针对辽宁省畜禽粪污处理方面的种养融合度较低的根本影响因素,即种养两端的利益方面,提出以下几点建议:

(1) 总体规划,以地定畜。多部门联合规划和统筹落实政策,新建或改、扩养殖场选址必须亟需严格执行环评制度,规定粪污无害化处理和利用设施匹配是养殖业从业的前提条件,做到养殖设施与粪污处理设施同设计、同施工和同时投入使用的制度,配套资源化利用技术,并“以地定畜”,尤其是针对规模化养殖场产生的液态粪污,须匹配足量的种植用地以消纳资源化利用。建议省内各部门联合立法,以符合种养结合循环发展为重点,根据区域内耕地面积、水域分布等种植资源分布对养殖区域进行总体规划,合理布局适养区、限养区和禁养区空间格局,同时要限制超级规模畜禽养殖。与种植大户营造密切联系,科学编制种养循环发展规划,为养殖生产配套建设一批集中连片的农业生产基地,为养

殖生产配备足够与其粪污消纳对应的土地,保障粪污实现资源化利用(杨景晁等,2018;陈静等,2019)。

(2) 解决旧账,政府扶助。政府兜底、帮扶散户以及小企业,继续解决中小型养殖户历史遗留问题,治理养殖旧账和散户粪污处理难题。采取抓大户、带小户策略,利用龙头企业渗透带动中小企业,鼓励环保意识较高和技术能力较强的企业改变粪污局部治理思维,带头处理畜禽粪便,在大型规模养殖企业周边配套发展有机农业。以绿色生态为导向,完善农业补贴制度,如有机替代补贴、固液粪污制肥补贴、粪肥施用农机补贴等多种方式扶助种植生产经营主体增加粪污利用意愿。

(3) 开发设备,轻简工艺。在养殖生产环节,需要进一步研发适合散户固体粪污资源化的设备和工艺,简化肥料化工艺,提升粪肥品质,并减低投入;支撑开发粪污资源化专用机械设备,开发多种适用于当地环境且低成本的高效处理技术和模式;解决液态粪污难处理问题,克服固液分离、固体肥料加工销售经营和液态粪污治理方面高成本、远距离、大损耗等缺陷;为种植端开发便捷使用的粪肥施用机械设备,实现固态和液态粪污全量处理和施用“轻简化”,增大粪污肥料化的利益稳定性和吸引力。

(4) 标准化粪污资源化利用全链条技术。强化农牧结合、种养循环发展模式,以种地与养地相结合为目标,因地制宜核算粪污承载负荷能力、核算养分管理,制定本土综合养分管理计划,为粪肥本土利用提供科学和标准化的应用依据(郭珊珊等,2019)。政府、畜禽养殖行业、种植类协会和研究机构联合起来,采用“政产学研用”结合方式,持续并加大力度开展政策引导和宣传,推广最新环保计划,提供环境保护和粪污资源化利用方面的技术服务、技术培训和财力资助。高校和科研机构及时推广技术研发成果,转化研究成果,定期开展视频授课、现场培训指导或讨论会等,普及养分回收和利用等养分管理计划基本常识,加快粪污资源化利用技术更新应用,重点提出规模化养殖液态粪污资源化利用的指导策略,增进养殖和种植生产主体对养分管理计划的理解,提高养殖业处理粪污和种植业经营主体用肥的意愿(俞佳妃等,2020)。引入科研技术力量,基于土壤特征、气候条件和作物种类等,研究养分需用量、需肥特性、施肥设备、方法、时间、范围和限量等关键问题,在确保治理效果的前提下,优先选择相对投入少、运行成本低、养殖场易于接受的治理

模式。通过加强粪肥还田技术指导,为农民提供大量的技术、信息、管理和施用设施等生产要素,提高农村粪污资源化水平,以解决种植业主不想、不会、不便应用粪肥问题,保证粪污资源科学合理施用。辽宁省规模养殖场增加,更要科学利用畜禽养殖沼液和经其他方式无害化处理的粪水作为肥料还田,拓展田间地头配套施肥官网和粪液储存池等方式方法,标准化粪污资源还田技术,推动粪肥还田。

(5) 政府引导,市场运作。建立政府和社会资本合作(Public-Private-Partnership, PPP)模式,政府适当给予支持,鼓励和支持调动社会资本积极性,引入社会资本投入,社会资本积极参与,实行专业化生产和市场化运营(舒畅等, 2019)。在种植生产方面积极引导和支持种植业主推行有机替代,运用市场手段,使得种养两端或第三方服务单位与被服务主体双向受益,提高养殖业处理粪污和种植业经营主体用肥的意愿,激发主动性。养殖企业、科研机构、种植端以及第三方服务公司紧密合作,建立优秀模式,将先进技术及时快速示范推广。根据各地实际情况因地制宜引导鼓励探索投入低、效果好、效益高的粪肥还田生态循环种养结合模式,发展有机农业改土增效,提高土壤综合价值和农业附加值。吸引专业第三方服务机构提供专业化水平的形式多样化的一体化服务,如由养殖企业或当地成立粪肥收运合作社第三方服务公司采用“有偿清运”和“付费还田”方式,将所积存的固液混合粪肥“就近消纳”运送到附近需肥的农田。培育粪污处理的社会化服务组织,壮大并发展多种类型,鼓励建立谁污染谁治理和受益者付费综合机制,合理保障第三方处理企业和社会化服务组织收益,推动良性运行。通过政府因地制宜制定政策严格要求,发挥市场配置资源的决定性作用,有利于加快畜禽粪污处理全产业链的形成。加强一体化服务系统调动力量和服务质量,形成专业网络、扩大辐射规模的效能,并建立示范带动机制,达到连片推进“种养结合”目标。进一步探索特色服务模式,发展“互联网+”式生态农业,利用大数据分析全省畜禽粪便有机肥与作物种植的需求关系,优化有机粪肥的结构布局,合理调配有机粪肥的运输,确保养殖业与种植业的紧密联系。

总之,通过多种措施,引导养殖场与种植业生产经营主体衔接,加大无害化的畜禽养殖粪污的资源化利用消纳力度,增加种养两端利益,构架和打通种养通道形成种养结合关系,才能更好地取得牲畜与农田的平衡,有助于种养结合,形成互利互惠关系,

使多方实现共生共荣。

参考文献

- 白晓龙. 2016. 农村非规模化畜禽污染防治现状调研与分析. 黑龙江畜牧兽医, (22): 86-88.
- 薄录吉, 李彦, Luo JF, 等. 2018. 我国规模化养猪场粪便重金属污染特征与农用风险评价. 农业机械学报, 49(1): 258-267.
- 陈贺亮. 2015. 辽宁省大型生猪规模养殖场污水治理模式调研和处理效果对比. 新农业, (9): 34-36.
- 陈静, 张敏, 程广燕. 2019. 美国生猪粪污资源化利用经验对中国的启示. 农业展望, 15(1): 86-90.
- 陈秋红, 张园园. 2022. 中国畜牧业碳减排政策演进——基于452份政策文本的分析. 华中农业大学学报(社会科学版), 157(1): 10-23.
- 陈秀萍, 梁启东. 2020. 东北三省生猪养殖业发展影响因素. 经济纵横, (9): 120-128.
- 杜欣, 韩斌, 尤佳, 等. 2018. 辽宁省畜禽养殖废弃物资源化利用情况调研报告. 饲料与畜牧, (10): 41-44.
- 郭庆海. 2019. “粮改饲”行动下的生态关照——基于东北粮食主产区耕地质量问题的讨论. 农业经济问题, (10): 89-99.
- 郭庆海. 2021. 渐行渐远的农牧关系及其重构. 中国农村经济, (9): 22-35.
- 郭珊珊, 张涵, 杨汝馨. 2019. 基于耕地承载力的畜禽养殖污染负荷及环境风险研究. 水土保持通报, 39(10): 226-232.
- 郝生宏, 胡克伟, 杨荣芳, 等. 2020. 畜禽养殖废弃物利用现状及应对策略——以辽宁省为例. 养殖与饲料, (1): 27-30.
- 何可, 张俊飏, 田云. 2013a. 农业废弃物资源化生态补偿支付意愿的影响因素及其差异性分析——基于湖北省农户调查的实证研究. 资源科学, 35(3): 627-637.
- 何可, 张俊飏. 2013b. 基于农户WTA的农业废弃物资源化补偿标准研究——以湖北省为例. 中国农村观察, (5): 46-54.
- 黄晓芙, 张涛, 侯勇. 2022. 农户粪肥施用的关键驱动和障碍因素——以曲周为例. 农业资源与环境学报, 39(1): 149-156.
- 黄治平, 徐斌, 张克强, 等. 2007. 连续四年施用规模化猪场猪粪温室土壤重金属积累研究. 农业工程学报, 23(11): 239-244.
- 江丽, 李琳, 傅娟. 2021. 乡村振兴背景下农村老龄化问题的成因、挑战及对策. 农村·农业·农民(B版), (7): 33-37.
- 姜佰文, 牛煜, 王春宏, 等. 2020. 应用液体有机肥减施氮肥对玉米氮素利用效率及产量的影响. 东北农业大学学报, 51(12): 24-31.
- 姜海, 雷昊, 白璐, 等. 2015. 不同类型地区畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式选择——以江苏省太湖地区为例. 资源科学, 37(12): 2430-2440.
- 李金祥. 2018. 畜禽养殖废弃物处理及资源化利用模式创新研究. 农产品质量与安全, (1): 3-7.
- 李俊营, 詹凯, 刘伟, 等. 2017. 畜禽养殖废弃物管理法

- 律法规及标准现状与思考. 家畜生态学报, **38**(12): 78-82.
- 刘永岗, 杨光辉, 刘瑜, 等. 2018. 畜禽养殖废弃物资源化利用模式浅析. 中国沼气, **36**(4): 61-65.
- 马艳茹, 孟海波, 沈玉君, 等. 2020. 粪水酸化储存还田应用效果. 农业工程学报, **36**(15): 245-251.
- 毛薇, 吴画斌. 2016. 规模化畜禽养殖废弃物循环利用模式及实施路径. 中国畜牧杂志, **52**(6): 71-74.
- 齐星宇. 2019. 辽河上游面源污染负荷估算及评价(硕士学位论文). 沈阳: 辽宁大学.
- 乔金亮. 2018. 构建农牧结合循环生态. 农资导报, 3月6日第C04版.
- 申贵男, 袁媛, 艾士奇, 等. 2020. 东北粮食主产区秸秆和畜禽粪便资源化现状问卷调查及建议. 土壤与作物, **9**(3): 296-303.
- 师晓春. 2020. 辽宁省生猪养殖业污染防治对策研究. 绿色研究, (10): 15-19.
- 舒畅, 乔娟. 2016. 基于养殖废弃物肥料化的种植户施用关联效应研究. 农业技术经济, (12): 32-42.
- 舒畅, 乔娟. 2019. 我国种养一体化模式治理畜禽粪污的发展问题研究. 畜牧经济, **55**(8): 146-150.
- 孙考仲. 2019. 东北地区畜禽粪污处理和资源化利用的成果问题及对策. 畜牧业环境, (8): 26-27.
- 王加启. 2018. 探索现代化的农牧结合路径. 农资导报, 3月6日第C04版.
- 王建华, 陶君颖, 陈璐. 2019. 养殖户畜禽废弃物资源化处理方式及影响因素研究. 中国人口·资源与环境, **29**(5): 127-137.
- 王小彬, 闫湘, 李秀英. 2021. 畜禽粪污厌氧发酵沼液农用之环境安全风险. 中国农业科学, **54**(1): 110-139.
- 王京航. 2019. 畜禽规模养殖粪污资源化利用模式比较研究及其政策建议(硕士学位论文). 哈尔滨: 哈尔滨工业大学.
- 吴学兵, 乔娟. 2012. 生猪规模化养殖的土地问题探析. 猪业科学, (7): 44-45.
- 徐伟朴, 陈同斌, 刘俊良, 等. 2004. 规模化畜禽养殖对环境的污染及防治策略. 环境科学, **25**(6): 105-108.
- 薛同宣, 张开心, 李成浩, 等. 2019. 规模化养猪场粪水处理和资源化利用关键技术. 农业工程, **9**(9): 63-66.
- 杨景晔, 周开锋, 侯世忠, 等. 2018. 山东省农牧结合发展现状、存在问题与对策建议. 中国畜牧杂志, **54**(5): 149-152.
- 姚成胜, 钱双双, 毛跃华, 等. 2017. 中国畜牧业碳排放量变化的影响因素分解及空间分异. 农业工程学报, **33**(12): 10-19.
- 俞佳妃, 杨金勇, 高慧, 等. 2020. 畜牧生产设施装备发展分析及对策. 饲料博览, (1): 52-55.
- 张克强, 杜连柱, 社会英, 等. 2021. 国内外畜禽养殖粪肥还田利用研究进展. 农业环境科学学报, **40**(11): 2472-2481.
- 张敏, 张杨开, 胡妹, 等. 2021. 辽宁省畜禽粪便农田负
荷量估算及环境风险评价. 中国沼气, **39**(6): 89-94.
- 张翎, 乔娟, 沈鑫琪. 2019a. 养殖废弃物治理经济绩效及其影响因素: 基于北京市养殖场(户)视角. 资源科学, **41**(7): 1250-1261.
- 张翎, 乔娟. 2019b. 基于种养结合的种植户粪肥支付意愿研究. 中国农业资源与区划, **40**(8): 177-186.
- 张扬, 王璐瑶. 2021. 中国种养结合发展模式研究进展. 农业科学, **11**(10): 951-956.
- 赵凯. 2011. 论土地细碎化及其定量方法. 中国土地科学, **25**(10): 35-39.
- 周晶, 陈玉萍, 丁士军. 2014. 中国生猪养殖业规模化影响因素研究. 统计与信息论坛, **29**(1): 63-70.
- 庄文发, 才兴蔓. 2017. 辽宁省畜禽粪便污水资源化还田利用探讨. 现代畜牧兽医, (4): 44-47.
- Chadwick D, Jia W, Tong Y, et al. 2015. Improving manure nutrient management towards sustainable agricultural intensification in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **209**: 34-46.
- Khoshnevisan B, Duan N, Tsapekos P, et al. 2021. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **135**: 110033.
- Lyu BY, Xing MY, Yang J. 2016. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresource Technology*, **209**: 397-401.
- Moran D, Sherrington C. 2007. An economic assessment of windfarm power generation in Scotland including externalities. *Energy Policy*, **35**: 2811-2825.
- Nyongesa J, Bett H, Lagat J, et al. 2016. Estimating farmers' stated willingness to accept pay for ecosystem services: Case of Lake Naivasha watershed payment for ecosystem services scheme-Kenya. *Ecological Processes*, **5**: 15.
- Nyord T, Hansen MN, Birkmose TS. 2012. Ammonia volatilization and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injected animal slurry to winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **160**: 75-81.
- Pan D, Zhou GZ, Zhang N, et al. 2016. Farmers' preferences for livestock pollution control policy in China: A choice experiment method. *Journal of Cleaner Production*, **131**: 572-582.
- Van Herzele A, Gobin A, Van GP, et al. 2013. Effort for money? Farmers' rationale for participation in agri-environment measures with different implementation complexity. *Journal of Environmental Management*, **131**: 110-120.
- Wang YZ, Zhang YL, Li JX, et al. 2021. Biogas energy generated from livestock manure in China: Current situation and future trends. *Journal of Environmental Management*, **297**: 113324.

作者简介 张玉兰,女,1974年生,博士,副研究员,研究方向为应用土壤生物化学。E-mail: ylzhang@iae.ac.cn
责任编辑 魏中青