



黄亚捷, 崔艳智, 王现洋, 王建锋, 车蒙, 周岩, 李君超, 刘海东. 我国畜禽粪污还田利用标准体系现状及问题解析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(07):52-65.
HUANG Yajie, CUI Yanzhi, WANG Xianyang, WANG Jianfeng, CHEN Meng, ZHOU Yan, LI Junchao, LIU Haidong. Current situation and problem analysis of the standard systems for livestock and poultry manure returning to farmland in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(07):52-65.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.07.05

我国畜禽粪污还田利用标准体系现状及问题解析

黄亚捷¹ 崔艳智¹ 王现洋² 王建锋² 车蒙² 周岩¹ 李君超¹ 刘海东^{1*}

(1. 生态环境部 环境发展中心, 北京 100029;
2. 现代牧业(集团)有限公司, 安徽 马鞍山 243000)

摘 要 畜禽粪污还田利用标准是指导和规范畜禽粪污资源化利用工作的基础, 针对我国畜禽粪污还田利用标准体系建设仍存在底数不清、各个标准规范的衔接不足、标准内容更新滞后等问题, 以我国自1989年以来畜禽粪污还田利用标准为研究对象, 通过分析标准体系构成, 总结标准限值冲突问题、标准滞后问题以及标准操作性问题。结果表明: 一是固体、液体粪污还田的卫生学、重金属、理化性质等指标限制均存在冲突的问题。二是目前现行超过10年以上的畜禽粪污资源化利用相关标准约有29项, 已不满足现行还田利用新要求, 仍存在标准发布时间过久, 标准滞后的问题。三是粪肥还田精准施用标准不完善, 缺少固体、液体粪污还田利用各污染物的指标、关键技术、设施装备、粪肥主要成分检测方法等关键性标准, 仍缺少不同区域不同畜种的相关标准, 仍存在未关联到潜在环境污染等引起的操作性不强问题。为此, 本研究提出以下3点建议: 一是加强总体统筹谋划, 有步骤地制修订空缺、指标限制冲突、滞后、操作性差的标准体系; 二是加强配套技术保障。研发实用性、经济性的成套技术, 建立全链条监测网络及研制配套设施设备; 三是加强基础研究。强化不同区域不同畜种粪肥还田利用标准研究, 开展还田环境污染风险、标准重要参数和指标等验证分析研究、突出重点标准实施效果跟踪评价。

关键词 畜禽粪污; 还田利用; 标准体系; 现状; 存在问题

中图分类号 X53

文章编号 1007-4333(2025)07-0052-14

文献标志码 A

Current situation and problem analysis of the standard systems for livestock and poultry manure returning to farmland in China

HUANG Yajie¹, CUI Yanzhi¹, WANG Xianyang², WANG Jianfeng², CHEN Meng²,
ZHOU Yan¹, LI Junchao¹, LIU Haidong^{1*}

(1. Environmental Development Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China;
2. Modern Farming (Group) Co., Ltd., Maanshan 243000, China)

Abstract The standard system for returning livestock and poultry manure to farmland is the foundation for guiding and regulating the resource utilization of livestock and poultry manure. However, there are still problems exist in the standard system for returning livestock and poultry manure to farmland, such as the lack of base numbers, insufficient coordination between standards and the lagging update of the standards. This study examined the standard system for returning livestock and poultry manure to farmland published since 1989, analyzing the structure of the standard system and summarizing issues such as

收稿日期: 2024-10-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(U20A20115)

第一作者: 黄亚捷(ORCID:0000-0002-8313-7066), 博士, 高级工程师, 主要从事环境污染监测与治理研究, E-mail:1060410517@qq.com

通讯作者: 刘海东(ORCID:0009-0006-0951-0041), 正高级工程师, 主要从事环境管理与规划、农业农村环境政策、环境影响评价等研究, E-mail:liuhaidong@edcmep.org.cn

conflicting standard limits, outdated standards, and operational challenges. The results revealed three key problems. Firstly, there were conflicts in standard limits, such as discrepancies between the hygienic, heavy metal, and physicochemical specifications of solid and liquid manure management protocols. Secondly, there was a problem of outdated standards. Currently, approximately 29 relevant standards have been in effect for over a decade, failing to address contemporary application requirements and demonstrating systemic issues of prolonged validity cycles and delayed updates. Thirdly, there were operational issues with the standards, including the lack of precise standards for manure application, as well as the dearth of specific standards for different regions and livestock, there was an absence of key standards regarding pollutants, essential technologies, facilities, equipment, and detection methods for manure's main components in farmland utilization. Insufficient operational guidelines to address potential environmental risks, resulting in poor practicality. To address these issues, three suggestions were proposed. Firstly, overall planning and coordination should be strengthened, and the standards that are lacking, conflicting, lagging, or challenging to operate should be systematically revised. Secondly, supporting technical guarantees should be enhanced. A comprehensive monitoring network should be developed. It is recommended that practical and economical integrated technologies be developed, a comprehensive monitoring network be established, and supporting facilities and equipment be developed. Thirdly, it is recommended that basic research be reinforced. It is necessary to strengthen research on standards for the utilization of manure from different regions and animal breeds in returning farmland. This should include verification and analysis research on environmental pollution risks, important parameters and indicators of standards, and the tracking and evaluation of the implementation effects of key standards.

Keywords livestock and poultry manure; return to the farmland for use; standard system; current situation; existing problem

畜禽粪污还田利用是农村生态环境保护工作的重点和难点,对于改善农村生态环境质量、提高农业绿色发展水平、促进农产品增产提质具有重要意义^[1-3]。习近平总书记多次强调加快推进畜禽养殖废弃物处理和资源化^[4-5]。生态环境部等相关部委积极贯彻落实党中央国务院决策部署,多次印发实施有关重要文件。其中:2021年印发的《农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021—2025年)》^[6]要推进畜禽粪污资源化利用,严格畜禽养殖污染防治监管;2023年印发的《国家标准委 农业农村部 生态环境部关于推进畜禽粪污资源化利用标准体系建设的指导意见》^[7]提出发展目标:到2030年,推动制修订国家标准、行业标准100项左右,畜禽粪污资源化利用标准体系进一步完善。

一系列管理规范、政策文件的相继出台,在促进我国畜禽粪污资源化利用方面取得显著成效,同时也对畜禽粪污资源化利用标准体系建设提出更高要求^[8]。我国畜禽粪污资源化利用方式主要有肥料化、能源化、饲料化、基质化、原料化。《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》^[9](国办发〔2017〕48号)明确以农用有机肥和农村能源为畜禽养殖废弃物主要利用方向。通过

生产有机肥料的方式进行畜禽粪污还田仍是粪污资源化利用的最主要方式^[10-13]。但是,我国畜禽粪污还田利用标准体系建设仍存在底数不清、各个标准规范的衔接不足、标准内容更新滞后等问题。同时,目前还尚未开展畜禽粪污还田利用标准体系的系统研究。

因此,为系统开展畜禽粪污还田利用标准体系研究,本研究拟通过全面梳理分析自1989年以来现行的我国国家和行业标准体系构成,通过深入开展标准的系统研究,发现和分析标准体系在制修订过程中存在的关键性问题,并针对存在的问题提出相应的对策与建议,以期为贯彻落实畜禽粪污资源化利用标准化、规范化、科学化水平的总体要求提供参考。

1 标准体系构成

1.1 畜禽粪污资源化利用标准体系构成

我国基本上建立了畜禽粪污的收集、处理、利用和检测等资源化利用全链条标准体系^[14]。基于《国家标准委 农业农村部 生态环境部关于推进畜禽粪污资源化利用标准体系建设的指导意见》^[7](以下简称《指导意见》),将畜禽粪污资源化利用标准

体系分为5类,详见图1。包括综合通用、无害化处理、粪肥利用、气体管控及检测方法标准,并在《指导意见》附件中列出现行资源化利用相关国家、行业标准共计44项。本研究通过在“全国标准化信息

公共服务平台”以“畜禽”“粪污”“资源化”为关键词,搜索1989年以来我国畜禽粪污资源化利用现行国家和行业标准,获得相关标准共计74项(相比于《指导意见》附件所列标准多出30项)。其中:综合

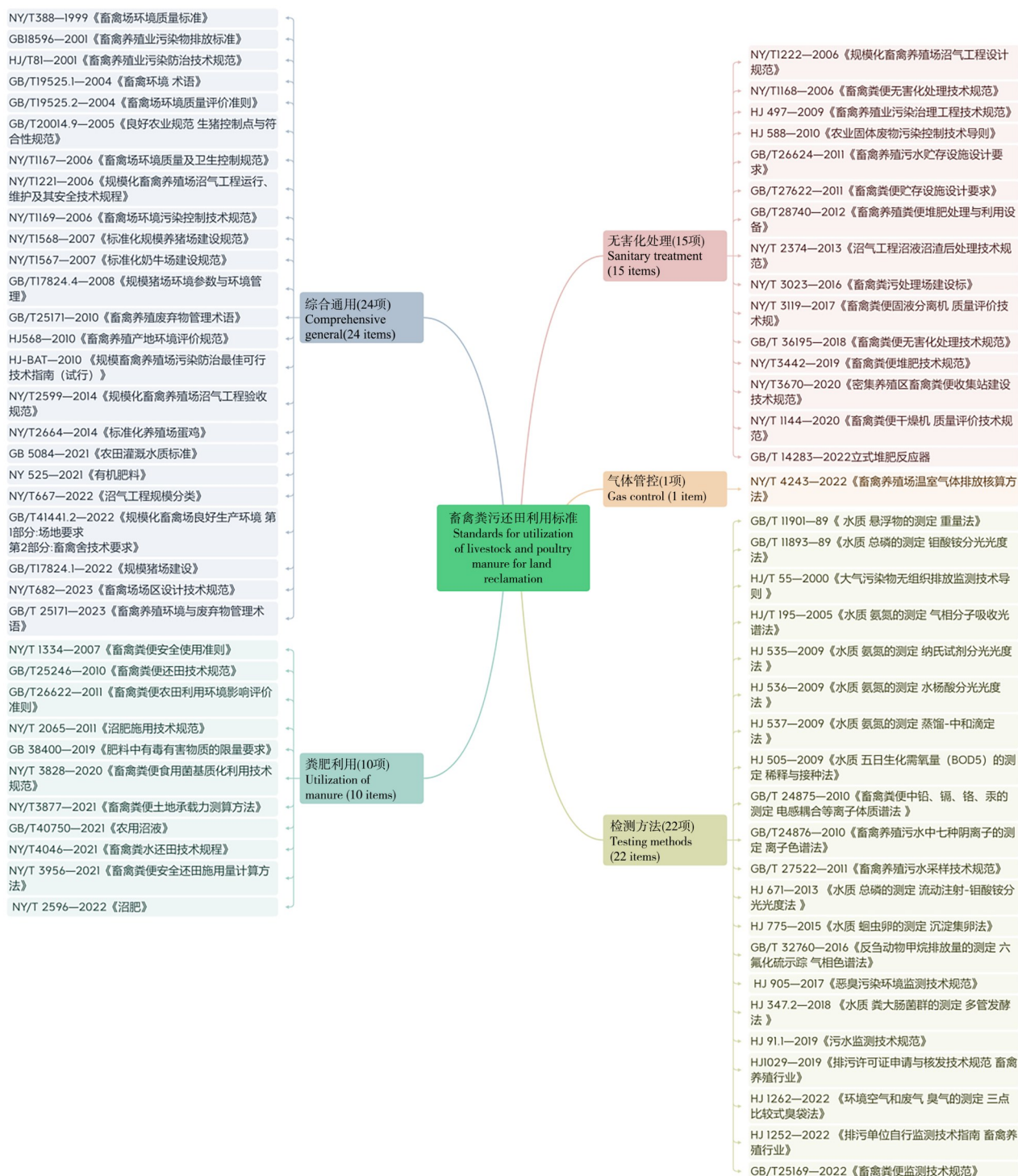


图1 截止2023年我国畜禽粪污还田利用相关标准的分类

Fig. 1 Classification of relevant standards for the utilization of livestock and poultry manure as of 2023 in China

通用类24项,主要包括管理术语、畜禽粪污产生量、粪污特性、粪污综合利用评价等基础共性标准;无害化处理类15项,主要包括粪污处理技术规范、设施装备设计要求及安全生产要求等标准;粪肥利用类12项,主要包括粪肥限量指标、技术指标和施用技术等标准;气体管控类1项,主要包括温室气体和恶臭气体的减排核算核证标准;检测方法类22项,主要包括畜禽粪污的采样和测定方法等标准。具体标准名录见图1。标准执行的总体原则为优先执行国家强制性标准、最新发布的标准及最高层次标准等。

1.2 畜禽粪污还田利用标准构成

在前文收集整理的畜禽粪污资源化利用现行标准中,涉及粪污还田利用相关国家、行业标准共有18项,详见表1。这些标准总体可分为综合通用、粪肥利用及无害化处理共3类。其中:综合通用主要包括畜禽养殖业污染物排放等基础共性标准;粪肥利用主要包括固体(如沼肥施用技术、有机肥料、土地承载力测算方法)及液体(如农用沼液、粪水还田技术)施用技术标准;无害化处理主要包括畜禽粪便无害化处理技术规范、畜禽粪便堆肥技术规范等标准。

经过多年发展,我国基本形成了“源头减量、过程控制、末端利用”的还田利用标准与技术体系,粪污肥料化及全量还田技术要求也不断明确,标准实施力度进一步加强,有效推动了畜禽粪污还田化利用与农业绿色发展^[15-17]。

2 现行畜禽粪污还田利用标准体系中存在的问题

2.1 全链条标准体系仍不完善

现行标准对于指导畜禽粪污全链条还田利用方面的不足主要体现在:一是在区域、畜种差异化方面^[18-19],已有研究表明,对于不同畜种,由于其粪污营养成分和污染物含量(如抗生素、重金属)等不同^[20],不同区域和不同物种所需要的养分和吸收能力不同,长期畜禽粪肥土壤中的重金属和抗生素含量呈累积升高趋势,但不同畜种畜禽粪肥趋势不同,如长期施用猪粪的土壤中Cu、Zn和As的含量分别为不施用猪粪土壤的11、5和2倍,在新疆伊宁用猪场沼液灌溉蔬菜的试验中发现,连续5年施用沼液的土壤中Cd、Cu和Se已出现超标现象^[21]。但

是目前仍然缺少指导不同区域、不同畜种粪污还田利用技术和指标的差异化标准;二是在还田环境风险方面,缺少有害物质、土壤重金属等限值标准,以及还田跟踪评价相关的技术规范,难以有效评估粪肥施用带来的土壤及地下水等累积环境风险;三是在还田技术与装备方面,如畜禽粪污固液分离设备作业技术、粪便密闭式无害化处理操作技术、粪污沤肥技术、厌氧贮存设施设备等配套设施装备标准还有待进一步突破^[7];四是在检测方面,缺少畜禽粪肥主要成分,如畜禽粪污中总盐分、畜禽粪污和粪肥中有机质、挥发性物质等检测方法标准^[7];五是在其他方面缺少粪污综合利用率等核算方法,在畜禽粪污产生量和特性标准等综合通用标准方面仍有空缺^[7]。

2.2 部分标准要求不相协调

2.2.1 部分指标限值要求不协调

不同固体粪污还田指标标准的卫生学指标如表2所示。可见在卫生学指标方面,如GB18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》、GB/T 40750—2021《农用沼液》等标准中,对于沼肥蛔虫卵死亡率限值,与GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》的要求有差异,最多相差5%。多个标准对粪污中固体(液体)部分还田的粪大肠菌值要求不同。对于沼气肥中粪大肠菌值为 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ (NY/T 1334—2007),而该指标在其他标准中分为常温沼气发酵 10^{-4} 、高温沼气发酵 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ (NY/T 2065—2011),另外一些标准(NY/T 2596—2022、NY 525—2021、GB 38400—2019)中用粪大肠菌群数(≤ 100 个/g 或 ≤ 100 个/mL)来表示,NY/T 1168—2006 和 GB/T 36195—2018 的常温沼气发酵 $\leq 10\,000$ 个/L,高温沼气发酵 ≤ 100 个/L。

在重金属指标方面,多个标准对粪污还田中重金属指标要求不同,如表3~5所示。GB 38400—2019作为强制性国标,对畜禽粪污还田中重金属指标要求较为全面,包括总砷、总镉、总汞、总铅、总铬、总铈、总镍、总钴、总钒、总锑等。而行业标准如NY/T 2065—2011、NY 525—2021、NY/T 2596—2022对于重金属指标只考虑了括总砷、总镉、总汞、总铅、总铬,对于总铈、总镍、总钴、总钒、总锑没有提出具体要求。多个标准对有机肥中重金属指标限值要求不同。GB 38400—2019和NY 525—2021对固体粪污均设置了总砷、总镉、总汞、总铅、总铬,

表 1 截至 2023 年我国畜禽粪污还田利用标准分类

Table 1 Classification of standards for the utilization of livestock and poultry manure returned to the field as of 2023 in China

序号 Number	标准分类 Standard classification	发布年份 Publication year	颁布部门 Promulgate department	标准级 别 Standard level	标准名称 Standard name
1	综合通用类	2001	国家质量监督检验检疫总局、国家环境保护总局	国标	GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》
2		2007	中华人民共和国农业部	行标	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》
3		2010	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会	国标	GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》
4		2011	国家标准化管理委员会 国家质量监督检验检疫总局	国标	GB/T26622—2011《畜禽粪便农田利用环境影响评价准则》
5		2011	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
6		2019	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国标	GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》
7		2020	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 3828—2020《畜禽粪便食用菌基质化利用技术规范》
8		2021	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 3956—2021《畜禽粪便安全还田施用量计算方法》
9		2021	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 3877—2021《畜禽粪便土地承载力测算方法》
10		2021	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 4046—2021《畜禽粪水还田技术规程》
11		2021	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	国标	GB/T 40750—2021《农用沼液》
12		2021	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 525—2021《有机肥料》
13		2022	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 2596—2022《沼肥》
14		2023	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 4297—2023《沼肥施用技术规范 设施蔬菜》
15	无害化处理类	2006	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》
16		2018	国家市场监督管理总局、中国国家标准化管理委员会	国标	GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》
17		2019	中华人民共和国农业农村部	行标	NY/T 3442—2019《畜禽粪便堆肥技术规范》
18		2021	中华人民共和国生态环境部、国家市场监督管理总局联合发布	国标	GB 5084—2021《农田灌溉水质标准》

表 2 不同粪污还田标准的卫生学指标对比

Table 2 Comparison of hygiene indicators with different standards for fecal waste return to the soil

指标名称 Indicator name	指标限制 Indicator limitation	具体标准 Specific standard
蛔虫卵死亡率 Mortality rate of ascaris eggs	≥95%	GB18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》 NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》 GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》 NY/T 3442—2019《畜禽粪便堆肥技术规范》 NY/T 525—2021《有机肥料》 NY/T 2596—2022《沼肥》
	95%~100%	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》
	95%	GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》
蛔虫卵沉降率 Sedimentation rate of ascaris eggs	95% 以上	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》 NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
蛔虫卵死亡率 Mortality rate of ascaris eggs	≥95%	GB/T 40750—2021《农用沼液》 NY/T 2596—2022《沼肥》
粪大肠菌群数 Coliform count of feces	≤10 ⁵ 个/kg(100 个/g)	GB18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》 NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》 GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》 NY/T 3442—2019《畜禽粪便堆肥技术规范》 NY/T 525—2021《有机肥料》
	100 个/g 或 100 个/mL	GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》 NY/T 2596—2022《沼肥》
粪大肠菌值 Fecal coliform value	10 ⁻¹ ~10 ⁻²	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》
粪大肠菌群数 Coliform count of feces	≤100 个/g(mL)	NY/T 2596—2022《沼肥》
粪大肠菌群数 Coliform count of feces	常温沼气发酵≤10 000 个/L	NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》
	高温沼气发酵≤100 个/L	GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》
粪大肠菌值 Fecal coliform value	10 ⁻¹ ~10 ⁻²	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》
	常温沼气发酵 10 ⁻⁴	NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
	高温沼气发酵≤10 ⁻¹ ~10 ⁻²	
	常温沼气发酵 10 ⁻⁴	GB/T 40750—2021《农用沼液》
	高温沼气发酵≤10 ⁻¹ ~10 ⁻²	

表3 基于不同作物分类下的标准中固体粪污还田重金属指标限制

Table 3 Restriction of the heavy metal index in the standards of solid manure return to farmland based on different crop classification						mg/kg
指标名称 Indicator name	指标限制 Indicator limitation				具体标准 Specific standard	
	作物 Different crop	pH < 6.5	6.5 ≤ pH ≤ 7.5	pH > 7.5		
砷 Arsenic	旱作作物	30	30	30	NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》	
	水稻	50	50	50		
	果树	50	50	50		
	蔬菜	50	50	50		
铜 Cuprum	旱作作物	300	600	600		
	水稻	150	300	300		
	果树	400	800	800		
	蔬菜	70	170	170		
锌 Zinc	旱作作物	2 000	2 700	3 400		
	水稻	900	1 200	1 500		
	果树	1 200	1 700	2 000		
	蔬菜	500	700	900		

表4 基于不同肥料分类下的标准中固体粪污还田重金属指标限制

Table 4 Restriction of the heavy metal index in the standards of solid manure return to farmland based on different fertilizer classification						mg/kg
指标名称 Indicator name	NY/T 2065—2011	GB 38400—2019		NY 525—2021	NY/T 2596—2022	具体标准 Specific standard
	有机肥 Organic fertilizer	无机肥料 Inorganic fertilizer	其他肥料 Other fertilizer	有机肥 Organic fertilizer	沼渣 Biogas residue	
总砷 Total arsenic	≤70	≤50	≤15	≤15	≤15	NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》 GB 38400—2019《肥料中有毒有害物质的限量要求》 NY 525—2021《有机肥料》 NY/T 2596—2022《沼肥》
总镉 Total cadmium	≤3	≤10	≤3	≤3	≤3	
总汞 Total mercury	≤5	≤5	≤2	≤2	≤2	
总铅 Total lead	≤100	≤200	≤50	≤50	≤50	
总铬 Total chromium	≤300	≤500	≤150	≤150	≤150	
总铊 Total thallium		≤2.5	≤2.5			
总镍 Total nickel		≤600	≤600			
总钴 Total cobalt		≤100	≤100			
总钒 Total vanadium		≤325	≤325			
总锑 Total antimony			≤25			

其在有机肥中的限值不同。其中,NY/T 2065—2011要求总砷为 ≤ 70 mg/kg,而其他标准,包括GB 38400—2019、NY 525—2021、NY/T 2596—2022要求总砷限值为 ≤ 15 mg/kg。除此之外,总镉、总汞、总铅、总铬的限值也不相同。原因是NY/T 2065—2011执行NY 525—2002,现NY 525—2002已修订为NY 525—2021,而NY/T 2596—2022等标准执行的NY/T 1978肥料汞、砷、镉、铅、铬含量的测定。多个标准对沼液中重金属指标限值要求不同。

GB/T 40750—2021和NY/T 2596—2022对非浓缩沼液肥料、浓缩沼液肥料和沼液中重金属设置了总砷、总镉、总铅、总铬、总汞指标。其中,NY/T 2596—2022对于沼液提出了具体要求,而GB/T 40750—2021划分了浓缩沼液、非浓缩沼液。NY/T 2596—2022、GB/T 40750—2021对于浓缩沼液要求一致。但是,NY/T 2596—2022、GB/T 40750—2021对于非浓缩沼液要求不一致,GB/T 40750—2021分为3个等级设定限制,更为详细,操作性更强。

表 5 基于不同沼液分类下的标准中液体粪污还田重金属指标限制

Table 5 Restriction of the heavy metal index in the standards of liquid manure return to farmland based on different biogas slurry classification

mg/kg

指标名称 Indicator name	GB/T40750—2021			NY/T 2596—2022	
	非浓缩沼液肥料 Non-concentrated biogas fertilizer			沼液 Biogas slurry	具体标准 Specific standard
	I	II	III		
总砷 Total arsenic	≤ 0.3	≤ 0.4	≤ 10	≤ 10	
总镉 Total cadmium	≤ 0.04	≤ 0.06	≤ 3.0	≤ 3	
总铅 Total lead	≤ 1.2	≤ 1.9	≤ 50	≤ 50	GB/T40750—2021 《农用沼液》 NY/T 2596—2022 《沼肥》
总铬 Total chromium	≤ 1.3	≤ 1.9	≤ 50	≤ 50	
总汞 Total mercury	≤ 0.4	≤ 0.5	≤ 5	≤ 5	

在理化性质指标方面,多个标准对pH要求不同,如表6所示。可见:NY/T 2065—2011对沼渣pH要求为设6.8~8.0;NY/T 2596—2022和NY 525—2021对固体粪污的pH为5.5~8.5。多个标准对固体粪污含水量指标限值要求不同。其中:NY/T 2065—2011、NY/T 3828—2020、NY 525—2021对固体粪污含水量指标要求不同,分别为沼渣水分含量60%~80%、食用菌基质化含水量50%~75%、有机肥料水分(鲜样)的质量分数 $\leq 30\%$ 。多个标准对总盐浓度指标要求不同,如表7所示。可见:NY/T 2596—2022及GB/T 40750—2021对总盐浓度指标要求不同。NY/T 2596—2022要求总盐浓度 ≤ 3.0 mS/cm,而GB/T 40750—2021对总盐度进行了分级限值,在非浓缩沼液肥料I类、II类

施用在土壤上时,要求总盐浓度 ≤ 1.5 mS/cm及 ≤ 2.0 mS/cm,低于NY/T 2596—2022标准。GB/T 40750—2021分级限值更能科学的指导实际操作。

2.2.2 粪污存储要求不协调

粪污存储要求不协调主要表现在固体、液体设施存储容积及发酵时间方面,如表8所示。可见:GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》要求液体粪污设施存储容积大小由污水体积、降雨体积及预留体积确定;NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》、NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》未考虑降雨体积及预留体积等。另外,GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》、NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》等标准对固体设施存储容积及发酵时间要求也不相同。

表6 不同标准下液体粪污还田pH及含水量指标对比

Table 6 Comparison of the pH and moisture content of liquid manure return to farmland based on different standards

指标名称 Indicator name	指标限制 Indicator limitation	具体标准 Specific standard
pH	6.8~8.0	NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
	6.5~8.0	NY/T 3828—2020《畜禽粪便食用菌基质化利用技术规范》
	5.5~8.5	NY/T 2596—2022《沼肥》、NY 525—2021《有机肥料》
含水量 Moisture content	60%~80%	NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
	50%~75%	NY/T 3828—2020《畜禽粪便食用菌基质化利用技术规范》
	≤30%	NY 525—2021《有机肥料》

表7 不同标准下液体粪污还田总盐浓度指标对比

Table 7 Comparison of the total salt concentration of liquid manure return to farmland based

on different standards

mS/cm

指标名称 Indicator name	指标限制 Indicator limitation			具体标准 Specific standard
	I类	II类	III类	
叶面施用 Leaf surface application	≤1.0	≤1.5	≤1.5	GB/T 40750—2021《农用沼液》
土壤施用 Soil application	≤1.5	≤2.0	≤3.0	
土壤或叶面施用 Soil or leaf surface application		≤3.0		NY/T 2596—2022《沼肥》

表8 畜禽粪污设施存储容积及发酵基本要求

Table 8 Storage capacity and basic fermentation requirements for livestock and poultry manure facilities

存储设施容积 Storage facility capacity		标准 Standard
固体粪污 Solid manure	液体粪污 Liquid manure	
畜禽粪便贮存设施应符合 GB/T 27622《畜禽粪便贮存设施设计要求》的规定:贮存设施的容积为贮存期内粪便的产生总量,其容积大小由动物总粪便量、处理工艺及粪便密度确定,具体公式见 GB/T 27622	畜禽养殖污水贮存设施应符合 GB/T 26624《畜禽养殖污水贮存设施设计要求》的规定:畜禽养殖污水贮存设施容积由污水体积、降雨体积及预留体积确定,具体公式见 GB/T 26624	GB/T 36195—2018《畜禽粪便无害化处理技术规范》
最小容积为贮存期内粪便产生总量和垫料体积总和	最小容积为贮存期内粪便产生量和存期内污水排放量总和 采取农田利用时,畜禽粪便存设施最小容量不能小于当地农业生产使用间隔最长时期内养殖场粪便产生总量	NY/T 1168—2006《畜禽粪便无害化处理技术规范》、NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》

2.3 部分标准内容更新滞后

《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》(国办发〔2017〕48号)^[9]《农业农村部办公厅生态环境部办公厅关于进一步明确畜

禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知》^[22]

等多个文件明确要求健全畜禽粪污还田利用和养分检测标准体系。但 GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》等多个标准发布时间过久,未对

液体粪污还田重金属、抗生素等指标限量提出要求,且还未有粪水中养分、重金属等检测标准体系。同时,该标准对于粪污处理后的卫生学指标仍执行 GB7959—1987《粪便无害化卫生标准》,但该标准已被 GB7959—2012《粪便无害化卫生要求》所替代,没有充分考虑好氧、厌氧与兼性厌氧发酵、密闭贮存、固液分离等多种粪污处理下的卫生学要求,也未配套完善的卫生学指标等监测检验方法。

根据国务院令 第 53 号《中华人民共和国标准化法实施条例》中的有关规定^[23],标准实施后,制定标准的部门应当根据科学技术的发展和经济建设的需要适时进行复审。标准复审周期一般不超过 5 年。但是,多个标准发布远超过 10 年,如 GB18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》已发布已 22 年,NY/T 1167—2006《畜禽场环境质量及卫生控制规范》已发布 17 年。由于标准体系的制修订相对滞后,许多先进科学技术和装备已经在实际生产中应用了很久,而相应的标准还没有建立,影响了畜

禽粪污资源化利用标准化发展步伐。

2.4 部分标准操作性不强

2.4.1 粪肥施用量方面

粪肥还田精准施用标准不完善,导致标准操作性不强,如表 9 所示,多个标准对番茄沼渣施用量不一致。其中:NY/T 4297—2023 和 NY/T 2065—20112 个标准中对番茄沼渣施用量要求不同;NY/T 2065—2011 对于番茄沼渣施用量为 48 000 kg/hm²,而 NY/T 4297—2023 按照幼苗期、开花结果期、结果期提出了番茄基肥施用量及追肥量,均与 NY/T 2065—2011 中对于番茄沼渣施用量不同。此外,多个标准对黄瓜沼渣施用量不一致:NY/T 4297—2023 和 NY/T 2065—2011 这 2 个标准中黄瓜沼渣施用量不同。NY/T 2065—2011 对于黄瓜沼渣施用量为 33 000 kg/hm²,而 NY/T 4297—2023 按照幼苗期、开花结果期、结果期提出了黄瓜基肥施用量及追肥量,均与 NY/T 2065—2011 中对于黄瓜沼渣施用量不同。

表 9 畜禽粪污还田沼渣施用量限制

Table 9 Limitations on the application amount of biogas residue of livestock and poultry manure returning to the farmland

种类 Type	不同蔬菜 Different vegetable	沼渣基肥施用量 Application amount of biogas residue base fertilizer	沼液追肥 Biogas slurry topdressing			对应标准 Corresponding standard
			幼苗期 Seedling stage	开花结果(结荚)期 Blooming and fruiting (pod setting) period	结果(结荚)盛期 Result (podding) peak period	
茄果类 Cucurbitaceous fruit and vegetable	茄子	30 000~45 000	16 200~18 900	31 500~37 500	90 000~99 000	NY/T 4297—2023《沼肥施用技术规范 设施蔬菜》
	番茄		9 750~15 000	31 500~34 500	64 500~70 500	
	辣椒		3 750~4 500	7 500~8 250	33 000~34 500	
瓜类 Melon	黄瓜	30 000~52 500	4 500~6 000	6 000~10 500	27 000~48 000	
	苦瓜		7 500~13 500	13 500~21 000	84 000~97 500	
	南瓜		12 000~15 000	37 500~45 000	24 000~27 000	
豆类 Bean	菜豆	30 000~37 500	3 500~19 500	21 000~30 000	15 000~22 500	
	豇豆		10 500~12 000	18 000~25 500	10 500~15 000	
农作物 Crop	水稻			22 500~37 500		NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》
	小麦			27 000		
	玉米			27 000		
	棉花			15 000~45 000		
	油菜			30 000~45 000		
	苹果			30 000~45 000		
	番茄			48 000		
	黄瓜			33 000		

2.4.2 粪肥施用方式方面

在粪肥施用方式方面,部分标准操作性不强。如 NY/T 1334—2007《畜禽粪便安全使用准则》、GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》、NY/T 2065—2011《沼肥施用技术规范》、NY/T 4297—2023《沼肥施用技术规范 设施蔬菜》对沼液叶面喷施方式提出了要求。NY/T 2065—2011 提出作物处于幼苗、嫩叶期时应用 1 份沼液兑 1 份清水稀释施用,而 NY/T 4297—2023 提出在作物处于幼苗、嫩叶期时可用沼液与灌溉水按 1:10~20 的比例混合喷施,NY/T 1334—2007、GB/T 25246—2010 对沼液与清水比例没有提出具体要求。

2.5 现行标准并不能完全满足政策落实要求

针对畜禽粪污还田利用,我国发布了系列文件,如《国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》(国办发[2017]48号)^[9]《农业农村部办公厅生态环境部办公厅关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知》^[22],这些政策文件均要求加快推进畜禽粪污还田利用,进一步明确畜禽养殖污染治理路径,畜禽粪污的处理应根据排放去向或利用方式的不同执行相应的标准规范,畅通畜禽粪污还田利用渠道。但从执行标准来看,地方在执法时常常将液体粪污作为肥料利用和作为灌溉水利用混为一谈,常常要求液体粪污必须达到《农田灌溉水质标准》后才能农田利用,极大地阻碍了畜禽粪污还田利用。我国政策文件要求要整县推进畜禽养殖废弃物综合利用,提升种养结合水平,而现行我国种养主体分离,种地的不养猪,养猪的不种地,种养不匹配的问题普遍存在,同时还缺乏种养结合的标准,这在一定程度上导致目前种养结合水平不高、沼气和生物天然气利用效率不高、畜禽粪污资源化利用相关标准实施力度不够。

3 完善畜禽粪污还田利用标准的对策与建议

3.1 加强总体统筹谋划

围绕已构建的标准体系,充分运用系统方法,加强对畜禽养殖废弃物资源化利用技术标准的制定、使用和管理工作的,充分发挥标准化工作在畜禽养殖废弃物资源化利用中的战略性和基础性作用。一是优先制修订并推动实施一批对污染防治有重

要指导意义的标准。多部门联合统筹做好相关标准制修订规划,分年度分重点推进系统完备、结构合理、衔接配套、科学严谨的标准体系建设,着力打通畜禽粪肥还田“最后一公里”;二是坚持“以地定养、有种有养、种养结合”,这是解决畜禽粪污资源化利用的根本出路,比如荷兰规定每公顷耕地养殖奶牛 1.54 头,欧盟为 2.9 头,但我国种植主体仍以小农户为主,种植经营依然高度分散,全国种植规模在 3.3 hm² 以下的农户占 97%,且畜禽养殖场大多分布在偏远山地,其周边缺少足够用于消纳粪肥的配套耕地,客观导致了种养脱节,这就要求部门在制定规划和标准时,做好畜禽养殖的种养结合,打通种养循环堵点。

3.2 加强空缺的、冲突的、滞后的、操作性不强的标准的制修订

加强关键性标准的制修订。一是补充畜禽粪污还田利用相关标准。制定固体、液体粪污还田利用各污染物指标、关键技术、配套设施装备、粪肥主要成分检测方法等关键性标准。二是关注不同标准指标限制冲突的地方。在标准制修订过程中,要重点关注标准中相同概念下要求的指标类型、指标限值、技术参数、施用方式等存在不一致的地方,确保标准体系的协调性和统一性。三是加快标准制修订的速度。针对不能满足现阶段畜禽粪污还田利用需求的,发布年限较久的,如 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》、GB/T 25246—2010《畜禽粪便还田技术规范》等,加快相关标准的制修订速度。四是完善标准的可操作性。在标准的制修订过程中,要重点关注企业生产需求、不同区域不同畜种养殖粪污还田利用差异、潜在环境污染风险、标准的适用性等问题,切实做好标准的有效衔接。

3.3 加强关键技术与配套装备保障

一是加强粪肥还田利用技术创新。强化综合性、实用性、经济性的成套技术研发,引导养殖场因地制宜推广适宜技术及集成创新技术模式。二是完善粪肥还田利用监测技术体系。加强不同类型下畜禽养殖粪肥中养分元素、主要污染物监测。建立不同区域不同畜种粪肥收集、储存、运输、利用等各环节监测体系,逐步形成畜禽粪污处理、粪肥利用和施用效果等监测网络,掌握第一手数据,构建基础数据库。三是各地立足区域资源环境特点,因

地制宜制定研发畜禽粪污资源化利用设施设备,进一步细化实化技术装备要求,推进畜禽粪污堆沤肥、贮存发酵、粪肥还田利用等配套的技术装备研发。

3.4 加强温室气体管控

根据联合国粮农组织(FAO)的数据,全球畜牧业饲养家畜的二氧化碳、甲烷总排放量,为每年71亿t,占所有人为温室气体排放量的14.5%,畜牧业的发展已成为温室气体的主要来源之一。因此,畜牧业的绿色转型和碳中和实践是实现可持续发展的重要举措。加强温室气体管控,一是全面梳理中国畜牧业碳排放的特征和影响驱动因素,减少畜禽粪污管理的甲烷和氧化亚氮排放,积极探索降低畜牧业碳排放路径。二是在气体管控方面和温室气体检测方面,制定温室气体减排和氨等臭气管控技术规范,编制畜禽粪污能源化利用、畜产品碳足迹核算和报告指南等方面的核算审核标准。三是要加快畜禽养殖温室气体排放测定方法系列标准制定。综合运用现代信息技术,加强监测和评估,对温室气体排放进行全过程监测,对各环节温室气体排放和减排潜力进行科学评估;建立畜牧业减排和固碳标准化体系,制定温室气体减排监测、核算、评估和核查的方法和技术标准,建立可报告、可衡量、可核查的技术体系。

3.5 加强基础研究

针对现行问题并借鉴国外发达国家及地区的先进经验,加快完善畜禽养殖废弃物资源化利用技术标准体系,要充分引导科研院所、社会团体、企事业单位及个人投入到畜禽粪污还田利用标准基础研究,鼓励各地开展新形势下畜禽粪污还田利用相关科研课题研究,完善畜禽粪污还田利用标准体系,推动畜禽粪污由“治”向“用”转变^[24-27]。一是强化畜禽粪肥还田的环境污染风险研究。开展投入品使用、畜禽养殖、粪污处理、还田利用、土壤和农作物吸收各环节主要污染物(如重金属等)迁移转化规律研究,评估畜禽粪污还田利用重金属等污染物的潜在环境污染风险,及时发布水土环境污染风险的预警信息,保障粪肥还田的安全性^[28-29]。二是加强不同畜种、不同区域的粪污处理工艺、粪污还田安全利用研究,分析确定不同气候、不同土壤、不同作物的粪肥施用量、施用方式等,为畜禽粪污还田利用提供有力支撑^[30-32]。三是开展还田利用相关

标准重要参数和指标等验证分析研究。实现主要指标限值、核心技术要求的一致性,增强标准的实用性和可操作性。四是强化标准实施推广。鼓励各地区各部门及时反馈标准实施过程中出现的新情况新问题,提出有针对性的解决方案。

参考文献 References

- [1] 王圣伟,李翔,李艳霞,赵岩.基于不确定性分析的畜禽粪污土地承载力评估:以排泄系数不确定性为例[J].中国环境科学,2023,43(S1):186-196
Wang S W, Li X, Li Y X, Zhao Y. Assessment of land bearing capacity of livestock manure based on uncertainty analysis: Taking the uncertainty of excretion coefficients as an example [J]. *China Environmental Science*, 2023, 43(S1):186-196 (in Chinese)
- [2] 徐鹏翔,沈玉君,丁京涛,周海宾,宋立秋,程红胜,王健,程琼仪,张朋月.中国东北地区畜禽粪污处理技术与资源化利用模式分析[J].农业工程学报,2023,39(22):199-206
Xu P X, Shen Y J, Ding J T, Zhou H B, Song L Q, Cheng H S, Wang J, Cheng Q Y, Zhang P Y. Analysis of the treatment technology and resource utilization mode of livestock and poultry manure in Northeast China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(22):199-206 (in Chinese)
- [3] 韩琳,秦海旭,于忠华.南京市畜禽养殖污染现状及防治对策研究[J].环境生态学,2023,5(9):70-73;140
Han L, Qin H X, Yu Z H. Analysis of pollution situation and prevention countermeasures of livestock and poultry breeding in Nanjing [J]. *Environmental Ecology*, 2023, 5(9):70-73, 140 (in Chinese)
- [4] 人民网.让绿水青山造福人民泽被子孙[EB/OL]. [2024-10-15]. <http://theory.people.com.cn/n1/2022/0722/c40531-32482737.html>
People.cn. Let the green water and green mountains benefit the people and the descendants of Zebei [EB/OL]. [2024-10-15]. <http://theory.people.com.cn/n1/2022/0722/c40531-32482737.html> (in Chinese)
- [5] 央视网.谱写农业农村改革发展新的华彩乐章:习近平总书记关于“三农”工作重要论述综述[EB/OL]. [2024-10-15]. <http://news.cctv.com/2021/09/23/ARTIIPQnONc7iDacI3QxkDUY210923.shtml>
CCTV.com. Composing a new and splendid movement of agricultural and rural reform and development: A summary of general secretary Xi Jinping's important expositions on the work concerning agriculture, rural areas and farmers [EB/OL]. [2024-10-15]. <http://news.cctv.com/2021/09/23/ARTIIPQnONc7iDacI3QxkDUY210923.shtml> (in Chinese)
- [6] 中华人民共和国生态环境部,中华人民共和国农业农村部.农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021—2025年)[EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202201/t20220129_968575.html
Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Action plan for combating pollution in agriculture and rural areas (2021-2025) [EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202201/t20220129_968575.html (in Chinese)
- [7] 国家标准委,农业农村部,生态环境部.关于推进畜禽粪污资源化利用标准体系建设的指导意见[EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202308/content_6901183.htm
National Standards Commission, Ministry of Agriculture and Rural

- Affairs of the People's Republic of China, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Guiding opinions on promoting the construction of standard system for the utilization of livestock and poultry waste resources[EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202308/content_6901183.htm (in Chinese)
- [8] 李强, 刘梦雪, 李允亮, 安一方, 张皓天, 王鹏, 张玉龙, 李永涛, 张振. 中国畜禽粪污资源化利用PEST分析[J]. 中国农学通报, 2023, 39(17): 92-98
- Li Q, Liu M X, Li Y L, An Y F, Zhang H T, Wang P, Zhang Y L, Li Y T, Zhang Z. PEST Analysis of resource utilization of livestock manure in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(17): 92-98 (in Chinese)
- [9] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见(国办发[2017]48号)[EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm
- General Office of the State Council of the People's Republic of China. Opinions of the general office of the state council on accelerating the resource utilization of livestock and poultry breeding wastes (2017) No. 48 [EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2017-06/12/content_5201790.htm (in Chinese)
- [10] 樊斌, 薛晓聪, 张乃夕. 黑龙江省畜禽粪污处理存在问题及对策研究[J]. 农业经济与管理, 2018(6):31-39
- Fan B, Xue X C, Zhang N X. Research on problems and countermeasures of livestock manure treatment in Heilongjiang Province [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2018 (6): 31-39 (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国农业部. 畜禽粪污资源化利用行动方案(2017-2020年)[EB/OL]. [2024-10-15]. http://www.moa.gov.cn/nygb/2017/dbq/201801/t20180103_6134011.htm
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Action Plan for Resource Utilization of Livestock and Poultry Manure (2017-2020)[EB/OL]. [2024-10-15]. http://www.moa.gov.cn/nygb/2017/dbq/201801/t20180103_6134011.htm (in Chinese)
- [12] 王孟茹, 李廷梅, 郝子焱, 鲁浩天, 于鲁冀. 河南省典型区域畜禽粪污土地承载力及其影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(11): 1428-1437
- Wang M R, Li T M, Li T M, Hao Z Y, Lu H T, Yu L J. Study on land carrying capacity of livestock and poultry manure in typical areas of henan province and the influencing factors[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2024, 40(11):1428-1437 (in Chinese)
- [13] 夏顺友, 周培红, 郭于瑜, 黄绍明, 母启权. 贵州喀斯特地貌畜禽粪污综合利用方式研究[J]. 畜牧业环境, 2024(4):44-45
- Xia S Y, Zhou P H, Guo Y Y, Huang S M, Mu Q Q. Study on comprehensive utilization of livestock and poultry manure in Guizhou Karst landform [J]. *Animal Industry and Environment*, 2024(4): 44-45 (in Chinese)
- [14] 徐鹏翔, 沈玉君, 丁京涛, 周海宾, 宋立秋, 程红胜, 王健, 程琼仪, 张朋月. 中国东北地区畜禽粪污处理技术与资源化利用模式分析[J]. 农业工程学报, 2023, 39(22):199-206
- Xu P X, Shen Y J, Ding J T, Zhou H B, Song L Q, Cheng H S, Wang J, Cheng Q Y, Zhang P Y. Analysis of the treatment technology and resource utilization mode of livestock and poultry manure in NorthEast China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(22):199-206 (in Chinese)
- [15] 周海宾, 丁京涛, 孟海波, 沈玉君, 王健, 张曦, 程红胜, 宋立秋, 徐鹏翔, 张朋月, 王鑫宇. 中国畜禽粪污资源化利用技术应用调研与发展分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38(9): 237-246
- Zhou H B, Ding J T, Meng H B, Shen Y J, Wang J, Zhang X, Cheng H S, Song L Q, Xu P X, Zhang P Y, Wang X Y. Survey and development analysis of resource utilization technology of livestock and poultry wastes in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(9): 237-246 (in Chinese)
- [16] 董红敏, 左玲玲, 魏莎, 朱志平, 尹福斌. 建立畜禽废弃物养分管理制度促进种养结合绿色发展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(2): 180-189
- Dong H M, Zuo L L, Wei S, Zhu Z P, Yin F B. Establish manure nutrient management plan to promote green development of integrated crop-livestock production system [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(2): 180-189 (in Chinese)
- [17] 楚天舒, 王柄雄, 高思程, 成天一, 杨增玲. 基于农田土壤重金属污染风险筛选值的畜禽粪污农田承载力估算[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(2):125-138
- Chu T S, Wang B X, Gao S C, Cheng T Y, Yang Z L. Estimation on farmland carrying capacity for livestock and poultry manure based on risk screening values for farmland soil heavy metal contamination[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(2):125-138 (in Chinese)
- [18] 宣梦, 许振成, 吴根义, 欧玮祺, 李婧, 何文博. 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, Ou W Q, Li J, He W B. 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 (in Chinese)
- [19] 张红丽, 夏衣热·肖开提. 我国干旱半干旱地区畜禽粪污时空特征及资源化利用潜力研究[J]. 生态经济, 2023, 39(7): 194-200
- Zhang H L, XIAOKAITI X Y R. The study on the spatial and temporal characteristics of livestock and poultry manure and its resource utilization potential in arid and semi-arid areas in China[J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(7): 194-200 (in Chinese)
- [20] 王飞, 邱凌, 沈玉君, 葛一洪, 侯月卿. 华北地区饲料和畜禽粪便中重金属质量分数调查分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 261-267
- Wang F, Qiu L, Shen Y J, Ge Y H, Hou Y Q. Investigation and analysis of heavy metal contents from livestock feed and manure in North China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(5): 261-267 (in Chinese)
- [21] 罗心雨, 曹丁戈, 刘婉岑, 夏若涵, 李国学, 罗文海, 崔文静. 典型沼液养分特征及环境风险评价[J]. 中国沼气, 2023, 41(4):46-52
- Luo X Y, Cao D G, Liu W C, Xia R H, Li G X, Luo W H, Cui W J. Nutrient characteristics and environmental risk assessment of typical biogas slurry[J]. *China Biogas*, 2023, 41(4):46-52 (in Chinese)
- [22] 农业农村部办公厅, 生态环境部办公厅. 农业农村部办公厅生态环境部办公厅关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求强化养殖污染监管的通知[EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk10/202006/t20200619_785096.html
- Office of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Office of the Ministry of Ecology and Environment. Notice on Further Clarifying Requirements for Utilization of Livestock and Poultry Manure and Strengthening Supervision over Pollution from Livestock Breeding Operations [EB/OL]. [2024-10-15]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk10/202006/t20200619_785096.html (in Chinese)
- [23] 国务院.《中华人民共和国标准化法实施条例》(1990年4月6日国务院第53号令发布)[EB/OL]. [2024-10-15]. <https://www.163.com/dy/article/G19JOV11053873SR.html>
- The State Council of the People's Republic of China. regulations for the

- implementation of the standardization law of the people's republic of China (promulgated by decree no. 53 of the state council on April 6, 1990) [EB/OL]. [2024-10-15]. <https://www.163.com/dy/article/GI9JOV11053873SR.html> (in Chinese)
- [24] 耿维, 孙义祥, 袁媛媛, 邬刚, 王家宝. 安徽省畜牧业环境承载力及粪便替代化肥潜力评估[J]. 农业工程学报, 2018, 34(18): 252-260, 315
- Geng W, Sun Y X, Yuan M M, Wu G, Wang J B. Evaluation of environmental carrying capacity and manure organic fertilizer instead chemical fertilizer potential of animal husbandry in Anhui [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(18): 252-260, 315 (in Chinese)
- [25] 郭彩霞, 杨子森, 马文奇, 焦光月, 张建杰. 山西省畜禽粪污土地承载力及粪尿替代化肥潜力分析[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(7): 1548-1557
- Guo C X, Yang Z S, Ma W Q, Jiao G Y, Zhang J J. Evaluation of arable land carrying capacity and potential of manure substitute for chemical fertilizer in Shanxi Province, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(7): 1548-1557 (in Chinese)
- [26] 王明国, 耿荣, 崔勇, 王旭敏, 丁永峰, 李志广, 王晓媛, 张战胜. 宁夏畜禽粪污肥料化利用现状、存在问题及发展思路[J]. 现代畜牧科技, 2024(5): 113-117
- Wang M G, Geng R, Cui Y, Wang X M, Ding Y F, Li Z G, Wang X Y, Zhang Z S. Current situation, existing problems and development ideas of manure utilization of livestock and poultry in Ningxia [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2024(5): 113-117 (in Chinese)
- [27] 耿晓琴, 吴易雄, 刘丽. 畜禽粪污资源化利用促进农业绿色发展了吗?: 基于畜禽粪污资源化利用政策的一项准自然实验[J]. 生态经济, 2024, 40(10): 108-116
- Geng X Q, Wu Y X, Liu L. Has resource utilization of livestock and poultry manure promoted green agricultural development? A quasi-natural experiment based on the policies on resource utilization of livestock and poultry manure [J]. *Ecological Economy*, 2024, 40(10): 108-116 (in Chinese)
- [28] Willems J, van Grinsven H J M, Jacobsen B H, Jensen T, Dalgaard T, Westhoek H, Kristensen I S. Why Danish pig farms have far more land and pigs than Dutch farms? Implications for feed supply, manure recycling and production costs [J]. *Agricultural Systems*, 2016, 144: 122-132
- [29] 隋斌, 孟海波, 沈玉君, 丁京涛, 王健. 丹麦畜禽粪肥利用对中国种养结合循环农业发展的启示[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 1-7
- Sui B, Meng H B, Shen Y J, Ding J T, Wang J. Utilization of livestock manure in Denmark and its inspiration for planting-breeding combined circular agricultural development in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(12): 1-7 (in Chinese)
- [30] 李帆, 徐世永, 邓凯东. 畜禽粪污管理及资源化利用现状与展望[J]. 现代畜牧科技, 2023(10): 102-105
- Li F, Xu S Y, Deng K D. Current situation and prospect of livestock manure management and resource utilization [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2023(10): 102-105 (in Chinese)
- [31] 罗娟, 赵立欣, 姚宗路, 冯晶, 于佳动, 袁艳文. 规模化养殖场畜禽粪污处理综合评价指标体系构建与应用[J]. 农业工程学报, 2020, 36(17): 182-189
- Luo J, Zhao L X, Yao Z L, Feng J, Yu J D, Yuan Y W. Construction and application of comprehensive evaluation index system for waste treatment on intensive livestock farms [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(17): 182-189 (in Chinese)
- [32] 吴娜伟, 李琳. 美国畜禽养殖污染防治管理对我国的启示[J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(6): 40-42
- Wu N W, Li L. Experience and reference of American management in livestock and poultry pollution prevention [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2017, 42(6): 40-42 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



第一作者简介: 黄亚捷, 博士, 博士后, 高级工程师。研究方向为环境污染监测与治理研究、农业农村环境政策等。发表学术论文20余篇。其中, 以第一作者身份发表SCI、EI等国际顶级刊物发表论文10余篇。作为编委, 编辑著作3本。多篇《环境发展专报》获得生态环境部领导肯定批示。主持和作为技术骨干参与了国家自然科学基金、地方项目(课题)10余项。



通讯作者简介: 刘海东, 博士, 教授级高级工程师, 现任生态环境部环境发展中心环境管理与数据应用研究所副所长。多年来主要从事环境管理与规划、农业农村环境政策、环境影响评价等领域的研究工作, 是农业部畜禽养殖废弃物资源化利用技术指导委员会委员、中国环境科学学会环境社会治理专委会常务委员。发表论文多篇, 撰写多篇研究与政策信息专报, 获得国办、生态环境部有关领导批示。