

畜禽粪便碳排放核算与低碳处理分析

Carbon emission accounting and low-carbon treatment analysis of livestock and poultry manure

■文 / 齐海云¹ 刘圣阳² 安晓涌³



农业是我国国民经济发展的基础。近年来,畜牧业发展迅速,已成为我国农业经济的支柱产业。畜禽养殖是农业温室气体排放的重要来源,据联合国粮食及农业组织(FAO)报道,畜禽粪便处理所产生的氧化亚氮(N_2O)占畜牧业 N_2O 总排放量的65%。畜禽粪便所带来的温室气体不光破坏了生态环境,也影响了畜牧业自身的可持续性发展。我国畜禽养殖的种类主要包括牛、猪、羊、家禽等,这些畜禽的粪便在处理过程中产生甲烷(CH_4)、 N_2O 等温室气体,会带来大量的碳排放,这将会给自然环境以及人类健康带来巨大的危害。计算畜禽粪便的碳排放量,寻求畜禽粪便的低碳处理方式,对于促进畜禽养殖业的绿色转型与可持续发展,促进畜禽养殖业和农业低碳减排,具有重要意义。

一、畜禽粪便温室气体的来源与危害

(一) 畜禽粪便温室气体的来源

畜禽粪便所产生的温室气体为 CH_4 和 N_2O 。 CH_4

和 N_2O 的排放都来源于粪便的贮存和处理过程。粪便中的有机物质在缺氧的环境下发酵产生 CH_4 ,在硝化和反硝化反应下生成 N_2O 。在以上过程中,也会产生温室气体 CO_2 ,但根据《IPCC国家温室气体清单指南》,不估算畜禽粪便产生的 CO_2 ,因为假设 CO_2 年净排放为零,即植物光合作用吸收的 CO_2 以呼吸作用释放 CO_2 的形式返回到大气层中,因此,在计算畜禽粪便处理过程中产生的温室气体时只需考虑 CH_4 与 N_2O 的排放,而无需考虑 CO_2 的排放。

(二) CH_4 的危害

CH_4 作为一种重要的温室气体,其危害主要有以下三方面。

增加全球变暖速率: CH_4 的温室效应大约是 CO_2 的25倍,其在大气中停留的时间相对较短。由于畜禽粪便会释放大量的 CH_4 ,因此它会加剧全球变暖,导致更快的气候变化。

加速冰川和冰盖融化:全球变暖加剧会导致极地冰盖和冰川加速融化,进而可能会导致海平面上升以

表1 2022年我国主要四种畜禽类便的碳排放量

单位:万吨					
畜禽	猪	牛	羊	家禽	合计
CH ₄ 排放量	89.85	98.17	3.2	6.7	197.92
N ₂ O 排放量	9	8.8	2.24	4.69	24.73
CO ₂ 当量合计	4928.25	5076.65	747.52	1565.12	12317.54

及沿海城市的淹没。

影响生态系统:CH₄释放对湿地和沼泽等生态系统具有重要影响。这些地区通常是CH₄的主要来源,而全球变暖可能会改变这些生态系统的CH₄产生和释放模式,对当地生物多样性和生态平衡造成负面影响。

(三) N₂O的危害

N₂O具有极高的温室效应:N₂O的温室效应大约是CO₂的298倍,虽然在畜禽粪便中产生的量较少,但它的影响仍然很大。N₂O的增加导致地球气候变暖加剧,增加了全球平均气温。

长期存在性:N₂O在大气中的停留时间非常长,可以达到几个世纪。因此, N₂O一旦释放到大气中,它会长期影响地球的气候系统和辐射平衡。

影响生态系统:过量的N₂O释放不仅影响土壤质量和健康,还可能影响周围的水体质量,导致水体富营养化和生态系统退化。

二、我国畜禽粪便碳排放量的核算

以《中国畜牧兽医年鉴2022》为基础数据,测算我国主要畜禽粪便的碳排放量。

(一) 数据来源

核算畜禽粪便碳排放量需要收集畜禽存栏量以及选取排放因子。畜禽存栏量数据从《中国畜牧兽医年鉴2022》中获取,排放因子从《省级温室气体清单编制指南》获取。

(二) 核算方法

采用《省级温室气体清单编制指南》中的排放因子对畜禽粪便处理过程中产生的CH₄与N₂O进行核算。为方便最终进行数据对比,采取全球变暖潜能值

把CH₄与N₂O折算为CO₂当量值。

(三) 结果与分析

通过排放因子法对我国畜禽粪便碳排放进行了核算,从排放总量上看,我国2022年畜禽粪便的N₂O排放量达到24.73万吨, CH₄排放量达到197.92万吨,折算为CO₂当量值共计12317.54万吨。

从温室气体排放畜禽种类上看,温室气体排放量(CO₂当量值)从高到低依次是牛、猪、家禽、羊。家禽的单体温室气体排放量虽然较低,但由于其养殖总量大,故排放总量占比也相对较大。

我国畜禽粪便的污染问题已经十分严重,面对该问题有两方面解决思路:一方面是控制养殖总量。从碳排放的计算公式可以看出,温室气体排放量与养殖总量密切相关,有效控制畜禽养殖量对温室气体减排具有重大的意义;另一方面是找寻畜禽粪便的低碳处理方式。

三、国内外畜禽粪便低碳处理的现状

(一) 国内畜禽粪便低碳处理的现状

1. 沼气生产。生产沼气是一种绿色低碳的畜禽粪便处理方式,不仅可以减少畜禽养殖过程中的污染问题,还可以将粪便转变为有利用价值的物质,实现资源化循环再利用。粪便生产沼气主要是通过厌氧微生物的作用进行。在厌氧条件下,微生物通过分解反应,将粪便中的有机物反应生成沼渣与沼气。在这一过程中,微生物通过分解有机物获得能量,并生成沼气作为反应的副产物。生产沼气的过程中需使粪便处于厌氧条件下。根据粪便中固体含量占比的不同,厌氧发酵主要分为湿式厌氧发酵和干式厌氧发酵这两种方式,相比于早年主要采取的湿式厌氧发酵,近几年干

式厌氧发酵逐渐受到关注。郑盼（2019）研究发现，与湿式厌氧发酵相比，猪粪干式厌氧发酵的产 CH_4 率较高，产气率提升了22.1%，说明其产气效率优于湿式厌氧发酵。

2. 堆肥处理。堆肥处理是另一种有效的粪便处理方式，不仅能够提供肥料来源，还可以降低化肥的使用，增强土壤肥力。堆肥处理法中的覆膜发酵法是适合多雨水地区的堆肥方法。覆膜发酵也叫功能膜覆盖好氧堆肥技术，是基于静态通气堆肥技术演变而来的，它在静态通气的基础上增加了功能膜，并将其覆盖在堆体上，经过不断发展，功能膜从最早的纺织材料优化成现在的一种半渗透膜，这种膜上分布着0.2微米左右的小孔，具备选择透过性，液态水、分子直径较大的病原菌、部分有害气体等无法穿过，但是水蒸气可以穿过，所以功能膜可以抑制臭气、病原菌、气溶胶等有毒有害物质的挥发和排放，并起到防水透湿的作用。这种发酵方式不受气候的影响，投入成本低，操作也较为简单。

3. 种养结合。种养结合是一种绿色、经济、循环的养殖模式，可以很好地实现对畜禽粪便的资源化利用，减少污染，实现经济效益。例如，东营市一邦农业科技开发有限公司采取稻蟹共养、稻鸭共养和稻鱼共养等生态循环模式。在该模式中，生物以稻田中的杂草、昆虫为食，减少了杀虫剂、除草剂等化学试剂的使用，从而减少了污染。与此同时，循环系统中的畜禽所产生的排泄物作为天然有机肥代替无机肥料，这样不仅可以减少成本的投入，同时也很好地实现了畜禽粪便的低碳处理。

（二）国外畜禽粪便低碳处理的现状

1. 粪便酸化。粪便酸化是通过降低粪便酸碱度以减少氨损失的一个过程。工艺流程是在靠近养殖场的区域配备一个处理器，通过泵将存置于地板下的粪便运送到需要酸化的处理池中，把浓度为96%的 H_2SO_4 通过系统加入粪池中，搅拌、混合、曝气，直到PH值降为5.5左右且不产生气泡为止。在实际工作中根据需要决定所需酸的数量及处理时间，酸化工艺减少了后续过程中氨的排放，减少了 CH_4 的生成，进而可减少粪便处理过程中温室气体的排放。目前，该技术在丹麦已进行商业应用，其他国家未来的应用将取决于国家立法。此外，该装置需要专业技术人员进行指导使用。

2. 固液分离。固液分离在欧洲是一种广泛应用的畜禽粪便处理技术，因其操作简单、费用低，常作为粪便的前处理步骤。固液分离后的固体部分可直接进行农业应用，如还田处理。分离后的液体部分以及稀释的尿液，可通过进一步处理获得较稳定的产品。厌氧处理、固液分离等处理工艺可以有效减少畜禽废物所带来的温室气体排放。Aguirre—Villegas（2016）等通过研究发现，厌氧消化和固液分离均可减少温室气体排放，两者的组合减排率最高可达41%。畜禽粪污做还田处理也可起到低碳处理的作用。

美国罗道尔研究所30年有机质还田效果证明，经过有机质还田处理后，土壤肥力、耕地质量明显提高，因此需要长期逐渐改变土壤的有机质含量。斯莫尔伍德（2015）研究发现：“目前的土壤研究机构表明，如果地球上的所有耕地以有机的方式进行耕作，就能吸收大气中41%的温室气体，而牧地能吸收71%的温室气体。如果世界上有一半的耕地和牧地得到转变的话，那么有机土壤可以吸收大气中55%的碳排放量。”

3. 好氧生物处理。好氧生物处理也是一种低碳的粪便处理技术，包括好氧硝化、厌氧反硝化两种处理方式。该方法利用硝化细菌和反硝化细菌对畜禽粪便进行脱氨处理，可减少有机物的污染物和氮排放，甚至可完全去除污染物，从而达标排放。但处理过程中需要消耗能量。从环境保护与资源利用的视角来看，该方法的实用性不够全面，因为它的整套系统操作复杂、投资大，需要专业的技术人员操作，管理成本相对较高。因此，它主要应用于粪便中氮元素严重超标、又无较好方法处理的地区，如布列塔尼地区等，90%以上的农场在用。

四、结语

在我国推进生态文明建设、致力于实现“碳达峰”与“碳中和”目标的背景下，计算了我国畜牧业中四大主要畜禽——猪、牛、羊以及家禽的粪便碳排放量，并介绍了国内外在低碳粪便处理技术领域所取得的研究成果以及具有代表性的实践案例，期望能够为畜禽养殖业提供参考，减少粪便处理过程中所产生的碳排放，从而助力畜禽养殖业绿色可持续发展。

作者单位：1.河北环境工程学院；

2.南京林业大学；

3.河北省滦州市第二中学