

养猪舍不同发酵床垫料碳素流向及二氧化碳与甲烷排放初探

张丽萍^{1,2}, 孙国峰^{1,2}, 盛 婧^{1,2}, 陈留根^{1,2}, 郑建初^{1,2*}

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 南京 210014; 2.江苏省农业科学院循环农业研究中心, 南京 210014)

摘 要:为了探明发酵床养猪过程碳素流向及二氧化碳与甲烷排放特征,分别选取3种不同原料的发酵床:稻壳+锯木屑(FD)、稻壳+菌糠(FJ)、稻壳+酒糟(FW)作为研究对象,通过垫料采集和静态箱法收集气体,对一个养殖周期内的碳素变化和二氧化碳、甲烷排放量进行测定。结果表明,一个养殖周期结束后,3种发酵床二氧化碳与甲烷的排放总量占碳素总损失的比例分别为41.21%(FJ)、54.12%(FD)、48.27%(FW),是碳素转化的主要形式。3种垫料的二氧化碳排放特点呈现一定的相似性,均在养殖前期与后期各出现1个排放高峰期,后期排放量大于前期;其二氧化碳排放总量具有显著性差异,FD在整个养殖周期内二氧化碳排放量最大,其次是FJ。FJ与FW的甲烷排放特点与二氧化碳相似,均在养殖前期与后期出现两个排放高峰期且排放量大小相近,而FD的甲烷排放集中在前期,后期仅有微弱回升;3种发酵床的甲烷排放总量同样具有显著性差异,一个饲养周期内FW的甲烷排放总量最大,其次是FJ。通过相关性分析发现,3种发酵床二氧化碳与甲烷的排放呈负相关关系,初步表明发酵床存在甲烷氧化成二氧化碳的生物途径。

关键词:发酵床;物质流分析;碳素转化;二氧化碳排放;甲烷排放

中图分类号:X322 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2014)06-1247-07 **doi:**10.11654/jaes.2014.06.028

Emissions of Carbon Dioxide and Methane in Different Pig Biobeds

ZHANG Li-ping^{1,2}, SUN Guo-feng^{1,2}, SHENG Jing^{1,2}, CHEN Liu-gen^{1,2}, ZHENG Jian-chu^{1,2*}

(1.Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2.Circular Agriculture Research Center, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Biobed for pig raising is an eco-pig raising system with less wastes discharged into the environment. However, there is little information available about its impacts on greenhouse gas emission. In this study, we hypothesized that biobed materials with different compositions may have different effects on carbon dioxide and methane emissions. An experiment of multivariable completed block design with repeated measure and three replicates was conducted. Treatments consisted of three different bedding materials: rice husk+sawdust (FD), rice husk+mushroom bran (FJ), and rice husk+vinasse (FW). Gases were sampled by static box method at different stages during one production cycle (150 days). The total emissions of CO₂ and CH₄ accounted for 41.21%, 54.21% FD, and 48.27% of total carbon losses in FJ, FD, and FW, respectively. The pattern of CO₂ emissions showed similarity among three bedding materials, which appeared emission peaks both at earlier and later stages of pig growth, with greater emissions at later than at earlier stage. The total amount of CO₂ emitted was highest in FD, followed by FJ. The pattern of CH₄ emission in FJ and FW was similar to that of CO₂, but the amounts of CH₄ emitted were similar at two peaks. However, the emission of CH₄ in FD mainly concentrated at the earlier stage. The total amount of CH₄ emission was largest in FW, followed by FJ. Correlation analysis showed that there was a negative correlation between CO₂ and CH₄ in the three biobeds, implying biological oxidation of CH₄ into CO₂.

Keywords: biobed; material flow analysis; carbon transformation; carbon dioxide emission; methane emission

收稿日期:2013-11-26

基金项目:集约化农区种养结合生产技术集成与工程示范(201203050-2)

作者简介:张丽萍(1983—),女,博士,助研。E-mail:lp.zhang@hotmail.com

*通信作者:郑建初 E-mail:zhengjianchu@hotmail.com

发酵床养殖技术是一种以减少畜禽粪便排放来减少环境污染的生态养殖模式,此外发酵床养殖技术能够提高动物福利,减少圈舍臭味,因此在我国得到大力推广。尽管该种养殖技术能够降低环境污染,但该技术对环境的实际影响仍有待评估,尤其是温室气体排放污染。发酵床垫料有机质的转化伴随着碳(C)素以二氧化碳(CO₂)和甲烷(CH₄)等气体形式释放的过程。CO₂和CH₄都是温室气体,其中CH₄对大气的增温潜能是CO₂的25倍^[1]。因此,探明发酵床养猪过程中碳素变化规律能够了解CO₂和CH₄排放对环境不利影响的大小。最初发酵床的垫料组成主要成分是锯木屑^[2],由于锯木屑成本较高,很多地方都在寻找经济优良的可替代原料。

Nicks等^[3]对比了以锯木屑为原料和以秸秆为原料的两种发酵床系统CH₄和CO₂排放,发现养猪过后,以锯木屑为原料的发酵床其CO₂排放量比秸秆系统高4%,而CH₄排放量却低2.6倍。Philippe等^[4]对以秸秆为原料的发酵床养猪系统进行了大量研究,通过对比漏缝地板猪舍和以秸秆为垫料的发酵床系统温室气体排放总量,发现该种发酵床CH₄排放量略低于漏缝地板猪舍,而CO₂排放量显著高于漏缝地板猪舍;另外,通过对比传统水泥地面铺设秸秆的猪舍和以秸秆为原料的发酵床系统温室气体排放规律,发现前者的CO₂和CH₄排放量远低于后者^[5]。

本研究根据因地制宜的原则选取了4种常见的原料并进行组合配比,旨在通过对比各种发酵床垫料,量化CO₂与CH₄的排放,以期为合理评价发酵床养猪对空气污染的影响提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验区设置

通过前期试验,发酵床猪圈已经使用一年并养殖过两批次育肥猪。试验区因地制宜以节约经济成本和适宜生猪生长发育为前提研究确定了3种较好垫料(表1)组合:稻壳+菌糠、稻壳+锯木屑、稻壳+酒糟。由于微生物种群的存在,每个床体都可看作一个小型的生态系统。为了明确该小型生态系统中C素的流向,单以发酵床体为研究对象,选取3个不同配比垫料的猪栏:FJ(40%稻壳+60%菌糠)、FD(40%稻壳+60%锯木屑)、FW(40%稻壳+60%酒糟)。每个猪栏面积为37 m²,存栏育肥仔猪15头,床体厚度为50 cm。本试验从2012年5月开始到9月结束,分别在一批猪入栏前(P0)和出栏后(P1)采集垫料,用于垫料的理化特性分

表1 不同试验物料基本理化性状

Table 1 Physical and chemical characteristics of different bedding materials

物料	密度/ g·cm ⁻³	容重/ g·cm ⁻³	孔隙度/%	最大持水 量/%	pH	EC/ mS·cm ⁻¹
锯木屑	1.22	0.28	77.05	56.57	7.06	0.26
稻壳	1.44	0.12	91.67	40.37	6.92	1.53
酒糟	1.44	0.18	87.5	45.59	5.2	3.07
菌糠	1.31	0.29	77.86	37.66	6.38	3.2

析。养殖过程中始终保持自然通风状态。

1.2 物质流模型建立

鉴于猪舍主要是生物资源在流动,C元素数据收集和整理分析时重点考虑以下几个方面:(1)系统边界以一个养殖周期计,即5个月;(2)选取的3个猪栏养殖规模较小,存栏量为45头;(3)结合猪舍的特点,以整个养殖阶段为研究对象;(4)其他隐藏流暂不予考虑。模型见图1。

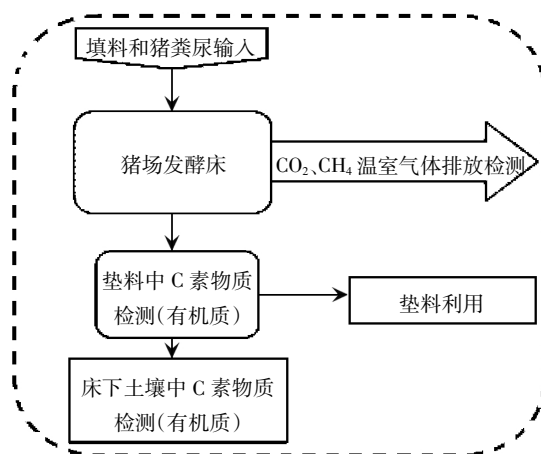


图1 发酵床养殖过程中C素循环示意图

Figure 1 Chart of C cycling in pig breeding process in biobed

1.3 样品采集与分析

1.3.1 垫料采集

鉴于猪的生活习性,每个栏区划分四个采样区:饮水区、重排便区、轻排便区、活动区(采用多点测量并通过不规则多边形计算确定各个区域的面积);按照垫料层厚度,每个小区域分层取样(0~20、20~50 cm),并制成混合样,每个栏区4个重复,分别在第0 d与第150 d取样。混合样分成两部分,一部分风干后过100目筛用于测定TOC、TN;另一部分为湿样,4℃保存,用于测定含水率、pH、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N等指标。

1.3.2 气体采集

CO₂和CH₄样本均采用静态箱法采集^[6],从第0 d

开始,每隔 14 d 采样,采集时间为上午 8:00—11:00,每次 4 个重复。气体排放通量采用下式计算:

$$F=273/(273+T) \cdot dc/dt \cdot \rho \cdot h$$

式中: F 为气体排放通量, $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; T 为采样过程中采样箱内的平均温度, $^{\circ}\text{C}$; dc/dt 为单位时间内采样箱内气体的浓度变化率; ρ 为标准状态下气体的密度, $1.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; h 为采样箱的净高度, m ; 273 为气态方程常数。由气体排放通量计算出 24 h 猪舍气体排放总量,进而计算出整个养殖周期气体排放总量。

1.3.3 样品分析

TOC 和 TN 由元素分析仪测定。用烘干法测定含水率;用 S-3C 型 pH 计测定 pH; CO_2 与 CH_4 浓度用气相色谱测定。

1.4 分析评价方法

应用物质流分析的方法分析发酵床养猪过程中 C 素的转化与损失,能够较全面地反映 C 素在各个阶段含量的变化。物质流分析 (Material Flow Analysis, MFA 或 Substance Flow Analysis, SFA) 是对全球、某个国家、地区或某一区域内某种特定物质 (如 C、N、P、K、Cu 等重金属, H_2O 等) 或一组这样的物质进行流动过程的分析。物质流总量遵循质量守恒定律,其公式^[7-9]为:

物质的输入量=物质的输出量+库存净增量(NAS)

数据统计分析采用 SPSS 17.0 和 Excel 软件进行单因素方差分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 养殖阶段 C 素输入分析

根据发酵床垫料测定数据,得出养殖阶段 C 素输入总量 (表 2)。由于发酵床垫料组合原料不同,每种发酵床的容重、比重与孔隙度都不尽相同,因此为使发酵床厚度均达到 50 cm, C/N 接近 20:1~30:1,每个发酵

表 2 三种发酵床养殖阶段垫料总 C 输入量

Table 2 Total C inputs during pig breeding in three biobeds

项目	FJ	FD	FW
	40%稻壳+ 60%菌糠	40%稻壳+ 60%锯木屑	40%稻壳+ 60%酒糟
总质量($\times 10^3 \text{ kg}$)	7.96	5.74	7.77
含 C 量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	319	287	247
床体总 C 量/kg	2287	1484	1731
育肥猪数量/头	15	15	15
粪尿含 C 量/kg	258	258	258
总 C 输入量/kg	2546	1742	1989

注:育肥猪粪尿排量参照有关文献计算^[10]。

床输入的垫料量不同,从而致使每个发酵床投入的 C 素总量也不同。除去垫料本身所含 C 量,发酵床在养殖阶段的 C 素外源输入主要为猪粪尿排放。结合育肥猪排粪尿所含 C 素量,在整个养殖阶段,3 种发酵床输入的总 C 量分别为 2 546.03 (FJ)、1 742.68 (FD)、1 989.96 kg (FW)。

2.2 养殖阶段 C 素转化与损失

发酵床养猪过程中, C 素转化或者损失的途径主要有三种:一部分经由猪的采食转化为猪身有机碳;一部分通过淋溶作用渗漏到发酵床下部表层土壤中;还有相当一部分 C 素转化成 CO_2 和 CH_4 排放到空气中。由于 C 素被分解,养猪过后并没有多余的 C 素渗漏到床下土壤中,因此该过程中 C 素的总输出仅包括气体转化和猪群采食损失 (表 3)。在养猪过程中物料种类不同,3 种发酵床的 CO_2 与 CH_4 的排放总量差异很大。由表 3 可知,3 种发酵床的 CO_2 与 CH_4 排放每两者之间均具有显著性差异。FD 的 CO_2 排放总量最大,为 188.86 kg;而 CH_4 排放总量最小,整个养猪阶段的排放总量仅为 5.64 kg。FW 的 CO_2 排放总量最小,为 160.71 kg;而 CH_4 排放总量却最大,为 18.79 kg。FJ 的 CO_2 与 CH_4 排放总量居于两者之间。

表 3 养殖阶段 C 素转化与损失

Table 3 Transformation and losses of C during pig breeding

项目	气体转化/kg		猪采食 转化量/kg	总库存 量/kg	总损失 量/kg	气体转化所占 总损失比例/%
	CO_2/C	CH_4/C				
FJ	165.93b	12.26b	254.16	2 113.68	432.35	41.21a
FD	188.86c	5.64a	164.89	1 383.28	359.4	54.12c
FW	160.71a	18.79c	192.37	1 618.09	371.87	48.27b

注:表中同列不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平的差异显著。

分析表 2 与表 3 发现,养猪结束后 3 种发酵床的总 C 含量分别下降到 2 113.68 (FJ)、1 383.28 (FD)、1 618.09 kg (FW),下降幅度分别为 16.98%、20.62%、18.69%;气体转化所损失的 C 素占 C 素总损失的比例均超过 40%,是 C 素损失的主要途径。

2.3 养殖阶段发酵床理化性质变化

一般认为堆肥初始的 C/N 在 20~30 之间利于微生物对有机物快速降解和利用。如表 4 所示,养猪之前 3 种垫料的 C/N 比都接近 25:1,由于有机物的分解,垫料中有机质含量逐渐减少,导致垫料总有机碳含量 (TOC) 不断下降,经过测定发现 3 种发酵床的碳素损失率在 25%到 39%之间;同时, N 素在养猪过程中不断损失消耗,然而 N 素损失率低于碳素损失率,

在9%到14%之间,造成发酵床垫料C/N值降低。养猪结束后,C/N值分别下降到11.72(FJ)、9.24(FD)、10.09(FW),降幅分别为51.67%、55.12%、61.82%。FD与FW的降幅相对于FJ较大。养猪前后3种发酵床的含水率都略有升高,分别升高了1.04倍、1.01倍和1.03倍。3种发酵床的pH也在养猪后有明显的升高,升幅较大的是FJ与FW,分别由6.15、6.60升高到7.60、8.16。

2.4 CO₂ 和 CH₄ 排放

由图2可见,3种发酵床系统的CO₂排放特点表

表4 养殖阶段发酵床垫料化学性质变化
Table 4 Changes in characteristics of bedding litters during pig breeding

项目		C/N	MC/%	pH	TKN/g·kg ⁻¹	TOC/g·kg ⁻¹
FJ	P0	24.25	57.50	6.15	15.1	319
	P1	11.72	59.89	7.60	13.6	235
FD	P0	20.59	59.48	6.94	16.8	288
	P1	9.24	59.87	7.91	14.3	175
FW	P0	26.43	58.28	6.60	14.0	248
	P1	10.09	60.09	8.16	12.3	185

注:MC为含水率;TKN为总氮;TOC为总有机碳。

现一致,即整个养殖周期出现两个排放高峰期,分布在养殖的前期和后期。养殖前期,3种床体的CO₂排放均在第14d达到峰值,排放率分别为8.68(FJ)、8.51(FD)、7.58 g·d⁻¹(FW),而FD的排放高峰期持续时间较长,约为28d;养殖后期,3种床体的CO₂排放均在第98d达到峰值,排放率分别为10.91(FJ)、13.76(FD)、13.80 g·d⁻¹(FW),且高峰期持续42d左右。饲养后期由于温度升高,CO₂排放率显著高于前期。

从图3得知,整个养猪周期,FJ与FW的CH₄排放特点具有一定的一致性,均在养殖前期和后期各出现1个排放高峰期,但高峰期持续时间较短;而FD的CH₄排放仅在养殖前期出现排放高峰期,养殖后期排放率只有小幅回升。养殖前期,3种发酵床的CH₄排放均在14d达到峰值,排放率分别为0.78(FJ)、0.36(FD)、1.01 g·d⁻¹(FW),FJ与FW显著高于FD,高峰期持续时间约为21d。养殖后期,FJ与FW的CH₄排放率分别为0.84、0.96 g·d⁻¹,高峰期持续时间均约为14d,且相对于FW,FJ的高峰期滞后14d。

研究发现,CH₄通过两种途径被氧化成CO₂。一种是在大气中与OH发生反应氧化成CO₂^[11];此外,土

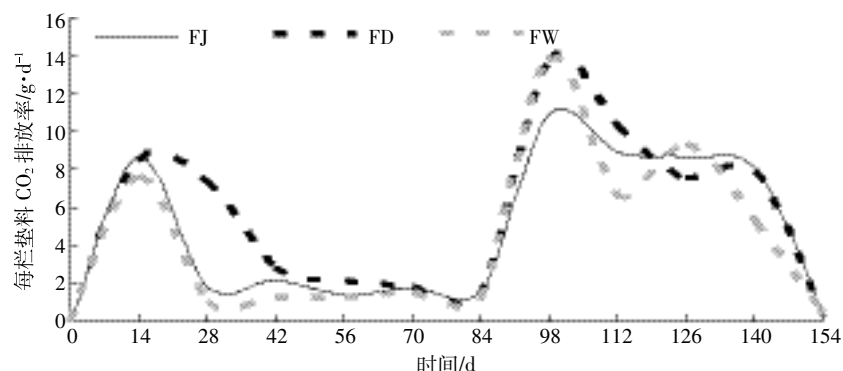


图2 CO₂排放规律曲线
Figure 2 Dynamics of CO₂ emission during pig breeding

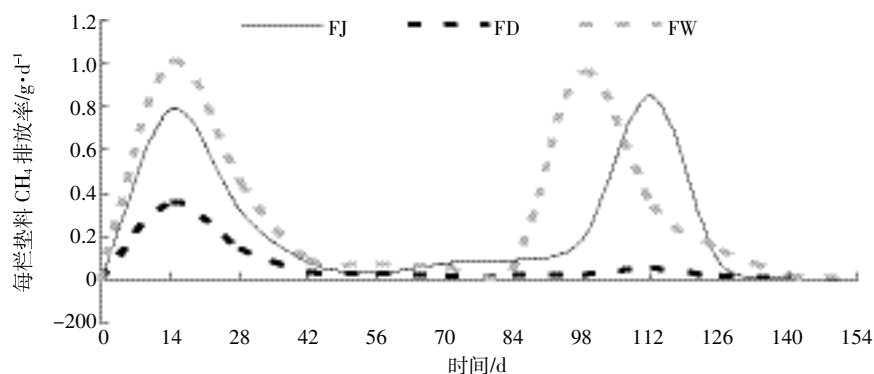


图3 CH₄排放规律曲线
Figure 3 Dynamics of CH₄ emission during pig breeding

壤中的 CH_4 也会经由生物途径被氧化成 CO_2 ^[12-16]。近年来的研究发现,堆肥过程中也存在 CH_4 通过甲烷氧化菌被氧化成 CO_2 的生物途径^[17-19]。不论是从 CO_2 与 CH_4 的排放总量还是排放率来看,当 CO_2 排放量高时 CH_4 排放量会降低, CO_2 排放量低时则 CH_4 排放量会增多,由此对两种气体的排放量进行相关性分析,发现发酵床系统的 CO_2 与 CH_4 排放量呈显著的 ($P < 0.01$) 负相关关系(图 4)。以上数据初步表明,所选 3 种发酵床垫料有可能存在生物氧化 CH_4 的现象。其中 FD 的 CH_4 氧化能力最强,所以 CO_2 排放量远大于甲烷排放量;与 FD 相比,FW 的 CH_4 氧化能力最弱,产生的 CO_2 量也较低。

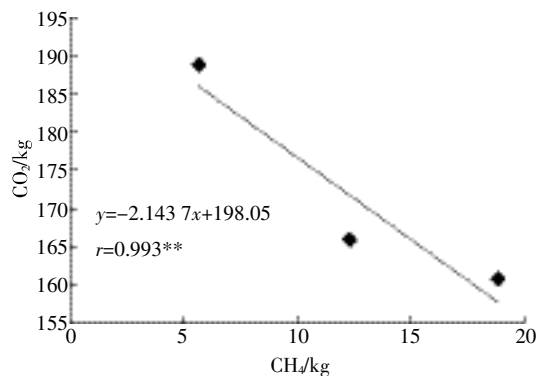


图 4 3 种发酵床 CO_2 与 CH_4 排放相关关系

Figure 4 Correlation relationship between CO_2 and CH_4 emission in three biobeds

3 讨论

通过对养猪舍发酵床进行物质流分析,发现 C 素的转化与损失方式基本有 2 种,即猪采食损失与气体转化损失。转化成气体(主要为 CO_2 与 CH_4)的 C 素在 C 素总损失中所占比例均超过 40%,是 C 素转化的一个主要途径。而这一比例的温室气体排放对周围空气的污染值得引起注意。

发酵床养猪技术又称为原位堆肥技术,在某些方面与普通的堆肥发酵具有一定的相似性,其原理都是利用微生物、真菌把有机物材料腐化分解成腐殖质,因此在 CO_2 与 CH_4 排放方面具有一定的可比性。

由图 2 可知,3 种发酵床在养殖期间均有两个排放高峰期,且后期排放量远高于前期,此结果与秦莉等^[20]的猪粪堆肥结果较为相似。初步推测由于养殖早期有机质含量较高,有机质降解速度较快, CO_2 浓度较高,致使其排放量增多;而养殖后期随着温度的升高, CO_2 排放量进一步增多,说明温度对发酵床的 CO_2 排放有促进作用,高温能够加强有机物的降解强度。

物料种类不同,发酵床的 CO_2 排放总量也不同,主要原因为以 40% 稻壳+60% 锯木屑为原料的发酵床(FD)垫料结构较松散,猪的不断翻拱使其透气性增加,因此更有利于 CO_2 的排放^[21],40% 稻壳+60% 菌糠(FJ)与 40% 稻壳+60% 酒糟(FW)的发酵床垫料因结构较紧实,透气性不如 FD,因此 CO_2 排放量也小于 FD,此结果与 Billiard^[22] 的研究相符。也有研究认为 CO_2 产生量与堆腐材料的 C/N 值有关,C/N 值低的物料容易产生 CO_2 ^[23]。由表 3 和表 4 可知,FD 的 C/N 值最低而 CO_2 排放量最高,此结果与前者研究结果较一致。

在发酵床养猪过程中,氧气不足或局部厌氧会导致少量 CH_4 的产生, CH_4 的增温潜能是 CO_2 的 25 倍,因此减少 CH_4 排放对于减轻全球气候变化非常重要。由图 3 可见,FJ 与 FW 的 CH_4 排放也具有两个排放高峰期,分别集中在养猪前期和后期。Osada 等^[24] 的研究表明超过 90% 的 CH_4 排放集中在堆肥早期,存在轻度厌氧的情况($\text{O}_2 < 5\%$)。发酵床养猪部分符合上述情况,即在饲养早期,仔猪群的翻拱活动并不剧烈,下层垫料通透性不够会导致厌氧发酵从而产生 CH_4 。到了后期,环境温度逐渐升高,微生物活性增强,氧气消耗量大,也会导致发酵床局部厌氧产生大量 CH_4 ,同时也可能与垫料 C/N 值显著下降有关^[25]。 CH_4 合成反应的最佳 pH 接近中性^[25]。由表 4 可知,FW 的 pH 变化最大,由养猪前的 6.6 升高到养猪后的 8.16,其 CH_4 排放量最高,表明 pH 变化会影响发酵床的 CH_4 排放。

通过相关性分析发现 3 种发酵床的 CO_2 与 CH_4 排放存在负相关的关系(图 4),即两者的排放量此消彼长,初步表明所选 3 种发酵床垫料存在生物氧化 CH_4 产生 CO_2 的过程。结合二者的排放总量和排放率,发现 FD 的 CH_4 氧化能力最强,一部分 CH_4 被氧化成 CO_2 ,因而 CH_4 排放量最低,产生的 CO_2 总量最高,有可能该种组合的垫料其物化性状有利于甲烷氧化菌的生长。FW 的 CH_4 氧化能力最弱,因而产生的 CH_4 总量远高于 FD 与 FJ,可能该种物料组合的物化性状能够抑制甲烷氧化菌的生长与活力。

综合而言,发酵床养猪过程中,以气体形式(CO_2 与 CH_4)损耗的 C 素超过 C 素总损失量的 40%,其对周围空气环境的污染影响不可小觑。通气量增加会增大 CO_2 排放、减少 CH_4 排放,而高温会同时增加两种气体的排放量。就发酵床原料种类来说,稻壳与锯木屑组合的垫料能够减少 CH_4 排放但增加 CO_2 排放;

稻壳与酒糟组合的垫料则会加大 CH_4 的排放;稻壳与菌糠组合的垫料其 CO_2 与 CH_4 排放量均居中。此结果与 3 种垫料的甲烷氧化能力强弱密切相关。 CO_2 与 CH_4 都是重要的温室气体,但 CH_4 的增温潜能远高于二氧化碳,因此 CH_4 的氧化过程是有利于环境的。FD (40%稻壳+60%锯木屑)的甲烷氧化能力最强,且使用稻壳部分替代锯木屑,降低了经济成本,是比较适合的垫料。在养猪过程中还可以通过高温期增加通气量与人工翻堆次数来减少 CH_4 的排放。

4 结论

应用物质流分析的方法通过对一个养猪周期内 3 种不同垫料发酵床 C 素转化进行系统性分析,初步探明 C 素的主要损失途径是转化成 CO_2 与 CH_4 。

3 种发酵床的 CO_2 排放特点呈现一定的相似性,均在养殖前期与后期各出现 1 个排放高峰期,且后期排放量大于前期;其 CO_2 排放总量具有显著性差异,FD 在整个养殖周期内 CO_2 排放量最大,其次是 FJ。

FJ 和 FW 的 CH_4 排放与 CO_2 相似,均在养殖前期与后期各出现 1 个排放高峰期,不同的是前后期的排放量大小相近;FD 的 CH_4 排放集中在前期,后期仅有微弱回升。3 种床体的 CH_4 排放总量同样具有显著性差异,FW 的 CH_4 排放总量最大,其次是 FJ。

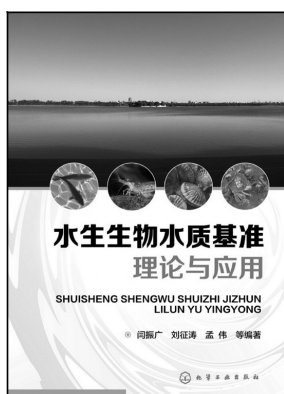
3 种发酵床 CO_2 与 CH_4 的排放呈负相关关系,并且存在 CH_4 氧化成 CO_2 的生物途径。FD 的甲烷氧化能力最强,是 3 种垫料中最适宜的发酵床垫料。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007; The physical science basis; Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 刘金林. 新罗区生猪发酵床配套技术初探[D]. 福州:福建农林大学, 2009.
LIU Jin-lin. Initial study on the technology of pig fermentation bed in Xinluo Area[D]. Fuzhou: Fujian Agricultural and Forestry University, 2009.
- [3] Nicks B, Laitat M, Vandenheede M, et al. Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide and water vapor in the raising of weaned pigs on straw-based and sawdust-based deep litters[J]. *Animal Research*, 2003, 52(3): 299-308.
- [4] Philippe F X, Laitat M, Canart B, et al. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter[J]. *Livestock Science*, 2007, 111(1): 144-152.
- [5] Philippe F X, Laitat M, Nicks B, et al. Ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs kept on two types of straw floor[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 150: 45-53.
- [6] Hao X Y, Chang C, Larney F J, et al. Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30(2): 376-386.
- [7] 王 军, 周 燕, 刘金华, 等. 物质流分析方法的理论及其应用研究[J]. 中国人口资源与环境, 2006, 16(4): 60-64.
WANG Jun, ZHOU Yan, LIU Jin-hua, et al. Study on theory and application of material flow analysis[J]. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(4): 60-64.
- [8] 沈 镭, 刘晓洁. 资源流研究的理论与方法探析[J]. 资源科学, 2006, 28(3): 9-16.
SHEN Lei, LIU Xiao-jie. Discussion on theories and methods of resources flow[J]. *Resources Science*, 2006, 28(3): 9-16.
- [9] Tachibana J, Hirota K, Goto N, et al. A method for regional-scale material flow and decoupling analysis: A demonstration case study of Aichi prefecture, Japan[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2008, 52(12): 1382-1390.
- [10] 郭德杰, 吴华山, 马 艳, 等. 不同猪群粪、尿产生量的监测[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(3): 516-522.
GUO De-jie, WU Hua-shan, MA Yan, et al. Monitoring of the amount of pig manure and urine in different swineries[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 27(3): 516-522.
- [11] Crutzen P J. On the role of CH_4 in atmospheric chemistry: sources, sinks and possible reductions in anthropogenic sources[J]. *Ambio*, 1995, 24: 52-55.
- [12] 胡荣桂. 氮肥对旱地土壤甲烷氧化能力的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 74-77.
HU Rong-gui. Effects of fertilization on the potential of methane oxidation in upland soil[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 74-77.
- [13] 王智平, 胡春胜, 杨居荣. 无机氮对土壤甲烷氧化作用的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 305-309.
WANG Zhi-ping, HU Chun-sheng, YANG Ju-rong. Effect of inorganic nitrogen on CH_4 oxidation in soils[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2): 305-309.
- [14] Scheutz C, Kjeldsen P. Capacity for biodegradation of CFCs and HCFCs in a methane oxidative counter gradient laboratory system simulating landfill soil covers[J]. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37: 5143-5149.
- [15] 王长科, 吕宪国, 蔡祖聪, 等. 东北三江平原土壤氧化 CH_4 研究[J]. 环境科学学报, 2004, 24(5): 939-941.
WANG Chang-ke, LÜ Xian-guo, CAI Zu-cong, et al. Methane uptake in the soils of Sanjiang Plain, Northeast China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(5): 939-941.
- [16] 王长科, 吕宪国, 周华荣, 等. 若尔盖高原沼泽土壤氧化甲烷的研究[J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 646-649.
WANG Chang-ke, LÜ Xian-guo, ZHOU Hua-rong. Studies on methane oxidation by bog soils in Zoige Plateau[J]. *China Environmental Science*, 2004, 24(6): 646-649.
- [17] Wilshusen J H, Jettairatch J P A, Visscher A D, et al. Methane oxida-

- tion and formation of EPS in compost: Effect of oxygen concentration[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 129:305-314.
- [18] Nancy S, Levente B, Thomas G R, et al. 16S rRNA based T-RFLP analysis of methane oxidizing bacteria assessment, critical evaluation of methodology performance and application for landfill site cover soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31:251-266.
- [19] 郭敏, 何晶晶, 吕凡, 等. 垃圾填埋场覆土层 II 型甲烷氧化菌的群落结构[J]. *中国环境科学*, 2008, 28(6):536-541.
- GUO Min, HE Pin-jing, LÜ Fan, et al. Type II methanotrophs community structure in the cover soils of landfill[J]. *China Environmental Science*, 2008, 28(6):536-541.
- [20] 秦莉, 沈玉君, 李国学, 等. 不同 CN 比堆肥碳素物质变化规律研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(7):1388-1393.
- QIN Li, SHEN Yu-jun, LI Guo-xue, et al. C Matter Change of Composting with Different C/N[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7):1388-1393.
- [21] Lo Y Y. Application and practice of the pig-on-litter system in Hong-Kong (*In-situ* composting of pig manure)[M]//Voermans J A M. Proceedings workshop deep litter systems for pig farming, Rosmalen, Research Institute for Pig Husbandry, 1992:11.
- [22] Billiard F. Froid et environnement[J]. *Bull Cons Gen du Génie Rural, Eaux et Forêts*, 1998, 52:47-52.
- [23] 任顺荣. 畜禽废弃物高温好氧堆腐过程中气体产生与变化[J]. *农业环境科学学报*, 2004, 23(2):355-358.
- REN Shun-rong. The Gas generation and transformation in the process of high temperature aerobic composting for animal wastes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(2):355-358.
- [24] Osada T, Kuroda K, Yonaga M. N_2O , CH_4 and NH_3 emissions from composting of swine waste[C]//Voermans E J A M, Monteny G J. Proceedings of ammonia and odour emissions from animal production facilities. Vinkeloord: Nederlandse Vereniging Techniek Landbouw Rosmalen, 1997, 2:373-380.
- [25] El-Mashad H M, Zeeman G, van Loon W K P, et al. Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure[J]. *Bioresource Technology*, 2004, 95:191-201.

新书推荐



水生生物水质基准理论与应用

本书针对保护水生生物的水环境质量基准的理论和进行了研究,包括水生生物基准受试生物筛选、水生生物物种敏感度研究、水生生物基准关键技术研究等,并以多种重金属、氨氮和石油等重点污染物为例开展了水生生物基准的案例研究,总结示范了水生生物基准的理论方法,在我国水环境基准研究领域具有重要意义。

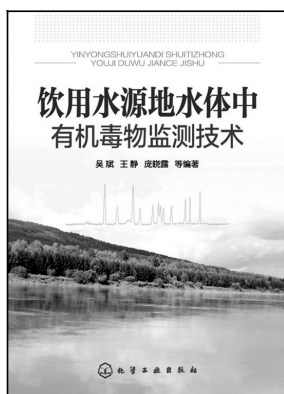
本书可供环境保护相关科技人员及环境管理部门人员参考,也可供高等学校环境及相关专业师生参考

※书号:9787122199270

※定 价:85.0 元

※开本:16

※出版日期:2014 年 7 月



饮用水源地水体中有机毒物监测技术

淡水资源匮乏和水污染是全球性的大问题,保护地面水尤其是饮用水水质是许多国家面临的重大任务。我国明确指出加强对水源保护区外汇水区有害有毒物质的监管。针对实际环境监测及科研工作中存在的问题,适应饮用水源有机毒物分析特点,根据多年分析经验编著本书。

本书覆盖最新国标规定,并介绍了最新环境监测方法,兼备适用性与前瞻性,适合环境监测特别是水质监测的工作人员及科研人员使用,也可供高等学校相关专业师生参考。

※书号:9787122193001

※定 价:68.0 元

※开本:16

※出版日期:2014 年 5 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyCBS.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。