

堆积肉牛粪便甲烷排放影响因子试验

游玉波, 董红敏*, 朱志平, 陶秀萍, 陈永杏

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部畜牧环境设施设备质量监督检验测试中心, 北京 100081)

摘 要: 通过测定肉牛粪便在不同温度和堆高时的甲烷排放量, 探讨了中国肉牛粪便甲烷排放量及其主要影响因素。采用动态箱法测定了肉牛粪便在 15℃、25℃和 35℃中, 堆高分别为 10 cm、20 cm 和 40 cm 时的甲烷排放通量, 同时分析了试验前后粪便的性质。结果表明, 15℃时肉牛粪便堆放 15 d 的鲜牛粪甲烷排放通量为 $(0.031 \pm 0.002) \sim (0.002 \pm 0.000)$ g/(d·kg), 累积排放量为 0.17~0.18 g/kg; 25℃中堆放 26 d 的甲烷排放通量为 $(0.323 \pm 0.018) \sim (0.051 \pm 0.063)$ g/(d·kg), 累积排放量为 3.8~5.1 g/kg; 35℃中堆放 26 d 的甲烷排放通量为 $(0.414 \pm 0.073) \sim (0.033 \pm 0.050)$ g/(d·kg), 累积排放量为 3.6~6.6 g/kg。15℃中粪便甲烷排放量显著小于 25℃和 35℃中的排放量 ($P < 0.01$)。粪便堆高与单位表面积累积甲烷排放量相应也高。

关键词: 粪便, 甲烷排放通量, 肉牛, 动态箱

中图分类号: S811.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-12-0168-05

游玉波, 董红敏, 朱志平, 等. 堆积肉牛粪便甲烷排放影响因子试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 168—172.

You Yubo, Dong Hongmin, Zhu Zhiping, et al. Experiments on influencing factors of methane emissions from beef cattle manure stack[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 168—172.(in Chinese with English abstract)

0 引 言

甲烷(CH_4)是一种重要的温室气体, 对全球气候变暖的贡献率约为 20%^[1]。动物粪便是重要的甲烷排放源之一, 全球动物粪便甲烷排放总量为 20~30 Tg/yr, 占已知人为甲烷排放量的 5.5%~8%^[2]。

影响粪便甲烷排放的因素主要有粪便含水量、处理方式、堆放高度、温度等因素, 国外对粪便甲烷排放已进行了一定研究。Pattey 等研究了用液体粪便、堆放和堆肥方法处理奶牛和肉牛粪便时的温室气体排放量, 结果表明液体粪便的温室气体排放量最大, 其次是堆放^[3]。Amon 等报道了厌氧贮存的粪便夏季的甲烷排放量比冬季的排放量大很多^[4]。粪便甲烷的生成与环境温度高度相关, 低于 10℃时甲烷的产量很小^[5]。González-Avalos 等在试验室内用水浴箱和铝筒发酵装置组成的静态箱系统研究了舍饲奶牛和肉牛、放牧牛粪在不同环境温度下的甲烷排放因子。测定表明, 随着温度上升, 粪便甲烷排放量呈增加的趋势^[6]。Yamulki 测定了室外堆放贮存的鲜牛粪甲烷排放通量, 粪便堆体内部温度与甲烷排放量具有较好的相关性^[7]。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的相关报告中提出了各种家畜粪便在不同气候区域、不同粪便管理系统和环境温度下的甲烷转化因子和甲烷排放因子

默认值^[8,9]。中国对畜禽粪便甲烷排放主要侧重于甲烷作为可再生能源利用的研究, 对其向大气中排放温室气体的研究刚开始, 且重点做了猪粪堆肥过程的甲烷排放^[10], 关于肉牛粪便堆放过程的甲烷排放还未见报导。

为了探讨中国肉牛粪便甲烷排放和其主要影响因素, 本研究对不同温度和堆放高度的肉牛粪便甲烷排放量进行测定, 为估算中国肉牛粪便甲烷排放总量提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用牛粪采自北京大兴金维肉牛场西门塔尔牛(体重 350~400 kg)的新鲜粪便。肉牛每天采食日粮 28 kg, 其中精料 18 kg, 粗料 10 kg。精料配方及其成分如表 1 所示, 饲喂粗饲料为青贮玉米秸秆, 成分如表 2 所示。

表 1 精料组成及成分

Table 1 Formulation and compositions of concentrate								
饲料原料	配比 /%	干物质 /%	粗蛋白 /%	粗纤维 /%	无氮浸出物 /%	Ca /%	P /%	综合净能 /MJ·kg ⁻¹
玉米	25	86.5	8.7	1.7	71.2	0.04	0.24	7.86
棉粕	4.3	89.6	41.3	11.3	27.3	0.23	0.94	6.82
啤酒糟	70	24.6	6.2	3.4	12.4	0.1	0.14	5.24
膨润土	0.15	98				0.71		
食盐	0.15	96						
小苏打	0.4	98						
合 计	100	43.4	8.3	3.3	27.7	0.1	0.2	6.4

表 2 青贮玉米秸秆成分

Table 2 Compositions of corn silage						
干物质 /%	粗蛋白 /%	粗纤维 /%	无氮浸出物 /%	Ca /%	P /%	综合净能 /MJ·kg ⁻¹
25.3	3.2	5.5	13.8	0.08	0.05	0.58

收稿日期: 2008-01-03 修订日期: 2008-10-25

基金项目: UNDP/GEF 项目“中国国家通讯研究: 动物 $\text{CH}_4/\text{N}_2\text{O}$ 排放清单”

作者简介: 游玉波 (1980-), 男, 湖南人, 博士研究生, 研究方向为畜禽养殖环境。北京中关村南大街 12 号 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: yybo@21cn.com

※通讯作者: 董红敏, 博士, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 畜牧环境工程。北京中关村南大街 12 号 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 100081。Email: Donghm@mail.caas.net.cn

1.2 试验方法

本试验采用国外常用的动态箱法对肉牛粪便甲烷排放量进行测定^[11,12]。为了保持试验设定的温度，将动态箱系统置于可控温的人工气候箱中。动态箱尺寸设计和试验现场见图 1。通过气泵和转子流量计将已知流速的空气从动态箱顶部的进气口通入装有粪样的试验动态箱中，经过布气板使气流均匀地从箱体下部出气口不断排出，经过三通、空气过滤器、多通道采样器与气体分析仪的采样孔连接，实现对动态箱中的气样进行自动采集和实时分析。根据不同的粪便堆高，分别将出气口设置于粪便堆体表面上方 5 cm 处。

试验分 3 期进行，每期完成一个设定温度的测试，人工气候箱温度设定分别为 15℃、25℃和 35℃，每个温度进行 1 次试验。在每一种温度下，分别测定粪样堆高为 10 cm（5 kg）、20 cm（10 kg）、40 cm（20 kg）的甲烷排放，每个高度 3 个重复，共 9 个。通过调节转子流量计，使 10 cm、20 cm 和 40 cm 堆高动态箱的空气进气量分别为 13 L/min、10.6 L/min 和 5.3 L/min，即动态箱换气率均为 20 · h⁻¹。

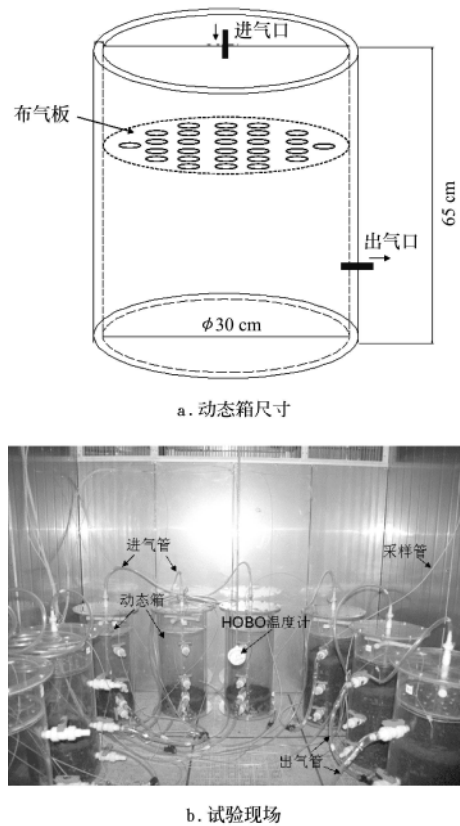


图 1 动态箱尺寸和试验现场
Fig.1 Dynamic chamber size and trial field

根据进气口和出气口气样中甲烷的浓度差、空气流量、粪样鲜质量或表面积可计算箱体内粪便的甲烷排放通量，如公式（1）和（2）所示。

$$F_{CH_4} = (C - C_0) \times 10^{-6} \times F_{air} \times 60 \div W \tag{1}$$

或

$$f_{CH_4} = (C - C_0) \times 10^{-6} \times F_{air} \times 60 \div S \tag{2}$$

式中 F_{CH_4} ——单位质量甲烷排放通量，g/(h·kg)；

f_{CH_4} ——单位面积甲烷排放通量，g/(h·m²)； $C - C_0$ ——动态箱出气口与进气口的甲烷浓度差，mg/m³； F_{air} ——空气流量，L/min； W ——鲜粪质量，kg； S ——粪便堆体表面积，m²。将 1 d 中每小时的甲烷排放通量平均值乘以 24（h）即为甲烷的日排放通量。

本试验于 2007 年 5 月 10 日至 9 月 5 日，在中国农科院农业环境与可持续发展研究所的人工气候箱中进行。

1.3 测定项目及方法

使用多通道采样仪每 6 min 依次自动采集 1-9 号动态箱的出气口及室外空气进气口的气样（每隔 2 min 一次，测定 3 次），每小时完成一次循环，采样后用 INNOVA 1312 多气体分析仪（Innova AirTech Instruments A/S, Denmark）同步测定并记录气样中甲烷的浓度。

使用 DataTaker 600 数据采集器及 9 支 K 型热电偶温度探头每隔 5 min 自动测定并记录 1-9 号动态箱内粪便堆体中心点的温度，使用 HOBO 温湿度计每隔 5 min 自动测定并记录人工气候箱内的温度和湿度。

试验前后用四分法从各动态箱分别取 500 g 粪样在实验室分析粪便特性。分析指标有干物质（DM）、挥发性固体（VS）、总凯氏氮（TKN）、总有机碳（TOC）、有机质（OM）和 pH 值，各指标的测定方法按照相应的国家或行业标准执行（NY 525-2002、GB 6920-86、GB 11891-89、NY/T 298-1995），在农业部畜牧环境设施设备质检中心（北京）实验室测定。

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 和统计软件 SPSS 11.0 for windows 对数据进行处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 粪便特性分析

粪便特性是影响甲烷排放量的一个重要因素。不同试验期试验前后粪便特性分析结果见表 3 所示。由表 3 可看出，堆放后的粪便由于含水量降低，DM、VS、TOC 和 OM 的含量略有升高。由于氨气、氧化亚氮等的挥发，堆放后粪便的 TKN 含量降低。

表 3 试验前后肉牛粪便特性分析（湿基）				
Table 3 Chemical properties of initial and post storage of beef cattle manure(initial-matter basis)				
检测指标	鲜牛粪	堆放后牛粪		
		H10AC20	H20AC20	H40AC20
DM/%	21.8±1.1	28.0±7.2	25.0±3.5	23.5±1.2
VS/%	17.7±1.4	20.4±4.9	18.7±2.5	18.2±1.7
TKN/%	0.86±0.38	0.81±0.33	0.67±0.22	0.78±0.24
TOC/%	8.2±0.4	9.3±1.5	8.8±1.0	8.6±0.8
OM/%	14.1±0.8	16.1±2.7	15.2±1.8	14.9±1.5
pH 值	8.04±0.18	9.21±0.17	8.93±0.27	8.71±0.43

注：H10、H20 和 H40 分别表示粪样堆高为 10 cm、20 cm 和 40 cm，AC20 表示动态箱换气率为 20 · h⁻¹。

2.2 粪便甲烷排放通量随时间的变化

15℃下不同堆高的粪便甲烷排放通量见图 2a 所示。10 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.019 \pm 0.004) \sim (0.003 \pm 0.002)$ g/(d·kg), 20 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.019 \pm 0.009) \sim (0.007 \pm 0.003)$ g/(d·kg), 40 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.031 \pm 0.002) \sim (0.002 \pm 0.000)$ g/(d·kg)。不同堆高粪便的甲烷日排放量都是第 1 天为最高值, 然后随堆放时间的增加而减小。试验期间将堆放粪便的最大和最小甲烷排放通量的差值进行比较, 10 cm 和 40 cm 堆高粪便的甲烷排放通量下降速率为 20 cm 堆高的 1 倍, 平均每天下降 0.002 g/(d·kg)。

25℃下不同堆高的粪便甲烷排放通量见图 2b 所示。10 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.278 \pm 0.117) \sim (0.051 \pm 0.063)$ g/(d·kg), 20 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.291 \pm 0.109) \sim (0.089 \pm 0.025)$ g/(d·kg), 40 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.323 \pm 0.018) \sim (0.129 \pm 0.022)$ g/(d·kg)。不同堆高粪便的甲烷排放浓度和日排放量在试验前 6 天有升高的趋势, 然后随时间的增加而下降。不同堆高粪便的甲烷排放通量下降速率相似, 10 cm 和 40 cm 堆高平均每天下降 0.011 g/(d·kg), 20 cm 堆高平均每天下降

0.010 g/(d·kg)。

35℃下不同堆高的粪便甲烷排放通量见图 2c 所示。10 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.297 \pm 0.111) \sim (0.033 \pm 0.050)$ g/(d·kg), 20 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.361 \pm 0.095) \sim (0.069 \pm 0.029)$ g/(d·kg), 40 cm 堆高的甲烷排放通量为 $(0.414 \pm 0.073) \sim (0.131 \pm 0.018)$ g/(d·kg)。在试验的前 8 天, 不同堆高粪便的日排放通量随时间的增长而增加。这与粪便堆体中心温度的逐渐上升有关系。从第 9 天开始, 甲烷日排放通量随时间的增长而下降。不同堆高粪便的甲烷排放通量下降速率相似, 10 cm 堆高平均每天下降 0.015 g/(d·kg), 20 cm 和 40 cm 堆高平均每天下降 0.017 g/(d·kg)¹、0.016 g/(d·kg)。

图 2b 和图 2c 表明, 试验前一周内, 不同堆高的粪便甲烷排放量呈上升趋势, 达到峰值后逐渐下降。试验前期甲烷排放量上升可能与粪便发酵过程中底物降解生成有机酸的量增加有关, 底物降解结束后生成甲烷的原料得不到补充, 导致甲烷产生量下降, 从图 2c 可看出此现象在 35℃时更加明显。温度越高, 甲烷产生量的下降速率越快。

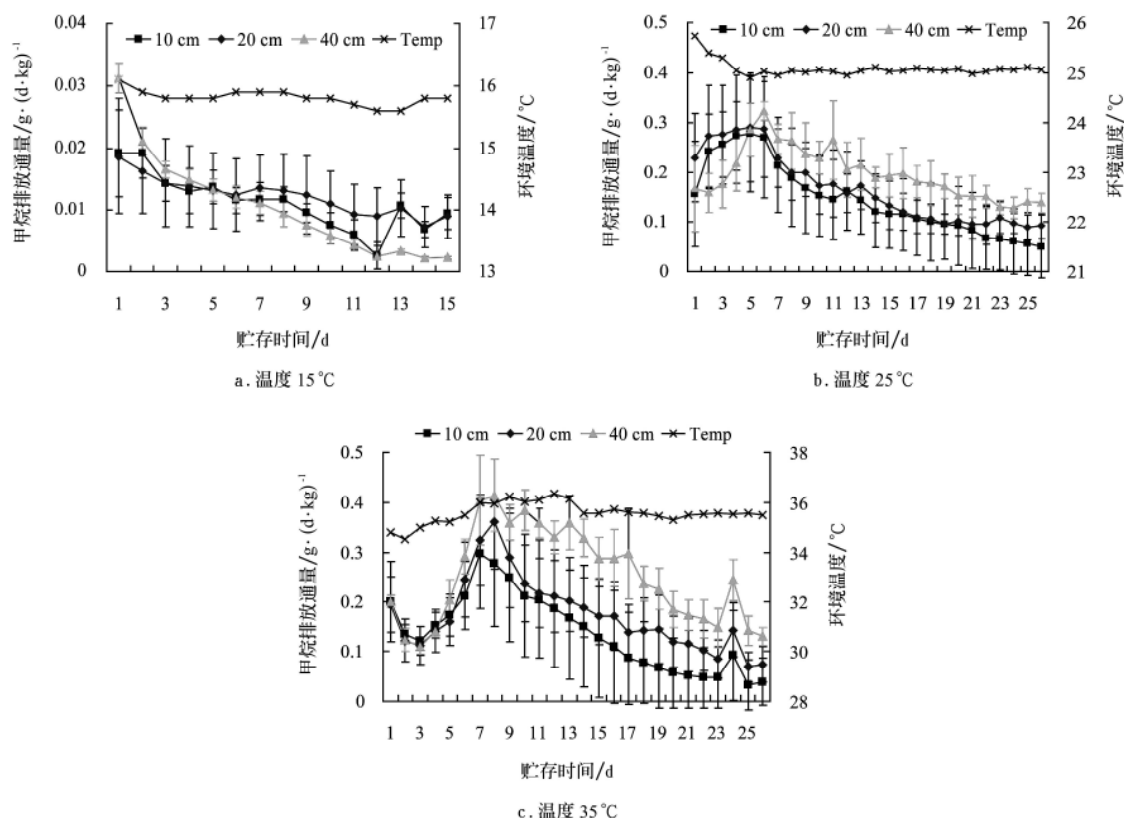


图 2 不同温度下不同堆高肉牛粪便堆放期间逐日甲烷排放通量的变化

Fig.2 Change of daily methane emission fluxes of different stack heights in different temperatures during storage periods

2.3 不同试验阶段粪便甲烷排放通量

粪便产生的甲烷是由微生物分解粪便中的有机物质后, 再经产甲烷菌的生化作用转化而来, CH_4 产生的速率与温度呈指数相关^[13,14], 自然堆放牛粪甲烷的排放速率和牛粪温度呈极显著相关^[15]。粪便在 15℃、25℃和 35℃中堆放第 1~5 天的甲烷平均排放通量分别为 0.018、0.238、

0.205 g/(d·kg); 第 6~10 天的甲烷平均排放通量分别为 0.011、0.227、0.284 g/(d·kg); 第 11~15 天的平均甲烷排放通量分别为 0.006、0.17、0.249 g/(d·kg); 第 1~15 天的甲烷平均排放通量分别为 0.012、0.212、0.221 g/(d·kg)。

不同试验阶段不同温度下, 粪便甲烷排放通量的比较如图 3 所示。统计分析表明, 堆放试验的前 5 天, 25℃

下的粪便甲烷平均排放通量大于 35℃ 中的排放通量, 但差异不显著 ($P>0.05$), 如图 3a 所示。第 6~15 天, 25℃ 下的粪便甲烷平均排放通量显著小于 35℃ 下的排放通量 ($P<0.01$), 如图 3b、3c 所示。图 3d 表明, 15℃ 下粪便

堆放 15 d 期间的甲烷平均排放通量显著小于 25℃ 和 35℃ 中的排放通量 ($P<0.01$), 25℃ 下的排放通量与 35℃ 中的排放通量无显著差异 ($P>0.05$)。

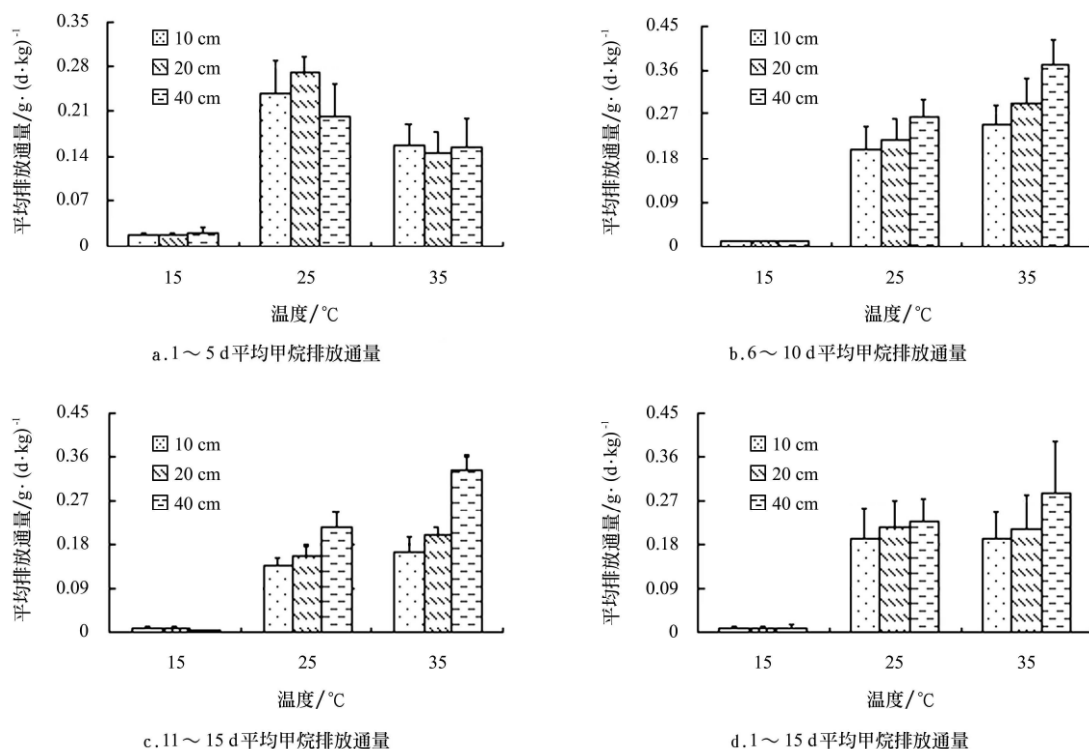


图 3 不同试验阶段粪便甲烷排放通量比较

Fig.3 Comparison of manure methane emission fluxes of different experimental stages

2.4 粪便堆高与甲烷排放量

试验期间不同温度和粪便堆高的累积甲烷排放量变化见图 4 所示。由图 4a 可看出, 在 25℃ 和 35℃ 下, 单位质量鲜粪的累积甲烷排放量变化比较接近, 而 15℃ 时的

排放量很低, 且试验期间的变化不大, 表明粪便发酵活动较微弱。图 4b 表明, 在同一温度下, 单位表面积鲜粪的累积甲烷排放量变化与堆高有关, 堆高较高时, 相同表面积的堆体体积更大, 因此甲烷排放量也大。

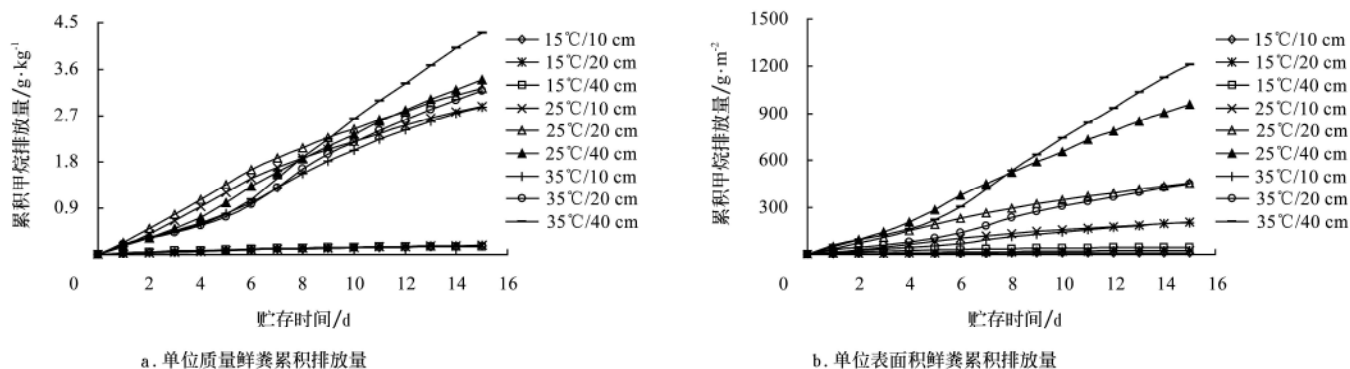


图 4 不同温度和堆高粪便堆放 15 d 时甲烷累积排放量比较

Fig.4 Comparison of cumulative methane emissions of different temperatures and manure stack heights during a 15-day storage period

3 结 论

1) 试验后粪便的干物质、挥发性固体、总有机碳、有机质的含量和 pH 值略有升高。

2) 15℃ 下肉牛粪便试验 15 d 期间鲜牛粪的甲烷排放通量为 $(0.031 \pm 0.002) \sim (0.002 \pm 0.000) \text{ g/(d} \cdot \text{kg)}$, 累

积排放量为 $0.17 \sim 0.18 \text{ g/kg}$; 25℃ 下试验 26 d 期间鲜牛粪甲烷排放通量为 $(0.323 \pm 0.018) \sim (0.051 \pm 0.063) \text{ g/(d} \cdot \text{kg)}$, 累积排放量为 $3.8 \sim 5.1 \text{ g/kg}$; 35℃ 下试验 26 d 期间鲜牛粪甲烷排放通量为 $(0.414 \pm 0.073) \sim (0.033 \pm 0.050) \text{ g/(d} \cdot \text{kg)}$, 累积排放量为 $3.6 \sim 6.6 \text{ g/kg}$ 。15℃ 下的粪便甲烷排放量显著小于 25℃ 和 35℃ 下的排放量。高温促进粪便甲烷排放,

但 25℃ 和 35℃ 的甲烷排放量相差较小。

3) 粪便堆高高的单位表面积的累积甲烷排放量相应也高。

[参 考 文 献]

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change. The Scientific Basis Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 25—67.
- [2] 陶 战, 庄仁安, 李 波, 等. 美国稻田和反刍动物的甲烷排放[J]. 农业环境保护, 1993, 36(2): 2—8.
- [3] Pattey E, Trzcinski M K, Desjardins R L. Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure[J]. Nutr Cycl in Agroecosyst, 2005, 72(2): 173—187.
- [4] Amon B, Amon T, Boxberger J, et al. Emissions of NH_3 , N_2O and CH_4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading)[J]. Nutr Cycl in Agroecosyst, 2001, 60(1-3): 103—113.
- [5] Steed J, Hashimoto A G. Methane emissions from typical manure management systems[J]. Bioresource Technol, 1994, 50(2): 123—130.
- [6] González-Avalos E, Ruiz-Suárez L G. Methane emission factors from cattle manure in Mexico[J]. Bioresource Technol, 2001, 80(1): 63—71.
- [7] Sirwan Yamulki. Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures[J]. Agri Ecosyst and Environ, 2006, 112(2-3): 140—145.
- [8] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories-agricultural Manure[R]. Tokyo: IGES, 2000: 339—348.
- [9] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management, 2006, 35—50.
- [10] 谢军飞, 李玉娥. 不同堆肥处理猪粪温室气体排放与影响因子初步研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 56—59.
- [11] Li H, Xin H, Liang Y. Effects of stack surface to volume ratio and air exchange rate on ammonia emission of laying hen manure storage[Z]. Minneapolis A WMA 98th Annual Conference and Exhibition, 2005.
- [12] Berg W, Brunsch R, Pazsiczki I. Greenhouse gas emissions from covered slurry compared with uncovered during storage[J]. Agri Ecosyst and Environ, 2006, 112(2-3): 129—134.
- [13] Khan R Z, Müller C M, Sommer S G. Micrometeorological mass balance technique for measuring CH_4 emissions from stored cattle slurry[J]. Biology and Fertility of Soils, 1997, 24: 442—444.
- [14] Sommer S G, Petersen S O, Sogaard H T. Greenhouse gas emission from stored livestock slurry[J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29: 744—751.
- [15] 陆日东, 李玉娥, 万运帆, 等. 堆放奶牛粪便温室气体排放及影响因子研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 198—204.

Experiments on influencing factors of methane emissions from beef cattle manure stack

You Yubo, Dong Hongmin^{*}, Zhu Zhiping, Tao Xiuping, Chen Yongxing

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: To explore the impacts of major influencing factors on methane emissions from manure, methane emission fluxes of beef cattle manure under different temperatures and manure stack heights were measured by dynamic chamber technique. The experiments regulated the temperatures of 15℃, 25℃, 35℃, and took measurements on methane emissions during manure ventilated storage with stack height of 10, 20, 40 cm, respectively. Moreover, chemical properties of the manure were analyzed for the initial and post stored manure. Experimental results showed that the methane emission flux and cumulative emission during a 15-day ventilated storage period under 15℃ was $(0.031 \pm 0.002) \sim (0.002 \pm 0.000)$ g/(d · kg) and $0.17 \sim 0.18$ g/kg, $(0.323 \pm 0.018) \sim (0.051 \pm 0.063)$ g/(d · kg) and $3.8 \sim 5.1$ g/kg during a 26-day ventilated storage period under 25℃, $(0.414 \pm 0.073) \sim (0.033 \pm 0.050)$ g/(d · kg) and $3.6 \sim 6.6$ g/kg during a 26-day ventilated storage period under 35℃. Manure methane emission rate at 15℃ was significantly lower than the emission at 25℃ and 35℃ ($P < 0.01$). The research allows for development of empirical model that estimates methane emissions from stored manure for different stack heights.

Key words: manures, methane emission fluxes, beef cattle, dynamic chamber