

舍饲绵羊甲烷和二氧化碳的日排放动态

史海山¹, 丁学智², 龙瑞军^{3,*}, 黄小丹¹, 阳伏林¹, 齐小晶¹

(1. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810008;

3. 兰州大学草地农业科技学院 甘肃 兰州 730020)

摘要:运用密闭呼吸代谢箱系统,对 3 只舍饲绵羊 24h(有间断)甲烷(CH₄)和二氧化碳(CO₂)日排放特征进行了研究。供试 3 只甘肃细毛羊体况相近(平均体重为(25±5)kg),其基础日粮为燕麦干草和玉米精料,粗精比为 6:4。结果表明:供试绵羊 CH₄和 CO₂的平均排放量分别为 11g/d 和 147 g/d,CH₄排放的峰值分别出现在 17:00 和 22:00 左右,达 0.4217g/h 和 0.8082 g/h,直到 0:00 降至最小为 0.2993g/h;之后趋于平稳,次日 8:00 左右再次达到排放高峰,排放量为 0.6587 g/h。而 CO₂在各个测定时间段内差异不显著($p>0.05$)。因此,舍饲条件下绵羊 CH₄和 CO₂排放量动态(g/min)变化不同步。由此,推算出舍饲绵羊(25±5)kg 年排放 CH₄和 CO₂总量分别约为 4.38 kg 和 53.66 kg。

关键词:舍饲绵羊;甲烷;二氧化碳;呼吸代谢箱

文章编号:1000-0933(2008)02-0877-06 中图分类号:Q142,Q968,X171.1 文献标识码:A

Diurnal dynamics of methane and carbon dioxide released from indoor-fed sheep

SHI Hai-Shan¹, DING Xue-Zhi², LONG Rui-Jun^{3,*}, HUANG Xiao-Dan¹, YANG Fu-Lin¹, QI Xiao-Jing¹

1 College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

2 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China

3 College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University; Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0877 ~ 0882.

Abstract: Diurnal dynamics of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) emissions were measured on three wether crossbred sheep (average weight (25±5) kg). The animals were fed ground corn and hay (at a ratio of 6:4) in amounts that fulfilled their calculated requirements of metabolizable protein and energy. During measurements, each animal was maintained in a respiration chamber and methane and carbon dioxide outputs were recorded at regular intervals over 24 hours. The sheep were adapted to the chamber prior to measurements by being placed in the chamber for 3—4 hours followed by an hour break continually over a one week period. During measurements, inside and outside chamber temperatures and inside chamber humidity were recorded every 5 minutes. Emission of methane and carbon dioxide averaged 11g/d and 147g/d, equivalent to 4.38 kg/a and 53.66 kg/a respectively. Peak methane output occurred at 22:00 (0.808 g/day), while lowest output occurred at 0:00 (0.299 g/h). In contrast to methane output, the output of carbon dioxide concentration was relatively stable, which suggested that the dynamic output patterns of methane and carbon dioxide were not similar.

基金项目:国际原子能机构(IAEA)资助项目(126666/R0);国家自然科学基金重点资助项目(30730069)

收稿日期:2007-03-21; **修订日期:**2007-12-18

作者简介:史海山(1979~),男,甘肃省武威市人,硕士生,主要从事反刍动物营养学研究. E-mail: shsh86@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: longrj@lzu.edu.cn or longruijun@sina.com

Foundation item: The project was financially supported by International Atomic Energy Agency (No. 126666/R0); National Natural Science Foundation of China (No. 30730069)

Received date: 2007-03-21; **Accepted date:** 2007-12-18

Biography: SHI Hai-Shan, Master, mainly engaged in nutrition in ruminant. E-mail: shsh86@163.com

Key Words: feeding sheep; methane; carbon dioxide; respiration chamber

近几十年来,由于大气中 CO_2 和 CH_4 等温室气体 (GHG) 浓度持续增加,导致温室效应加剧,倍受全球关注。世界气象组织 (WMO)、联合国环境规划署 (UNEP) 和许多国家政府纷纷组织有关科学家对此进行了广泛研究^[1]。所有温室气体中, CO_2 的贡献最大,约占 60%,目前全球大气中 CO_2 的浓度已达 $3.5 \mu\text{l/L}$ 左右,仍以每年 $1.14 \mu\text{l/L}$ 的速度递增^[2]。作为仅次于 CO_2 的温室气体, CH_4 对全球气候变暖的贡献约为 15% ~ 20%^[3,4],但其温室效应却较 CO_2 高 20 ~ 30 倍^[5]。在全球温室气体排放中,反刍动物年产 CH_4 约 $7.7 \times 10^7 \text{Tg}$, 占全球家畜总 CH_4 排放量的 97%,且牛、羊的 CH_4 排放量年增幅高达 1%^[6]。反刍动物瘤胃 CH_4 的生成损耗了 2% ~ 15% 的饲料能^[7],因此降低反刍动物甲烷排放可实现改善动物生产性能和有益环境的双赢效果。反刍家畜瘤胃 CH_4 的排放受诸多因素的影响,如畜种、日粮类型、环境条件和饲养水平等。各国科学家针对不同环境条件、不同畜种,以及测度方法进行了广泛研究^[8~10]。目前,国内估测反刍家畜温室气体排放的工作较少。本试验试图通过建立密闭呼吸箱体系 (respiration chamber),对舍饲绵羊 CH_4 和 CO_2 排放量和动态进行监测,为进一步估测和调控放牧反刍动物温室气体排放,提高家畜生产性能提供理论和实践基础。

1 材料和方法

1.1 试验设备

根据 Islam 等^[11]的方法,对试验设备进行了改进,建立了测定反刍家畜 CH_4 和 CO_2 浓度的密闭呼吸箱系统。此系统类似于代谢笼装置,框架的基本结构为钢管和加固铁丝网。长 4m,宽 2m,顶部为拱形,距离地面的最大高度约为 1.9m,最大体积约为 12.77m^3 。由防水、柔韧性较好的聚乙烯材料密封。两个对侧面分别装有透光性较好的玻璃窗户;在绵羊可采食的高度固定有料槽和水槽,箱内顶部装有风扇,用来散热和混匀内部的气体浓度。

1.2 试验设计

1.2.1 试验动物及饲养管理

选择 3 只体况一致的甘肃细毛羊,平均体重为 $(25 \pm 5) \text{kg}$ 。基础日粮为铡碎 (2 ~ 3cm) 的燕麦干草,同时补饲玉米精料 (粗:精 = 6:4) 见表一。试验预试期 2 周,以确定自由采食量,每天时间分别于 07:30、16:30 和 21:30 饲喂,自由饮水。试验期为 16d,每天饲喂日粮按确定的自由采食量投放,每 24h 为一个重复 (有间断)。

表 1 燕麦干草和玉米精料的基本化学组成

Table 1 Chemical Composition of the diets (% DM)

项目 Item	粗蛋白 CP	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	干物质 DM	粗灰分 CA
燕麦干草 Oat Hay	4.7	0.8	28.3	90.3	4.2
玉米 Ground Corn	8.4	7.5	5.2	88.4	1.2

1.2.2 测定时间调控

在试验之前,将动物饲养在呼吸箱中 2 ~ 3d (每天密闭 2 ~ 3h),进行必要的适应。在 24h 内 CH_4 和 CO_2 的测定一般控制在每隔 1 ~ 2h 连续监测 3 ~ 4h。间隔期间分别投放 3 次日粮并清扫粪便等。

1.3 CH_4 和 CO_2 浓度的测定与计算

CH_4 和 CO_2 用气体仪进行测定,箱内的气体通过橡胶软管 (4mm × 6mm) 由气泵抽入分析仪,最大流量为 3L/min,为了使仪器准确的对气体浓度进行定量分析,采取了适当的限流措施 (1L/min)。该仪器采用了国际先进的非分光红外线吸收原理 (NDIR),可与 PC 连接,能同步进行 CH_4 和 CO_2 气体含量 (%) 实时监测。

CH_4 排放通量的计算公式为:

$$Q_{\text{CH}_4} = V \times (C_{n\text{CH}_4} - C_{n-1\text{CH}_4}) / n$$

式中, Q_{CH_4} 为单位时间每只绵羊的 CH_4 的排放量; V 为呼吸箱的体积; n 羊的饲养只数; $C_{n\text{CH}_4}$ 为 CH_4 单位时

间内浓度; $C_{n-1 \text{ CH}_4}$ 为 CH_4 在前一单位时间内的浓度;

CO_2 的排放量同 CH_4 排放通量的计算。然后根据克拉伯龙方程(纯物质二相平衡方程)把 CH_4 和 CO_2 在任意状态下的排放量转换为标准状态下排放量。其具体公式为:

$$P_0 V_0 / T_0 = P_1 V_1 / T_1$$

式中 P_0, V_0, T_0 分别为标准状态下的压强, 浓度, 温度, 而 P_1, V_1, T_1 则是任意状态下的状态值。其中 P_0 约等于 P_1 因为测试时间段比较短, 而且气体仪分析完的气体由一导管回入呼吸箱, 动物呼吸和释放的气体在短时间内保持平衡, 所以内外压强近似相等。

1.4 温度的监测

对与气体排放相关的箱内外温度和湿度用全自动数显温度计进行实时监测, 温度和湿度的采样点和气体采样位置相同; 采样频率为每 5min 1 次, 且在连续 24h 作为一个周期记录数据。

1.5 数据分析

用 Excel 2003 和 SPSS (13.0) 软件在计算机上进行数据的相关性统计和分析。

2 结果

2.1 舍饲绵羊 CH_4 和 CO_2 24h 排放特征

24h(中间间断时间包括饲喂时间和人工清除粪便及尿液时间)的监测表明, 绵羊甲烷排放各个时间点之间差异显著($p < 0.01$) (图 1), 其中 07:30、16:30、21:30 均属于饲喂时间, 之后 0.5h CH_4 浓度出现了明显的 3 个排放高峰, 分别为 0.4217 g/h、0.6587 g/h、0.8082 g/h, 并且在 22:00 左右出现 24h 内 CH_4 浓度最高峰 0.8082 g/h, 随后一直下降到当天最低峰 0.0510 g/h, 此值大约出现在 0:00。但凌晨 01:48 ~ 04:27 期间, CH_4 浓度一直维持在较低浓度 0.2993 g/h 左右, 偶尔出现个别小的峰值。直到次日 07:30 进入第二个循环时间段即下一个昼夜变化。

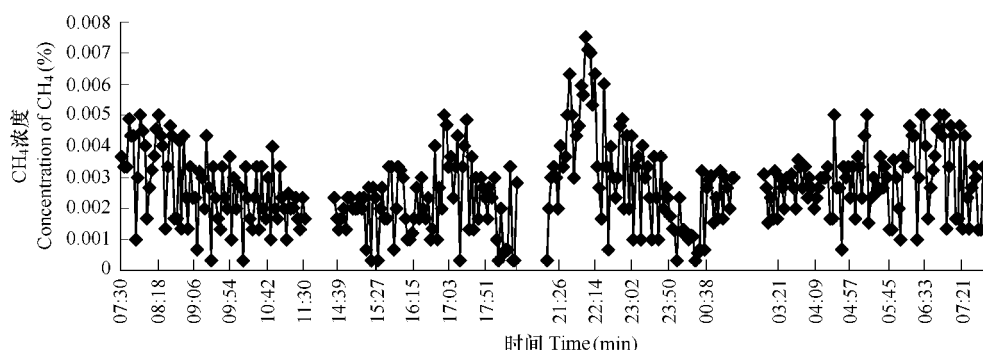


图 1 24h 内不同时间点箱内 CH_4 浓度

Fig. 1 Concentration of methane at difference time in chamber during 24 hours

与 CH_4 相比, CO_2 的排放各个时间点之间没有明显的变化, 而是保持相对的平稳状态(图 2), 虽然在不同时间略有上升或者下降, 但在各个时间点之间差异不显著($p > 0.05$)。从 07:30 开始随着每次开箱瞬时和正午略有变化, 此后 CO_2 浓度全天趋势中保持 6.11 g/h 的排放量到达下一个昼夜循环。

2.2 舍饲绵羊 CH_4 和 CO_2 日累计排放量之间的关系

CH_4 主要是消化系统发酵产生, 而 CO_2 主要来源于动物的呼吸行为, 在整个系统处于密闭状态下, CO_2 的累计排放量明显高于 CH_4 且约 13 倍, 而且随着 CH_4 的变化 CO_2 累积量变化表现出显著的相关性($p < 0.01$) (图 3)。

在 24h 内不同时间点随机抽取的几个峰值表明: CH_4 和 CO_2 的排放速率随时间发生变化(表 2), 统计数字显示舍饲绵羊每天 CH_4 排放量介于 9 ~ 13g, CO_2 为 122 ~ 149g。21:00 ~ 22:30 是 CH_4 排放的高峰期, 如果按照这个时间段对全天甲烷进行估测, 当天甲烷排放量应为 12.84 g/d, 但如果用相应时间的 CO_2 排放量估测昼夜

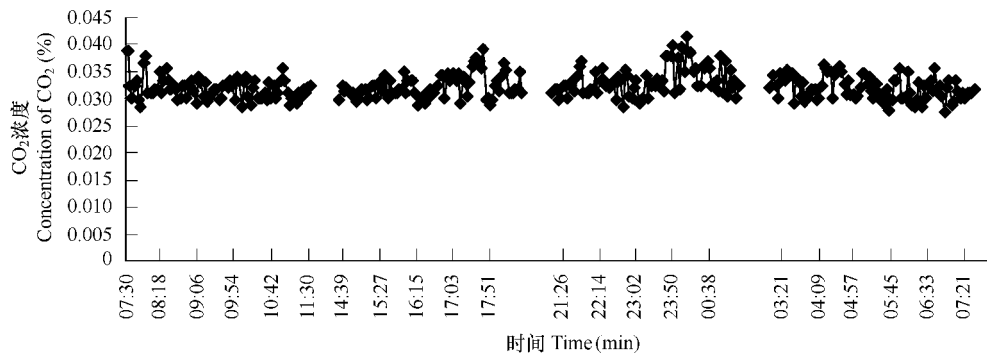


图2 24h内不同时间点箱内CO₂浓度

Fig. 2 Concentration of carbon dioxide at difference time in chamber during 24 hours

排放量仅为122.08g/d。在23:00~02:36时段内CH₄排放降至当天的低谷,若以此值为准,则估测结果仅为9.75g/d,相应地CO₂为142.62g/d,与其它各个时间段差异不显著($p>0.05$)。06:00~09:30时段内,二者变化相对稳定,其中CH₄和CO₂排放量分别为11.43g/d和149.81g/d是整个循环中最接近实际测定排放量(11g/d和147g/d)。

CH₄和CO₂跟采食量、活重、代谢体重和代谢体重增重的关系计算得出单位舍饲绵羊每采食1kg饲料和增加1kg代谢体重所产出的CH₄和CO₂分别为13.28、96.49g和177.41、1289.47g。呼吸箱内绵羊CH₄排放是本身代谢和箱内粪便释放的共同产物,不仅受动物体重、舍内温度、饲料及活动状况影响,还受舍内粪尿清理和通风换气状况的影响。

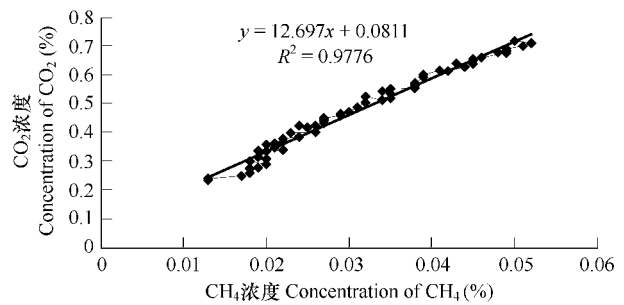


图3 CH₄和CO₂日排放量之间的关系

Fig. 3 Relationship between daily CH₄ and CO₂ emissions one day

表2 24h内不同测定时间点绵羊CH₄和CO₂测排放量

Table 2 Releasing total of methane and carbon dioxide in difference measurement time during 24 hours

项目 Item	测定时间段 Period of measurement (h)	测定时间 Period (h)	平均排放量 Emission per animal (g/d)	最大排放速率 Maximum rate per animal (g/h)	最小排放速率 Minimum rate per animal (g/h)
CH ₄	21:00~22:30	1.5	12.84	0.80	0.11
Methane	23:00~2:36	3.6	9.74	0.31	0.05
	06:00~09:30	2.5	11.43	0.56	0.09
CO ₂	21:00~22:30	1.5	142.07	6.98	1.03
Carbon dioxide	23:00~2:36	3.6	142.62	7.19	1.48
	06:00~09:30	2.5	149.81	7.88	2.16

表3 绵羊CH₄和CO₂排放量随日粮和代谢体重之间的变化

Table 3 Response of CH₄ and CO₂ to the intake and body weight per sheep in 24h

项目 Item	采食量 Voluntary intake (g/kg d)	活重 Live weight (g/kg)	代谢体重 Metabolizable body weight (g/W ^{0.75} kg)	代谢体重增重 Gain (g/W ^{0.75} kg)
CH ₄ (g) Methane	13.28	0.35 ± 0.04	0.88 ± 0.06	96.49
CO ₂ (g) Carbon dioxide	177.41	4.74 ± 0.3	11.19 ± 0.5	1289.47

3 讨论

目前测定反刍动物 CH_4 排放的方法很多^[12~16], 密闭呼吸代谢箱是以能量代谢为原理, 并采用非分光红外线气体监测仪代替了目前气相色谱对 CH_4 等气体的定量测定, 可以实时监测 CH_4 和 CO_2 浓度的变化, 能更为准确地反映舍饲反刍动物温室气体排放的变化特征。

以燕麦干草和玉米精料为基础日粮(粗:精=6:4)饲喂时, 绵羊在 22:00 左右出现当天排放峰值, 且显著高于其他投放时间点 CH_4 排放量($p < 0.05$), 可能是动物进入夜间需要更多能量代谢, 因此反刍达到最高峰, 此结果与 Lockyer 等的^[16] 研究结果相吻合。0:00 后, CH_4 始终保持一个较低的浓度直至次日凌晨, 这可能是由于夜晚相对静谧的外界条件减少了机体某些应激反应, 说明绵羊在比较静谧的条件下进行正常的活动会相对降低 CH_4 排放量。

Islam^[11] 2000 年用呼吸代谢箱测定单位绵羊 CH_4 排放量为 17g/d 相对高出本实验的 11g/d, 原因在于 Islam 采用体重为 (35 ± 5) kg 的本地绵羊明显高于 (25 ± 5) kg, 且年龄平均 1 岁的绵羊也高于本实验 8 个月的绵羊, 因此导致日排放量相对增加。同时 Lassey^[17] 等在 2001 年用 SF_6 方法测得单个绵羊 (35 ± 5) kg 排放量为 20.5g/d 也明显高于 11g/d, 除了个体差异之外, 更重要的可能是方法不同, 呼吸代谢箱试验虽然有预饲期, 但是动物在全封闭状态下, 正常生理活动会受到一定的影响, 而 SF_6 方法受环境和仪器影响相对小, 在放牧条件下, 动物的采食量也明显高于舍饲。本实验采用呼吸代谢箱方法侧重于舍饲绵羊, 对舍饲反刍类动物 CH_4 和 CO_2 排放量及日排放动态估测具有一定的可靠性。

Mathers 等^[18~20] 采用 tunnel 法表明, CH_4 和 CO_2 排放总量及其动态也明显反应在饲喂方式上。在一定范围内少量多次有利于提高饲料利用率和充分吸收, 从而减小瘤胃内 pH 值的波动幅度, 较好地维持平衡状态, 有利于瘤胃内纤维物质的降解和瘤胃发酵。先粗后精, 以及先粗后多次添加精料的饲喂方式有利于瘤胃内 VFA(挥发性脂肪酸)总量以丙酸型为主, 不仅可以降低饲料损耗减少 CH_4 和 CO_2 的排放总量, 而且可以改善动物生产性能。

References:

- [1] Gaunt J L, Neue H C, Giller K E, *et al.* Predicting methane production in wetland rice soils. *International Rice Res Notes*, 1994, 19 (3): 38—44.
- [2] Li L T, Xie Q. Separation and Utilization of Greenhouse Gas CO_2 . *Low Temperature and Specialty Gases*, 2005, 23(4): 1—6.
- [3] IPCC, Climate Change: The IPCC Impact Assessment. Canberra, Australia: Australian Government Publishing Service, 1990.
- [4] IPCC, Climate Change: The Supplementary Report to the Scientific Assessment. In: Houghton J T, Callander B A, Varney S K, eds. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [5] Neue H U, Wassmann R, Lantin R S, *et al.* Effect of cultural practices on methane emission. *International Rice Res Notes*, 1994.
- [6] Jounary A R, Newbold J. Methane product by ruminants: its contribution to global warming. *Ann Zootech*, 2000, 49: 231—253.
- [7] Johnson K A, Johnson D E. Methane emission from cattle. *Animal Sci*, 1995, 73, (8): 2483—2492.
- [8] De Rammus H A, Clement T C, Giampola D D, *et al.* Methane emissions of beef cattle on forages: Efficiency of grazing management systems. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32: 269—278.
- [9] Mc Allister T A, Okine E K. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.*, 1996, 76: 231—243.
- [10] Long R J, Dong S K, Wang Y S, *et al.* Metabolism of aromatic and alicyclic compounds in the digestive tract of ruminants. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(5): 18—25.
- [11] Islam M, Abe H, Hayashi Y, *et al.* Effects of feeding Italian ryegrass with corn on rumen environment, nutrient digestibility, methane emission, and energy and nitrogen utilization at two intake levels by goats. *Small Ruminant Research*, 2000, 38: 165—174.
- [12] Kirchgessner M, Windisch H J, Muller H L, *et al.* Release of methane and of carbon-dioxide by dairy-cattle. *Agribiol Res Agrarbiol Agrikultur chemie Okol*, 1991, 44: 91—102.

- [13] Leng R A. Quantitative ruminant nutrition — a green science. *Aust Res*, 1993, 44: 363 — 380.
- [14] Moss A. Methane from ruminants in relation to global warming. *Chemical Industry*, 1992, 334 — 336.
- [15] Denmead O T. Measuring fluxes of CH₄ and N₂O between agricultural systems and the atmosphere. In: K. Minami, A. Mosier & R. Sass, eds. CH₄ and N₂O: Global Emissions and Controls from Rice Fields and Other Agricultural and Industrial Sources. NIAES, Tokyo, 1994. 209 — 234.
- [16] Lockyer D R, Jarvis S C. The measurement of methane losses from grazing animal. *Environment Pollution*, 1995, 90: 383 — 390.
- [17] Lassey K R, Walker C F, McMillan A M S, *et al.* On the performance of SF₆ permeation tubes used in determining methane emission from grazing livestock. *Chemosphere Global Change Science*, 2001, 3: 367 — 376.
- [18] Mathers J C, Walters D F. Variation in methane production by sheep fed every two hours. *Agric Sci Cambridge*, 1982, 98: 633 — 638.
- [19] Murry P J, Moss A, Lockyer D R, *et al.* A comparison of systems for measuring methane emissions from sheep. *Agric Sci Cambridge*, 1999.
- [20] Murray P J, Gill E, Baldson S L, *et al.* A comparison of methane emissions from grazing pastures with differing management intensities. *Nutrient Cycling in Agro Ecosystems*, 2001, 60: 93 — 97.

参考文献:

- [2] 李兰廷, 解强, 温室气体 CO₂ 的分离技术. 低温与特气, 2005, 23(4): 1 ~ 6.
- [10] 龙瑞军, 董世魁, 王元素, 等. 芳香族和脂环族化合物在反刍家畜消化道中的释放代谢. 生态学报, 2004, 13(5): 18 ~ 25.