

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2013-0097

高寒草甸粪斑的温室气体排放

葛世栋^{1,2}, 徐田伟^{1,2}, 李冰^{1,2}, 曹慧^{1,2}, 赵亮^{1,3}, 徐世晓^{1,3}(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 青海 西宁 810001)

摘要:为了解生长季牦牛粪斑覆盖对高寒草甸生态系统温室气体排放的影响,于2012年6月25日—9月24日基于添加牛粪处理定位试验,利用静态箱—气相色谱法对高寒草甸生态系统 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 通量进行测定。结果表明,粪斑覆盖对其生态系统 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 排放具有刺激效应,其发生在粪斑覆盖的1—50 d,且3类温室气体峰值出现时间各异;粪斑覆盖导致的系统温室气体排放潜势较无牛粪覆盖增加了39.2%,其 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 的累积排放量分别为0.095、0.412、2.064 g $CO_2 \cdot m^{-2}$,全球变暖潜势为2.102 g $CO_2 \cdot m^{-2}$ 。因此,高寒草地牦牛粪斑是重要的温室气体来源之一,在估测生态系统对气候变化的贡献中不可忽视。

关键词:高寒草甸;粪斑;温室气体;气候变暖潜势

中图分类号:S812.29 文献标识码:A 文章编号:1001-0629(2014)01-0039-09*

Effects of yak dung on greenhouse gas emission during growing season in the alpine meadow

GE Shi-dong^{1,2}, XU Tian-wei^{1,2}, LI Bing^{1,2}, CAO Hui^{1,2}, ZHAO Liang^{1,3}, XU Shi-xiao^{1,3}

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of Adaption and Evolution of Plateau Biota, Northwest Plateau Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: In order to understand the impacts of yak dung on greenhouse gas (GHG) emission in the alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau during the growing season, nitrous oxide(N_2O), methane(CH_4), and carbon oxide(CO_2) fluxes in Kobresia-dominated meadow were measured by the static opaque chamber-gas chromatograph method. The results showed that the application of dung had distinct stimulating effects for N_2O , CH_4 , and CO_2 fluxes, which occurred during the 1—50 days after application although the peak value presented at different time. The global warming potential induced by GHG emissions after dung application increased by 39.2%. The global warming potential and the cumulative flux of N_2O , CH_4 , and CO_2 during three months research period after dung application was 2.102, 0.095, 0.412 and 2.064 g $\cdot m^{-2}$, respectively. Emission-time pattern of greenhouse gas should be paid more attention to assess global change to animals' excrements as yak dung patches were strong GHG source.

Key words: alpine meadow; yak dung; greenhouse gas; the global warming potential

Corresponding author: XU Shi-xiao E-mail: sxxu@nwipb. cas. cn

* 收稿日期:2013-03-02 接受日期:2013-05-07
基金项目:国家自然科学基金项目(41030105、31070437);中国科学院战略性先导科技专项(XDA05070200);中国科学院西部行动项目(KZCX2-XB3-05);国家科技支撑项目(2011BAC09B06)
第一作者:葛世栋(1988-),男,河南新乡人,在读硕士生,主要从事草地生态学研究。E-mail:geshidong10@mails.ucas.ac.cn
共同第一作者:徐田伟(1988-),男,黑龙江方正人,在读硕士生,主要从事畜牧生态学研究。E-mail:98.tianwei@163.com
通信作者:徐世晓(1973-),男,青海乐都人,研究员,博士,主要从事草地生态学和畜牧生态学的研究。E-mail:sxxu@nwipb. cas. cn

自工业革命以来,大气 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体浓度持续增加,温室效应加剧,陆地生态系统对气候变化的适应与反馈作用已成为生态学研究热点问题之一^[1-5]。气候变化主要是由人类活动产生的3种主要温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 浓度的增加所引起的^[6],动物生态系统是人为非 CO_2 温室气体释放的重要来源^[7]。据估计,在人为排放的 CH_4 和 N_2O 排放量中,有20%的 CH_4 和55%的 N_2O 由家畜及其排泄物产生^[8-9]。其中,全球动物粪斑 N_2O 的年排放量为1.0 Tg^[10],大约占全球 N_2O 排放总量的7%^[11]; CH_4 排放总量为25 Tg(20~30 Tg),占已知人为 CH_4 排放总量的5.5%~8.0%^[12],占农业源 CH_4 排放的11.9%^[13]。家畜(尤其是反刍动物)及其排泄物对陆地生态系统温室气体的贡献,已经成为草地生态系统与气候变化的热点问题之一^[14-15]。

青藏高原高寒草地生态系统是地球陆地生态系统的重要组成部分^[16],是世界上低纬度冻土集中分布区,对全球气候变化十分敏感,作为大气重要的 CO_2 和 CH_4 的汇^[17],其在亚洲气候乃至全球气候变化中所扮演的角色至关重要^[18-19]。牦牛是高寒草地生态系统次级消费者的主体,青藏高原现有约1300万头家养牦牛和2万头左右野牦牛^[20-21],其粪斑密度高达5900堆· hm^{-2} ,覆盖了草地总面积的24%左右。目前,国内外有关家畜粪斑对气候变化

的作用,集中于粪斑温室气体排放通量观测上,多见于低海拔草地生态系统和农田生态系统^[22-26],而家畜排泄物对生态系统温室气体排放的刺激作用尚未有研究涉及。

为了探讨青藏高原放牧生态系统牦牛排泄物对高寒草甸生态系统乃至气候变化潜势的贡献,本研究进行牦牛粪便覆盖对高寒草甸生态系统 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 排放通量影响的观测,试图分析:1)高寒草甸生态系统的 N_2O 、 CH_4 和 CO_2 的季节排放对粪斑覆盖的响应特征;2)粪斑覆盖高寒草甸生态系统对气候变暖的潜势;3)粪斑覆盖对高寒草甸生态系统温室气体排放刺激的发生机理,以探讨家畜排泄物对气候变化的贡献作用。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

样地设置于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(37°37' N,101°19' E)。该站地处青藏高原东北隅,祁连山北支,冷龙岭东段南麓的大通河河谷,海拔3200 m以上。气候以东南季风和西伯利亚高压为主,属于大陆性季风气候,无明显四季之分,年平均气温-1.7℃;降水量580 mm,80%主要集中在5~9月^[27]。试验期2012年6月25日~9月24日的内日平均温度为9.6℃,总降水量为248.8 mm(图1)。

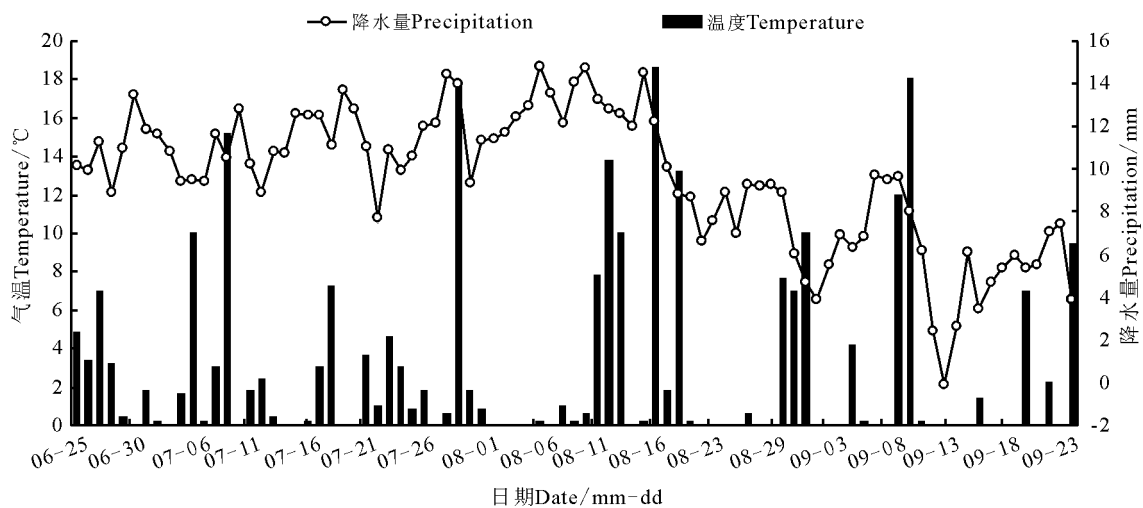


图1 日平均空气温度和降水量

Fig. 1 Daily rainfall and mean air temperature during the experiment period

选择高寒矮嵩草草甸为研究对象,地势开阔平坦,植被较为整齐均一。优势种为矮嵩草(*Kobresia humilis*),次优势种有羊茅(*Festuca ovina*)、异针茅(*Stipa aliena*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、麻花苻(*Gentiana straminea*)等,植被盖度 85%,土壤为草毡寒冻锥形土^[28]。

1.2 试验方法

采用对比试验设计,设置对照、牛粪添加两个处理,4次重复,共计8个小区(2 m × 2 m)。牛粪采集于牧户牛舍,为成年牦牛排泄新鲜粪便(排泄于2012年6月25日07:00—08:00)。将其混匀,做成直径22 cm,高度5 cm的圆形粪斑,排列于每小区的中央部位,每粪斑鲜质量约2.0 kg(水分含量约80%,类似于自然牦牛粪斑的规模与质量)^[26]。

气体样品采集采用静态密闭箱,箱体体积为50 cm × 50 cm × 50 cm。试验前期(6月25日—8月10日),每隔2 d进行一次气体通量测定,后期(8月11日—9月24日)每隔6 d进行一次。每次测定在当日09:00—11:00进行,代表一天的日平均通量^[26]。N₂O、CH₄和CO₂浓度测定用HP4890气相色谱仪进行测定^[25];在气体样品采集的同时,用MJ624温度计测定对照小区地表、地下5 cm温湿度;粪便表层、粪斑中心、粪斑下土壤表层和土壤5 cm温湿度。0—5 cm土壤体积含水量采用TDR(200)进行测定。

1.3 数据处理与分析

观测期内的各土壤及粪斑层平均温度和湿度、温室气体平均排放通量通过加权计算得出,公式如下:

$$M_s = \frac{1}{24} \sum_i^{24} D_i V_i$$

式中, M_s 为观测期内日平均温度(°C)或日平均湿度(%)或日平均通量; i 为取样次数; V_i 为当日测量值; D_i 为测量第*i*次到第*i*+1次之间的天数(当*i*=24时*D_i*=6)。

绘图采用Origin 8.0软件完成;统计分析采用SPSS 17.0软件进行。

2 结果与分析

2.1 环境因子

粪斑表面与中心温度随着时间的延续呈拱形变化,其最大值出现于7月底或者8月初(牛粪添加后

22~28 d),分别为34.6和25.8 °C。粪斑中心湿度则随着时间的推移呈现逐渐减小的变化趋势。观测期内,粪斑表面和中心平均温度分别为18.4、17.2 °C,粪斑中心平均湿度为17.2%(图2)。

粪斑的覆盖,可显著降低土壤表面与5 cm处土壤温度,分别降低了10.8%和9.0%,但可阻止土壤水分的蒸散,使5 cm处平均湿度提高了115%,且达到显著水平($P < 0.05$)(图3)。观测期内,粪斑覆盖处土壤表面及5 cm处平均温度分别为12.1、11.2 °C,土壤5 cm处平均湿度为31.8%。

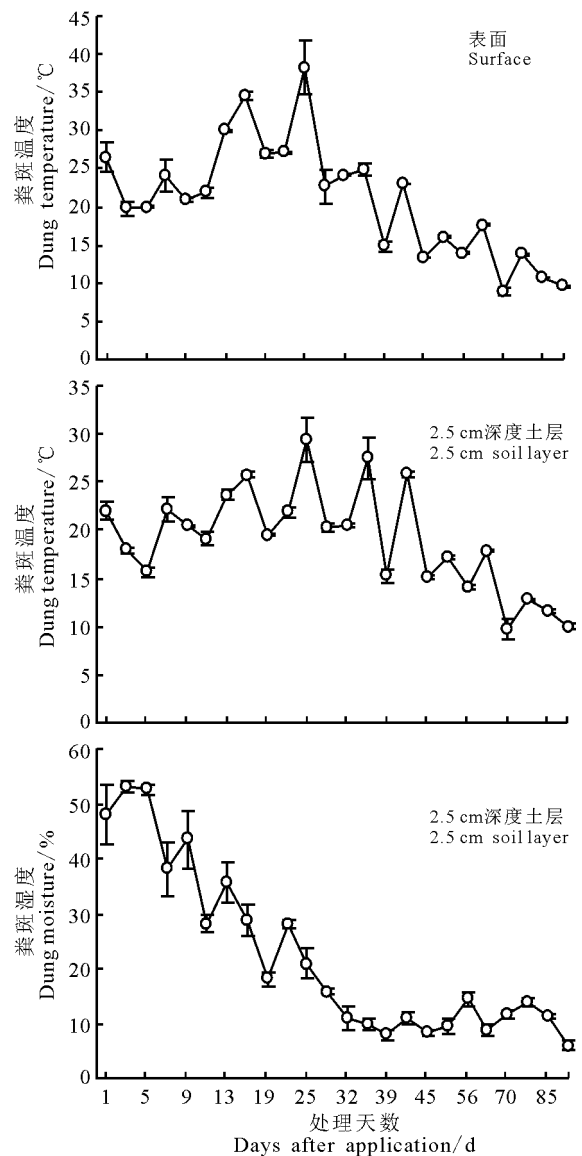


图2 粪斑不同深度温湿度
Fig. 2 Temperature and moisture of dung in different depth

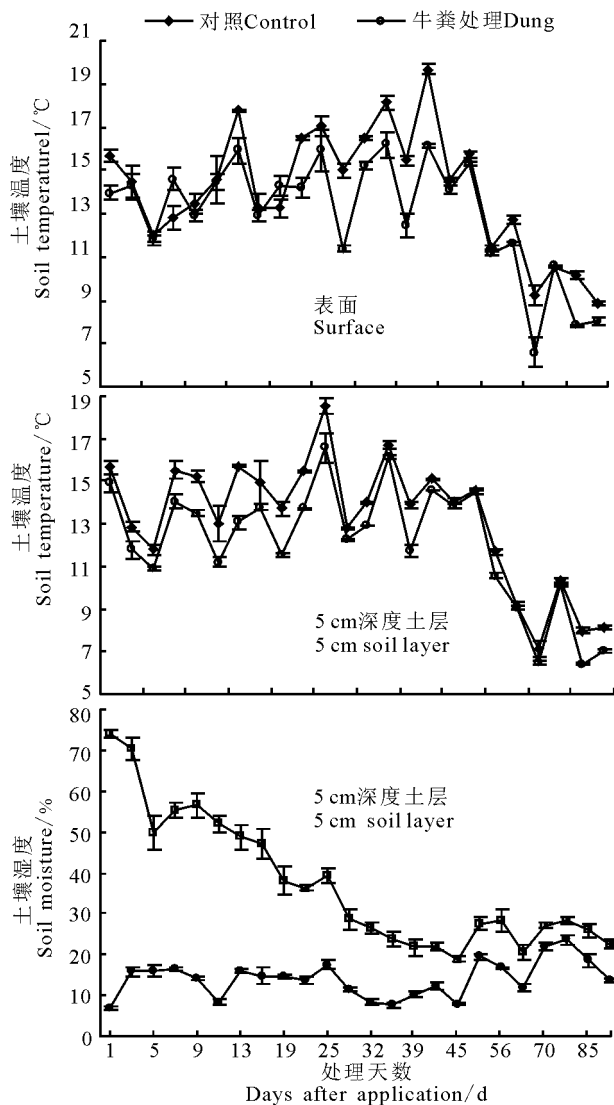


图3 对照与粪斑土壤不同深度温湿度

Fig. 3 Soil temperature and moisture before and after dung treatment

2.2 粪斑覆盖对 N₂O 通量的影响

粪斑的覆盖使得高寒草甸生态系统 N₂O 排放 在 处 理 后 的 9—42 d 呈 现 出 单 峰 变 化 过 程, 持 续 时 间 34 d, 其 余 时 段 与 对 照 没 有 区 别, 峰 值 发 生 于 处 理 后 22 d, 日 平 均 排 放 通 量 最 大 值 为 440.59 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 4)。此 时 段 内, 粪 斑 覆 盖 处 理 的 N₂O 平 均 排 放 通 量 为 95.95 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 36.72 倍; 整 个 试 验 期 间, 平 均 排 放 通 量 为 36.86 $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 18.56 倍; 二 者 均 达 到 显 著 差 异 ($P < 0.05$)。

2.3 粪斑覆盖对 CH₄ 通量的影响

粪斑的覆盖使得高寒草甸生态系统 CH₄ 排 放

在 处 理 后 的 1—50 d 呈 现 出 单 峰 式 变 化 过 程, 持 续 时 间 50 d, 其 余 时 段 与 对 照 没 有 区 别, 其 中 1—11 d 为 CH₄ 的 排 放 高 峰 期, 11—50 d 排 放 较 为 迟 缓, 且 排 放 量 较 少。CH₄ 排 放 峰 值 发 生 于 处 理 后 7 d, 日 平 均 排 放 通 量 最 大 值 为 3.25 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 5)。此 时 段 内, 粪 斑 覆 盖 处 理 的 CH₄ 平 均 排 放 通 量 为 0.37 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 6.36 倍; 整 个 试 验 期 间, 平 均 排 放 通 量 为 0.18 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 4.10 倍; 二 者 均 达 到 显 著 差 异 ($P < 0.05$)。

2.4 粪斑覆盖对 CO₂ 通量的影响

粪斑的覆盖使得高寒草甸生态系统 CO₂ 排 放 在 处 理 后 的 1—90 d (整 个 测 定 期) 总 体 上 呈 现 出 单 峰 变 化 过 程, 持 续 90 d, 其 中 1—50 d 为 CO₂ 的 排 放 高 峰 期, 50—90 d 排 放 较 为 迟 缓, 且 排 放 量 相 对 较 少。但 测 定 期 内 有 3 个 峰 值, 其 中 后 两 个 峰 值 出 现 时 间 与 对 照 出 现 时 间 较 为 一 致。CO₂ 排 放 峰 值 发 生 于 处 理 后 7 d, 日 平 均 排 放 通 量 最 大 值 为 1 665.03 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 6)。排 放 高 峰 期 内, 粪 斑 覆 盖 处 理 的 CO₂ 平 均 排 放 通 量 为 1 238.27 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 44.02%; 整 个 试 验 期 间, 平 均 排 放 通 量 为 896.04 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 较 对 照 提 高 了 36.42%; 二 者 均 达 到 显 著 差 异 ($P < 0.05$)。

2.5 粪斑覆盖对气候变暖潜势的影响

随着粪斑的覆盖, 高寒草甸生态系统的 N₂O、CH₄ 和 CO₂ 排 放 量 显 著 增 加 ($P < 0.05$)。通 过 加 权 计 算, 自 2012 年 6 月 25 日 至 2012 年 9 月 24 日, 粪 斑 覆 盖 后 的 N₂O、CH₄ 和 CO₂ 的 累 积 排 放 量 为 0.095、0.545 和 2 064 $\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$, 分 别 较 对 照 增 加 了 0.095、0.279 和 551 $\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ 。基 于 全 球 变 暖 潜 势 折 算 系 数, CH₄ 与 N₂O 可 以 分 别 折 合 23 和 296 倍 质 量 的 CO₂^[26]。经 计 算, 观 测 期 内, 粪 斑 覆 盖 后 的 高 寒 草 甸 生 态 系 统 的 全 球 变 暖 潜 势 为 2 102 $\text{g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$, 较 对 照 增 加 了 39.2% (表 1)。说 明 粪 斑 覆 盖 能 显 著 增 加 高 寒 草 甸 生 态 系 统 的 全 球 变 暖 潜 势。

3 讨论

3.1 粪斑覆盖后草地生态系统对大气温室气体的贡献

对于天然草地而言, 常以斑块状高度聚集的粪

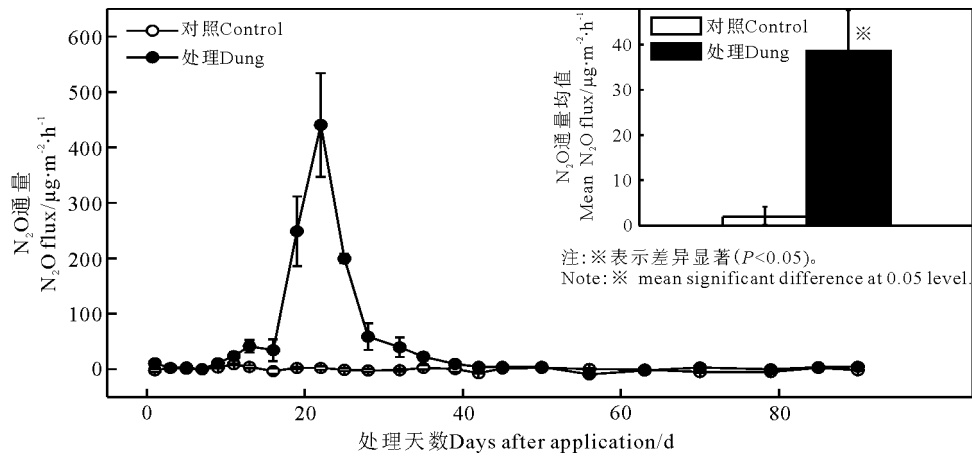
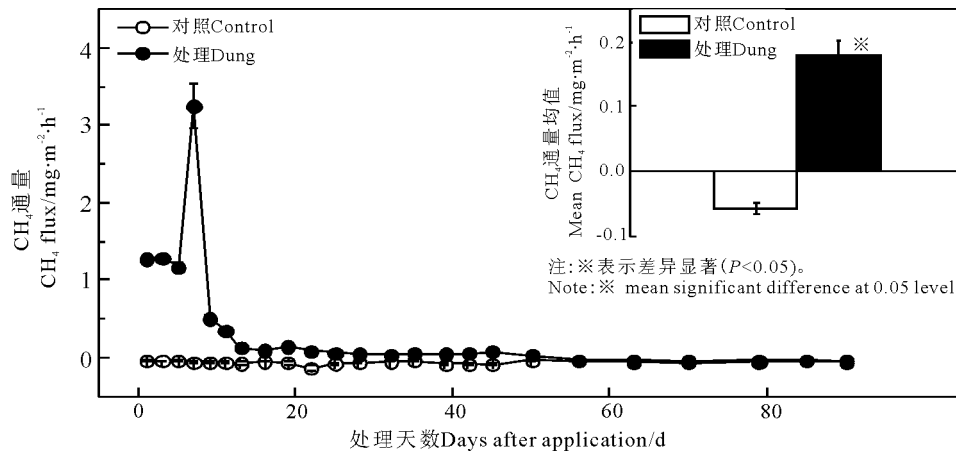
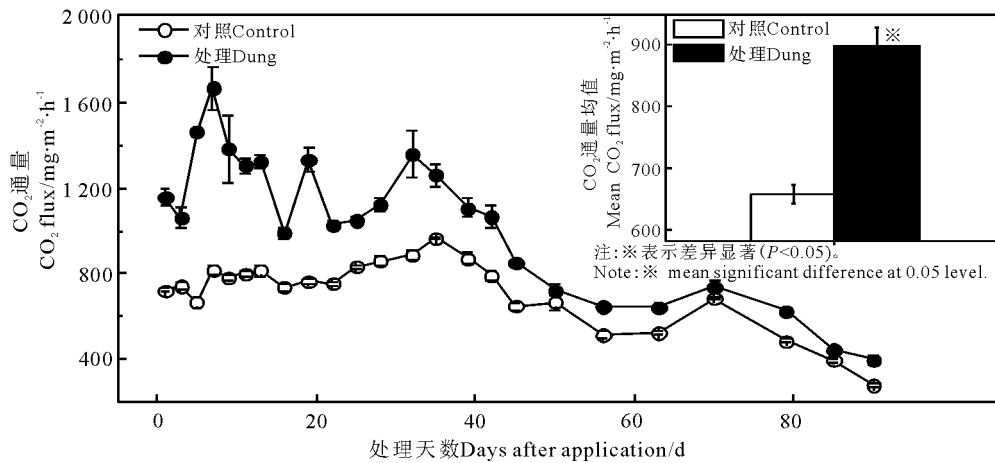
图4 对照与粪斑覆盖后 N_2O 通量Fig. 4 N_2O fluxes at dung and control plots during the experiment period图5 对照与粪斑覆盖后 CH_4 通量Fig. 5 CH_4 fluxes at dung and control plots during the experiment period图6 对照与粪斑覆盖后 CO_2 通量Fig. 6 CO_2 fluxes at dung and control plots during the experiment period

表1 测定期内对照和处理全球变暖潜势
Table 1 Global warming potentials during the investigation period

g CO₂ · m⁻²

温室气体 Greenhouse gas	项目 Item	牛粪处理 Dung	对照 Control
N ₂ O	温室气体累积释放量 Cumulative GHG emission	0.095±0.013	0.000 1±0.003 4
	温室气体净累积释放量 Net cumulative GHG emission	0.095±0.012	
CH ₄	温室气体累积释放量 Cumulative GHG emission	0.412±0.051	-0.133±0.022
	温室气体净累积释放量 Net cumulative GHG emission	0.545±0.060	
CO ₂	温室气体累积释放量 Cumulative GHG emission	2 064±75	1 513±36
	温室气体净累积释放量 Net cumulative GHG emission	551±83	
气候变暖潜势 Global warming potentials		2 102	1 510

便,局部可溶性氮浓度比较高,可能是影响温室气体排放的敏感点^[22,26-27]。本研究表明,天然高寒草甸生态系统为 N₂O 的弱源以及 CH₄ 的弱汇,这与胡启武等^[29]和 Lin 等^[26]对 CH₄ 的研究结果一致,与 Lin 等^[26]对 N₂O 的研究和 Cao 等^[30]对 CH₄ 的研究结果相反。而粪斑覆盖后,高寒草甸生态系统短时间内迅速变为 N₂O 和 CH₄ 的弱源,草地生态系统对大气温室气体的贡献显著增加,最终使得高寒草甸生态系统温室气体显著增加,气候变暖潜势显著增强,这与 Ma 等^[22]、Flessa 等^[24]、Lin 等^[26]、Yamulki 等^[31]、Chadwick 等^[32]、Flessa 和 Beese^[33]、Bol 等^[34]以及 Petersen 等^[35]研究结果一致。根据牛粪平均排泄次数(3.6次)及暖季牦牛放牧强度(轻牧、中度和重牧放牧强度分别为 0.89、1.45 和 2.08 头·hm⁻²·a⁻¹^[36]),牛粪斑面积分别占轻牧、中度和重牧放牧高寒草甸面积的 0.18%、0.3% 和 0.43%。经计算,在轻牧、中度和重牧 3 种放牧强度下,牛粪斑所覆盖的高寒草甸较没有粪斑覆盖相同面积的高寒草甸总温室气体释放量分别增加了 0.7%、1.1% 和 1.6%,都稍微小于 IPCC(2001)^[37]报告的结果(2%)。而根据牦牛总数为 1 300 万头及牛粪平均排泄次数(3.6次)计算,青藏高原高寒草甸每年的气候变暖潜势增加量为 578 t CO₂。因此,虽然与天然高寒草甸生态系统相比,粪斑覆盖后的高寒草甸总温室气体释放量较小,但因其气候变暖潜势增加量相对较大,故在估算粪斑覆盖后草地生态系统对大气温室气体的贡献时,粪斑对高寒草甸温室气体排放的影响仍不容忽视。

3.2 粪斑覆盖后温室气体产生峰值的机理

粪斑覆盖后,高寒草甸生态系统温室气体的

产生是土壤和粪斑微生物代谢以及生物化学过程等因素的综合产物^[38-40]。通常认为,温室气体的产生和发酵底物以及次级代谢产物密切相关^[40-41],硝化菌和反硝化菌、甲烷产生菌和甲烷氧化菌等是影响温室气体排放过程的关键微生物生态功能类群,硝化作用和反硝化作用、甲烷产生过程和氧化过程以及微生物的呼吸作用等共同决定了温室气体的代谢^[38-39,41-42],所有影响这些作用和过程的活动都会影响温室气体的排放^[33-43]。研究表明,温度对温室气体的产生有正反馈作用^[44-45],特别是当反硝化和甲烷产生为主导过程时,主要非 CO₂ 温室气体(N₂O 和 CH₄)的排放随着温度的升高而增加,可归咎于温度的升高促进了呼吸对氧的消耗,进而增加了厌氧水平。土壤湿度的增加,同样增加了厌氧水平,促进了温室气体的排放^[46]。本研究发现,粪斑覆盖后,温室气体排放峰值出现时,此时粪斑和土壤温湿度均较大。可能是此时厌氧环境较好,厌氧微生物数量和活性较大,致使温室气体的产生出现了一个短期内的大爆发。粪斑的覆盖促进了高寒草甸生态系统温室气体的释放,并持续了数周,这与 Flessa 等^[24]和 Lin 等^[26]的研究结果类似,并在 3 周内出现峰值,这与 Anger^[46]和 Van 等^[25]的研究结果相一致。张振华^[47]研究发现,高寒草甸土壤温湿度能够解释的温室气体通量变异为 4%~30%,Lin 等^[26]研究发现,粪尿斑覆盖后,高寒草甸温湿度能够解释非 CO₂ 温室气体的变异不超过 48%,能够解释 CO₂ 通量变异不超过 55%。由此可见,粪斑覆盖后,温湿度对温室气体的排放影响增加,且除温湿度之外,众多因素影响温室气体排放,但其对非 CO₂ 和

CO₂ 温室气体排放的影响程度不同。与非 CO₂ 温室气体排放稍微不同,土壤 CO₂ 的排放是粪斑覆盖后的 CO₂ 排放的一个重要来源。一些研究结果表明,动物粪斑较无粪斑 CO₂ 累积释放量增加的部分可能主要来自粪斑本身^[33]、土壤微生物的增加^[34]以及地上地下的生物量的增加^[22]。与非 CO₂ 温室气体排放不同,本研究中粪斑覆盖后的 CO₂ 排放较为迟缓,可能主要来自于粪斑内微生物的分解作用导致的温室气体排放,以及粪斑的刺激导致的高寒草甸温室气体的排放。但因粪斑处理后的 50 d 内,非 CO₂ 温室气体已经排放完全,CO₂ 的排放量也占了总体排放量的 92.4%,因此,在估测粪斑覆盖后高寒草甸在气候变化中的作用中,50 d 基本上可作为温室气体排放的估测时间段,且对于温室气体排放的时段问题,应加以足够的重视。

4 结论

通过模拟牦牛粪斑试验,研究生长季温室气体排放对牛粪覆盖的响应,得出:1)牛粪斑覆盖后的高寒草甸生态系统的 N₂O、CH₄ 和 CO₂ 排放总体上呈先增加后降低的单峰变化趋势,但 CO₂ 排放的波动幅度较大,且 3 种温室气体出现峰值的时间不同。2)粪斑覆盖后,高寒草甸生态系统温室气体排放量显著增加,其 3 个月内的全球变暖潜势较对照增加了 39.2%。生长季,3 个月内 N₂O、CH₄ 和 CO₂ 的累积排放量和全球变暖潜势分别为 0.095、0.412、2.064 和 2.102 g CO₂ · m⁻²。3)粪斑覆盖后的高寒草甸是重要的温室气体来源,在估测粪斑覆盖后高寒草甸在气候变化中的作用中,50 d 基本上可作为温室气体排放的估测时间段,且对于温室气体排放的时段问题,应加以足够的重视。

参考文献

- [1] 牛书丽,韩兴国,马克平,万师强. 全球变暖与陆地生态系统研究中的野外增温装置[J]. 植物生态学报,2007,31(2): 262-271.
- [2] 蒋高明,韩兴国,林光辉. 大气 CO₂ 浓度升高对植物的直接影响[J]. 植物生态学报,1997,21(6):489-502.
- [3] Vitousek P M. Beyond global warming: Ecology and global change[J]. Ecology,1994,75(7):1861-1876.
- [4] Jackson R B, Sala O E, Field C B, Mooney H A. CO₂ alters water use, carbon gain, and yield for the dominant species in a natural grassland[J]. Oecologia,1994,98(3-4):257-262.
- [5] Chapin III F S, Jefferies R L, Reynolds J F, Shaver G R, Svoboda J. Arctic plant physiological ecology in an ecosystem context[A]. Arctic Ecosystems in A Changing Climate[M]. San Diego: Academic Press, 1992:441-452.
- [6] Bernstein L, Bosch P, Canziani O. International Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2007: Synthesis report; Summary for policymakers: an assessment of the intergovernmental panel on climate change[R]. Valencia, Spain: IPCC, 2008.
- [7] Saggart S, Bolan N S, Bhandral R, Hedley C B, Luo J. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2004, 47(4): 513-544.
- [8] Johnson D E, Johnson K A, Ward G M, Branine M E. Ruminants and other animals[A]. Khalil M A K. Atmospheric Methane: Its Role in Global Environment[M]. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 2000: 112-133.
- [9] Kroeze C, Mosier A, Bouwman L. Closing the global N₂O budget: A retrospective analysis 1500-1994[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1999, 13(1): 1-8.
- [10] Olivier J G J, Bouwman A F, Der Hoek K W, Berdowski J J M. Global air emission inventories for anthropogenic sources of NO_x, NH₃ and N₂O in 1990[J]. Environmental Pollution, 1998, 102(1): 135-148.
- [11] Khalil M A K, Rasmussen R A. The global sources of nitrous oxide[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1992, 97(13): 14651-14660.
- [12] Change I P O N C. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment[M]. New York: Cambridge University Press, 1992.
- [13] Houghton J T. Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios[M]. New York: Cambridge University Press, 1995.
- [14] Rossi F, Vecchia P, Masoero F. Estimate of methane production from rumen fermentation[J]. Nutrient Cycling in Agroecology, 2004, 16(1): 1-10.

- cosystems, 2001, 60(1-3): 89-92.
- [15] Monteny G J, Groenestein C M, Hilhorst M A. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 60(1-3): 123-132.
- [16] Zheng D, Zhang Q, Wu S. Mountain Geoecology and Sustainable Development of the Tibetan Plateau[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2000: 57.
- [17] Zhao L, Li Y N, Xu S X, Zhou H, Gu S, Yu G, Zhao X. Diurnal, seasonal and annual variation in net ecosystem CO₂ exchange of an alpine shrubland on Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(10): 1940-1953.
- [18] 冯虎元, 程国栋, 安黎哲. 微生物介导的土壤甲烷循环及全球变化研究[J]. *冰川冻土*, 2004, 26(4): 411-419.
- [19] Duan A, Wu G, Zhang Q, Liu Y. New proofs of the recent climate warming over the Tibetan Plateau as a result of the increasing greenhouse gases emissions[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(11): 1396-1400.
- [20] 姚军, 杨博辉, 闫萍, 梁春年, 郭健, 焦硕, 郎侠, 郭宪, 冯瑞林, 程胜利. 中国野牦牛栖息地环境及种群行为分析[J]. *草业学报*, 2006, 15(2): 124-128.
- [21] Gerald W, Han J, Long R. The Yak[M]. Thailand: FAO Regional Office for Asia and the Pacific Bangkok, 2003.
- [22] Ma X, Wang S, Wang Y, Jiang G, Nyren P. Short-term effects of sheep excrement on carbon dioxide, nitrous oxide and methane fluxes in typical grassland of Inner Mongolia[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 2006, 49(3): 285-297.
- [23] Maljanen M, Martikkala M, Koponen H T, Virkajärvi P, Martikainen P J. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from experimental excreta patches in boreal agricultural soil[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(4): 914-920.
- [24] Flessa H, Dörsch P, Beese F, König H, Bouwman A F. Influence of cattle wastes on nitrous oxide and methane fluxes in pasture land[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(6): 1366-1370.
- [25] Van Groenigen J W, Velthof G L, Van der Bolt F J E, Vos A, Kuikman P J. Seasonal variation in N₂O emissions from urine patches: Effects of urine concentration, soil compaction and dung[J]. *Plant and Soil*, 2005, 273(1-2): 15-27.
- [26] Lin X W, Wang S P, Ma X Z, Luo C Y, Li Y N, Jiang G M, Xie Z B. Fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O in an alpine meadow affected by yak excreta during summer grazing periods on the Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 718-725.
- [27] 徐世晓, 赵亮, 赵新全, 李英年, 古松. 青藏高原高寒灌丛非生长季节 CO₂ 通量特征[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(12): 2528-2532.
- [28] 曹广民, 李英年, 张金霞, 赵新全. 高寒草甸不同土地利用格局土壤 CO₂ 的释放量[J]. *环境科学*, 2001, 22(6): 14-19.
- [29] 胡启武, 吴琴, 李东, 曹广民. 不同土壤水分含量下高寒草地 CH₄ 释放的比较研究[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(2): 118-122.
- [30] Cao G, Xu X, Long R, Wang Q, Wang C, Du Y, Zhao X. Methane emissions by alpine plant communities in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Biology Letters*, 2008, 4(6): 681-684.
- [31] Yamulki S, Jarvis S C, Owen P. Nitrous oxide emissions from excreta applied in a simulated grazing pattern[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(4): 491-500.
- [32] Chadwick D R, Pain B F, Brookman S K E. Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to grassland[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1): 277-287.
- [33] Flessa H, Beese F. Laboratory estimates of trace gas emissions following surface application and injection of cattle slurry[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(1): 262-268.
- [34] Bol R, Moering J, Kuzyakov Y, Amelung W. Quantification of priming and CO₂ respiration sources following slurry-C incorporation into two grassland soils with different C content[J]. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 2003, 17(23): 2585-2590.
- [35] Petersen S O, Stamatiadis S, Christofides C. Short-term nitrous oxide emissions from pasture soil as influenced by urea level and soil nitrate[J]. *Plant and Soil*, 2004, 267(1-2): 117-127.
- [36] 董全民, 马玉寿, 李青云, 施建军, 王启基. 牦牛放牧强度对高寒草甸暖季草场植被的影响[J]. *草业科学*, 2004, 21(2): 48-53.
- [37] Griggs D J, Noguier M. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment

- report of the intergovernmental panel on climate change[J]. Weather, 2002, 57(8): 267-269.
- [38] 齐玉春,董云社,耿元波,杨小红,耿会立. 我国草地生态系统碳循环研究进展[J]. 地理科学进展, 2003, 22(4): 342-352.
- [39] 王义祥,翁伯琦,黄毅斌. 土地利用和覆被变化对土壤碳库和碳循环的影响[J]. 亚热带农业研究, 2005, 1(3): 44-51.
- [40] 李海防,夏汉平,熊燕梅,张杏锋. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 1781-1788.
- [41] Ambus P, Jensen J M, Priemé A, Pilegaard K, Kjoller A. Assessment of CH₄ and N₂O fluxes in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest and an adjacent N-fertilised barley (*Hordeum vulgare*) field: effects of sewage sludge amendments[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2001, 60(1-3): 15-21.
- [42] Change I P O C, Egelstons S, Buendla L, Mima K, Todd N, Tanabe K. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.
- [43] Smith K A, Conen F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases[J]. Soil Use and Management, 2004, 20(2): 255-263.
- [44] Smith K. The potential for feedback effects induced by global warming on emissions of nitrous oxide by soils[J]. Global Change Biology, 1997, 3(4): 327-338.
- [45] Dobbie K E, Smith K A. Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 67(1): 37-46.
- [46] Anger M, Hoffmann C, Kühbauch W. Nitrous oxide emissions from artificial urine patches applied to different N-fertilized swards and estimated annual N₂O emissions for differently fertilized pastures in an upland location in Germany[J]. Soil Use and Management, 2003, 19(2): 104-111.
- [47] 张振华. 土地利用及主要管理措施对高寒草甸生产—生态功能的影响[D]. 西宁: 中国科学院西北高原生物研究所, 2012.

(责任编辑 王芳)

2013年12月国际市场主要饲料与畜产品价格分析

2013年12月美国玉米、大豆、豆粕、高粱、棉籽饼、豆粉市场价格环比上涨分别为0.9%、2.6%、7.5%、3.7%、14.8%、8.0%;菜籽、苜蓿粉市场价格环比下降分别为6.9%、1.1%。

国际畜产品价格涨跌互现。美国育肥牛价格环比上涨1.7%,瘦肉猪价格环比下降5.7%,鸡肉价格与11月持平,牛肉价格环比下降0.8%。欧盟猪肉价格环比上涨0.6%。新西兰羊羔肉价格环比下降2.5%,羊肉价格环比下降3.4%。

表1 2013年12月国际市场主要饲料与畜产品平均价格

饲料	价格	畜产品	价格
玉米	168.03 USD · t ⁻¹	瘦肉猪	1.90 USD · kg ⁻¹
大豆	488.98 USD · t ⁻¹	育肥牛	3.68 USD · kg ⁻¹
高粱	190.50 AUD · t ⁻¹	猪肉*	2.23 USD · kg ⁻¹
豆粕	448.11 USD · t ⁻¹	鸡肉**	2.30 USD · kg ⁻¹
菜籽	454.01 CAD · t ⁻¹	牛肉**	4.48 USD · kg ⁻¹
豆粉	472.04 USD · t ⁻¹	羊肉***	2.24 USD · kg ⁻¹
棉籽饼	437.00 USD · t ⁻¹	羊羔肉***	3.64 USD · kg ⁻¹
苜蓿粉	348.63 USD · t ⁻¹	牛奶**	0.42 USD · kg ⁻¹

注: * 表示欧盟, ** 表示美国, *** 表示新西兰。12月参考汇率为 1CNY(人民币)=0.165 USD(美元)=0.184 AUD(澳元)=0.176 CAD(加元)=0.101 GBP(英镑)。数据来源: 国际饲料 <http://www.agri.gov.cn/V20/SC/scjghq/gjhq/>, <http://price.mofcom.gov.cn/index.shtml>; 鸡肉 <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=chicken>; 猪肉 <http://www.thepigsite.com/>; 羊肉、羊羔肉 <http://www.interest.co.nz/rural>; 牛肉 <http://www.thebeefsite.com/>; 货币转化 <http://qq.ip138.com/hl.asp?from=CNY&to=CNY&q=100>。

(兰州大学草地农业科技学院 王迎新)