

青藏高原五道梁冻土活动层表面 二氧化碳和甲烷的排放^①

林清¹ 金会军¹ 程国栋¹ 李宁²

(1 中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室, 730000;

2 中国科学院兰州地质研究所, 730000)

摘要 通过静态箱取样方法, 首次获得青藏高原冻土活动层排放气体。分析测定结果表明, CH₄ 含量为 0.63~1.54 μg/g, 平均为 1.19 μg/g, 大多数样品 CH₄ 含量低于当地大气 CH₄ 含量(1.32 μg/g); CO₂ 含量为 0.15%~0.27%, 平均为 0.21%, 明显高于大气 CO₂ 的浓度(0.069%)。CH₄、CO₂ 含量具有一定的日变化特征。CH₄ 排放率为 -0.032~0.048 mg·m⁻²·h⁻¹, 平均为 0.001 mg·m⁻²·h⁻¹; CO₂ 排放率为 -56.503~61.425 mg·m⁻²·h⁻¹, 平均为 0.095 mg·m⁻²·h⁻¹。从所获得的冻土排放气体中 CH₄ 和 CO₂ 的浓度来看, 这种干燥寒冷的高原冻土活动层表面 CH₄ 排放较少, CO₂ 的排放较高。

关键词 青藏高原 冻土 CH₄ CO₂

青藏高原多年冻土区内生态环境和对流层大气基本未受人为扰动, 区内的生态系统以冻荒漠、草原和湖沼为主。第四纪以来由于青藏高原遭受广泛和强烈的冰川-冰缘作用, 约 $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4$ a BP 的珠穆朗玛冰期达到最冷, 高原气温比现在平均低 5~7℃, 冰川和冻土的厚度与规模都比现在大得多, 所导致的冷湿和还原环境, 沉积了大量有机物。与高纬和极地的多年冻土相比, 青藏高原日照辐射强, 昼夜温差大, 冻土的温度较高, 因而热力敏感性大。随着现今气温升高, 高原冻土区具有很大的温室效应气体释放潜力, 对全球的气候变化有一定的影响, 因而具有重要的研究价值。

冻土或苔原 CH₄ 和 CO₂ 排放的研究, 国外已有一些报道。Rasmussen *et al.* (1993) 研究了阿拉斯加不连续冻土区多年冻土芯中的 CH₄ 和 CO₂ 含量, 平均为 2.3 mg/kg (土) 和 28.1 mg/kg (土)。Moraes *et al.* (1993) 根据阿拉斯加地区的资料进行的模型计算结果, 认为全球尺度上平均每米厚度多年冻土中含有 CH₄ 和 CO₂ 约 6.5×10^{13} g 和 6.5×10^{14} g, 其中连续冻土区为 4.0×10^{13} g 和 4.0×10^{14} g, 不连续冻土区为 2.0×10^{13} g 和 2.0×10^{14} g, 岛状冻土区为 5.0×10^{12} g 和 5.0×10^{13} g。Kvenvolden (1993) 对冻土芯中的 CH₄ 作了分析。Whalen *et al.* (1992) 对北极冻原排放作了系统的工作, 获得了许多资料。作为大气层和冻结岩石圈气体交换界面窗口的活动层, 是决定多年冻土层

^①本文于1996年3月5日收到。

中及冻土表面主要温室气体排放和吸收强度的最重要的边界层, 该活动层随季节冻结融化作用表现出强烈的变化, 导致气体排放量为季节的波动。Panikov(1993)对西伯利亚地区冻土表面 CH_4 、 CO_2 排放进行了研究。结果表明, CH_4 、 CO_2 排放通量的时空变化性很大, 活动层的 CH_4 、 CO_2 排放主要决定于活动层 CH_4 生成; 下部生成的大部分 CH_4 通常在上层被吸收或氧化为 CO_2 。日本和俄罗斯 1992 年以来在西伯利亚地区对冻土排放 CH_4 和 CO_2 作了许多工作。这些工作都表明, 冻土具有很大的 CH_4 、 CO_2 排放源汇潜力。然而, 这些研究结果是海拔高度低、潮湿的沼泽环境条件下获得的, 对于青藏高原冻土季节活动层的 CH_4 、 CO_2 排放只有一定的参考意义, 不能说明这一地区的 CH_4 、 CO_2 排放的具体特征。为解决这一问题, 笔者在海拔 4 700 m 的青藏高原五道梁进行取样, 首次获得了高海拔冻土表面排放的气体, 测定了其中 CH_4 、 CO_2 含量, 得到了青藏高原冻土排放的 CH_4 和 CO_2 特征, 为深入研究走出了第一步。

五道梁处于青藏高原大片连续多年冻土分布区, 位于楚玛尔河高平原之上, 青藏公路 3 335 km 处(93° 36' E, 35° 43' N), 海拔为 4 645 m, 冻土上限在 2.0 m 左右, 植被为紫花针茅草原, 植被高度介于 20~45 cm 之间, 根系发达。

取样采用有机玻璃静态箱方法, 箱长、宽均为 65 cm, 高为 90 cm, 厚为 0.4 cm。四周以铝合金加以固定, 并用玻璃胶涂敷以保证密封, 内装小电扇以便取样时内部气体能均一化。

选择地表有草的静态箱安放点, 该点 40 cm 土层结构为上部是 15 cm 的粉砂层, 长有紫花针茅; 15~40 cm 为黑色淤泥质土, 草根扎入土中 20 cm 左右。在该点挖一深 25 cm 左右的方槽, 将取样箱水平埋入其中, 埋入深度为 20 cm, 沿箱外壁填土并砸实密封。箱埋好时取大气体样品作为本底, 为使气体得到一定的积累, 箱埋下后第五天才开始取箱中的气体。取样时首先开启电扇 2 min 左右, 然后用针管吸取箱内气体, 并用饱和食盐水排水方法将气体保存在玻璃瓶中。每天取样 3 次(8 时、14 时、20 时), 每次采样均测定气温和地温。瓶内存少量食盐水, 用胶塞塞上, 胶布缠紧并熔蜡密封, 倒置存放和运输。

气体分析使用 Finnigen 公司生产的 Mat-271 气体质谱仪测定, 测定精度 CH_4 为 $\pm 0.1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, CO_2 为 $\pm 1 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 将样品直接注入质谱仪中进行分析。

表 1 为取样时间、温度、测定的气体成分(CH_4 、 CO_2)和计算出的气体排放率。从表 1 数据得出冻土活动层排放 CH_4 含量为 0.63~1.54 $\mu\text{g}/\text{g}$, 平均为 1.19 $\mu\text{g}/\text{g}$; CO_2 含量为 0.15%~0.27%, 平均为 0.21%。 CH_4 含量多数低于当地大气 CH_4 含量(1.32 $\mu\text{g}/\text{g}$), CO_2 均高于当地大气 CO_2 浓度(0.07%)。

CH_4 、 CO_2 含量具有一定的日变化特征, 多数晚上(20 时)所取的气样中, CH_4 含量比早上(8 时)和中午(14 时)所取的气样高; 多数早上(8 时)所取的样品中, CO_2 含量较中午(14 时)和晚上(20 时)所取的样品高。多数中午(14 时)所取的样品, CH_4 和 CO_2 含量均较低。气温和地温具有一定的日变化特征, 而且气温和地温具有一定的正相关性, 早上的气温和地温最低, 中午的气温和地温最高。由此可以看出, 每一天中, 气温和地温处于较低时, 有利于 CO_2 的排放; 气温和地温处于中等时, 有利于 CH_4 的排放。

通过对 CH_4 和 CO_2 的排放率计算, 得出 CH_4 为 $-0.032 \sim 0.048 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$,

表 1 取样时间、温度、测定的气体成分和气体排放率

Table 1 Sampling time, ground / air temperatures and concentrations and flux of CH₄ and CO₂

时 间 (h)	时 间		CH ₄ (μg / g)	CO ₂ (g / g%)	地 温 (°C)	气 温 (°C)	CH ₄ 排放率 (mg · m ⁻² · h ⁻¹)	CO ₂ 排放率 (mg · m ⁻² · h ⁻¹)
	(月.日)	(时)						
	10.6		1.324	0.070				
0	10.8	8	1.385	0.211	-5.7	-7.5	0.003	61.425
6		14	1.054	0.146	14	1.2	-0.029	-56.503
12		20	0.794	0.176	-3.5	-1.4	-0.023	26.095
24	10.9	8	0.866	0.243	-8.8	-6.6	0.003	28.946
30		14	1.126	0.214	19.8	0.7	0.022	-24.956
36		20	1.126	0.194	-4.4	-1.7	0.000	-17.046
48	10.10	8	1.159	0.211	-15.3	-10.2	0.001	7.200
54		14	1.048	0.206	22	0.4	-0.010	-3.921
60		20	1.269	0.200	-5.8	-2.8	0.019	-5.219
72	10.11	8	1.214	0.247	-14.4	-9.9	-0.002	20.188
78		14	1.048	0.212	30	3.1	-0.014	-29.906
84		20	1.159	0.266	2.2	-1.1	0.009	45.432
96	10.12	8	1.269	0.217	-13.8	-9.7	0.005	-20.734
102		14	1.214	0.266	27.3	3.2	-0.005	41.397
108		20	1.048	0.243	-2.8	1.3	-0.014	-19.372
120	10.13	8	1.490	0.256	-13.7	-7.3	0.019	5.802
126		14	1.434	0.212	23.3	4.4	-0.005	-37.327
132		20	1.545	0.234	-4.3	0.7	0.009	17.989
144	10.14	8	1.142	0.208	-14.8	-9.5	-0.017	-10.904
150		14	1.252	0.188	22.3	4.8	0.009	-16.648
156		20	1.335	0.202	-2	1.6	0.007	11.506
168	10.15	8	1.230	0.202	-15.5	-10	-0.004	-0.000
174		14	1.203	0.188	19.8	2.4	-0.002	-11.467
180		20	1.308	0.197	-5.9	-1.9	0.009	7.632
192	10.16	8	1.021	0.179	-14.8	-10.9	-0.012	-7.619
198		14	0.634	0.206	27	-0.3	-0.032	22.819
204		20	1.208	0.222	-3.3	-2.4	0.048	12.656
216	10.17	8	1.148	0.215	-14.2	-10.5	-0.003	-2.527
222		14	1.324	0.170	22.2	0.4	0.015	-37.839
228		20	1.539	0.196	-3	-2.1	0.018	21.406
		平均值	1.186	0.211			0.001	0.950
		最大值	1.545	0.266			0.048	61.425
		最小值	0.634	0.146			-0.032	-56.503

平均为 $0.001 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; CO_2 为 $-56.5 \sim 61.4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 平均为 $0.095 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。从所得结果来看, 每一天中, 在大多数情况下, 晚上(20时) CH_4 和 CO_2 的排放率较早上(8时)和中午(14时)高。

将 CH_4 和 CO_2 排放率同时间和气温(地温)作图, 从图 1 可以看出, CH_4 和 CO_2 的变化有一些相似性, 随时间的增加, CH_4 排放的变化就越大, 两者的排放率经一定的时间后达到一定的同步性。从图 2 可以看出, CH_4 和 CO_2 气体的排放率同气温没有特定的相关性, 气体排放影响的因素较多, 每天的变化比率不同, 因此结果较为复杂。

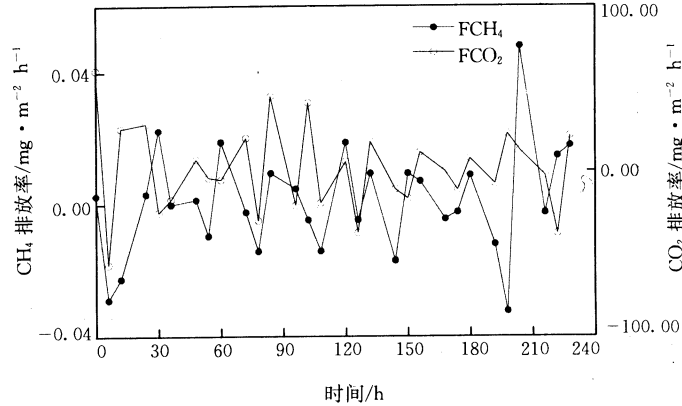


图 1 CH_4 和 CO_2 排放率同时间的关系

Fig. 1 The variation of CH_4 and CO_2 flux with time

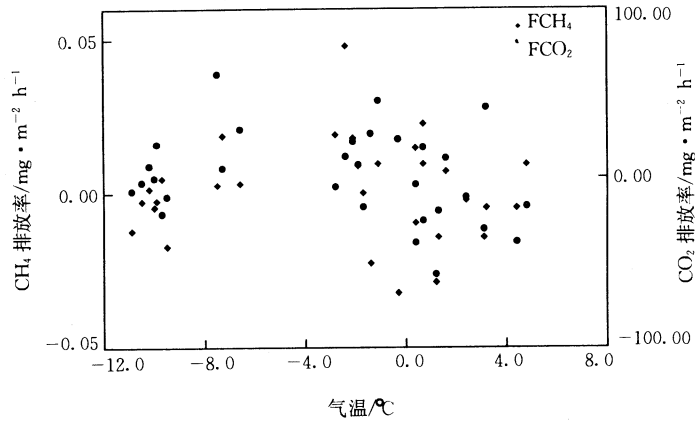


图 2 CH_4 和 CO_2 排放率同气温的关系

Fig. 2 The variation of CH_4 and CO_2 flux with air temperature

将 CH_4 和 CO_2 的日平均排放率与时间作图(图 3)可以发现, 随时间的增加, CH_4 排放率有增加的趋势, 而 CO_2 排放率在降低。同时 CH_4 在日平均排放率高的情况下, 而 CO_2 日平均排放率反而低, 两者呈相反的关系。我们有可能认为这同静态箱中的生物气体地球化学过程有关。

CH_4 的排放同细菌(产 CH_4 菌)有最密切的关系, 而 CO_2 的排放同生物呼吸作用和有机质分解作用有关。 CH_4 的排放在潮湿并且温暖的条件下较高, 而在干燥寒冷的条

件下较低。在静态箱中, CH_4 的含量并不呈现积累的趋势, 并且含量普遍低于大气浓度。可能有两个主要的原因导致这种现象: 1) 土壤内水分含量少, 地表干燥寒冷, 极不利于产 CH_4 菌的生存; 2) CH_4 由于某种作用被消除, 如光化学反应、生物氧化等。 CO_2 的含量在封闭的静态箱中呈现一定的积累, 并且远高于大气中的浓度, 主要是由于生物的呼吸作用造成的。

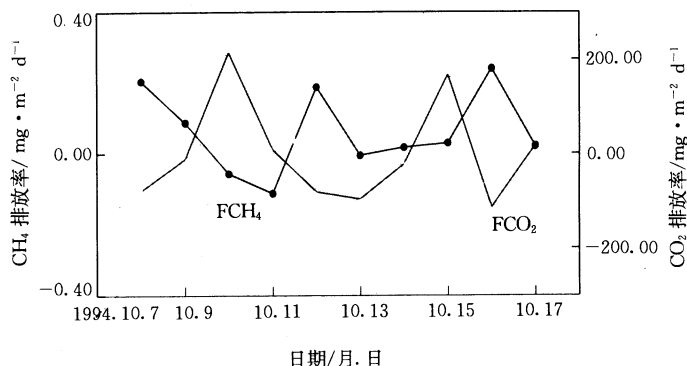


图 3 日平均 CH_4 和 CO_2 排放率随日变化

Fig. 3 Daily average flux of CH_4 and CO_2

CH_4 在晚上(8时)的含量比早上(8时)和中午(14时)的高, 一方面可能在白天强烈的日光照射下, CH_4 由于光化学反应产生氧化; 另一方面植物需氧呼吸, 产生一定的 CH_4 。因此中午时 CH_4 的含量普遍较之其它时间低。 CO_2 含量一般以早上(8时)浓度较高, 中午较低, 主要是由于光合作用造成的。夜间植物以呼吸作用为主, 中午由于日光辐射较强, 植物光合作用较强, 因而产生以上结果。

以上分析表明, 中午时 CH_4 和 CO_2 均处于较低的浓度, 可以解释 CH_4 和 CO_2 的排放率在晚上较高的现象。从所获得的冻土排放气体中 CH_4 和 CO_2 的浓度来看, 这种干燥寒冷的冻土活动层表面可能是 CH_4 的汇、 CO_2 的排放源。

致谢: 该研究得到五道梁气象站和兵站同志的帮助, 采样得到中国科学院青藏高原综合研究站的支持和王绍令老师的帮助。样品分析由李力武同志完成, 对此表示感谢!

参 考 文 献

- Kvenvolden K A *et al.* 1993. Methane content in permafrost—preliminary results from coring at Fairbanks, Alaska. *Chemosphere*, **26**(1~4): 609~616.
- Moraes F *et al.* 1993. Permafrost methane content: 2. Modeling theory and results. *Chemosphere*, **26**(1~4): 595~607.
- Panikov N S *et al.* 1993. Emission of CO_2 and CH_4 from northern wetlands to atmosphere: dynamics, controlling factors and tentative mechanism. In *Proceedings of the 1st Intern. Conf. on Cryopedology*, 208~215.
- Rasmussen R A *et al.* 1993. Permafrost methane content: 1. Experimental data from sites in northern Alaska. *Chemosphere*, **26**: (1~4): 591~594.
- Whalen S C and W S Reeburg. 1992. Interannual variations in tundra methane emission: a 4-year time series at fixed sites. *Global Biogeochemical Cycles*, **6**: 139~159.

CH₄ and CO₂ Emission from Permafrost Surface in Wudaoliang in the Tibetan Plateau

Lin Qing¹, Jin Huijun¹, Cheng Guodong¹ and Li Ning²

(1 *State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, LIGG, CAS, 730000;*

2 *Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, 730000*)

Abstract

Research on emission of greenhouse gases from permafrost surface has been of importance and concerns recently in the study of global climatic and environmental change. We sampled and measured gas emitted from a dry meadow in permafrost area in Wudaoliang in the Tibetan Plateau, with a static chamber method. The concentration of CH₄ in the chamber is from 0.63 to 1.54 μg / g, with an average of 1.19 μg / g, which are lower than 1.32 μg / g, the local atmospheric methane concentration. And those of CO₂ vary from 0.15% to 0.27%, with an average of 0.21%, which are obviously higher than 0.069%, the atmospheric CO₂ concentration. Both CH₄ and CO₂ concentrations have their diurnal variations, with their peaks occurring in the evening (20:00) and the morning (8:00), respectively. Emission rate of CH₄ ranges from -0.032 to 0.048 mg · m⁻² · h⁻¹, with an average of 0.001 mg · m⁻² · h⁻¹. While that of CO₂ ranges from -56.503 to 61.425 mg · m⁻² · h⁻¹, with an average of 0.095 mg · m⁻² · h⁻¹. These results coincide with the fact that methane is produced by bacterial activities in wet soil and consumed by the ways of photochemical reactions and oxidation, and that carbon dioxide is produced by the biotic respiration in strongly radiative and dry plateau. Based on the concentrations of CH₄ and CO₂, we suggest that the dry meadow in the permafrost area is a source of CH₄ and a sink of CO₂, respectively.

Key words: Tibetan Plateau, permafrost, emission of CH₄ and CO₂

第一作者简介: 林 清, 男, 30 岁, 博士后, 现从事地球化学研究。