

土壤含水量与温度对羊草、大针茅 典型草原土壤-植物系统温室气体 收支影响的初步研究

杜 睿¹⁾ 陈冠雄²⁾ 吕达仁¹⁾ 王庚辰¹⁾

1) 中国科学院大气物理研究所中层大气和全球环境探测开放实验室, 北京 100029

2) 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015

摘 要 本研究首次以我国内蒙古典型草原生态系统为研究对象, 以密闭箱法对土壤-植物系统与大气间 N_2O 和 CH_4 气体交换进行了原位观测研究, 通过结合实验室模拟实验研究表明, 土壤含水量和温度对草原土壤-植物系统温室气体 (N_2O 和 CH_4) 排放通量有着重要的影响。在一定范围内, 土壤含水量增加促进草原生态系统 N_2O 排放和 CH_4 吸收作用。温度升高促进草原生态系统 N_2O 排放, 但对 CH_4 吸收的影响作用不明显。

关键词 土壤含水量 温度 一氧化二氮 甲烷

1 引言

草原生态系统在全球陆地生态系统中占有举足轻重的地位。它对全球气候变化的影响, 以及对大气中主要的温室气体 N_2O 和 CH_4 的排放、吸收的贡献越来越多地受到人们的关注。本研究以中科院草原生态系统定位研究站 (简称“定位站”) 作为野外实验监测点, 对于影响我国典型温带草原生态系统的温室气体 N_2O 和 CH_4 的收支的主要环境因素土壤含水量和温度进行研究, 发现主要环境因素与气体通量变化之间的相互关系以期找出控制和调节草原生态系统温室气体排放最佳途径。

2 实验地点

定位站位于内蒙古锡林郭勒大草原白音锡勒牧场内 ($43^{\circ}26' \sim 44^{\circ}08'N$, $116^{\circ}04' \sim 117^{\circ}05'E$), 羊草草原和大针茅草原在温带草原中均具有代表性。本研究分别在羊草和大针茅样地中进行。表 1 列出了羊草样地和大针茅样地的主要有关背景情况^[1,2]。

2 实验方法

在每次抽检气体样品的同时, 测定并记录此时的气温、地表温度和 0~20 cm 地

表 1 羊草样地和大针茅样地的主要有关背景情况

样 地	土 壤 类 型	土壤养分 (0~10 cm)				土 壤 含水量	建群种	优势种	地 上 生物量
		有机质	全 N	全 P	pH				
羊 草	暗 栗 土 暗 钙 土	3.36%	0.206%	0.080%	6.6	7%~20%	羊 草	冰草、大针茅 糙隐子草、苔草	142
大针茅	典 型 栗钙土	1.96%	0.13%	0.070%	7.8	5%~15%	大针茅	冰草、大针茅 糙隐子草	125

温。在气体采集箱周围附近随机采集 0~20 cm 土壤样品用于室内模拟实验。土壤含水量用重量烘干法测定,以重量百分比表示。

2.1 野外实验样地的设计

在羊草样地和大针茅样地内分别选择一处 15 m×20 m 的样方作为 N₂O 和 CH₄ 通量的测定地点,将静态气体收集箱按 15 m 左右间距分散布置。

2.2 气体样品的采集

用密闭箱法测量温室气体 N₂O 和 CH₄ 的排放通量。即将内径为 15 cm、高为 24 cm 没有底面的 PVC 圆筒小箱插入土壤 4 cm 深,壁外以泥土密封,以防漏气。顶盖有一小孔,插一带胶皮管的密封塞。依次在小筒插入土壤 0 时、1 时、1.5 时用 100 mL 医用注射器从胶皮管内抽取箱内气体样品,分别注入采样气袋(化工部大连光明化工研究所生产)中,运回实验室进行气相色谱分析。每次观测均设置 3 个重复,3 个箱体所围面积一般不小于 50 m²。通常情况下,每次野外检测每个样地均连续两天进行测定。在大针茅样地内进行气体通量日变化的测定,即从早晨 6:00 到晚上 9:00,每间隔 3 小时进行一次气体通量测定,其中 1.5 小时将气体采集箱罩在土壤上进行气体采集,另 1.5 小时将气体采集箱挪开,使土壤恢复。

2.3 土壤样品的采集

用于实验室模拟实验的草原土壤分别采自内蒙古羊草草原和大针茅草原(定位站羊草样地和大针茅样地),每次在各气体收集箱附近随机采集,12~15 次重复,采样深度为 0~20 cm,储存于密封的塑料袋中运回实验室内并在短期内对鲜土进行实验处理。

2.4 室内模拟实验方法

2.4.1 温度对草原土壤 N₂O 产生作用和 CH₄ 吸收作用的影响

称 20 g 鲜土置于 80 mL 培养瓶中,加盖密封。分别于不同温度下(5°C、17°C、23°C、30°C、37°C)进行培养,每个温度处理 3 个重复,每隔 24 小时测定瓶内气体中 N₂O 和 CH₄ 浓度。

2.4.2 土壤含水量对草原土壤 N₂O 产生作用的影响

称 20 g 鲜土置于 80 mL 培养瓶中,通过计算滴加蒸馏水使瓶内土壤含水量分别达到 8%、10%、20%、28% 和 34% (质量比),每个水分处理 3 个重复,置于 30°C 恒温箱中培养,每隔 24 小时测定瓶内气体中 N₂O 浓度。

2.4.3 土壤含水量对草原土壤 CH₄ 氧化作用的影响

称 30 g 鲜土置于 300 mL 培养瓶中,通过计算滴加蒸馏水使瓶内土壤含水量分别达到 6.7%、17%、28% 和 34% (质量比),加盖密封。分别注入 10 μL (纯度为 99.99%) CH₄,每个水分处理 3 个重复,置于 30°C 恒温箱培养,每隔 24 小时测定瓶

内气体中 CH_4 浓度。

2.5 N_2O 和 CH_4 的分析测定

用日本岛津制作生产的 GC-14A 气相色谱仪对 N_2O 进行分析,检测器为电子捕获检测器 (ECD),分离柱内填充料是 Porapak Q, 计算机程序控制定量管 (1 mL) 和十通阀自动进样并将空气样品中的水分在进入检测器前反吹掉,载气为高纯氮气,流速是 60 mL/min,检测器温度为 300°C,分离柱温度为 60°C,进样口温度为 100°C。

用北京分析仪器厂的 SP-2305E 型气体色谱仪对 CH_4 进行分析,检测器为氢焰离子化检测器 (FID)。分离柱内填充料为 13X5A 分子筛,载气为高纯氮气,分离柱温度为 150°C,检测器温度为 180°C。所用的标准 N_2O 和 CH_4 气体是国家标准物质研究中心所提供并用澳大利亚 CSIRO 大气所赠送的标气校核。

2.6 通量的计算

在单位面积和单位时间内气体质量的变化即该气体的通量,用公式表示为

$$F = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho \cdot V \cdot \Delta C}{A \cdot \Delta t} = \rho \cdot h \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

式中, F 为气体通量, ρ 为气体密度, Δm 和 ΔC 分别是 Δt 时间内的采集箱中变化的气体质量和混合比浓度, h 、 A 、 V 分别为箱高、底面积和体积, $\Delta C / \Delta t$ 为采集箱内气体浓度的变化率。气体通量 F 为负值时表示土壤从大气中吸收该气体,为正值时表示土壤向大气排放该气体。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量对 N_2O 通量的影响

3.1.1 土壤含水量对草原土壤-植物系统 N_2O 通量季节变化的影响

许多研究表明土壤含水量与其硝化作用和反硝化作用之间具有重要的相关性,直接影响着土壤 N_2O 的排放。本研究野外观测地点正处于温带半干旱季风气候带中,降雨是其主要的水分来源,土壤含水量成为重要的环境限制因子。图 1 为野外观测到的 0~5 cm 土壤含水量与两类天然草原土壤-植物系统 N_2O 排放通量季节变化间的影响关系。由图可知,潜层土壤含水量与草原土壤 N_2O 排放通量之间具有明显的相关性,潜层土壤含水量的升降直接影响着土壤 N_2O 排放通量的变化趋势,在本文的室内模拟实验中也发现了同样的结果。Goodroad 等^[3]野外原位观测发现 N_2O 排放季节变化模式很大程度上受到土壤温度与土壤含水量的影响。Deamead 等^[4]在野外观测草原 N_2O 排放时认为 N_2O 主要由上层地表土壤所产生,地表温度和含水量成为影响草原土壤 N_2O 排放通量的重要环境因素。Smith^[5]对于土壤含水量与 N_2O 通量间的关系认为,WFPS 增加使土壤团聚体中氧气浓度下降,使厌氧区域体积呈指数函数增加从而使得反硝化作用速率随着厌氧区域体积的增加而增加。

3.1.2 培养条件下土壤含水量对草原土壤 N_2O 产生作用的影响

图 2 为实验室条件下土壤含水量与两种类型草原土壤 N_2O 产生作用间的关系。从图上可以看出在一定范围内,土壤含水量对羊草草原暗栗钙土壤和大针茅草原典型栗钙

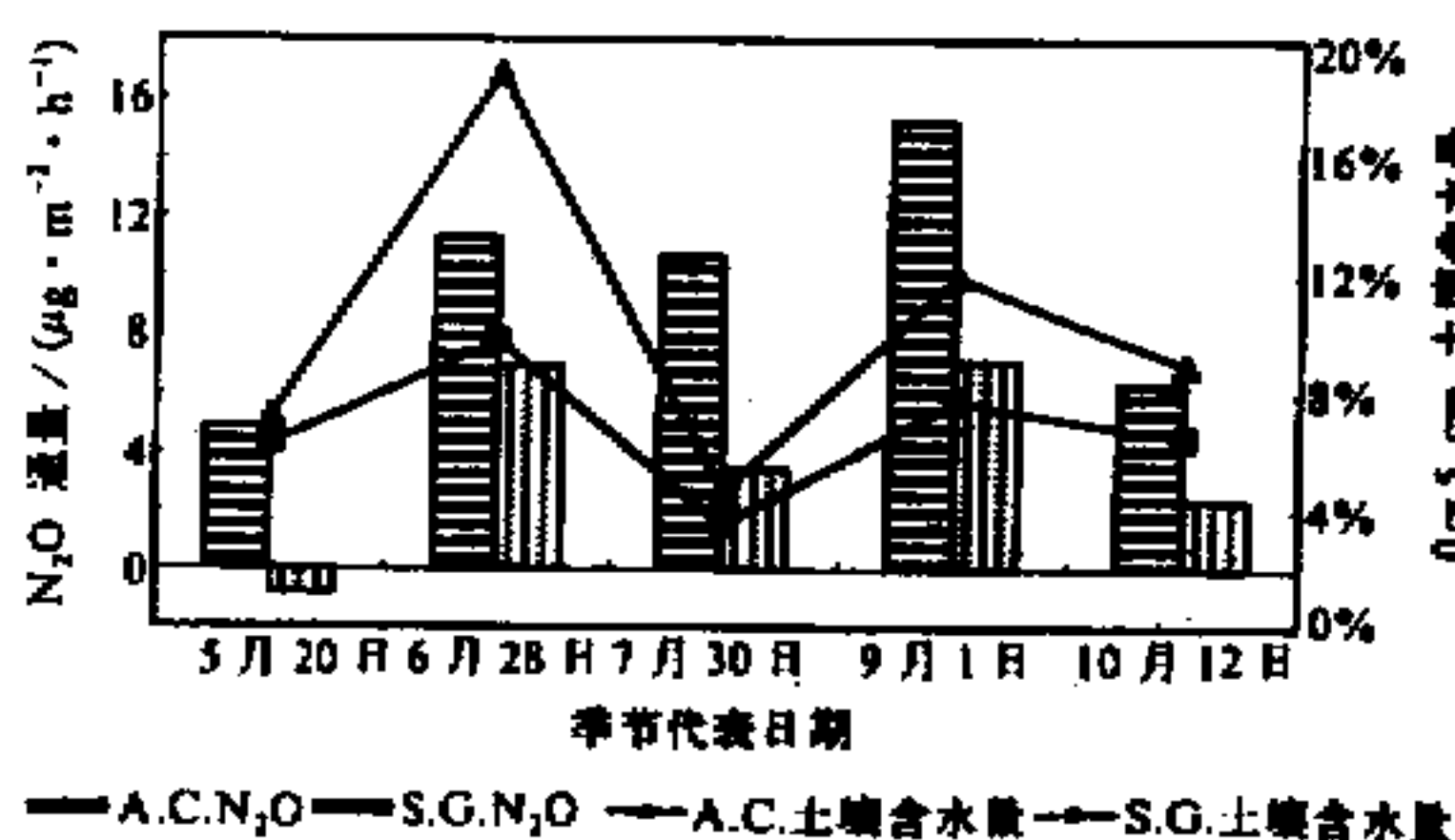


图1 草原生态系统 N_2O 通量季节变化与 0~5 cm 土壤含水量的关系。A.C. 为羊草 (*Aneurolepidium chinense*)；S.G. 为大针茅 (*Stipa grandis*)

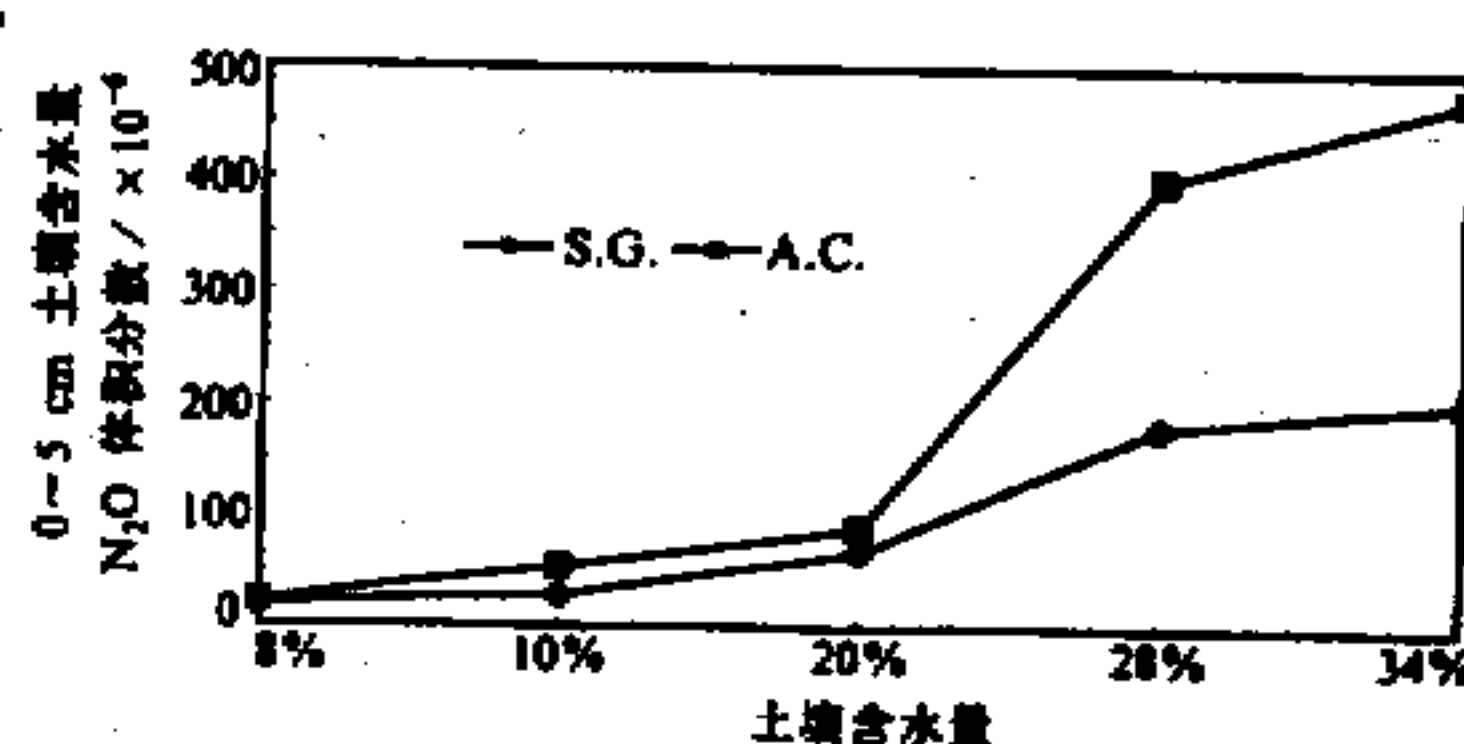


图2 土壤含水量对草原土壤 N_2O 产生量的影响
说明同图1

土壤 N_2O 的产生具有明显的促进作用, 野外原位观测发现两种类型草原生态系统 N_2O 排放量与地表土壤含水量之间存在明显的正相关趋势, 这是由于土壤水分与硝化和反硝化作用之间具有重要的相关性, 随着土壤含水量的增加, 土壤反硝化作用增强。

3.2 土壤含水量对 CH_4 通量的影响

3.2.1 土壤含水量对草原土壤-植物系统 CH_4 通量季节变化的影响

图3为野外条件下土壤水分(0~5 cm 深土壤含水量)与羊草草原和大针茅草原 CH_4 通量季节变化间的相互关系。可以看出在整个监测期间, 土壤水分对草原 CH_4 通量季节变化具有明显的影响, 可能是受野外实验条件的限制, 两者之间的关系比较复杂。对于羊草草原, CH_4 吸收通量与潜土层含水量呈现明显的正相关, 随着土壤含水量的升高而升高; 大针茅草原, CH_4 吸收通量与潜土层含水量总趋势也呈现正相关但不如羊草草原显著。这与已有的 CH_4 氧化作用随着土壤含水量升高而降低的研究结果并不一致, 作者认为这首先是由于监测地点地带性土壤为栗钙土而且多砂壤质, 两种类型的草原土壤田间持水量(见表1)均在30%以下, 土壤通常处于近似干土(dry soil)的干燥状态下, 可能不利于甲烷氧化菌的活性; 另外由于土壤多砂壤质, 上层土壤结构较松散, 在未达到淹水状态下, 随着土壤含水量的升高, 对于土壤透气性的改变不是很显著, 不阻碍甲烷氧化菌的活性, 在干燥状态下土壤含水量的升高, 可能在一定程度上促进了甲烷氧化菌的活性。Mosier 等^[6]研究草地 CH_4 、 N_2O 通量时也发现在很干燥状态下, CH_4 吸收和 N_2O 排放都会降低, 直到土壤含水量升高才会增加。

3.2.2 培养条件下土壤含水量对草原土壤 CH_4 氧化作用的影响

图4、图5分别为实验室条件下土壤含水量对羊草草原暗栗钙土壤和大针茅草原典型栗钙土壤 CH_4 氧化作用的影响。图4的实验结果表明在96小时培养时间内土壤含水量在一定范围内, 与羊草草原暗栗钙土壤 CH_4 氧化作用之间存在明显的正相关性。从图5的实验结果观察大针茅草原典型栗钙土壤 CH_4 氧化作用与土壤含水量之间同样存在着正相关性, 在一定范围内随着土壤含水量的升高 CH_4 氧化作用增强, 室内模拟实验结果进一步证实野外观测所得内蒙古草原土壤 CH_4 氧化作用与土壤含水量之间确实存在着的这种异于其他研究结果的关系。

3.3 温度对 N_2O 排放的影响

3.3.1 温度对草原土壤-植物系统 N_2O 通量变化的影响

众多的研究均已表明温度是影响 N_2O 排放的重要的环境因子。本研究野外观测结果如图 6。温度与 N_2O 通量之间存在着一定的相关性, 这是由于温度升高促进了 N_2O 的生物产生过程, 使土壤中 N_2O 的产生增多。从温度这一角度解释天然草原土壤-植物系统 N_2O 排放通量季节变化呈现夏、秋两季较高而春、冬两季较低的原因。

3.3.2 培养条件下温度对草原土壤 N_2O 产生作用的影响

图 7、图 8 分别是温度对羊草草原暗栗钙土壤和大针茅草原典型栗钙土壤 N_2O 产生作用的影响。结果表明, 羊草草原暗栗钙土壤和大针茅草原典型栗钙土壤在 72 小时培养时间内 N_2O 产生量与温度之间存在着正相关关系, 随着温度的升高, N_2O 产生量

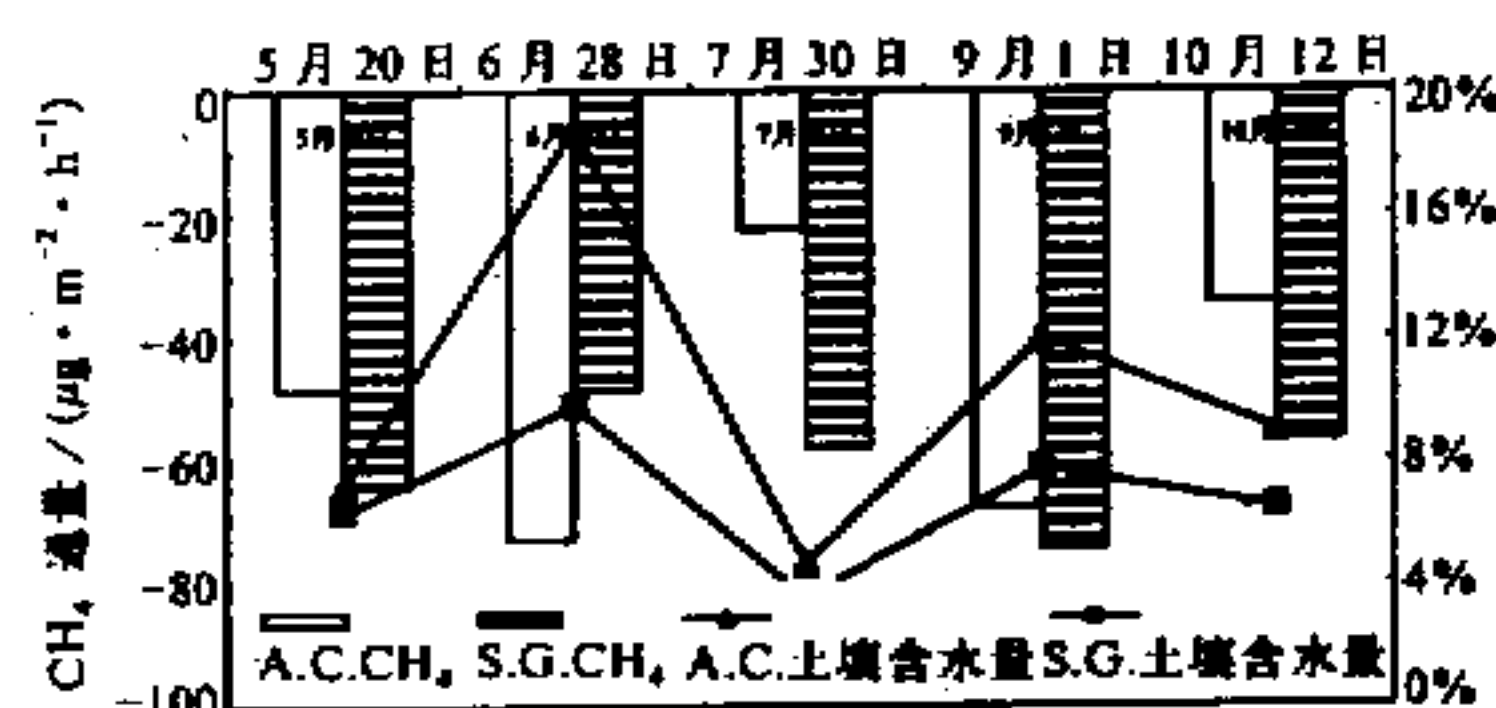


图 3 土壤含水量与草原生态系统 CH_4 吸收通量变化的关系。说明同图 1

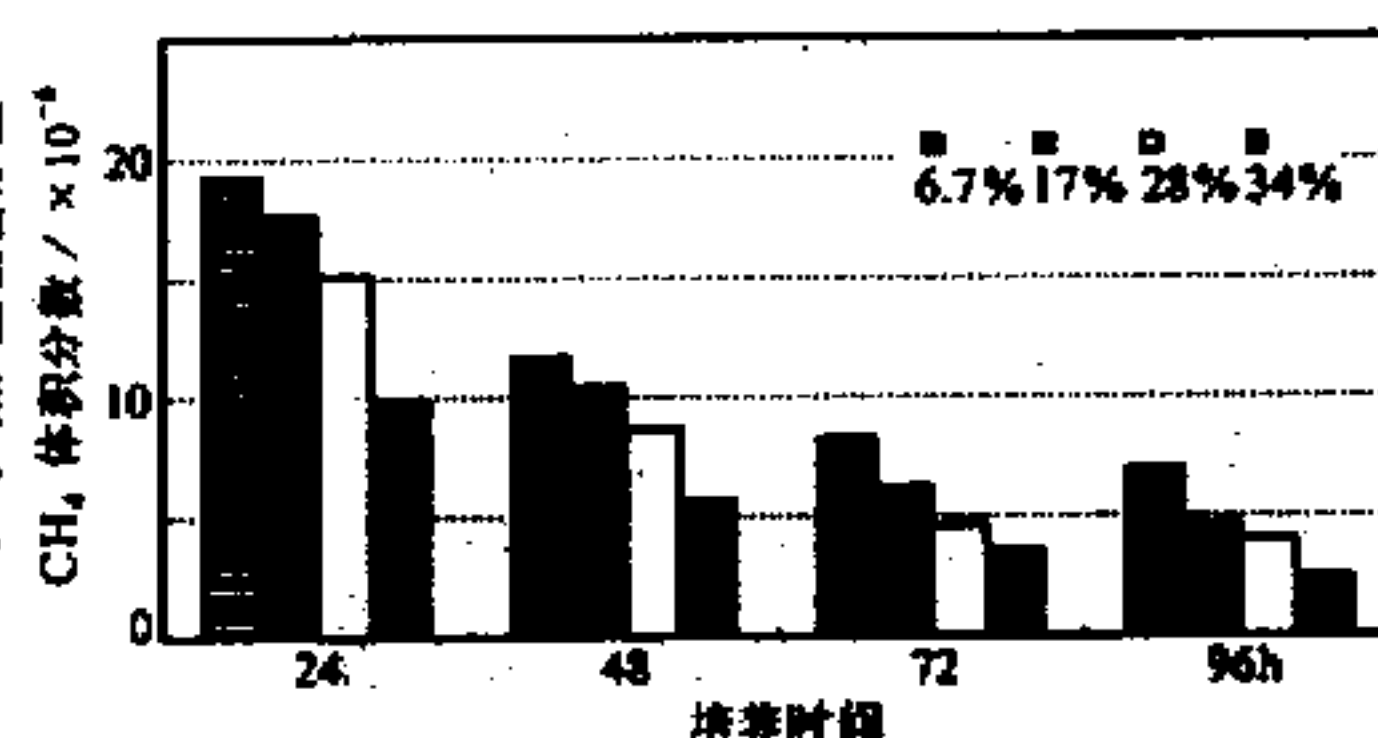


图 4 土壤含水量对羊草草原暗栗钙土壤 CH_4 氧化作用的影响

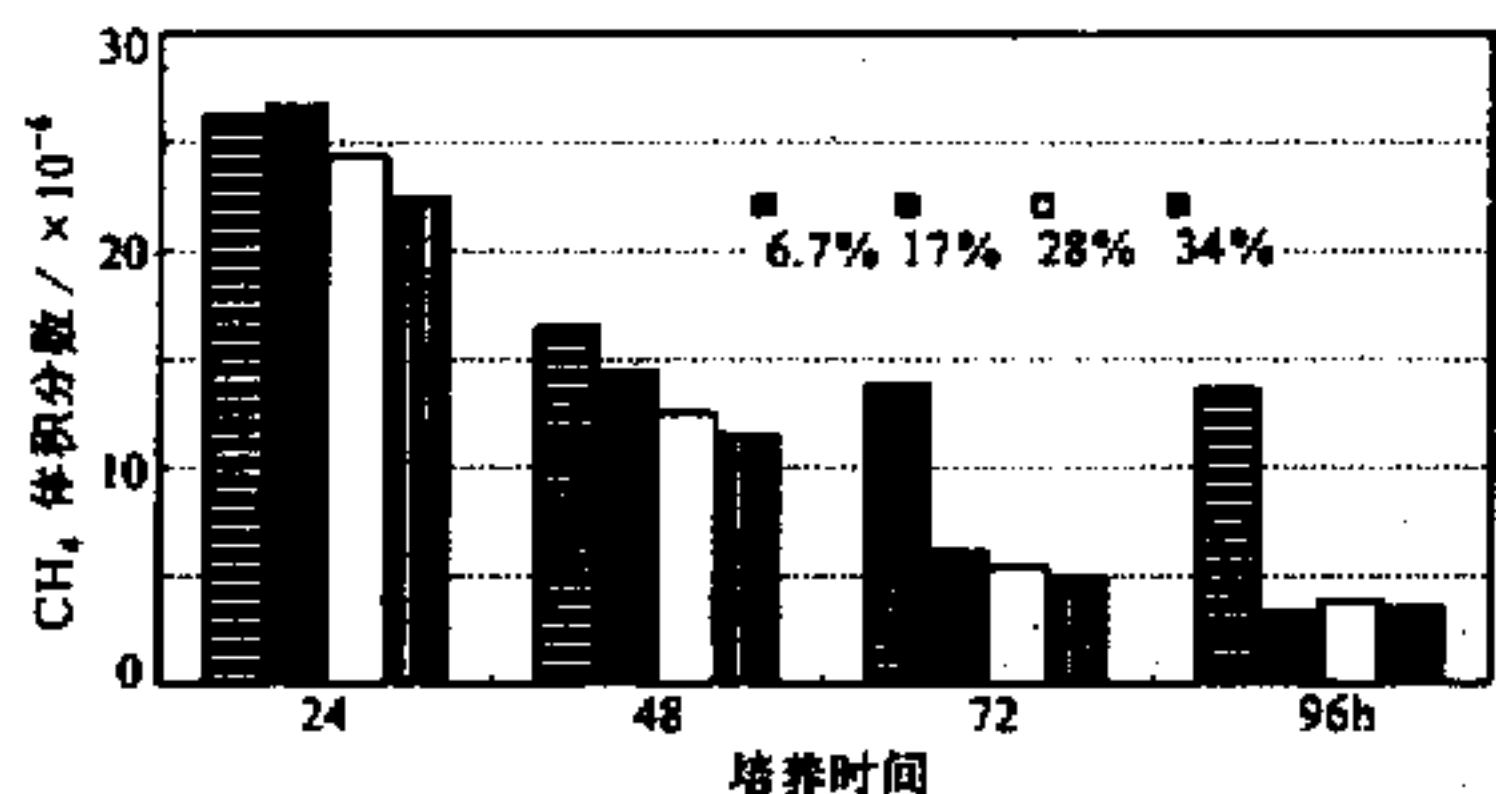


图 5 土壤含水量对大针茅草原典型栗钙土壤 CH_4 氧化作用的影响

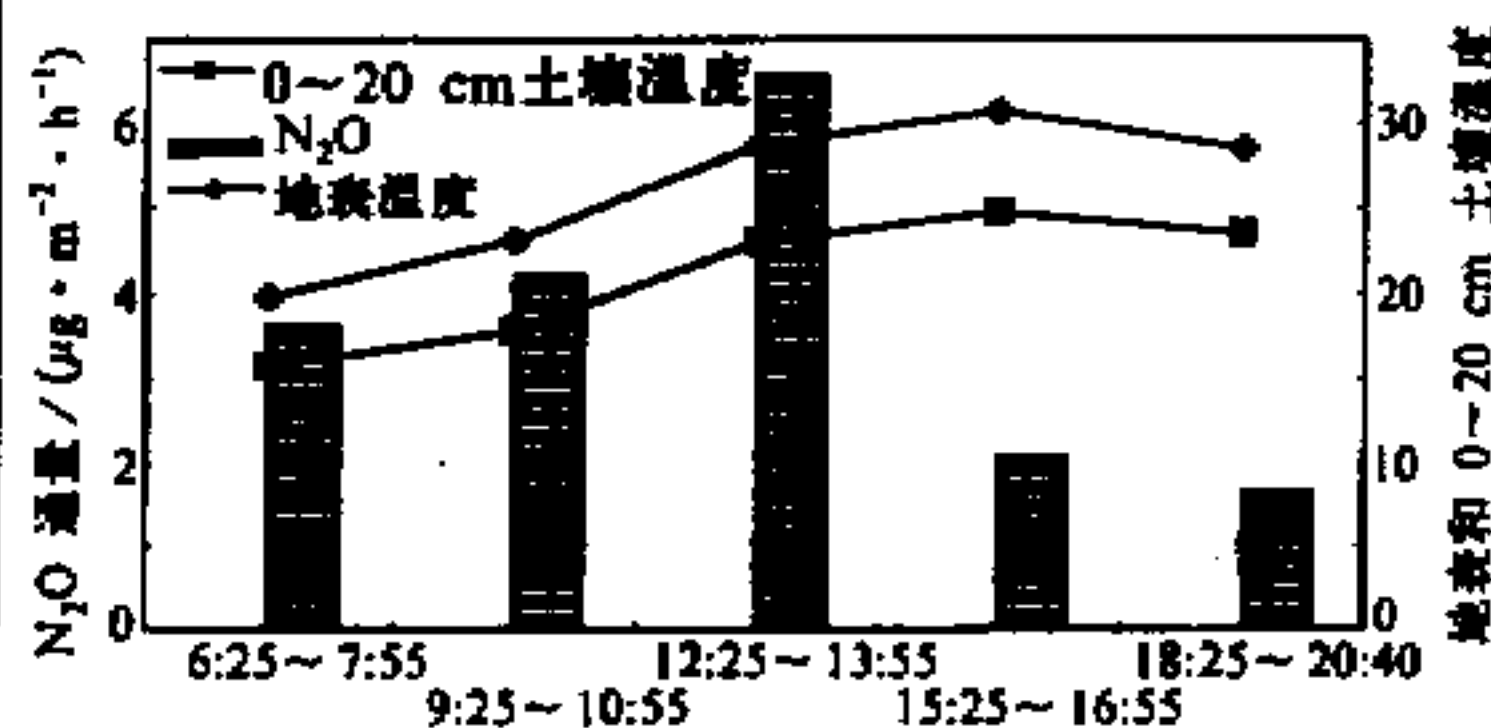


图 6 温度对大针茅草原生态系统 N_2O 日排放的影响



图 7 温度对羊草草原暗栗钙土壤 N_2O 产生量的影响

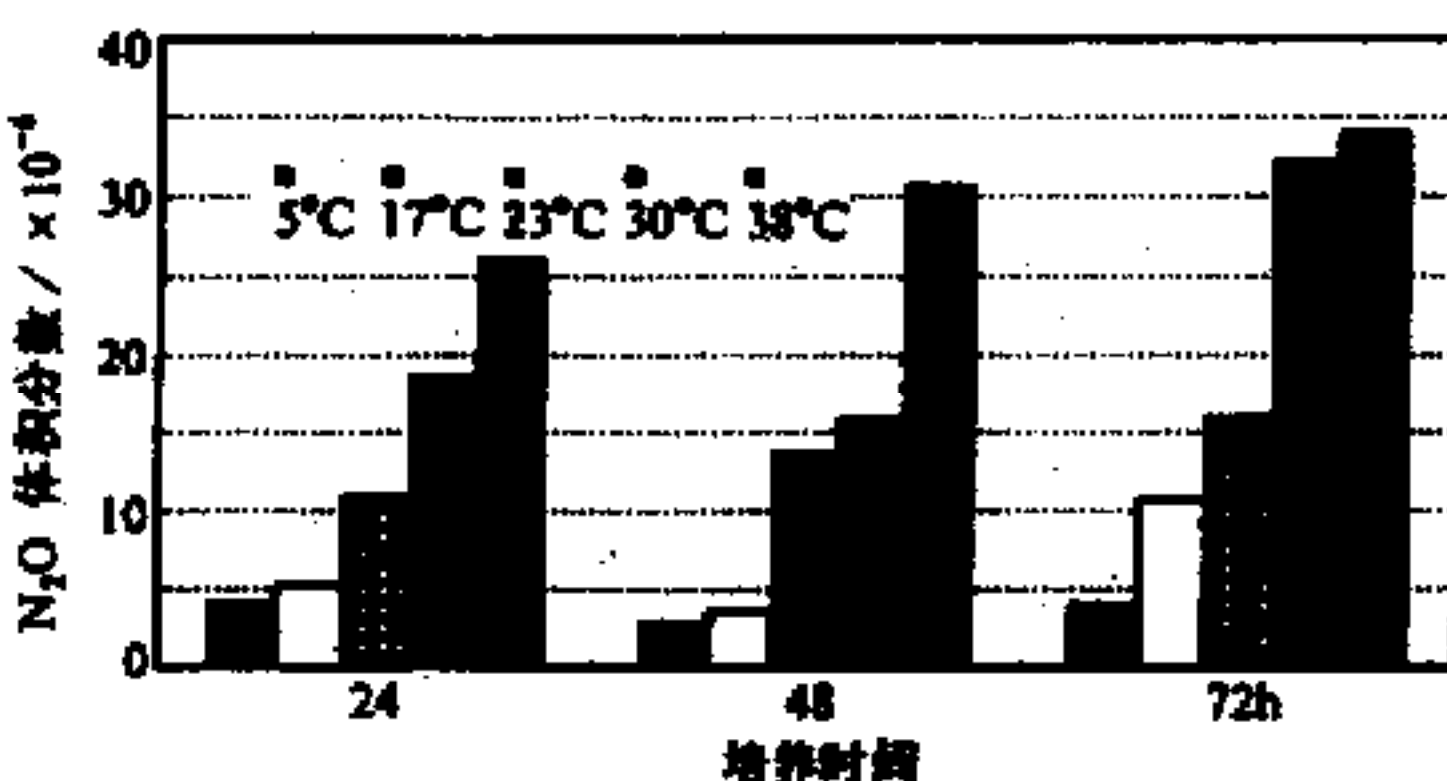


图 8 温度对大针茅草原典型栗钙土壤 N_2O 产生量的影响

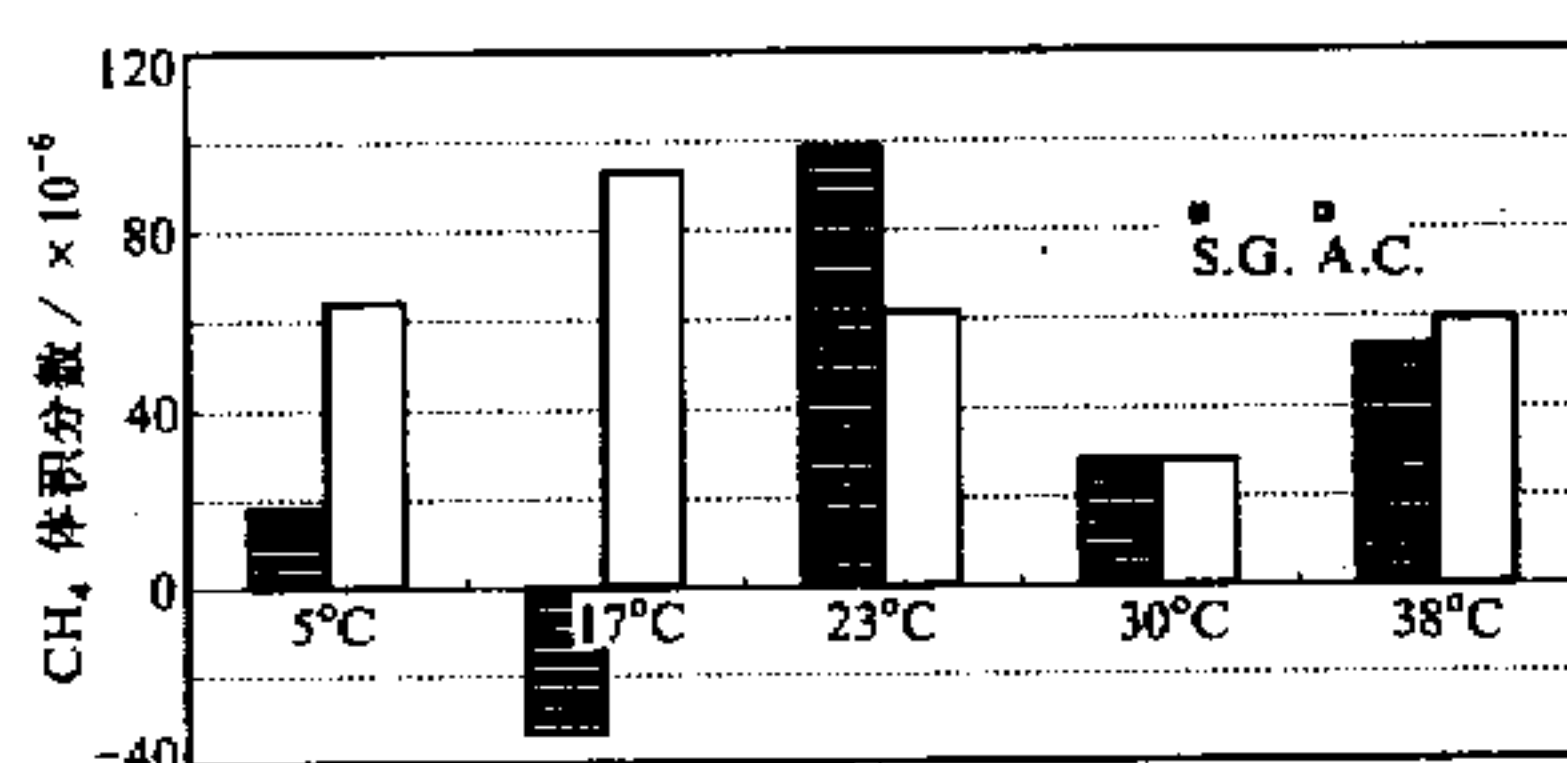


图9 温度对草原土壤 CH₄ 吸收量的影响(48 小时)

说明同图 1

图 9 为室内模拟实验的温度与两种草原土壤 CH₄ 吸收作用间的关系。实验结果同样显示出草原土壤 CH₄ 吸收作用与温度之间不存在十分显著的相关性。温度对草原土壤 CH₄ 吸收有影响, 但其作用效果较复杂, 尚未发现有明显的规律性。

4 结论

本研究通过野外原位观测和室内模拟实验相结合, 研究发现重要的环境因素土壤含水量和温度对于草原土壤-植物系统温室气体的收支具有较为显著的影响。土壤含水量与草原土壤-植物系统 N₂O 排放和 CH₄ 吸收作用之间均存在着正相关关系。温度对于草原土壤-植物系统 N₂O 排放具有明显的促进作用, 但与 CH₄ 吸收作用的相关性不显著。

参 考 文 献

- 1 宋炳煜, 1995, 草原区不同植物群落蒸发蒸腾的研究, 植物生态学报, 19(4), 319~327.
- 2 廖仰南等, 锡林河流域土壤微生物生物量及其季节动态的研究, 草原生态系统研究, 第一集, 科学出版社, 181~192.
- 3 Goodroad, L.L. and D. R. Keeney, 1984, Nitrous oxide production in aerobic soils under varying pH, temperature and water content, *Soil Biol. Biochemistry*, 16, 39~43.
- 4 Deamead, O. T. et al., 1979, Studies of nitrous oxide emission from a grass sward, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 726~728.
- 5 Smith, K.A. and J. R. M. Arah, 1990, Losses of nitrogen by denitrification and emissions of nitrogen oxides from soils, *Proc. Fert. Soc. London*, No.299.
- 6 Mosier, A. R., D. Schime, D. Valentine, K. Bronson and W. Parton, 1991, Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grassland, *Nature*, 350, 330~332.
- 7 Castro, M.S. et al., 1995, Factor controlling atmospheric methane consumption by temperate forest soils, *Global Biogeological Cycles*, 9, 1~10.
- 8 Crill, P., 1991, Seasonal patterns of methane uptake and carbon dioxide release by a temperate woodland soil, *Global Biogeochemistry Cycles*, 5, 19~334.

增加, 这与野外观测的实验结果相吻合, 这是由于在一定的温度范围内, 随着温度的升高, 土壤微生物活性增强, 促进了草原土壤 N₂O 的产生。

3.4 温度对 CH₄ 排放的影响

野外通量观测中没有发现 CH₄ 通量与温度间的显著相关关系, 但有研究指出温度对 CH₄ 氧化作用有影响, 但此影响作用主要在冬季温度较低或在季节交替的过渡时期表现较明显^[7,8]。

The Primary Study on the Effect of Soil Moisture and Temperature on Greenhouse Gases Fluxes from *Aneurolepidium Chinense* and *Stipa Grandis* Typical Prairie Soil-Plant System

Du Rui¹⁾, Chen Guangxiong²⁾, Lu Daren¹⁾ and Wang Gengchen¹⁾

1) *Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2) *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015*

Abstract Using the closed chamber technique, the in situ measurements of N₂O and CH₄ fluxes from temperate typical nature grassland soil-plant system was firstly conducted in the Inner Mongolia. The effect of soil moisture and temperature was studied in the lab. The results showed a great effect of soil moisture and temperature on N₂O and CH₄ fluxes from grassland ecosystem. To some extent, the increasing of soil moisture and temperature will improve N₂O emission. In the meantime, with the increasing of soil moisture, CH₄ consumption will be improved, but there is no significant relationship between temperature increasing and CH₄ absorbing.

Key words soil moisture temperature N₂O CH₄