

农垦与放牧对内蒙古草原 N_2O 、 CO_2 排放和 CH_4 吸收的影响

王跃思¹, 纪宝明², 黄耀¹, 胡玉琼¹, 王艳芬² (1. 中国科学院大气物理研究所 大气边界层物理和大气化学国家重点实验室 北京 100083; 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要: 利用优选静态箱/气相色谱法(GC), 首次对我国内蒙古草原典型地区进行了人类活动对 N_2O 、 CO_2 和 CH_4 交换通量影响的实验观测. 结果表明, 农垦麦田 N_2O 平均排放通量比原始草原高出 3 倍, 并改变了草甸草原为 CO_2 汇的性质, 使其季节排放净通量以 C 计增加 $14.3 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 随放牧强度的增加 CO_2 排放通量呈线性增长, 轻牧会引起草原对 CH_4 吸收的大幅增加, 而随着放牧压力的增大, 增加值迅速回落. 农垦麦田与草甸草原相比地-气间 CH_4 交换无显著变化, 放牧强度对 N_2O 排放影响无显著规律. 土壤湿度和温度是影响草原排放 N_2O 和 CO_2 、吸收 CH_4 季节变化形式的关键因子, 而人类活动仅影响排放强度. 排放和吸收量年际间差异很大, 但主要受降水的影响. N_2O 和 CO_2 排放与 CH_4 吸收峰值相反现象普遍存在.

关键词: 农垦; 放牧; 草原; 温室气体; 大气环境

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)06-07-0007

Effects of Grazing and Cultivating on Emission of Nitrous Oxide, Carbon Dioxide and Uptake of Methane from Grasslands

Wang Yuesi¹, Ji Baoming², Huang Yao¹, Hu Yuqiong¹, Wang Yanfen² (1. LAPC, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Measurement of N_2O , CO_2 and CH_4 with the optimized closed chamber/GC technique in the typical grassland, which were influenced by human activities, grazing and cultivating first time in situ were carried out in Inner Mongolia of P. R. China from 1998 to 1999. It was found that wheat cropping can increase N_2O production 3 times than the native, and changed a CO_2 sink of Inner Mongolia Steppe to a significant source, increased efflux CO_2 (C) average $14.3 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ from Jun. to Dec. in 1998. CH_4 uptake was highly increased if there was grazing lightly. There were no effects of wheat cropping on CH_4 uptake and no significant results of grazing on N_2O emission. Soil moisture and temperature were the key factors, other than human activities, which affect the patterns of seasonal variation of N_2O and CO_2 emission and CH_4 uptake. Highly inter-annual variations, which resulted from the annual precipitation, of the exchange fluxes and seasonal variation patterns of N_2O and CO_2 emission and CH_4 uptake there were. It was a fact that N_2O and CO_2 emission from the soils was inversely related to CH_4 uptake.

Keywords: cultivating; grazing; grassland; N_2O and CO_2 emission; CH_4 uptake

CO_2 、 CH_4 和 N_2O 是具有辐射活性的长寿命痕量气体, 在最近几十年中, 它们在大气中的浓度增长极其迅速^[1-8]. 一般认为生物圈产量的增加是其增长的主要原因, 而全球汇的减少也许也是另一个重要原因^[2]. Mosier 等 90 年代初分别对美国克罗拉多天然施氮肥和耕种小麦的矮草草原土壤进行了 N_2O 排放和 CH_4 吸收的实地监测, 结果发现施氮肥和草地农耕降低了

草地对 CH_4 的吸收, 增加了 N_2O 的排放^[6]. Steudler 则发现施用氮肥可使热带和温带森林土壤对大气 CH_4 吸

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49675270, 49790020); 中科院“引进国外杰出人才”基金资助项目.

作者简介: 王跃思(1961~), 男, 理学博士, 研究员, 主要研究方向为大气化学.

收稿日期: 2000-11-08

收量减少^[7]。草地面积约占全球陆地总面积的 25%，超过 0.3 亿 km²，温带半干旱草原约占地球表面积的 8%。我国草原约为 230 万 km²，占国土面积的 24%，其中大多数为温带半干旱和干旱草原，是全球更是我国陆地生态系统的主要类型之一，也是受当前人类活动影响最为严重的区域。杜睿、陈冠雄等在 1995 年间对我国内蒙古草原部分地区温室气体 N₂O 和 CH₄ 排放做了一些初步实验观测工作^[9-10]，吕达仁、王艳芬、王庚辰 1997 年也对内蒙古草原 N₂O 排放进行了初步的观测研究^[11-12]，但到目前为止，还没有关于农垦与放牧对我国内蒙古半干旱草原土壤 CO₂、N₂O 排放及对 CH₄ 吸收的综合研究报道。

1 研究区域背景及观测实验方法

1.1 研究区域背景

实验区设在锡林河流域中科院内蒙古草原生态系统定位站（以下简称：定位站）附近。锡林河流域地处内蒙古高原东部，其东缘属大兴安岭西麓低山丘陵区，南接昭盟玄武岩高原。地理坐标 43°26′ ~ 44°39′ N, 115°32′ ~ 117°12′ E，总面积为 10786 km²。该区域草地原始面貌保存较好，在气候、植被、动物和土壤等方面，在中国温带及整个欧亚大陆草原区域均具明显代表性。整个区域地形东南高达海拔 1500 m 以上，西北低至约 900 m。地形以低山丘陵为特征，坡度较缓，土壤具有明显的地带性，由东南向西北有规律地分布着黑钙土地带、暗栗钙和淡栗钙土地带。该区土壤的一个重要特点

是存在着较浅的钙积层，从而使土壤浅层水与深层水分离，在考虑该区域的水分平衡时，一般不需要考虑深层地下水的作用^[14]。

实验区域属温带大陆性季风气候，四季分明，冬季严寒漫长，无霜期短，年平均气温约为 1℃，气温年较差和日较差较大，日照充分，降水集中于 6~8 月（占年降水 60%~75%）并且年际变化率极大（平均比值 3.8）。年降水量由东南（平均 450 mm）向西北（平均 250 mm）递减，而温度（及潜在蒸发量）则沿此方向递增。表 1 和表 2 分别列出了植被面积比例和锡林河流域 3 个植被亚型的生境特征。该区植被生产力与光能利用率的空间分布和植被类型紧密联系，与降水的年际变化率基本相对应，植被的地上与地下生产力亦呈现极大的年际变化。另一个重要特征是地下生产力远大于地上，达到 5 ± 2: 1^[15]。

表 1 锡林河流域各类植被面积比例

Table 1 Proportion of vegetation in the watershed of Xilin river

植被类型	占全流域面积比例/ %
草原	87.7
森林	0.3
沙地疏林	2.4
沙地灌丛、半灌丛	4.1
草甸	1.5
沼泽	0.4
农田与撂荒地	1.4

表 2 锡林河流域 3 个植被亚型的生境特征

Table 2 Environmental characters of three sub-vegetation in the watershed of the Xilin river

植被亚型	草甸草原 (禾草、中生杂类草草原)	典型草原 (多杂类草的禾草草原)	干草原 (贫杂类草的禾草草原)
海拔/ m	1300 ~ 1500	1100 ~ 1300	900 ~ 1100
地形	丘陵与高台地	低丘、台地、塔拉	平原及山前洪积扇
土壤	黑钙土	暗栗钙土	淡栗钙土
钙积层中 CaCO ₃ 含量/ %	5.4	13.03	21.2
年降水量/ mm	450 左右	350 ~ 450	250 ~ 350
年平均气温/ °C	-1 ~ 4	-0.3 ~ 1	1 ~ 2
≥10℃积温/ °C	1600 ~ 1800	1800 ~ 2000	2000 ~ 2300
代表植物群系	线叶菊、贝加尔针茅、羊茅、羊草、杂类草	大针茅、羊草、丛生禾草	克氏针茅、冷蒿
农业生产	旱作基本稳定	可进行旱作，不稳定	旱作极不稳产，欠年颗粒不收

该区域在 50 年代以前基本无人类活动，1950 年居民仅 20 人，而当前区域内已有万人以上。主要人类活动为割草、放牧和农垦。近 50 年来，草原的载畜量迅速增加，草地农垦亦有一定的规模，已经构成使草原退化

的重大压力。在人类活动压力下草原生态系统对气候变化的响应及其脆弱性表现正是国际和我国面临的共同问题。特别是目前国家号召开发大西北，如何在发展经济的同时保护西北的生态环境，是一个不容忽视的

科研课题^[11,15]。

1.2 观测实验方法

本观测实验采用的是静态箱/气相色谱法。采样箱由有机玻璃板(暗箱用PVC材料或用锡箔遮盖明箱)和不锈钢板制成,有大(长×宽×高=90cm×90cm×35cm)、中一(65cm×65cm×70cm)、中二(40cm×40cm×35cm)、小一(20cm×20cm×25cm)和小二(圆筒状直径20cm,高25cm)5种型号,用于观测不同的草地类型和农垦麦田CO₂、N₂O和CH₄的排放(吸收)。明箱和暗箱对比采样,用于研究温度和太阳辐射对排放的影响。通过对气相色谱进样、分析和检测系统气路的改进,可在同一台仪器上完成所有3种温室气体的分析和检测。实验观测方法见文献^[14,16,17]。

2 结果与讨论

2.1 农垦对内蒙古草甸草原 N₂O、CO₂ 和 CH₄ 通量的影响

本研究选择锡林河流域草原的一个重要类型线叶菊-贝加尔针茅草原(43°33'N,116°49'E,简称草甸草原)及附近由其农垦后形成的小麦田为实验地点,位于野外实验室所在地定位站东南约20km处,地势较高,气候半湿润,草群具丰富的中生杂草类,黑钙土。样品采集使用中一型采样箱,在草甸草原及附近农田各选择一个固定采样点,每个采样点设3个重复。采样一般选在上午进行,隔周采样一次,生长期內每月一次日变化观测,用于校准每周一次的测定结果。观测平均结果如图1所示。

由图1可见,农垦麦田其N₂O排放通量明显高于草甸草原。农垦将草甸草原N₂O源、汇的双重功能改变成为单一的源功能,增大了排放通量的变化幅度,显著增大了草甸草原N₂O排放量,麦田在整个生长季节N₂O排放平均通量为草甸草原的4倍。但农垦对N₂O排放通量的季节变化形式无显著影响,也没有改变草甸草原N₂O排放的季节变化模态。其排放通量高峰期均发生在7月植物生长高峰期。农垦致使草原土壤增排N₂O的原因初步认为有两方面。一是农垦破坏了原有植被土壤的物理结构、化学性质,生物和微生物构成也发生了明显变化,特别是土壤孔隙度、颗粒度、含水量、干湿交替周期等影响N₂O排放的主要因素发生了显著改变。二是由于内蒙古草原农垦种植粮食作物虽不施用氮肥,但采取耕作-休耕的轮作方式,休耕年份,当植被生长到最旺盛时被直接翻到地下当作绿肥,其中有一部分为固氮植物,相当于施入一定量的有机氮肥。

如图1所见,在整个生长季,农垦对CO₂通量的影响分为2个不同阶段:在植物生长旺期(7月上、中旬)之前,草甸草原和小麦农田CO₂排放通量无显著差别;在植物生长旺期及之后的小麦成熟期,麦田CO₂排放通量明显高于草甸草原。农垦大大增加了CO₂季节排放强度差,并且改变了草甸草原作为大气CO₂汇的性质,使其季节平均排放净通量增加以C计为14.3mg·(m²·h)⁻¹。初步认为主要原因是在小麦生长旺期及成熟期,植物光合作用降低,而麦田土壤呼吸作用要远比草甸草原旺盛,从而导致小麦农田CO₂排放通量明显增大。小麦根系腐烂分解,也可部分转化成CO₂,这与某些休耕越冬的自然植物相比,对草原C、N循环的贡献显然有本质的差别。农垦也没有明显改变CO₂排放(吸收)通量的季节变化模态。

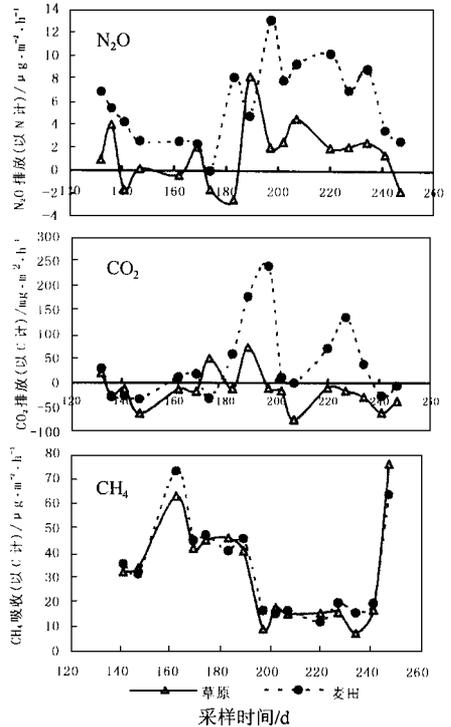


图1 农垦对内蒙古草原排放N₂O、CO₂和对吸收CH₄的影响

Fig.1 The effects of cultivation on N₂O,CO₂ emission and CH₄ uptake of Inner Mongolia grassland

与N₂O和CO₂不同,草甸草原和麦田CH₄吸收通量大小无显著差别,二者的季节变化也基本一致。如图1所示,观测期內农垦麦田CH₄的平均吸收通量值仅高于草甸草原(以C计)1.1μg·(m²·h)⁻¹,变化幅度小

于草甸草原(以 C 计) $5.7\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$. 因此,农垦对草甸草原地-气间 CH_4 交换无显著影响,也未改变土壤-植被系统作为 CH_4 汇的功能.

比较图 1 不难发现,土壤排放 N_2O 和 CO_2 峰值的时间正好与吸收 CH_4 吸收峰值出现的时间相反. 所有观测点的实验数据均证实,降雨时 N_2O 排放通量达到最大,而 CH_4 吸收通量为最小值. 与图 2 比较就会发现,3 种温室气体排放相位变化似乎受降水驱动,即受土壤湿度控制. 7 月份降水量最大, N_2O 和 CO_2 排放达到年度最高值, CH_4 的吸收达到最低值;8 月份,降水减少,土壤湿度降低, N_2O 和 CO_2 排放通量也逐渐降低,而 CH_4 吸收通量值却逐渐向第二高峰爬升. 这一现象与本研究项目组在中国南方稻-麦轮作农田使用自动 N_2O 、 CH_4 观测系统测得的结果具有一致性^[4]. 土壤从干变湿和从湿变干都会加大对 CH_4 的吸收. 对这一现象 Mosier 的解释为:土壤 N_2O 排放和 CH_4 吸收均中介于氨氧化菌,当土壤湿度降低到可限制氮扩散而限制了硝化过程时,土壤便开始吸收 CH_4 ^[6]. 实验证实,当土壤非常干燥时,对 CH_4 的吸收和对 N_2O 的排放值都很低,并一直保持到土壤湿度增加.

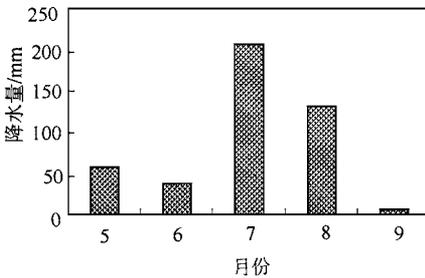


图 2 1998-05 ~ 1998-09 降雨分布
Fig. 2 Distribution of precipitation from May to September in 1998

2.2 放牧对内蒙古典型草原 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放通量的影响

该野外观测点设在以冷蒿-小禾草为主的退化类型草原. 对照放牧实验始于 1990 年,放牧样地隔离为 300m^2 一块,分别放养 4、8、12、16 和 20 只羊,即 133、267、400、533、667 羊/ hm^2 . 5 个放牧率及禁牧共计 6 个实验处理. 本实验选择了其中的 133、400、667 羊/ hm^2 . 3 个放牧率及禁牧共 4 个处理,分别代表轻牧、中牧、重牧及禁牧条件. 样品采集使用中小尺寸的暗箱. 1997 年秋季将采样箱基座插入土壤 8cm 深处,1998 年开始进行地-气温室气体交换通量的野外原位测定. 1998-07 ~ 2000-2 月间生长季节每隔 7d 采样 1 ~ 2 次,冬季每月

采样 2 次. 采样选择在上午进行,样品保存在气袋中,3d 之内完成样品分析及数据复查,并根据日变化校准得到观测平均值,最后进行月平均处理.

(1) 对 CO_2 影响 图 3 所示,1998 与 1999 年不同放牧压力下植被生长季 CO_2 排放季节动态基本一致,不同的放牧强度对 CO_2 通量的季节变化形式没有显著影响. 1998 年季节变化为单峰型,最高峰出现在 8 月份;1999 年季节变化为双峰型,最高峰分别出现于 7 月份和 9 月份. 与同期观测的降水资料及该地区过去 20 年连续观测的降水资料比对分析,发现降水差异是导致 1998 和 1999 年 CO_2 排放通量季节变化不相同的主要原因. 1998 年,内蒙古大草原为少有的丰水年,全年降水量 507mm,其中牧草生长旺季 7、8 月份降水就达 337.1mm,占全年总量的 66%,比 1999 年全年 332mm 还多 5.1mm. 充沛的降水使土壤一直保持较高的含水量,土壤呼吸作用在整个生长季节(7 ~ 9 月)一直保持在旺盛状态. 因此, CO_2 排放通量一直高于 1999 年同期水平,也没有出现 1999 年 8 月 CO_2 排放通量低值.

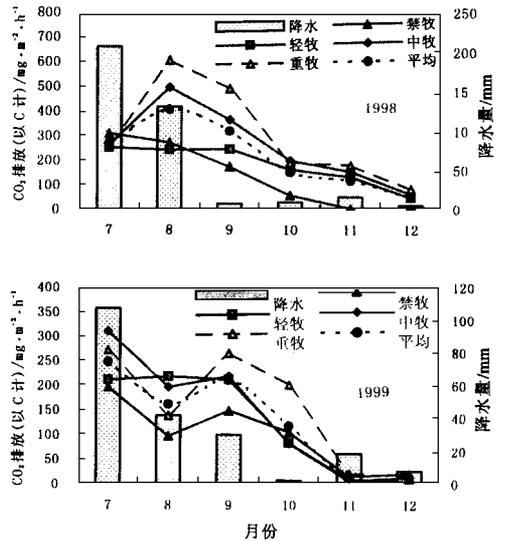


图 3 放牧对冷蒿-小禾草草原 CO_2 排放季节变化的影响(线图)和月平均降雨量

Fig. 3 The effects of grazing on seasonal variation of CO_2 emission of *Artemisia frigida* short bunchgrass steppe

虽然土壤含水量是影响该区域土壤 CO_2 排放季节变化形式的关键因子,但不同的放牧压力对冷蒿-小禾草草原 CO_2 排放强度有显著影响. 图 4 分别显示了 1998 和 1999 年不同放牧压力对 CO_2 通量的影响. 1998-07 ~ 1998-12 月的观测结果一致表明随着放牧强

表 3 实验期间样地降水量¹⁾/mm

Table 3 Precipitation of experiment region

年份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总量
1998	4.0	5.7	8.1	13.3	60.5	40.4	206.4	130.7	7.3	9.4	15.9	5.3	507
1999	2.6	2.5	5.7	3.9	53.9	56.2	107	41.6	29.9	2.1	18.7	7.9	332

1) 气象站位于样地以东 1.5km 处,数据由内蒙古草原生态系统定位研究站提供

度的增大,CO₂ 排放通量强度呈线性增长 ($r = 0.99$), 平均增长率为 18%;7~8 月份 CO₂ 排放通量强度(深色柱状图)远远高于下半年的平均值(深色线形图),并且决定了 1998 年观测期内 CO₂ 排放通量的季变化趋势.从 1999-07~1999-12 月观测结果的平均值也可以看出,随放牧强度的增加 CO₂ 排放通量也呈线性增长 ($r = 0.95$),但增长率小于 1998 年,为 4.3%;7~8 月份 CO₂ 排放通量观测平均值(浅色柱状图)同样高于下半年平均值(浅色线形图).这一观测结果与在羊草草原自由牧区观测的结果(另文详述)并不完全一致,体现出内蒙古草原温室气体排放规律受许多因素影响,具有相当的复杂性.

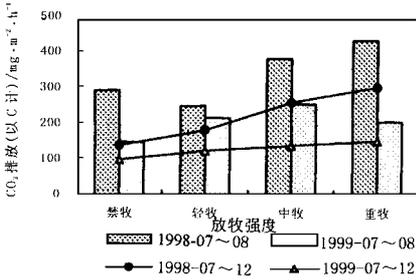


图 4 不同放牧压力对冷蒿-小禾草草原排放 CO₂ 强度的影响

Fig. 4 The effects of grazing intensity on CO₂ emission of *Artemisia frigida*-short bunchgrass steppe

(2) 对 CH₄ 的影响 放牧条件下,冷蒿-小禾草草原土壤-植被系统主要为大气 CH₄ 的汇(图 5),但不同放牧压力下除 6 月份吸收通量变幅较大外,其余月份均较小.6 月~12 月观测期间明显出现 3 次峰值,分别在 6、9 和 11 月.虽然 1998 年观测结果与 1999 年相比季节变化形式基本相同(图 5 虚线),但有以下 3 点不同之处:① 1998 年实验区土壤吸收 CH₄ 明显低于 1999 年.② 丰水的 1998 年禁牧区 6 月份未出现 CH₄ 吸收峰值.③ 1998 年吸收最低值出现在秋季 10 月份,平均以 C 计为 1.6 μg·(m²·h)⁻¹.1999 年观测期吸收最低值出现在冬季 12 月份,平均吸收通量值(以 C 计)为 4.5 μg·(m²·h)⁻¹.这种季变化充分体现了水热因子对草原土壤吸收大气 CH₄ 的影响,并体现出水分影响

更重要.实验结果表明,时间尺度对于不同放牧压力下 CH₄ 吸收通量具有重要意义,不同放牧率处理 10 年后,土壤吸收 CH₄ 的能力在当地自然气候条件下变化并不十分显著.

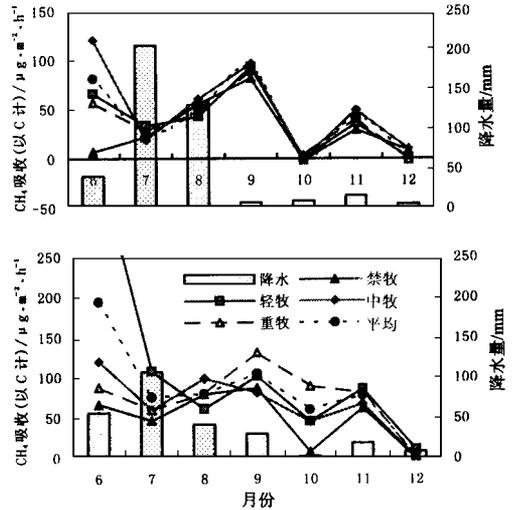


图 5 不同放牧压力对冷蒿-小禾草草原 CH₄ 吸收强度的影响

Fig. 5 The effects of grazing intensity on CH₄ uptake of *Artemisia frigida*-short bunchgrass steppe

同年度内,不同放牧压力对土壤吸收 CH₄ 能力有明显不同的影响,并且随季节变化而变化.图 6 为禁牧和 3 种不同的放牧处理对冷蒿-小禾草草原土壤吸收 CH₄ 的观测结果比较图.从图 6 可清楚地看出 1999 年(虚线)土壤吸收 CH₄ 通量值大大高于 1998 年(实线),每个月不同的放牧压力对土壤吸收 CH₄ 的影响各有不同.6 月份(图 6-6 月份)土壤吸收 CH₄ 能力对不同的放牧压力最为敏感,轻度放牧引起 1999 年土壤吸收 CH₄ 通量大大幅度增加,从禁牧处理的(以 C 计)66.7 μg·(m²·h)⁻¹,猛增到轻度放牧(133 羊/hm²)的(以 C 计)374.8 μg·(m²·h)⁻¹,增加了 4.6 倍.7 个月的观测期内,6 月土壤吸收 CH₄ 的量约占观测期总吸收量的 30%,从某种程度上决定了 1999 年下半年观测区不同放牧压力对 CH₄ 吸收的平均变化趋势(图 6-平均).轻度放牧可引起草原对 CH₄ 吸收的大幅增加,随着放牧

压力的增大,增加值会迅速回落,但与禁牧处理对照,并没有降低土壤对 CH₄ 的吸收.这一观测结果与在自由放牧羊草草原观测到的自由放牧草原比禁牧草原降低吸收 CH₄ 的结果区别较大^[9,10].1998 年观测数据与 1999 年相比除变幅小、总体吸收值低外,与 1999 年明显的不同是中度放牧(400 羊/hm²)引起草原土壤对 CH₄ 的吸收通量增加最多.本文认为引起这种变化差异的原因是放牧行为影响了草原土壤湿度所致.一般认为,含水量在 15%~20%之间为土壤吸收 CH₄ 最佳湿度,此时土壤中的 CH₄ 氧化菌活性最强,而土壤含水量

在 28%~35%之间会减弱 CH₄ 的氧化^[18-20].在降水量相同区域,由于羊群对牧草的啃食和对土壤的践踏影响了雨水从表层土壤中的蒸渗速度,而这一区域较浅钙积层的存在(本文 1.1)又阻止了深层水的可能性影响.因此在降雨量不大时,轻牧区先到达土壤吸收 CH₄ 的最佳湿度范围,并可保持相对较长的时间;而降雨量过大,中牧区则先到达最佳吸收范围,并且保持时间较长.这一解释是否合理,还有待于进一步实验的检验.

连续 2 年的观测资料还表明,CH₄ 吸收通量与地下 10cm 温度之间有相关性 ($r = 0.45, n = 34, \alpha$

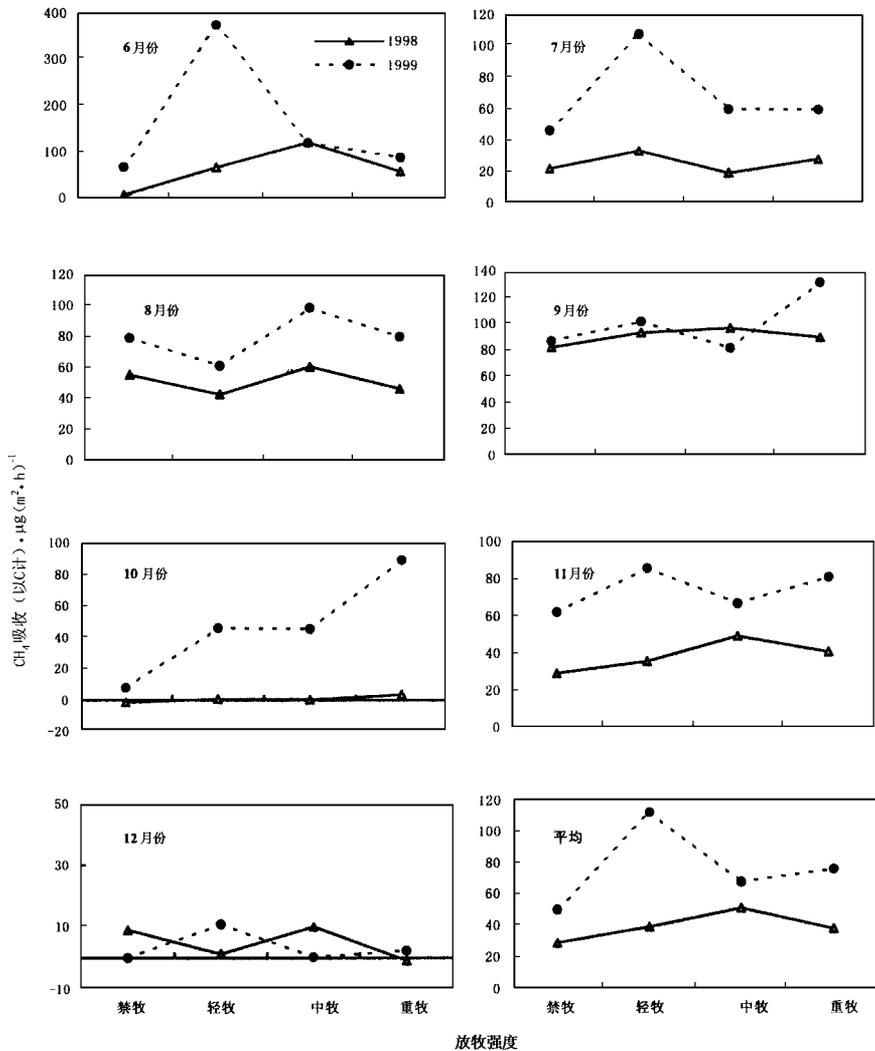


图 6 不同放牧压力对冷蒿-小禾草草原吸收 CH₄ 的影响

Fig. 6 The effects of grazing intensity on CH₄ uptake of *Artemisia frigida*-short bunhgrass steppe

<0.05).但如果仅以 1999-01~2000-01 月的资料来分析,CH₄ 通量与地下 10cm 温度呈显著相关 ($r = 0.79,$

$n = 22, \alpha < 0.05$).对 1998-07~2000-02 月不同放牧强度下冷蒿-小禾草草原 N₂O 通量原位观测结果进行分

析表明,不同放牧强度下冷蒿-小禾草草原 N_2O 排放通量强度低,变异性极大,以所掌握的数据资料,很难看出不同放牧强度处理之间 N_2O 排放通量的差异,季节变化、年际间变化也不明显。比较图 3 和图 5,土壤排放 CO_2 和吸收 CH_4 峰值相反现象也存在于该观测区域。比较图 1 草甸草原、图 3 和图 5 禁牧冷蒿-小禾草草原 CO_2 排放和 CH_4 吸收情况可以发现,不同的土壤类型、气候带和植被类型对温室气体的吸收和排放无论从季节排放变化趋势,还是从排放强度都有一定差异。因此,在讨论人类活动对内蒙古草原温室气体排放(吸收)的影响时,要注意到这种生态系统本身存在的差异。

3 结论

(1) 农垦显著增大了草甸草原 N_2O 和 CO_2 的排放通量。农垦麦田生长期内 N_2O 平均排放通量比原始草原高 3 倍,改变了草甸草原为 CO_2 汇的性质,使其季节排放通量净增加(以 C 计)为 $14.3 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 。但农垦并未明显改变 N_2O 和 CO_2 的季节排放变化形式。

(2) 农垦不会减少草甸草原对 CH_4 的吸收。农垦对草原土壤吸收 CH_4 的总量无大改变,对吸收值的季节变化形式也无明显影响,即未改变土壤-植被系统作为 CH_4 汇功能的性质。

(3) 在一定范围的放牧压力下,随放牧强度的增加 CO_2 排放通量呈线性增长,但不改变排放的季节变化形式。

(4) 轻度放牧会引起草原对 CH_4 吸收的大幅增加,而随着放牧压力的增大,增加值会迅速回落,与禁牧对照,并不降低土壤对 CH_4 的吸收,但以 CH_4 吸收的 C 与以 CO_2 排放的 C 相比,显然微不足道。

(5) 草原土壤排放 N_2O 和 CO_2 、吸收 CH_4 的季节变化形式主要由该区域水热因子控制,不同年份之间的排放(吸收)值差异大小,往往取决于年度降雨量的多少。 N_2O 和 CO_2 排放与 CH_4 吸收峰值相反现象普遍存在。

农垦与过度放牧会使草原土壤以温室气体方式向大气中显著增加 N 与 C 的排放,从而有可能降低我国内蒙古草原土壤 C、N 贮量。

致谢 刘广仁高工、张文研究员、骆冬梅工程师、杜睿博士、李香真博士、汪诗平博士和牛海山博士做了部分实验观测工作,定位站杨宗贵同志提供了气象数据和陈纪锁副站长为采样提供了交通便利,陈佐忠、王庚辰、吕达仁研究员及王明星和韩新国所长对本研究工作给予了支持和指导,在此谨表谢意。

参考文献:

- Houghton J. Greenhouse gases. In: Houghton J. (ed.) Global Warming. Published by Lion Publishing plc, 1994, 29.
- 王跃思,王明星等.北京大气中 CH_4 季变化及发展趋势.大气科学,2000,24(2):157~164.
- 陈冠雄,商曙晖等.植物释放 N_2O .应用生态学报,1990,1(1):94~96.
- Zheng Xunhua, Wang Mingxing, Wang Yuesi et al. Characters of greenhouse gas (N_2O , NO , CH_4) emissions from croplands of Southeast China. World Resource Review, 1999, 11(2): 229~246.
- Wang Mingxing et al. CH_4 Emission from Various Rice Fields in PR China. Theoretical and Applied Climatology, 1996, 55(1~4): 129~138.
- Mosier A, Schimel D, Valentine D et al. Methane and nitrous oxide fluxes in native. 1991.
- Stuedler P A, R D Bowden, J M Melillo, J D Aber. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake on temperate forest soils. Nature, 1989, 341:314~316.
- 张仁健,王明星,张文,王跃思.北京冬春季气溶胶元素化学成分及其谱分布研究.气候与环境研究,2000,5(1):6~12.
- 杜睿,陈冠雄,吕达仁,王庚辰.内蒙古草原生物系统-大气间 N_2O 和 CH_4 排放通量研究的初步结果.气候与环境研究,1997,2(3):264~272.
- 杜睿,陈冠雄,吕达仁,王庚辰.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.气候与环境研究,1997,2(3):273~279.
- 吕达仁等.内蒙古半干旱草原土壤-植被-大气相互作用-科学问题与实验计划概述.气候与环境研究,1997,9:199~209.
- 王燕芬等.内蒙古典型草原 N_2O 研究刍议.气候与环境研究,1997,2(3):280~284.
- 王庚辰.陆地生态系统温室气体排放(吸收)测量方法简评.气候与环境研究,1997,2(3):251~263.
- 王跃思,纪宝明,王明星等.半干旱草原地-气温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 交换速率测定方法研究.环境科学,2000,21(3):6~10.
- 陈佐忠 主编.锡林河流域地形与气候概况.草原生态系统研究文集 3,北京:科学出版社,1988.13~22.
- 王跃思等.农田 CH_4/N_2O 自动采样观测系统.中国科学院研究生院学报,1997,14(1):17~22.
- 王跃思等.静态箱/气相色谱法自动检测农田 N_2O 排放.分析测试技术与仪器,1997,3(1):10~15.
- Martin K, Ralf C. Effect of CH_4 concentrations and soil conditions on the induction of CH_4 oxidation activity. Soil Bio and Biochem, 1995, 27: 1517~1527.
- Huang Y et al. Model estimates of methane emission from irrigated rice cultivation of China. Global Change Biology, 1998, 4: 809~821.
- Huang Y et al. Methane emission from Texas rice paddy soils. 2. Seasonal contribution of rice biomass production to CH_4 emission. Global Change Biology, 1997, 3:491~500.