

内蒙古草原生态系统—大气间 N_2O 和 CH_4 排放通量研究的初步结果

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 用密封箱式法, 从 1995 年 5~10 月首次对我国温带典型草原羊草草原和大针茅草原生态系统与大气间 N_2O 和 CH_4 交换通量的季节变化和日变化以及不同放牧强度对于草原生态系统 N_2O 和 CH_4 排放通量的影响进行了原位观测。结果表明在主要的自然因素影响下羊草草原和大针茅草原生态系统 N_2O 交换通量范围分别为 $0.72 \sim 9.69$ 和 $-0.54 \sim 6.37 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 年平均通量分别为 6.99 和 $3.06 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; CH_4 交换通量范围分别为 $-54.58 \sim 8.21$ 和 $-95.51 \sim -32.47 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 年平均通量分别为 -27.16 和 $-50.97 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ (所有通量数据均分别指 N_2O 中的 N 和 CH_4 中的 C)。对草原生态系统 N_2O 排放和 CH_4 吸收间的互为消长的关系进行了分析。研究了以轮牧为放牧方式的低度放牧率、中度放牧率和重度放牧率对草原生态系统 N_2O 和 CH_4 排放通量的季节变化和日变化的影响。初步结果表明, 放牧强度对于草原生态系统 N_2O 和 CH_4 的排放有着一定的影响, 不同放牧率的影响结果各不相同。低度放牧、中度放牧和重度放牧以及对照草场 N_2O 通量季节变化范围分别为 $1.64 \sim 9.69$ 、 $0.07 \sim 18.05$ 、 $1.22 \sim 11.17$ 和 $-0.42 \sim 10.47 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, N_2O 排放通量年平均值依次分别为 3.55 、 5.18 、 4.76 和 $3.52 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 。 CH_4 排放通量的季节变化范围分别为 $-54.58 \sim 5.27$ 、 $-36.39 \sim -6.44$ 、 $-43.17 \sim -19.06$ 和 $-47.76 \sim -16.99 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, CH_4 排放通量年平均值依次分别为 -21.42 、 -21.62 、 -23.13 和 $-28.58 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 。

关键词 草原生态系统 放牧强度 一氧化二氮 甲烷 通量

1 引言

估计全球有 $3.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$ 的草地, 约占地球陆地面积的 25% (此外在总面积超过 $4.0 \times 10^9 \text{ hm}^2$ 的森林和林地中, 还有相当部分的草地)。而我国草地面积约占国土总面积的 34.7%, 约有 $3.53 \times 10^9 \text{ hm}^2$ [1]。由此可见, 草地在全球陆地生态系统中占有举足轻重的地位。它对于大气中主要的温室气体 N_2O 和 CH_4 的排放、吸收的贡献及其对全球气候变化的影响, 同时土地利用方式对于草原生态系统 N_2O 和 CH_4 排放通量的影响都越来越多地受到人们的关注。本研究以中国科学院内蒙古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, 利用密封箱法, 首次对我国温带典型草原生态系统与大气间的温室气体 N_2O 和 CH_4 的交换通量及在轮牧方式下, 三种不同放牧强度 (即低度放牧率、中度放牧率和重度放牧率) 对于草原生态系统 N_2O 和 CH_4 排放通量

的影响进行了初步观测研究。

2 实验地点与研究方法

2.1 实验地点概况

定位站位于内蒙古锡林郭勒大草原白音锡勒牧场内 ($43^{\circ}26' \sim 44^{\circ}08' \text{N}$, $116^{\circ}04' \sim 117^{\circ}05' \text{E}$), 在温带草原中有代表性。本区气候属大陆性半干旱温带草原气候, 年平均气温 -0.4°C , 年降水量为 $350 \sim 450 \text{ mm}$, 其中 70% 集中于 7、8 月份。冬春季寒冷干燥多风, 夏秋季温暖湿润, 通常无霜期仅为 $90 \sim 110 \text{ d}$ 。地带性土壤为栗钙土, 有典型栗钙土和暗栗钙土两个亚类。以大针茅、克氏针茅和蒿类为主的群落和以羊草、小禾草为主的群落, 构成典型草原的主体。本研究分别在下述三个不同的样地中进行。

2.1.1 羊草 (*Aneurolepidium chinense*, A.C.) 样地

在锡林河流域, 羊草草原是面积最大的草原群落类型, 也是当地经济价值最高的天然草场。羊草样地内群落植物种约 86 种, 常见的约有 45 种, 以广旱生根茎禾草占显著优势, 其次为大针茅、糙隐子草和冰草等旱生密丛禾草。

2.1.2 大针茅 (*Stipa grandis*, S.G.) 样地

大针茅草原是内蒙古草原区最具代表性的草原类型, 其群落组成常见种约 40 种左右, 其中以大针茅为代表的旱生密丛禾草占显著优势。以上两样地土壤的主要理化性质及有关背景情况见表 1^[2,3]。

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

2.1.3 放牧样地

放牧样地位于定位站的西北方 1.5 km 的退化草场上, 其土壤类型为砂质栗钙土, 植物以地面茅植物为主, 由于牲畜的啃食和践踏, 植物生长环境不断恶化, 造成旱生植物种占优势, 主要植物种类有星毛茛菜、隐子草、冷蒿等。在此样地研究不同放牧强度对草原土壤 N_2O 和 CH_4 排放通量的影响。

2.2 研究方法

2.2.1 野外实验样地的设计

在羊草、大针茅样地内分别选择一处 $15 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方作为 N_2O 和 CH_4 通量的测定地点, 并在放牧样地内选择放牧强度分别为低度放牧率[4 只羊 / ($3 \text{ hm}^2 \cdot 138 \text{ d}$)]、中度放牧率[12 只羊 / ($3 \text{ hm}^2 \cdot 138 \text{ d}$)]、重度放牧率[20 只羊 / ($3 \text{ hm}^2 \cdot 138 \text{ d}$)]的围栏小区和对照围栏小区 (放牧率为 0) 为实验观测点。放牧方式为轮牧方式 (每个放牧等级的畜群轮牧 3 个 1 hm^2 的小区, 即每个小区放牧 15 天, 休牧 1 个月)。在 4 个围栏小区内也分别选择一处 $15 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方作为 N_2O 和 CH_4 通量的测定地点, 用密闭箱法

测量气体的排放通量。

2.2.2 气体样品的采集

用密闭箱法测定 N_2O 和 CH_4 的交换通量,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,插一带胶皮管的密堵塞。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 m^2 。通常情况下,每次测定每个样地均连续进行 2 天。在大针茅样地和中度放牧率围栏小区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。

2.2.3 N_2O 和 CH_4 的分析测定

N_2O 的分析用的是日本岛津制作生产的 GC-14A 气相色谱仪,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、分离柱和进样口温度分别为 300°C 、 60°C 和 100°C 。 CH_4 的分析用的是北京分析仪器厂的 SP-2305E 型气体色谱仪分析,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,分离柱和检测器温度分别为 150°C 和 180°C 。所用标准 N_2O 和 CH_4 气体由国家标准物质研究中心提供并用澳大利亚 CSIRO 大气所赠送的标气校核。

2.2.4 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 为实验室温度下的气体密度, 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。

2.2.5 环境因素的测定

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,土壤速效氮含量用 MgO -Devarda 氏合金法测定。

3 结果与分析

3.1 羊草草原和大针茅草原 N_2O 和 CH_4 通量

由于实验地点通常是从 5 月中旬草原植物开始返青,到 9 月底开始上冻。所以野外

原位测定时间是从5月中旬开始到10月中旬结束, 平均1个月观测1次, 每次各样地连续观测2天, 由此获得草原土壤-植物系统的温室气体 N_2O 、 CH_4 交换通量季节变化以及日变化。

3.1.1 通量日变化

大针茅草原是内蒙古草原区最具代表性的草原类型, 由于受野外工作条件的限制, 本研究仅在大针茅样地进行气体通量日变化的监测实验, 所观测的日变化只包括昼间变化。

图1、图2分别为本观测的大针茅草原 N_2O 和 CH_4 通量的日变化情况以及地表和0~20 cm 深土壤温度对其的影响。由图1可知在中午时分出现 N_2O 排放通量的最高峰, 早晨和上午的 N_2O 通量比傍晚和下午的高, 这与温度、土壤水分以及植物生理活动有一定关系。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。图2表明 CH_4 通量在昼间变化出现2个高峰值, 第1高峰值出现在早晨, 第2高峰值出现在中午, 2个高峰值的出现与土壤含水量、温度有关, 早晨由于夜晚露水使地表较为湿润, 促进了 CH_4 的吸收, 在中午出现高峰值, 可能是受气温和土壤温度的影响。中午时气温、地表和深层土壤温度在一天中都较高。

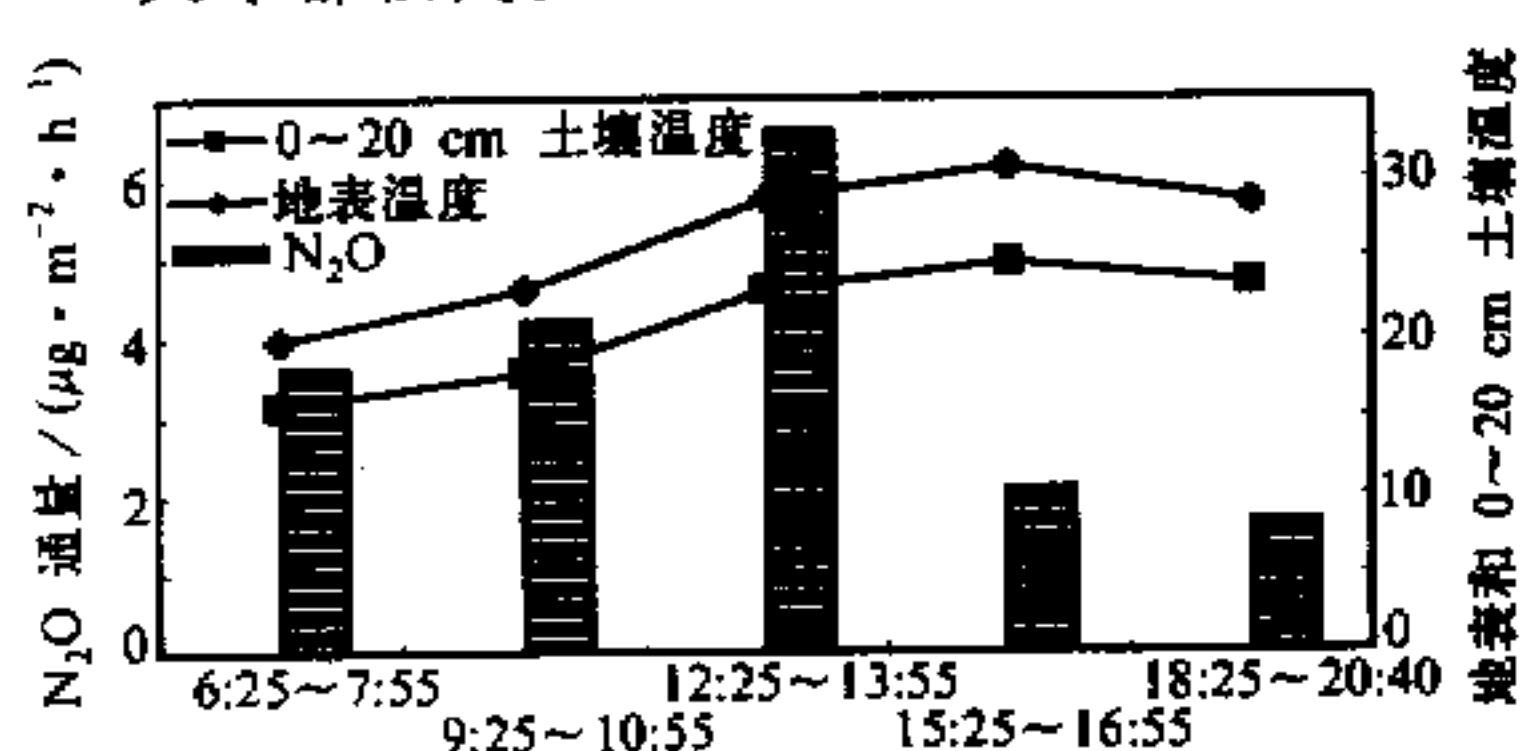


图1 温度对大针茅草原生态系统 N_2O 日排放的影响

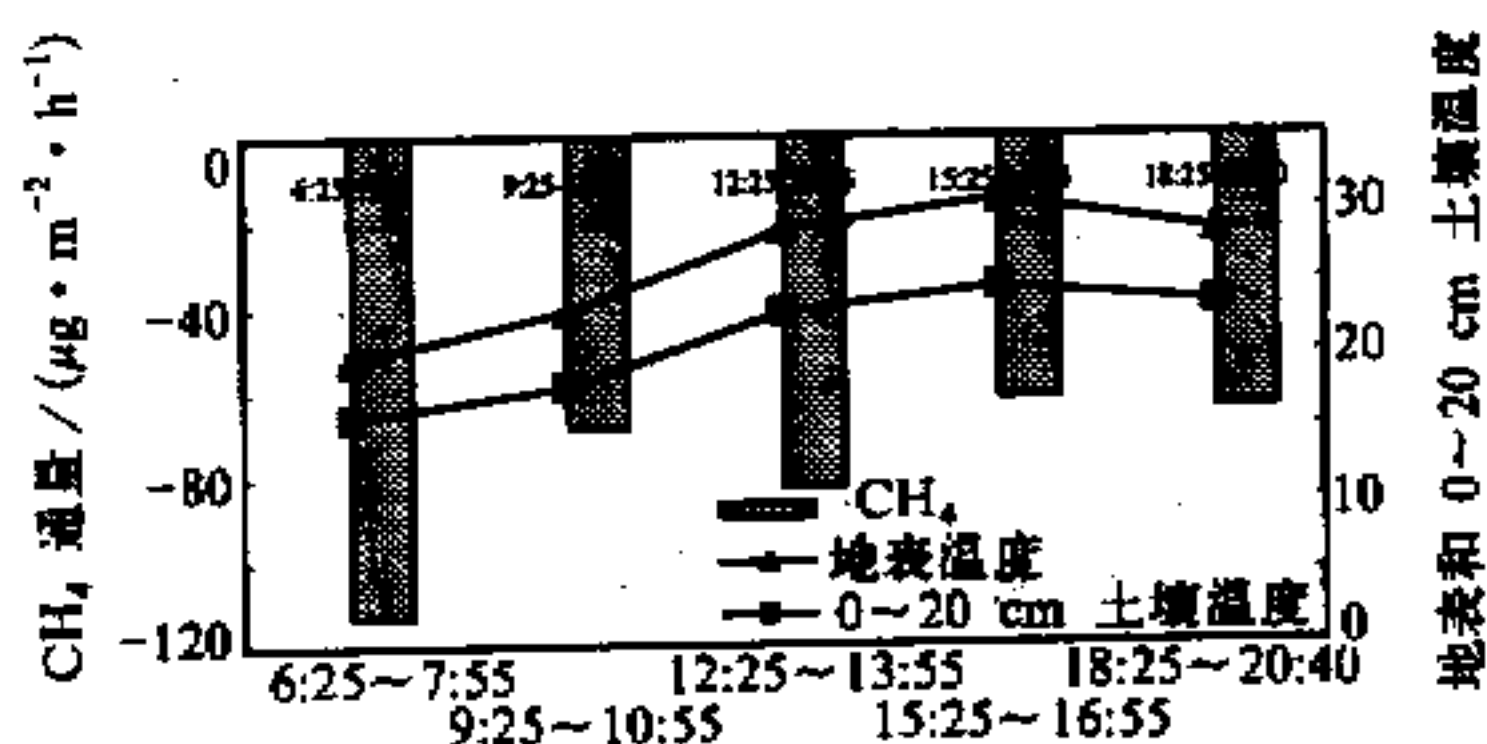


图2 温度对大针茅草原生态系统 CH_4 日吸收的影响

3.1.2 通量季节变化

在无外界人为因素干扰的自然状况下, 2种类型的草原土壤-植物系统与大气间温室气体 N_2O 的交换情况如图3。2种草原均以排放为主, 起着 N_2O 气体源的功能, 在整个观测期羊草草原通量范围为 $0.72 \sim 9.69 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 大针茅草原为 $-0.54 \sim 6.37 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ (所有通量数据均指 N_2O 中的 N)。表2为2种类型草原土壤-植物系统的 N_2O 通量的季节变化范围、平均值、标准偏差和变异系数。

表2 羊草、大针茅草原生态系统 N_2O 通量的季节变化

观测期	草原类型	次数	范围、平均值、标准偏差、变异系数			
			通量范围	加权平均值	标准偏差	变异系数
1995-05-19~1995-10-13	羊草草原	9	$0.72 \sim 9.69$	6.99	2.93	41.8%
	大针茅草原	9	$-0.54 \sim 6.37$	3.06	1.98	64.7%

一年中2种类型的草原土壤-植物系统的 N_2O 通量的季节变化规律均呈现出夏、秋两季(6月中旬~9月上旬)排放通量较高, 而在春、冬两季较低的趋势。这主要由于本区气候属温带半干旱大陆性气候, 年降水量为 $350 \sim 450 \text{ mm}$, 其中70%集中于

7、8 月份。根据定位站气象站所提供的气象资料, 1994 年全年降水总量仅为 306.6 mm, 1994 年 10 月~1995 年 5 月降水总量仅为 62 mm, 所以不存在由于春融导致土壤含水量增高。另外, 本区地带性土壤为栗钙土, 有典型栗钙土(大针茅草原)和暗栗钙土(羊草草原)2 个亚类, 多砂壤质, 砂性较重, 土壤固水能力较弱, 同时由于钙积层的存在影响了水分的人渗深度。Denmead 等^[4]认为, 表土温度和土壤水分是决定 N_2O 排放量大小的重要因素。本研究观测到的夏、秋两季 N_2O 排放通量较高, 而在春、冬两季普遍较低的现象也验证了此结论。

图 4 为在无外界人为因素干扰的自然状况下, 2 种类型的草原土壤-植物系统与大气间温室气体 CH_4 的交换情况。由图可以看出, 不论是羊草草原还是大针茅草原都以吸收 CH_4 为主要的交换方式, 起着大气 CH_4 汇的作用。在整个监测期间, 羊草草原 CH_4 吸收通量范围为 $-54.58 \sim 8.21 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 大针茅草原 CH_4 吸收通量范围为 $-95.51 \sim -32.47 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ (所有通量数据均指 CH_4 中的 C)。表 3 为 2 种类型的草原土壤-植物系统的 CH_4 通量的季节变化范围、平均值、标准偏差和变异系数。

表 3 羊草、大针茅草原生态系统 CH_4 通量的季节变化

范围、平均值、标准偏差、变异系数			$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$			
观测期	草原类型	n	通量范围	加权平均值	标准偏差	变异系数
1995-05-19~1995-10-13	羊草草原	9	-54.58~8.21	-27.16	18.57	68.4%
	大针茅草原	9	-95.51~-32.47	-50.97	17.44	34.2%

羊草草原 CH_4 的年平均通量为 $-27 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, 而大针茅草原 CH_4 年平均通量则为 $-50.97 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 这与 Mosier 等^[5]观测得 Colorado 温带矮草草原天然未施肥草地 CH_4 的吸收通量 $24.1 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 具有一定的可比性。

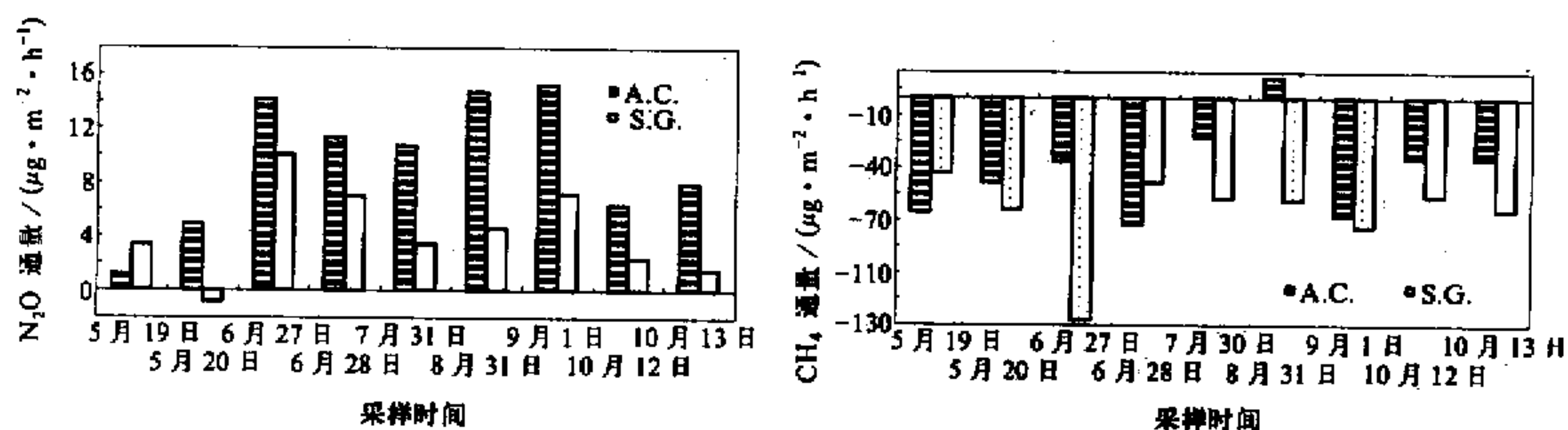


图 3 羊草和大针茅草原生态系统 N_2O 通量的季节变化 图 4 羊草和大针茅草原生态系统 CH_4 通量的季节变化

3.2 不同放牧强度下草原生态系统 N_2O 和 CH_4 排放通量

3.2.1 N_2O 通量日变化

在整个观测期间, 在中度放牧强度小区内分别对 N_2O 通量进行了日变化监测。图 5、图 6 分别为草地在生长旺季(7 月和 8 月)的 2 次监测结果。在中度放牧强度影响下, 草原土壤-植物系统的 N_2O 排放通量 1 天中出现两个较高值, 一个在正午, 另一峰值在午后。在正午出现一较高值与自然环境条件下草原土壤-植物系统 N_2O 通量日变化情况相似, 不同的是在午后又出现一高峰值, 放牧行为对草原生态系统 N_2O 通量日变化有较明显的影响。

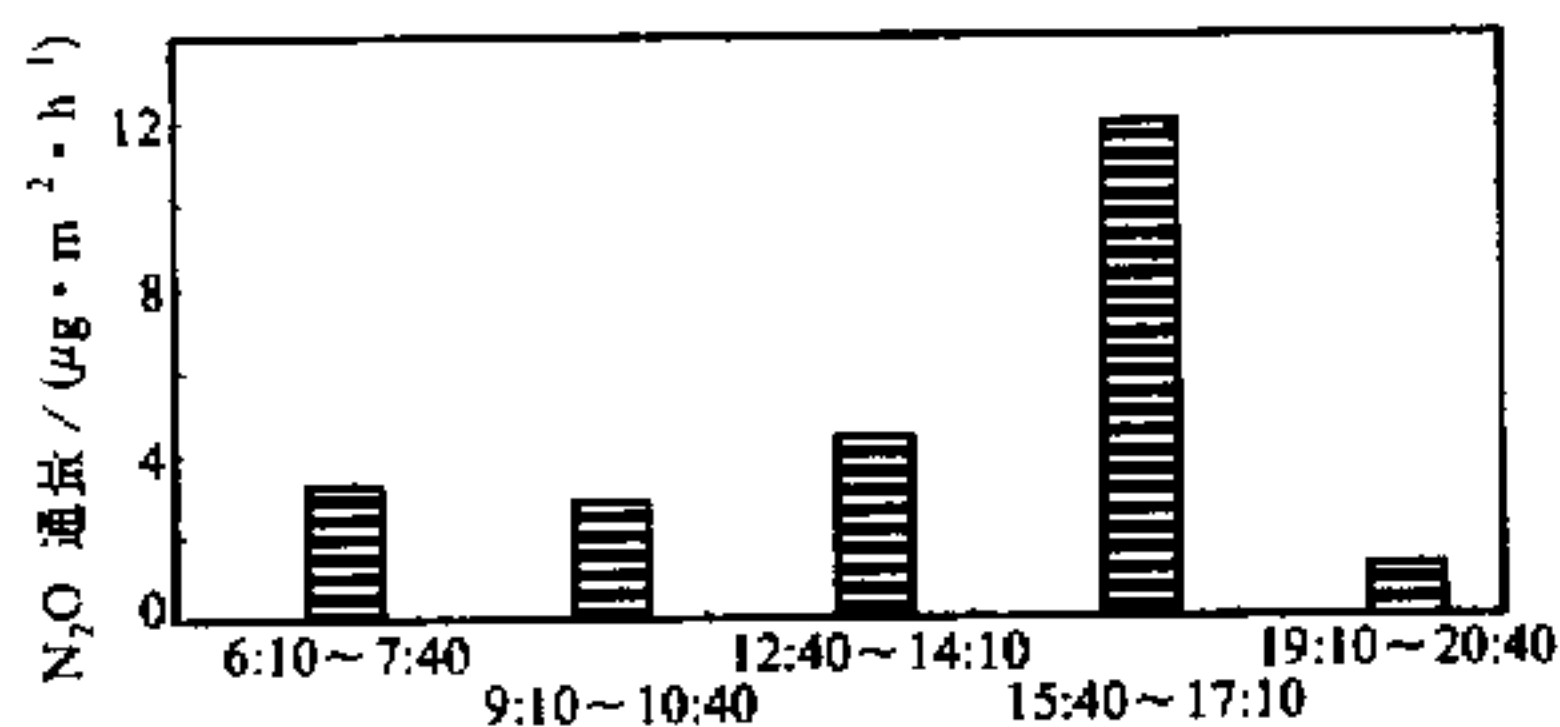


图5 中度放牧强度 N_2O 通量日变化
观测日期：1995-07-29

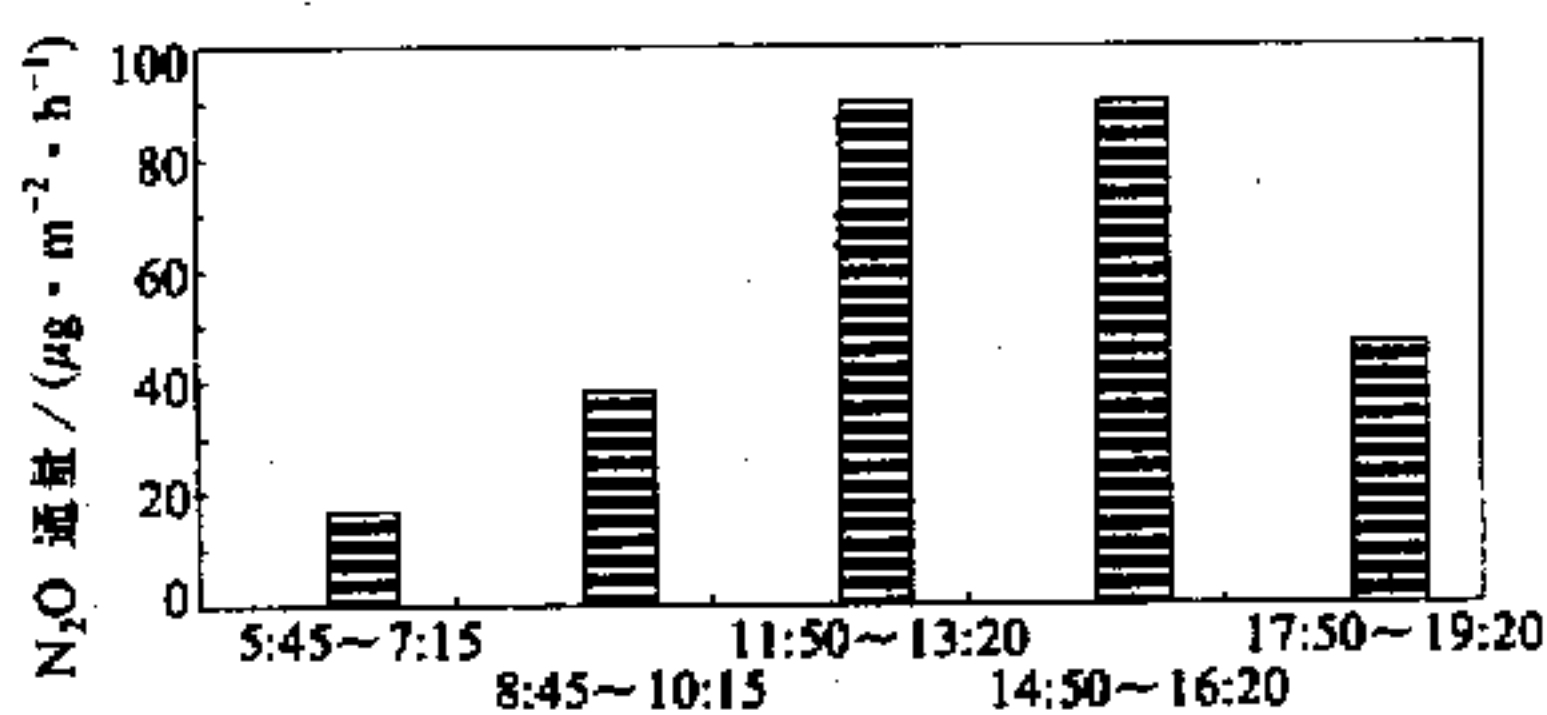


图6 中度放牧强度 N_2O 通量日变化
观测日期：1995-08-30

3.2.2 CH_4 通量日变化

图7、图8分别为观测期间在夏、秋两季中度放牧小区所观测的 CH_4 通量日变化情况。由图可知，由于放牧行为的影响，草原土壤-植物系统在一天中的交换方式有排放也有吸收。在7月29日，早上和正午时分， CH_4 的交换方式为吸收，而另3个时间以排放为交换形式；在8月30日所测得 CH_4 日变化情况，只在上午交换方式为排放，其它时间交换形式均为吸收。由此可见，放牧行为对草地 CH_4 通量变化影响较大。

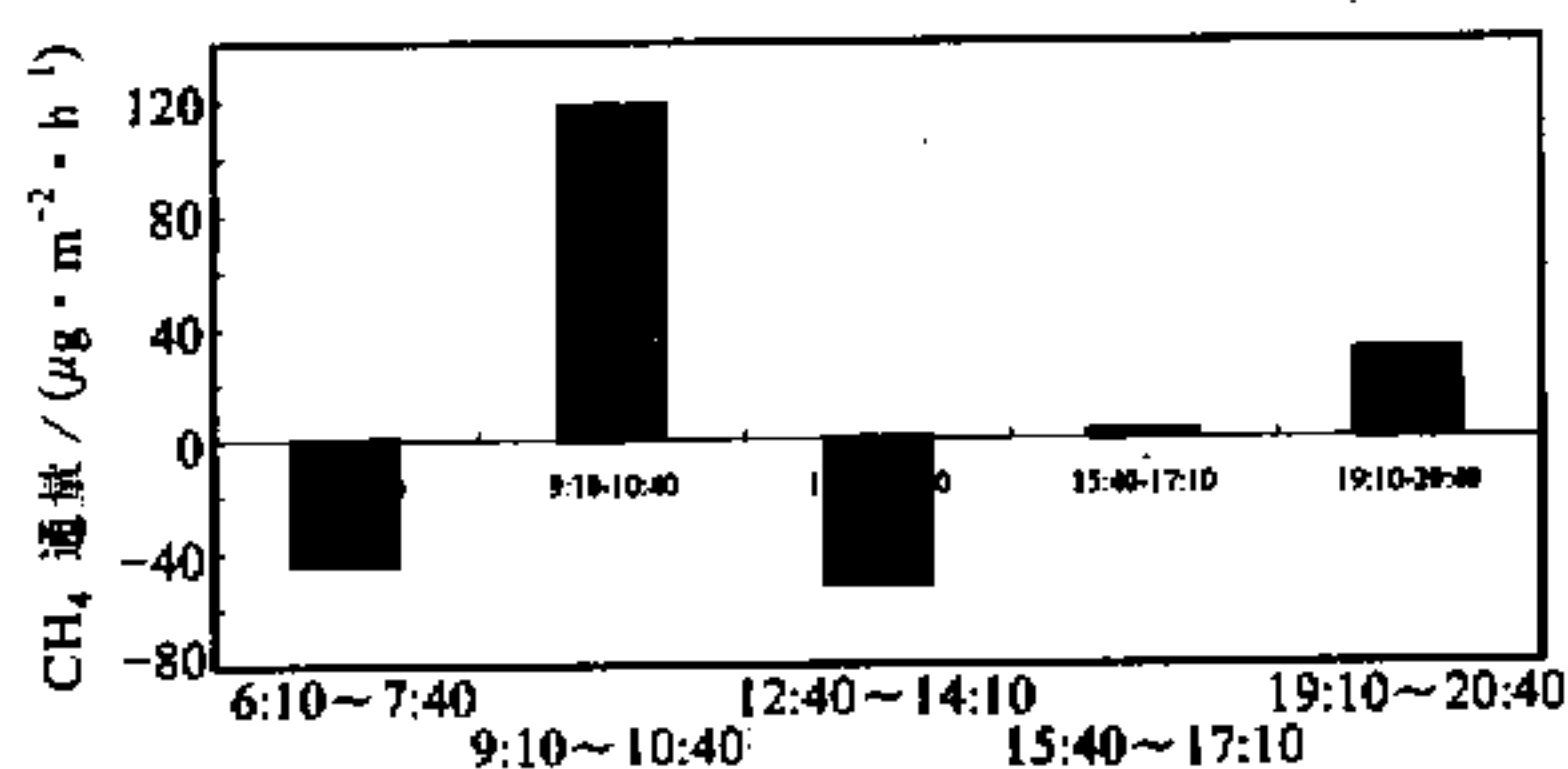


图7 中度放牧强度 CH_4 通量日变化
观测日期：1995-07-29

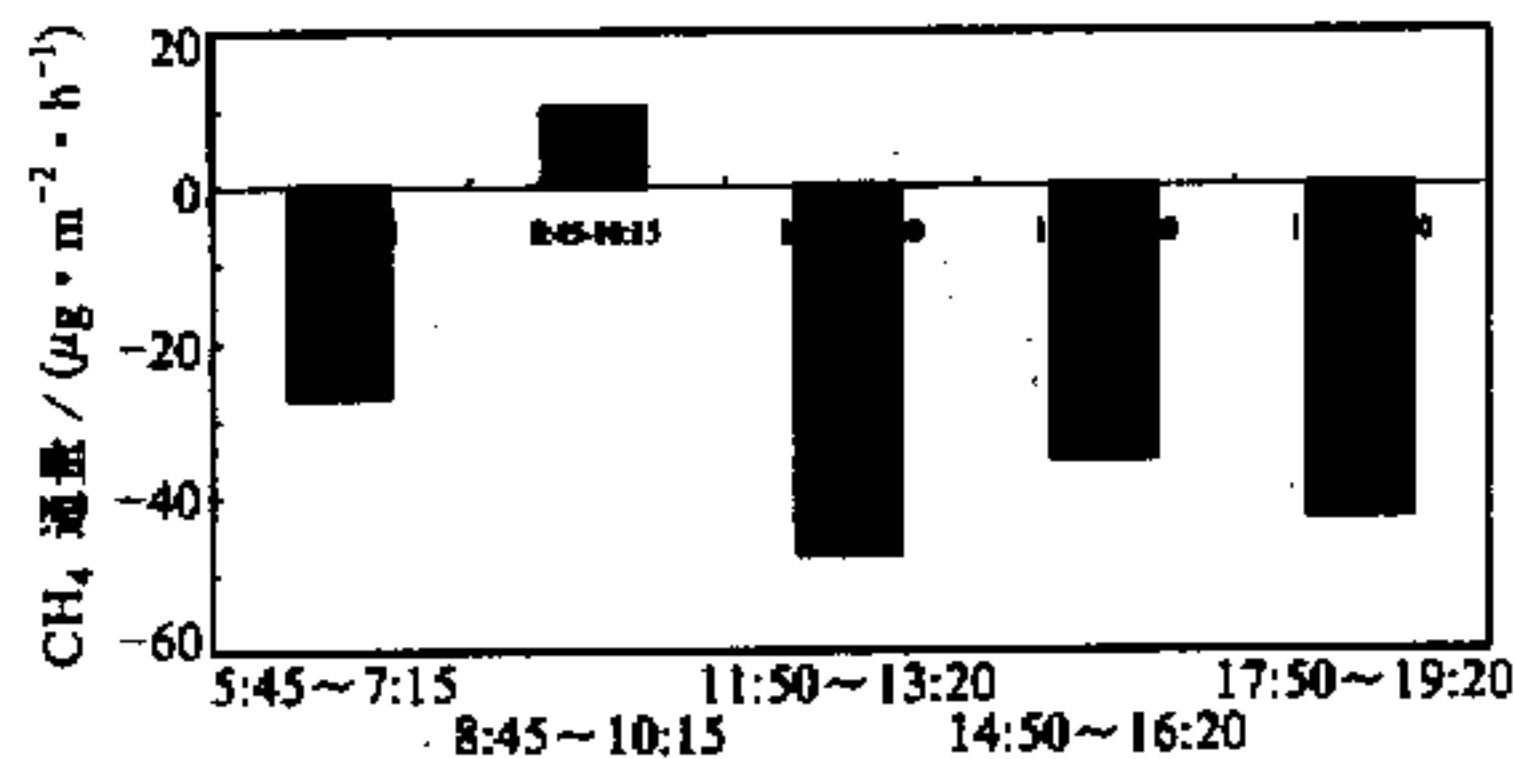


图8 中度放牧强度 CH_4 通量日变化
观测日期：1995-08-30

从表4可见中度放牧强度对草原生态系统 N_2O 、 CH_4 通量昼间变化的影响。 CH_4 通量变异系数最大高达552%， N_2O 通量变异系数最大高达79%，放牧行为对于草原土壤-植物系统的温室气体排放具有较大的影响。

表4 中度放牧小区 N_2O 、 CH_4 通量昼间变化范围、平均值、标准偏差、变异系数

			$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$			
	日期	n	通量范围	平均值	标准偏差	变异系数
N_2O 通量	1995-07-29	5	0.78~7.58	3.00	2.38	79%
	1995-08-30	5	10.72~57.30	35.90	18.54	52%
CH_4 通量	1995-07-29	5	-38.69~88.39	8.33	46.00	552%
	1995-08-30	5	-35.60~7.63	-21.33	15.37	72%

3.2.3 N_2O 通量季节变化

放牧样地野外原位测定时间是从6月开始到10月结束，缺少春季 N_2O 通量值。图9为4个不同放牧强度下草地 N_2O 排放通量季节变化情况。由图可以看出，放牧样地4种不同放牧率的小区 N_2O 通量季节变化趋势仍然呈现出夏、秋两季各区 N_2O 通量普遍较高，冬季较低。不同放牧率的四个小区 N_2O 排放通量季节变化范围、平均值、标准

偏差、变异系数见表 5。从实验观测数据来看,中、高度的放牧促进草原作为 N_2O 气体源的功能,而低强度的放牧对其 N_2O 源的功能影响不大。这是由于在不同放牧强度下,草原群落的多样性取决于群落中种间竞争排斥和家畜放牧影响两方面的复合作用。无牧群落中建群种的竞争排斥限制了生态位的分化,只有耐牧或适牧植物充分发育,群落的多样性也低。但在中、轻放牧群落中,适当的放牧,既削弱了天然群落建群种的竞争排斥,又不影响其它植物发育,则群落内物种多样性高^[6],使得中度放牧小区内生物量较高,导致中度放牧率对 N_2O 排放通量影响最大,而重度放牧率对 N_2O 排放通量的促进作用强于低度放牧率的原因目前尚未搞清。

表 5 不同放牧强度草原生态系统 N_2O 通量变化

范围、平均值、标准偏差和变异系数

 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$

观测期	放牧强度	n	通量范围	平均值	标准偏差	变异系数
1995-06-25 ~ 1995-10-12	低度放牧	6	1.64~9.69	3.55	2.75	77.5%
	中度放牧	6	0.07~18.05	5.18	5.87	113.2%
	重度放牧	6	1.22~11.17	4.76	3.71	77.9%
	空白,无牧	6	-0.42~10.47	3.52	3.79	120.2%

3.2.4 CH_4 通量季节变化

图 10 为草地在 4 个不同放牧强度下 CH_4 排放通量季节变化情况。由图可以看出, CH_4 通量的季节变化同天然草原 CH_4 通量随季节变化规律一样不明显,在放牧因素的影响下,仍然未改变草原土壤-植物系统作为 CH_4 汇的功能性质,仍以吸收为其主要的交换方式。放牧样地 CH_4 排放通量季节变化范围、平均值、标准偏差、变异系数见表 6。

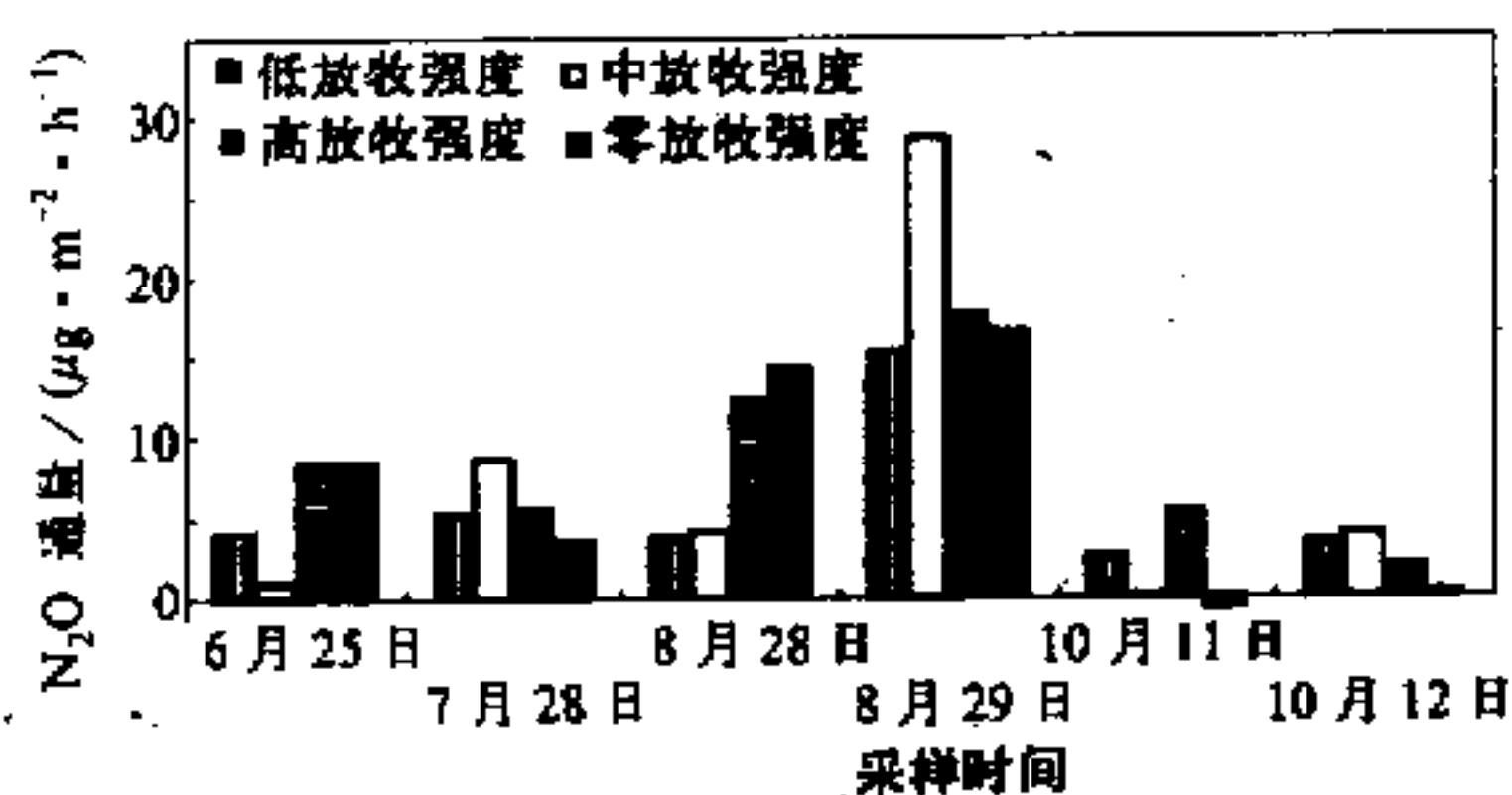
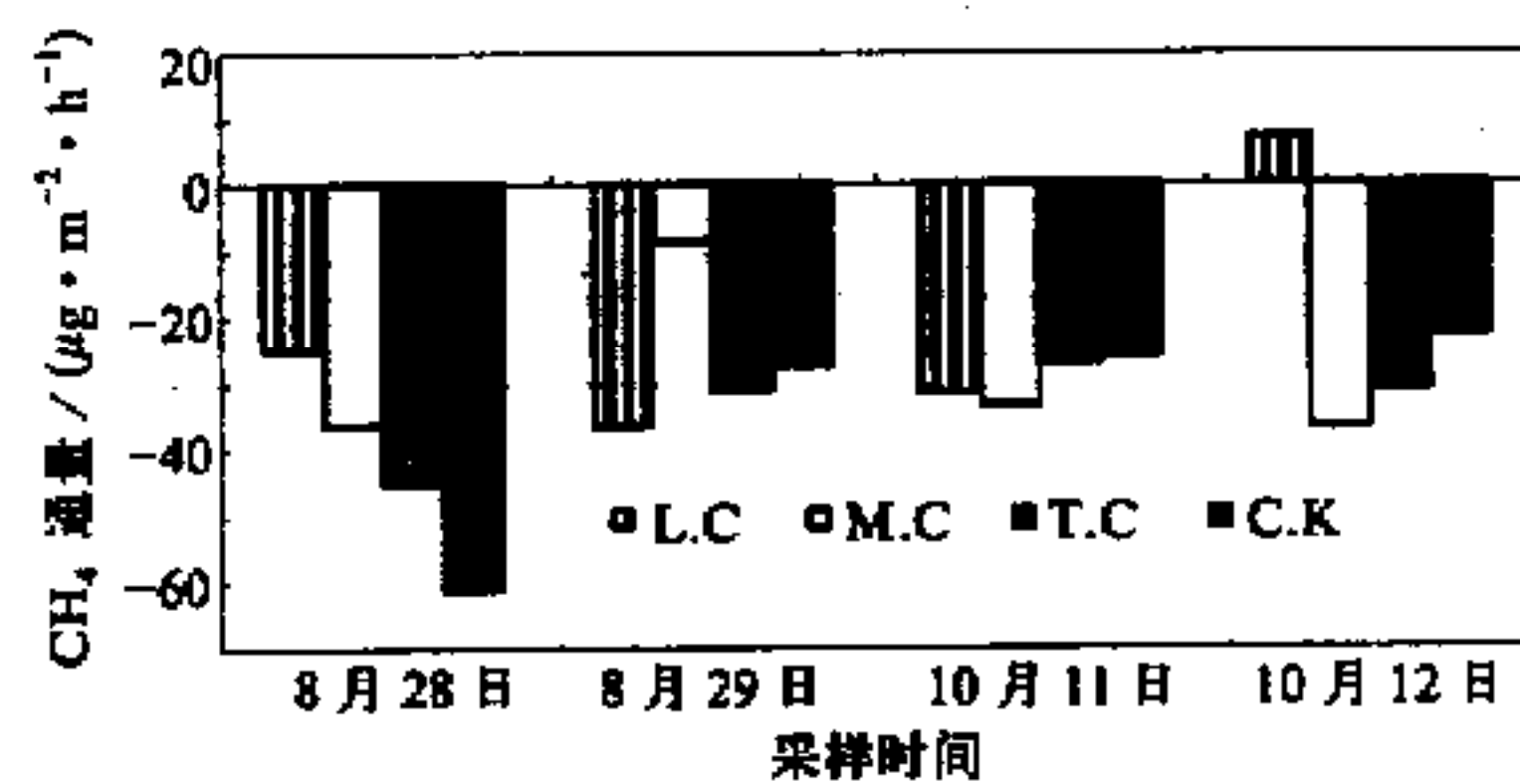
表 6 不同放牧强度草原生态系统 CH_4 通量变化

范围、平均值、标准偏差和变异系数

 $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$

观测期	放牧强度	n	通量范围	平均值	标准偏差	变异系数
1995-06-25 ~ 1995-10-12	低度放牧	6	-54.58~5.27	-21.42	17.91	83.6%
	中度放牧	6	-36.39~-6.44	-21.62	9.18	42.4%
	重度放牧	6	-43.17~-19.06	-23.13	8.59	37.1%
	空白,无牧	6	-47.76~-16.99	-28.58	12.77	44.7%

由表可知,放牧行为减弱了草原生态系统对 CH_4 的吸收作用,其中,中、低度放牧强度较重度放牧强度降低草原土壤-植物系统作为 CH_4 汇功能的幅度大。放牧行为

图 9 不同放牧强度 N_2O 通量季节变化图 10 不同放牧强度 CH_4 通量季节变化

减弱了草原土壤吸收 CH_4 的汇的作用主要原因可能是牲畜的采食行为对草原土壤结构、土壤养分以及地上生物量的影响而产生这种效应。对比表 5 和表 6 不难发现放牧行为没有改变草原生态系统 N_2O 的排放与 CH_4 吸收之间互为消长的关系。

3.3 草原生态系统 N_2O 排放通量与 CH_4 吸收通量间的相互关系

本研究对羊草草原和大针茅草原 N_2O 、 CH_4 通量野外原位监测结果也发现两种类型草原生态系统 N_2O 排放与 CH_4 吸收之间存在互为消长的关系。在监测期间, 羊草草原 N_2O 排放通量高($6.99 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), 则 CH_4 吸收通量低($-27.16 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); 而大针茅草原 N_2O 排放通量低($3.06 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$), CH_4 吸收通量则高($-50.97 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)。Mosier 等^[7]首次提出草原土壤 N_2O 排放与 CH_4 吸收之间呈互逆关系, 认为其原因是, N_2O 产生作用和 CH_4 氧化作用主要由铵氧化细菌来进行, 土壤湿度下降时, 由于铵的扩散作用减慢限制了硝化作用, 同时湿度下降促进 CH_4 吸收。

作者认为两者之间存在互为消长关系的原因主要是土壤养分所致, 由于天然草原不存在人为施肥影响, 主要是土壤养分本身的循环, 土壤硝态氮含量升高促进草原生态系统 N_2O 的排放, 降低 CH_4 的吸收。羊草草原土壤速效氮含量较大针茅草原土壤速效氮含量高, 在整个监测期间前者硝态氮含量平均值为 4.31 mg/kg (干土), 后者平均值为 3.51 mg/kg (干土), 后者的有机质含量也明显低于前者, 这样使得羊草草原 N_2O 排放量高于大针茅草原而大针茅草原 CH_4 吸收量高于羊草草原。另外, N_2O 排放与 CH_4 吸收之间的消长关系可能还与土壤结构和土壤含水量有一定的关系。土壤含水量在一定程度上的增加同时促进 N_2O 排放与 CH_4 吸收, 而羊草草原土壤持水量高于大针茅草原, 所以在同样的降水条件下, 羊草草原 N_2O 排放量高于大针茅草原而大针茅草原 CH_4 吸收量高于羊草草原。这方面有待于做更深入的研究。

4 结论

(1) 羊草草原、大针茅草原生态系统 N_2O 排放通量的季节变化范围分别为 $0.72 \sim 9.69$ 和 $-0.54 \sim 6.37 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, N_2O 排放通量年平均值分别为 0.61 和 $0.27 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这表明草原土壤-植物系统对大气中的 N_2O 起着源的功能。

(2) 羊草草原、大针茅草原生态系统 CH_4 排放通量的季节变化范围分别为 $-54.58 \sim 8.21$ 和 $-95.51 \sim -32.47 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, CH_4 年平均值分别为 -2.38 和 $-4.46 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这表明草原土壤-植物系统对大气中 CH_4 起着汇的功能。

(3) 在放牧行为的影响下, 草原土壤-植物系统与大气间 N_2O 和 CH_4 的交换通量受到一定的影响。但从总体上讲, 放牧行为并未改变草原生态系统作为大气中 N_2O 的源, CH_4 的汇的功能性质。

(4) 草原生态系统 N_2O 排放与 CH_4 吸收之间存在互为消长的关系, 放牧行为对草原生态系统复杂的影响并未改变这种关系。

参 考 文 献

- 1 叶笃正等, 中国全球变化预研究, 北京: 地震出版社, 167.

- 2 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.
- 3 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, 北京: 科学出版社, 181~192.
- 4 Denmead, O.T., J. R. Freney and J.R. Simpson, 1979, Studies of nitrous oxide emission from a grass sward, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 726~728.
- 5 Mosier, A.R., M. Stillwell, W.J. Parton and R.G. Woodmansee, 1981, Nitrous oxide emissions from a native Shortgrass Prairie, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 617~619.
- 6 李永宏, 1993, 蒙古高原典型草原植物群落的生物多样性特征及其放牧动态规律, 植物学通报, 10, 增刊, 23.
- 7 Mosier, A.R., Schime, D., Valentine, D., Bronson, K. and Parton, W., 1991, Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grassland, *Nature*, 350, 330~332.

The Primary Research on *in situ* Measurements of N_2O and CH_4 Fluxes from the Inner Mongolia Grassland Ecosystem

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 N_2O and CH_4 fluxes from temperate semi-arid typical nature and grazing grassland ecosystem was firstly conducted in the Inner Mongolia from May to October 1995. In this research, we studied the seasonal and diurnal variation, in the meantime we found there was a quantified relation between N_2O emission and CH_4 consumption. The range of N_2O fluxes from *Aneurolepidium chinense* and *Stipa grandis* grassland were: $0.72 \sim 9.69$ and $-0.54 \sim 6.37 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, respectively. Their annual average of N_2O fluxes were 6.99 and $3.06 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$. The range of CH_4 fluxes were $-54.58 \sim 8.21$ and $-95.51 \sim -32.47 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, their annual average of CH_4 fluxes were -27.16 and $-50.97 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$. The results of different stocking rate effect on greenhouse gases N_2O and CH_4 fluxes from grazing grassland ecosystem are shown as follows: the range of N_2O fluxes from low, medium, top, and non-stocking rate grassland were $1.64 \sim 9.69$, $0.07 \sim 18.05$, $1.22 \sim 11.17$ and $-0.42 \sim 10.47 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$, respectively. Their annual average of N_2O fluxes were 3.55 , 5.18 , 4.76 and $3.52 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$. The range of CH_4 fluxes were $-54.58 \sim 5.27$, $-36.39 \sim -6.44$, $-43.17 \sim -19.06$ and $-47.76 \sim -16.99 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$. Their annual average of CH_4 fluxes were -21.42 , -21.62 , -23.13 and $-28.58 \mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$.

Key words grassland ecosystem stocking rate N_2O CH_4 flux