第 26 卷第 1 期　　南 京 气 象 学 院 学 报　　Vol. 26 No. 1
2003 年 2 月　　Journal of Nanjing Institute of Meteorology　　Feb. 2003

文章编号: 1000-2022(2003)01-0029-09

内蒙古草原温室气体排放日变化规律研究

胡玉琼[1],　王跃思[1],　纪宝明[2],　王明星[1],　杜　睿[1]
(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: 采用静态箱—气相色谱法研究内蒙古草原温室气体 N_2O、CO_2、CH_4 与大气交换的日变化规律。CO_2 日排放变化形式基本相同, 和大气交换的总结果是向大气排放; 影响草原 N_2O 排放日变化形式的关键是土壤含水量和表层土壤理化特性, 日温变化主要影响其日变化强度; 影响草原 CH_4 日变化形式的关键因子是土壤水分和供氧状况, 而温度和植物的生长状况则影响吸收强度。利用内蒙古草原温室气体排放相对固定的日变化形式, 可以对相同生长季内每周 1 次的观测结果进行矫正。

关键词: 温室气体; 日变化; 矫正; 内蒙古草原
中图分类号: P402　　文献标识码: A

人类活动引起的大气温室气体浓度急剧增加以及由此引起的全球平均气温上升, 已成为目前全球变化中最主要和最直接的变化[1], 同时气候变化对生态系统演变也已产生着巨大的影响, 生态脆弱带因此而产生的突变往往难以逆转。一般认为生物圈产量增加是温室气体浓度增长的主要原因, 而全球汇减少也许也是另一个重要原因[2]。N_2O、CO_2、CH_4 作为大气中最重要的三种温室气体, 研究其生态系统源、汇具有十分重要的现实意义。

草原是全球陆地生态系统的重要组成部分, 占陆地总面积的 25 %。草原生态系统与大气间温室气体的交换作用, 对于全球气候变化有着重要影响[3]。我国天然草地面积为 3.9 亿 hm^2, 占陆地面积的 41.4 %[1]。也许与北方森林一样, 北方草原也是一个碳汇[3-4], 其中内蒙古草原是全球典型中纬度半干旱温带草原, 研究该区域碳氮收支及温室气体排放, 可大大加深对草地生态系统演化、区域气候和区域环境变化内在驱动力的认识。本文对内蒙古草原温室气体排放规律进行研究, 根据野外实地观测的结果, 揭示 N_2O、CO_2、CH_4 通量排放的日变化规律, 并对不连续测量的结果进行矫正和讨论。

1　观测实验方法

半干旱草原属于对气候变化响应十分明显的区域, 温度和水分两大气象因子极易受到外

收稿日期: 2002-01-27; 改回日期: 2002-05-13
基金项目: 中国科学院知识创新重大项目 "中国陆地和近海生态系统碳收支研究"(KZCX1-SW-01)
作者简介: 胡玉琼(1977-), 女, 安徽蚌埠人, 硕士, 研究方向为大气化学.
通讯人: 王跃思(1961-), 男, 研究员, 博士, 主要研究方向为大气化学.

来因素干扰, 因此对半干旱草原土壤与大气间温室气体交换速率的测量, 方法十分关键。

1.1 观测点背景

观测实验点位于内蒙古锡林河流域中国科学院内蒙古草原生态系统定位站(115°32′～117°12′E, 43°26′～44°39′N) 附近。该区的草原在气候、植被、动物和土壤等方面, 不仅在中国温带草原区域具有较强的代表性, 而且也是整个欧亚大陆较为典型的草原区[5-6]。

观测区域气候类型属于大陆型温带草原气候, 四季分明, 气温日较差和年较差较大, 日照充分, 年均降水量自东南向西北递减, 6—8 月降水占全年降水的 60 %～75 %。土壤具有明显的地带性, 即由东南平均 450 mm 向西北平均 320 mm 有规律地分布着黑钙土地带、暗栗钙土地带和淡栗钙土地带。实验区内最主要的土壤为栗钙土。植被覆盖面积近 96.4 %, 其中草地植被约占 90 %。草原类型包括草甸草原、羊草草原、大针茅草原和干草原 4 种。其中羊草草原和大针茅草原有用围栏禁牧的对照实验区。

由于在各类生态系统中土壤圈是自然界营养物质的重要基础, 所以其物质循环就成为生物地球化学循环的重要组成部分。土壤在生物地球化学循环中扮演的重要角色, 决定了它对大气中 CO_2、CH_4 和 N_2O 的源和汇会有重要的影响[7-8]。各类草原的土壤理化特性如表 1 所示。

表 **1** 实验区 **4** 类草原土壤理化特性

Table 1 Soil physical-chemical characters of the four kind grasslands in experimental region

草原类型	土壤类型	有机质/%	全氮/%	pH 值	地上活体生物量干重/(g·m^{-2})	年降水量/mm	年平均气温/℃	海拔高度/m
羊草草原	暗栗钙土	3.18	0.188 2	6.92	163.2	350～450	-0.3～1.0	1 100～1 300
草甸草原	黑钙土	4.10	0.218 0	6.37	156.9	450 左右	-1.0～4.0	1 300～1 500
大针茅草原	栗钙土	2.76	0.188 3	7.64	126.4	350～450	-0.3～1.0	1 200～1 300
干草原	淡栗钙土	1.03	0.073 5	6.76	74.9	250～350	1.0～2.0	900～1 100

1.2 采样方法

与森林和农田相比, 草地排放(吸收) 温室气体通量较小。内蒙草原属于温带半干旱草原, 对气候变化敏感, 受人类活动影响明显, 但其地下生物量大大超过地上生物量[9-10, 12], 因此碳、氮在生态系统中周转周期相对较长。箱法不会对采样造成很大的干扰, 草原的这些特点较适用静态箱—气相色谱法测定 CO_2、CH_4、N_2O 的交换速率。

如果采用微气象法测量, 草原不会找不到适用于涡度相关法的下垫面, 但是由于地气间温室气体交换量不如森林和欧洲草原那么大, 测量误差比较大, 所以不能用此类方法对 CH_4 和 N_2O 进行测量。即使采用箱法, 也应十分小心。实验证实, 透明采样箱罩在内蒙古半干旱草原表面, 温度上升极快, 温度升高造成水分蒸发加剧, 使采样箱变成一个“泵”, 将所罩地表的水份连同其他微量成分一同“抽出”, 这样将会造成极大的实验误差。因此在研究陆地生态系统与大气交换温室气体时, 要十分注意方法的使用, 当误差不可避免时, 应尽量给出测量数据的矫正方法。由于涡度相关和定点连续采样分析测定方法均不适用半干旱草原温室气体排放速率的测定, 本研究将采用间歇式静态箱—气相色谱法。

1998—2000 年对天然羊草草原作每周 1～2 次的连续实验观测。为获得较大的数据量, 我们在相同区域设置 6 个采样点、用 3 只采样箱分两组轮流采样, 采样一般选在上午进行, 隔周采样 1 次。对观测结果取平均, 这样不仅可以减少对采样点的扰动, 而且降低了排放/吸收的空间变异给实验结果带来的偏差。同时在上述前 4 种草原进行每月 1 次(非生长季) 或 2 次(生长

季) 连续 24 h(每 2 h 1 次) 的日变化观测。

实验表明, 每个采样区布置 6 个采样箱底座, 分两组采样, 每周在固定的采样点仅进行 1～2 次观测, 在牧草生长旺季采样时间不超过半小时, 对采样点基本无明显扰动。每周 1～2 次的采样分析很难客观地反映草原与大气间温室气体交换的周平均或日平均通量, 因此要定期对采样点温室气体排放通量进行日变化测定。为不干扰每周进行 1～2 次采样点的日变化观测, 可选择在临近土壤、植被和放牧强度相同的区域作观测, 观测结果用于每周 1～2 次观测结果的日平均矫正。

本实验采用的气体采样箱有如下几种: 采样箱由有机玻璃板和不锈钢板制成, 有大(长×宽×高= 90 cm ×90 cm ×35 cm) 、中一(65 cm×65 cm×70 cm) 、中二(40 cm ×40 cm ×35 cm) 、小一(20 cm ×20 cm ×25 cm) 4 种型号方形采样箱和 1 种圆形(直径 20 cm, 高 25 cm) 采样箱。为确保数据的有效性, 使用不同的采样箱对不同类型天然草原 CO_2、N_2O 和 CH_4 的排放(吸收) 观测。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。在整个样品采集过程中, 应尽可能将采样系统对草原生态系统的影响降至最低。每次采样罩箱时间在 1 h 之内, 分别在每个采样箱罩箱初时、中间、末时用 100 ml 注射器采集箱内气体 100～200 ml, 直接储存于 100 ml 注射器内或转存于专用气袋内。同时用数字温度计量取地下 10 cm、地表和箱内温度。

1.3　样品分析

采集的样品运送到实验室后用气相色谱仪(GC) 分析 CO_2、CH_4 和 N_2O 的浓度, 具体配置见表 2。

表 **2**　气体浓度分析系统色谱配置和分析条件

Table 2　Chromatogram settings and analysis conditions of gas concentration analytical system

分析目标化合物	色谱柱	柱箱温度/ ℃	检测器	保留时间/ min	载气及流量 / $cm^3 \cdot min^{-1}$
CO_2	2 mm×2.5 m 不锈钢材料, 内填 60/80 目 Porapak Q	50～90	FID, 150 ℃, H_2 30 cm^3/ min, Air 400 cm^3/ min	2.08	高纯 N_2, 30
CH_4	2 mm×2.0m 不锈钢材料, 内填 60/80 目 13X 分子筛	45～85	FID, 150 ℃, H_2 30 cm3/ min, Air 400 cm3/ min	0.68	高纯 N_2, 30
N_2O	2 mm×3.0 m 不锈钢材料, 内填 80/100 目 Porapak Q	45～70	ECD, 380 ℃	2.45	Ar-CH_4, 20

1.4　通量的计算

使用 Excel、Lotus 1-2-3 等软件处理 HP-Chemistation 得到的色谱峰积分面积数据, 将其转换成浓度, 进一步可计算出交换通量, 计算公式为

$$F = \rho \cdot dc/dt \cdot A/S = \rho \cdot h \cdot dc/dt。$$

式中 F 为测量到的气体通量, 即单位时间单位体积排放的气体质量(CO_2: $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; CH_4: $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$; N_2O: $\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) , ρ 为箱内气体密度($n/v = p/(RT)$, 单位: $mol \cdot m^{-3}$, T 为箱内温度, p 为箱内气压) , h 为观测箱高度, dc/dt 为气体样品浓度变化率, 即单位时间内被测气体的浓度的变化量[11]。

为获得较大的数据量, 我们在相同区域设置 6 个采样点用 3 只采样箱分两组轮流采样,

对观测结果取平均,这样不仅可以减少对采样点的扰动,而且降低了排放/吸收的空间变异给实验结果带来的偏差。除了每周 1～2 次的连续实验观测,我们还在上述草原进行每月 1 次(非生长季)或 2 次(生长季)连续 24 h(每 2 h1 次)的日变化观测。利用相对固定的日变化形式可以计算每一观测时刻温室气体排放/吸收量与日平均值之间的矫正系数,于是可以通过观测日(如每周 1 次)任意时间单次测定结果比较准确地计算出观测日平均排放量,同时也可通过每周 1 次观测得到的通量结果对日变化幅度进行校准。本文研究采用的数据,是基于 1998 年 4 月—2000 年 4 月两年相同(或相近)时间观测结果的小时、日平均值。

2 结果讨论

2.1 CO_2 排放速率日变化及其矫正方法

图 1 是天然羊草草原 4 个生长季与大气间交换 CO_2 速率的动态结果及其日平均排放通量。CO_2 日排放变化模态基本相同,一天之中虽然有时为大气 CO_2 的汇,有时又是 CO_2 的源,但日排放量大于吸收量,净结果为向大气排放 CO_2。晴天时,CO_2 排放峰值均出现在夜间,黎明时,排放通量迅速降低到 0 附近,然后又缓慢增加。植物生长旺季,白天吸收值往往大于排放值,即出现负排放。在草原植物生长的四个季节,排放最低点均出现在清晨 06—07 时,此时光合作用吸收 CO_2 已经达到动态平衡点,但土壤温度最低,植物和土壤呼吸最弱,排放 CO_2 最少,双重作用致使在清晨出现日排放通量值最低。与之相反,CO_2 排放最高值则是出现在晚上天黑之后 20 时至 21 时,此时光合吸收 CO_2 完全终止,而土壤温度仍维持在较高水平,植物与土壤呼吸强烈,CO_2 排放出现日变化中最高值。

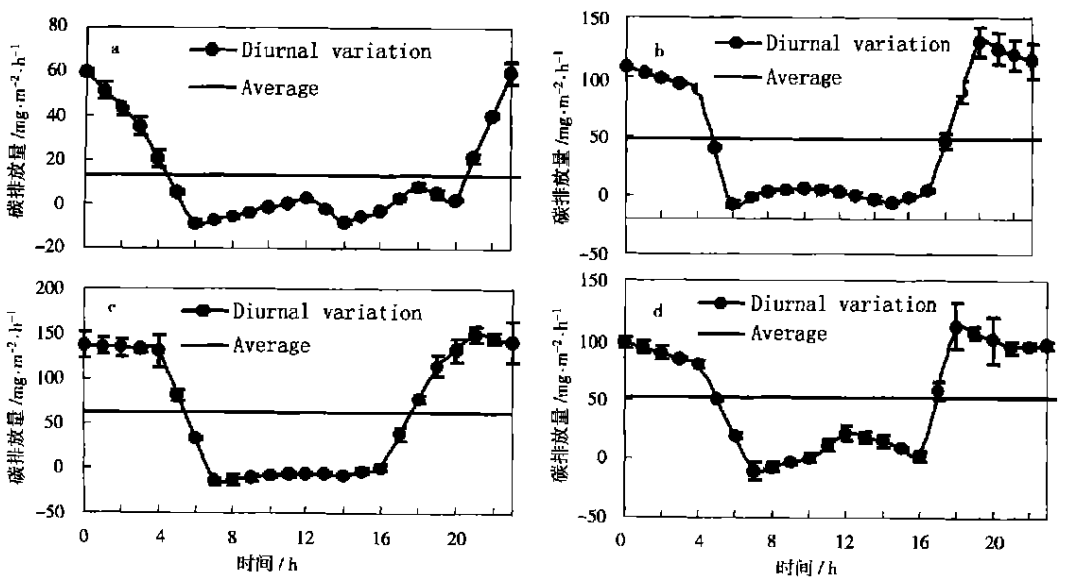

图 1 羊草草原 4 个生长季 CO_2 排放日变化

a. 抽穗期; b. 开花期; c. 结实期; d. 果后营养期

Fig. 1 Diurnal variations of CO_2 emission at different growth stages in Natural *A. Chinese* grassland

a. heading; b. flowering; c. seeding; d. nutrition

由于草原生态系统温室气体排放存在显著日变化,若在草原温室气体观测实验中用 1 次测量结果代表 1 d 或几 d 的平均排放状况[13],就可能产生较大误差,计算出的月和年排放总量

也就相对高或低。为确保得到的排放通量的准确性, 就需要对观测结果进行矫正, 使获得的数据可靠且具代表性。研究发现, 利用相对固定的日变化形式可以计算每一观测时刻温室气体排放/吸收量与日平均值之间的校正系数, 通过观测日(如每周 1 次) 任意时间单次测定结果乘以矫正系数便可比较准确地计算出观测日平均排放量[13], 同时也可通过每周 1 次观测得到的通量结果对日变化幅度进行校准。这样就可以对每次间断测量结果矫正, 使其更能代表草原温室气体排放的日平均状况, 从而计算出比较准确的排放总量。

某一时刻的矫正系数 r 定义为连续测量结果的日平均值 F_a 与该时刻的实测值 F_t 之比, 即 $r = F_a/F_t$。F_a、F_t 的单位是 $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$。温室气体排放的日变化形式随季节变化和植物生长状况而异, 矫正系数也会随之改变。根据草原温室气体排放的日变化规律, 将草原植物的生长阶段分为抽穗期、开花期、结实期和果后营养期, 用统计平均法确定每一个生长季的矫正系数。并根据统计方法得出观测结果是否和平均值之间有显著差异, 如果没有, 我们就把这些时段当作不连续的适当观测时间, 可以把该时段的观测结果作为排放结果, 不需要矫正, 而如果有显著差异, 说明该时段得到的结果并不具有代表性, 必须加以矫正。如果不连续测量的观测时间选择不当, 又不对测量结果进行矫正, 则使对气体排放的估计偏高或偏低。所以, 在观测时间选择不当时, 必须对不连续观测结果加以矫正。需要矫正的时段结果分别列于表 3～5。天然羊草草原以暗栗钙土为主, 在土壤湿度变化不大、气温稳定和晴天小风的情况下, 这些矫正系数代表了各生长季的平均情况, 可直接用于矫正类似生态系统的相应微量气体排放的测量结果。以天然羊草草原排放 CO_2 为例, 在草原植物抽穗期, 假设测得一天上午 09 时 CO_2 排放通量值为 F_1, 查表 3, 抽穗期上午 09 时 CO_2 排放矫正系数为 - 3.6, 那么这一天的 CO_2 平均排放通量值就是 $F_a = F_t \times (-3.6)$。这样就可以根据矫正系数来对 4 个生长季内任意一天任意时刻的观测结果做出矫正, 得到较为准确的结果。在同一生长期内, 一般认为温室气体排放通量的日变化形式不会发生改变, 仅变化幅度有所变化。因此如果使用得当, 日变化矫正方法是一种简单、实用的数据矫正手段。本文是基于 1998—2000 年的连续两年的观测实验结果提出的一种在内蒙古草原生态系统可行的观测矫正方法, 由于各种条件的限制, 得到的矫正系数尽管存在一定的误差, 但是就方法而言, 还是有效而实用的。

表 **3**　天然羊草草原各生长季 **CO_2** 排放矫正系数

Table 3　CO_2 emission correction coeffients at different growth stages in Natural *A. Chinese* grassland

时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期	时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期
00	0.2	0.4	0.5	0.5	12	4.5	14.6	- 10.8	4.7
01	0.3	0.5	0.5	0.5	13	- 5.2	-	- 9.2	*
02	0.3	0.5	*	0.5	14	*	- 14.6	- 8.1	*
03	0.4	0.5	0.5	*	15	- 2.4	- 7.3	- 18.5	3.5
04	0.6	0.5	0.5	*	16	- 4.5	- 38.9	64.7	6.1
05	2.4	*	*	0.6	17	5.2	11.7	*	22.9
06	*	- 5.8	*	*	18	*	*	*	0.5
07	*	- 19.5	- 4.0	*	19	2.6	0.5	0.5	*
08	*	14.6	- 4.9	- 4.6	20	6.0	0.4	0.5	0.5
09	- 3.6	10.6	- 6.1	- 6.9	21	*	0.4	0.4	*
10	- 9.1	8.3	- 8.1	- 13.7	22	0.3	0.4	0.4	0.5
11	18.1	10.6	- 9.2	-	23	0.2	0.4	0.4	0.5

注: * 不需要矫正, - 缺测数据.

2.2 N_2O 排放速率日变化及其矫正方法

图 2 是天然羊草草原 4 个生长季与大气间交换 N_2O 速率的动态结果及其日平均排放通量。内蒙古半干旱草原排放的 N_2O 主要来自于异氧硝化过程[14-15], 由于异氧硝化菌的硝化活性和强度都远低于自氧硝化菌[14], 致使草原陆地生态系统排放的 N_2O 日较差偏低, 变化形式复杂。但在草原植物生长旺季, 尤其是开花期, N_2O 日排放变化仍然十分明显。图中可以看出, 在土壤湿度相对较大(大于 15 %) 和通气性较好的情况下, N_2O 排放通量在中午前后出现高峰, 而在夜间土壤温度较低时出现排放低值。在果后营养期, 草原植物开始凋落, 已接近立枯, 同时, 温度下降, 降雨减少, N_2O 日排放通量变化不大[15-16], 与其他季节相比, 日变化已无明显意义。综上所述, 影响半干旱草原 N_2O 排放日变化形式的关键是土壤含水量和表层土壤理化特性, 日温变化主要影响日变化强度。

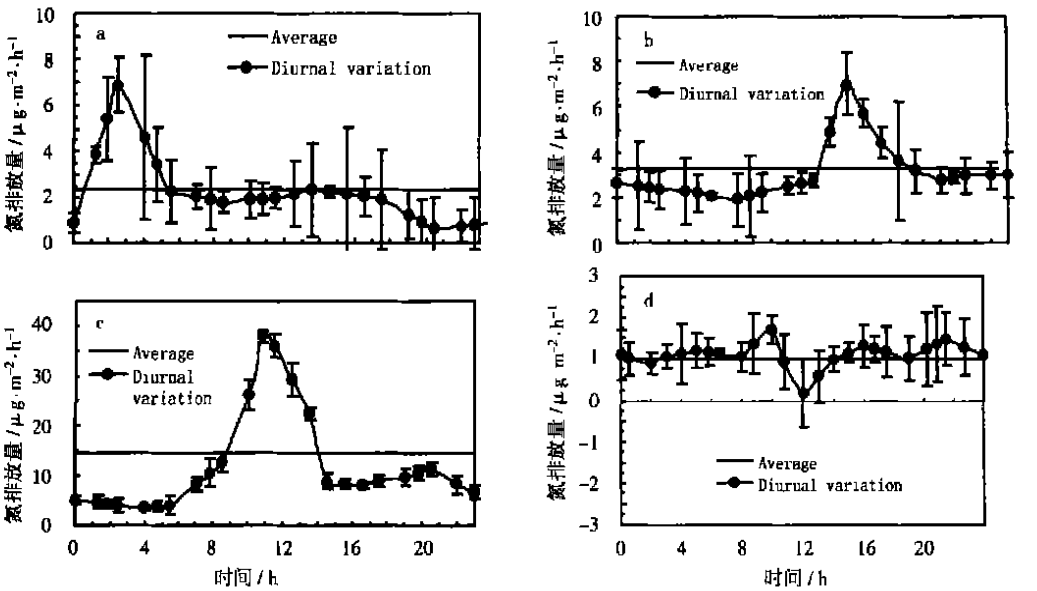

图 2 羊草草原 4 个生长季 N_2O 排放日变化

a. 抽穗期; b. 开花期; c. 结实期; d. 果后营养期

Fig. 2 Diurnal variations of N_2O emission at different growth stages in Natural *A · Chinese* grassland

a. heading; b. flowering; c. seeding; d. nutrition

和上述 CO_2 排放一致, N_2O 的日排放变化也需要矫正, 但是同 CO_2 相比, N_2O 的日变化形式相对复杂, 前 3 个生长季的基本日变化形式相同, 只是日排放峰值出现的时间不同, 在果后营养期内, N_2O 排放通量已经相对减少, 日较差降低, 日变化矫正意义不大。根据公式 $R = F_a / F_t$ 计算得到表 4。从图 2 和表 4 可以看出, 结实期为内蒙古草原 N_2O 排放日变化剧烈阶段, 因此在这一时期应适当增加观测的频率, 并注意对单次结果的日变化矫正。

2.3 CH_4 排放速率日变化及其矫正方法

图 3 是天然羊草草原 4 个生长季与大气间交换 CH_4 速率的动态结果及其日平均排放通量。各季的日变化形式之间有较大差别, 这主要是因为草原吸收 CH_4 的日变化形式主要受土壤水分含量、土壤孔隙度(主要影响输送氧气的能力)、温度和植物生长状态的影响[17-18]。图中可以看出, 天然羊草草原吸收 CH_4 的能力与土壤日温变化呈正线性相关; 湿度较低时, 吸收 CH_4 的能力则与日温变化呈反线性相关。在结实期草原生态系统吸收 CH_4 的日变化形式与日

表 4　天然羊草草原各生长季 N_2O 排放矫正系数

Table 4　N_2O emission correction coeffients at different growth stages in Natural *A. Chinese* grassland

时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期	时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期
00	2.6	*	2.8	*	12	1.2	*	0.4	6.1
01	0.6	*	3.0	*	13	1.1	0.7	0.5	1.9
02	0.4	*	3.3	*	14	*	0.5	0.6	*
03	0.3	*	3.6	*	15	*	0.6	1.6	*
04	0.5	*	4.0	*	16	*	0.7	1.7	0.8
05	*	1.5	3.7	*	17	*	*	1.8	*
06	*	1.6	3.5	*	18	1.2	*	1.6	*
07	*	*	*	*	19	*	*	*	*
08	*	1.6	*	*	20	2.4	*	1.4	0.9
09	*	1.5	*	*	21	3.6	*	*	*
10	*	1.3	0.6	0.6	22	3.0	*	1.7	0.7
11	*	*	0.4	*	23	2.8	*	2.1	*

注: * 不需要矫正.

温变化呈正相关。而在营养期却与上述规律相反, 但日较差仅是其他季节的 1/8～1/10, 其日变化对校正相同时间段 CH_4 日吸收平均值意义不大。影响草原 CH_4 日变化形式的关键因子是土壤水分和供氧状况, 而温度和植物的生长状况则影响吸收强度。

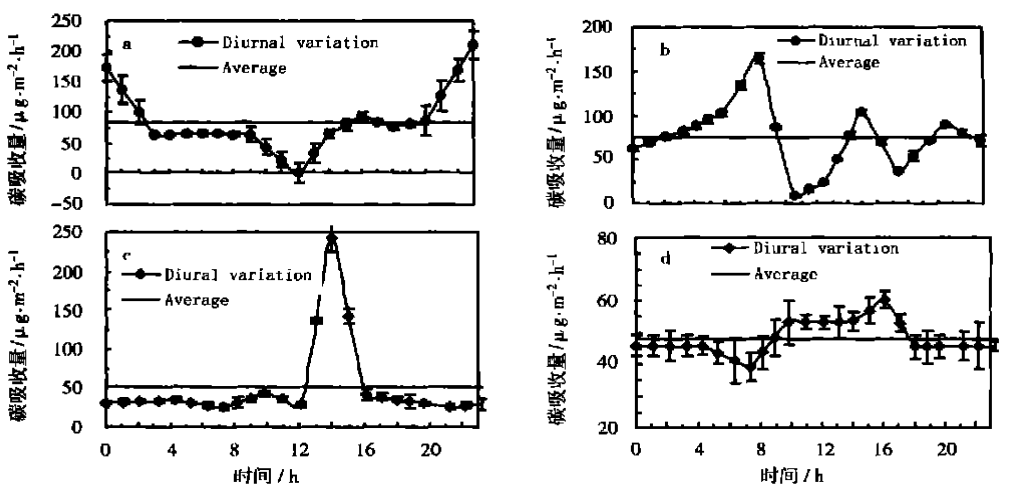

图 3　羊草草原 4 个生长季 CH_4 排放日变化

a. 抽穗期; b. 开花期; c. 结实期; d. 果后营养期

Fig. 3　Diurnal variations of N_2O emission at different growth stages in Natural *A. Chinese* grassland

a. heading; b. flowering; c. seeding; d. nutrition

手动不连续观测的优点是观测时将采样箱罩在地表面, 不测时移走采样箱, 对于作物或天然植被的整个生长季无大影响, 缺点是每次采样时均打破观测点痕量气体产生与排放的平衡关系, 会使观测结果中可能包含难以矫正的误差, 最大的缺点就是在于数据量少, 难以捕捉痕量气体排放的日变化信息, 容易以偏概全, 造成严重的观测偏差。因此我们就要利用这些痕量气体日排放变化规律, 对人工观测结果进行有效的矫正。由图中可以看出 4 个生长季内 CH_4

日变化形式差别较大, 这样更容易产生误差, 同样可利用计算矫正因子的公式 $R = F_a / F_t$, 对每周 1 次的观测结果进行矫正。从表 5 可以看出, 抽穗期 12 时的矫正系数高达 52.0, 实际的实验中应尽量避开类似变化十分强烈的时间段采样, 而应选择那些矫正系数在 1.0 附近, 变化较为平稳的时间段采样, 以得到更加准确的测量结果。而在果后营养期, 排放变化幅度相对较小, 各时段的观测结果和平均值之间并无显著差异, 所以基本无须矫正。

表 **5** 天然羊草草原各生长季 **CH_4** 排放矫正系数

Table 5 CH_4 emission coeffients at different growth stages in Natural *A. Chinese* grassland

时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期	时刻	抽穗期	开花期	结实期	果后营养期
00	0.5	*	1.6	*	12	52.0	3.1	1.7	*
01	0.6	*	1.6	*	13	2.5	*	0.4	*
02	0.8	*	1.5	*	14	1.3	*	0.2	*
03	1.3	*	1.5	*	15	*	0.7	0.4	0.8
04	*	0.8	1.5	*	16	*	*	*	*
05	*	0.8	1.6	*	17	*	2.1	*	*
06	1.3	0.7	1.8	*	18	*	1.4	1.4	*
07	*	0.6	2.0	1.2	19	*	*	1.5	*
08	1.3	0.5	1.6	*	20	*	0.8	1.7	*
09	*	*	1.4	*	21	0.7	*	2.0	*
10	2.0	7.8	*	0.9	22	0.5	*	1.9	*
11	3.8	4.4	1.4	*	23	0.4	*	1.7	*

注: * 不需要矫正.

3 结 论

草原 CO_2 日排放模态基本相同, 总结果表现为大气中 CO_2 的源; 影响草原 N_2O 排放日变化形式的关键是土壤含水量和表层土壤理化特性, 日温变化主要影响日变化强度; 影响草原 CH_4 日变化形式的关键因子是土壤水分和供氧状况, 而温度和植物的生长状况则影响吸收强度。利用内蒙古草原温室气体排放相对固定的日变化形式, 可以对草原温室气体某些时段的观测结果进行矫正, 从而得到更准确和具代表性的数据。

参考文献:

[1] 陈佐忠. 锡林河流域地形与气候概况[C]//中国科学院内蒙古草原生态系统定位站. 草原生态系统研究文集 3. 北京: 科学出版社, 1988: 13-22.

[2] 王跃思, 王明星. 北京大气中 CH_4 季变化及发展趋势[J]. 大气科学, 2000, 24(2): 157-164.

[3] 杜 睿, 陈冠雄, 吕达仁, 等. 土壤含水量与温度对羊草、大针茅典型草原土壤—植物系温室气体收支影响的初步研究[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(3): 273-279.

[4] 王燕芬. 内蒙古典型草原 N_2O 研究刍议[J]. 气候与环境研究, 1997, 3(1): 280-284.

[5] 李玉娥, 林而达. 天然草地利用方式改变对土壤排放 CO_2 和吸收 CH_4 的影响[J]. 农村生态境, 2000, 16(2): 14-16.

[6] 李香真, 陈佐忠. 不同放牧率对草原植物与土壤 C、N、P 含量的影响[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 90-98.

[7] Zheng Xunhua, Wang Mingxing, Wang Yuesi. Impacts of soil moisture on Nitrous Oxide emission from croplands: A case study on the rice-based agro-ecosystem in Southeast China[J]. Chemosphere-Global Change Science, 1999, 17(1): 83-92.

[8] Zheng Xunhua, Wang Mingxing, Wang Yuesi. Characters of greenhouse gas(N_2O, NO, CH_4) emissions from croplands

of Southeast China[J]. World Resource Review, 1999, 11(2): 229–246.

[9] 王跃思, 王明星. 农田 CH_4/N_2O 自动采样观测系统[J]. 中国科学院研究生学报, 1997, 14(1): 17–22.

[10] 王跃思, 纪宝明, 王明星. 半干旱草原地– 气温室气体 CO_2、CH_4 和 N_2O 交换速率定方法研究[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 10–15.

[11] Dong Yunshe, Zhang Shen, Qi Yuchun. Fluxes of CO_2, N_2O and CH_4 from a typical temperate grassland in Inner Mongolia and its daily variation[J]. Source Chinese Science Bulletin, 2000, 45(17): 1 590–1 594.

[12] 王跃思, 王明星. 静态箱/气相色谱法自动检测农田 N_2O 排放[J]. 分析测试技术与仪器, 1997, 3(1): 10–15.

[13] 郑循华, 王明星, 王跃思. 生态系统 NO 排放的日变化规律性及排放通量不连续测量的最佳观测时间[J]. 环境科学, 1999, 16(2): 19–22.

[14] Zheng Xunhua, Wang Mingxing, Wang Yuesi. N_2O and CH_4 emission from rice paddies in Southeast China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1997, 21(2): 167–174.

[15] Mosier A, Schimel D, Valentine D. Methane and nitrous oxide fluxes in naive, fertilized and cultivated grasslands[J]. Letter to Nature, 1991, 350: 330–332.

[16] 贾树海. 牧压梯度上土壤物理性质的变化[C]//中国科学院内蒙草原生态系统定位站. 草原生态系统研究(第 5 集). 北京: 科学出版社, 1997: 12–16.

[17] Huang Y, Sass R L, Fisher F M. A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils[J]. Global Change Biology, 1998, 4: 247–268.

[18] Martin K, Ralf C. Effect of CH_4 concentrations and soil conditions on the induction of CH_4 oxidation activity[J]. Soil Bio and Biochem, 1995, 27: 1 517–1 527.

Diurnal Variations of Greenhouse Gase Emissions from a Nei Monggol Grassland

HU Yu-qiong[1], WANG Yue-si[1], JI Bao-ming[2], WANG Ming-xing[1], DU Rui[1]

(1. State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China.)

Abstract: Static chamber-gas chromatographic techniques are used for studying the emission of greenhouse gases CO_2, CH_4 and N_2O from a typical Nei Monggol semi-arid grassland. The pattern of diurnal variations of CO_2 emission in different seasons is almost the same, and the total effect of CO_2 exchange with the atmosphere is net release. The key factors that decide the patterns of N_2O and CH_4 emissions are soil physical properties and soil water content, and temperature determines the intensity of diurnal variations. Because of the relatively fixed diurnal variation pattern of Greenhouse gases emissions from the Nei Monggol Grassland, weekly observed results in the same growth stage can be corrected to get more accurate and representative data.

Key words: greenhouse gases; diurnal variation; correction; Nei Monggol Grassland