

腾格里沙漠沙坡头区流动沙丘 CO₂浓度与变化规律

赵景波^{1,2}, 孟静静¹, 成爱芳¹, 邵天杰¹, 董治宝^{1,3}

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062; 2. 中国科学院地球环境研究所

黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要:为了查明沙漠区流动沙丘 CO₂ 浓度昼夜变化规律, 利用红外 CO₂ 监测仪在 2010 年 5 月对腾格里沙漠东南缘的沙坡头区流动沙丘不同深度的 CO₂ 浓度变化进行了昼夜连续观测。测定结果表明: 在一昼夜内, 从早 8 点到次日早 8 点, 1 m、2 m、4 m 深度处 CO₂ 浓度与大气温度变化趋势基本一致, 均呈现由低到高再到低的变化规律; 1 m 深度处 CO₂ 浓度高低时段的变化与大气温度基本同步, 而 2 m、4 m 深度处 CO₂ 浓度的高低时段比大气温度滞后约 1~2 h; 流动沙丘不同深度 CO₂ 浓度与温度之间存在显著的正相关关系, 空气温度是影响 4 m 以上沙层 CO₂ 浓度大小的主要因素; 流动沙丘不同深度 CO₂ 浓度累积值呈昼高夜低的变化特点, 表明沙漠区微生物活动强度白天大于夜间; 4 m 以上沙层 CO₂ 浓度均高于距地面 1 m 高处 CO₂ 浓度, 表明该区可能是 CO₂ 的排放源区。

关键词: 流动沙丘; 不同深度; 不同坡向; CO₂ 浓度; 昼夜变化规律; 沙坡头区

中图分类号: P941.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)02-0374-07

Variation of CO₂ concentration of the moving dune in Shapotou area of Tengger desert

ZHAO Jing-bo^{1,2}, MENG Jing-jing¹, CHENG Ai-fang¹, SHAO Tian-jie¹, DONG Zhi-bao^{1,3}

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. State Key

Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences,

Xi'an 710075, China; 3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,

Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to find out the variation of CO₂ concentration of the moving dune in the desert area, we have measured the continuous change of CO₂ concentration of the moving dune at different depths by using the infrared monitoring instrument in Shapotou area which is at the southeast edge of Tengger Desert. The results show that the change of 1 m, 2 m, 4 m of CO₂ concentration and air temperature is consistent that is from low to high then to low in a circadian day from 8 am. to 8 am. the next day. High and low periods of the 1 m of CO₂ concentration is basically synchronized with the air temperature. High and low periods of the 2 m and 4 m of CO₂ concentration are about 1~2 h later than the air temperature. There is a significant positive correlation between CO₂ concentration of the moving dune at different depths and air temperature. Air temperature is the main factor which influences the CO₂ concentration above 4 m depth in the sand layer. The cumulative value of the CO₂ concentration is higher in daytime and low in nighttime which indicates the microbial actives more intensively at the day than at night in the desert. The CO₂ concentration above 4 m is higher than 1m high from the ground, which indicates this may be the emission area of CO₂.

Key words: the moving dune; different depths; different aspects; CO₂ concentration; the law of diurnal change; the Shapotou area

大气中温室气体浓度的增加是导致全球变暖的主要因素,它将在很大程度上影响区域乃至全球未来气候变化的趋势,探索温室气体源汇及地域排放特征一直是全球变化研究领域的重点核心内容(董云社等,2000)。CO₂ 为温室气体的主要成分之一,其强烈的温室效应对气候变暖的贡献率远超过其他气体,达 56% (张金屯,1998),并且大气 CO₂ 浓度仍然以较稳定的速率增加,年增加率约 1.8% (杨书运等,2003)。20 世纪 70 年代以来,国外就开始了陆地碳循环的研究,而我国的研究工作开展较晚,主要集中在森林(黄水生等,2009;张弥等,2010)、草原(董云社等,2000;刘贤德等,2009)、湿地(王宪伟等,2010)、农田(赵景波等,2003)等生态系统,对沙漠的研究较少。沙漠是生物稀少的地区,植被覆盖率很低,受人类活动的影响也很少,是陆地碳库的重要组成部分。对沙漠的形成、演变以及沙层水环境等方面前人已做了大量研究(蒋超等,2009;叶冬梅等,2005;穆元伟等,2005),但对沙漠沙层 CO₂ 浓度研究较少,对沙丘不同坡向 CO₂ 浓度和沙丘上下部 CO₂ 浓度差异的研究更少。本文通过对腾格里沙漠沙坡头区流动沙丘不同时空 CO₂ 浓度的昼夜观测,探讨了该地沙漠区 CO₂ 浓度空间差异、昼夜变化规律及其影响因素。

1 研究地区概况与研究方法

1.1 研究地区概况

腾格里沙漠位于阿拉善高原东南部(37°30′~40°00′N,102°15′~105°41′E),东界贺兰山,东南角分别到黄河边,西北以雅布赖山与巴丹吉林沙漠相隔,南侧为祁连山脉(吕萍等,2010)。沙漠面积为 $4.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占全国沙漠总面积的 6.2%,是我国第四大沙漠。该沙漠具有两个显著的特点:一是以流动沙丘为主,兼有一定比例的固定、半固定沙丘;二是湖沼众多,大小湖沼达 422 个之多,绝大多数趋于干涸,个别演化为盐湖(阎满存等,1998)。该区属中温带典型的大陆性气候,降水稀少,年均降水量 177.3 mm,其中 5—9 月降水量占年降水量的 80.6%,年均蒸发量 3000 mm。年均风速 $2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,最大风速 $19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (吕萍等,2009)。该区平均海拔高度为 1250 m,沙丘高度一般为 5~30 m。采样地点在中国科学院风沙科学观测场内,位于腾格里沙漠东南缘中卫市的西北角。

1.2 研究方法

首先采用便携式人工土钻在流动沙丘上选定的观测点钻出 1 m、2 m、4 m 的观测孔,然后用 GXH-3010D 型红外线 CO₂ 分析仪,对 1 m、2 m、4 m

深度和地上 1 m 处 CO₂ 的体积浓度进行昼夜监测,时间间隔为 1 h,同时测定地上 1 m 高度处的空气温度和地下 1 m 深度处的沙层温度。

GXH-3010D 型红外线 CO₂ 分析仪是根据比尔定律和气体对红外线的选择性吸收原理设计而成的。采用时间双光束系统,气体滤波,Insb 半导体检测器,泵吸主动式采样方式。本仪器是测量环境中 CO₂ 的专用仪器,主要技术数据如下:量程:(0~5000) × 10⁻⁶ CO₂;线性度:≤ ± 2% F.S;重复性:≤ ± 1% F.S;零点飘移:≤ ± 2% F.S;气体干扰误差:对 $31000 \times 10^{-6} \text{ CO} \leq \pm 1\% \text{ F.S}$ 。若长期在潮湿和污浊的环境中使用,应及时更换手把中的脱脂棉和过滤器中的变色硅胶。或者打开仪器盖,把无水酒精滴入气室内进行清洗,再打开泵通入空气将酒精吹干,以达到除湿、除尘的目的。

2 流动沙丘 CO₂ 浓度测定结果

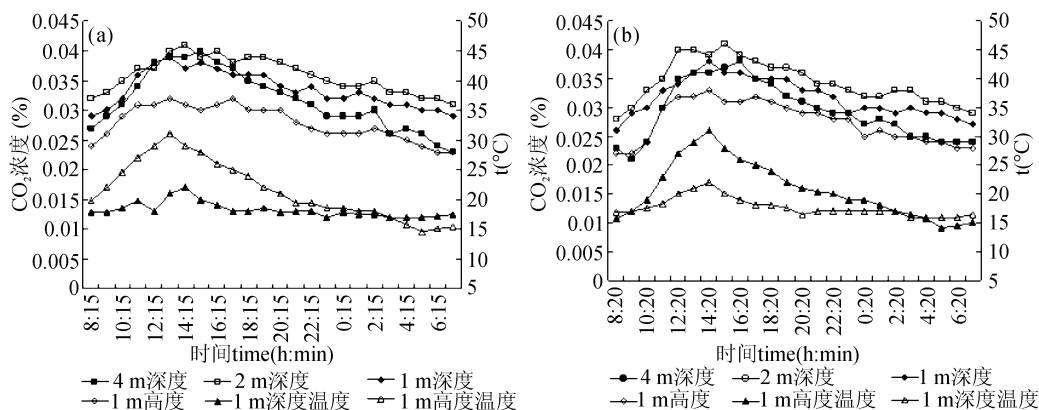
2010-05-27—2010-05-28 对中卫市沙坡头区流动沙丘迎风坡和背风坡不同深度沙层 CO₂ 浓度进行了间隔为 1 h 的连续昼夜观测。观测期间该地天气始终晴好,CO₂ 浓度测定结果如下所述。

2.1 迎风坡中上部 CO₂ 浓度观测结果

通过对流动沙丘迎风坡中上部不同深度的 CO₂ 浓度进行间隔为 1 h 的连续昼夜观测结果(图 1a)分析可知,2 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值最大,为 358×10^{-6} ,变化范围为 $(310 \sim 410) \times 10^{-6}$ 。其次为 1 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值,为 335×10^{-6} ,变化范围为 $(290 \sim 390) \times 10^{-6}$ 。4 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值最小,为 317×10^{-6} ,变化范围为 $(230 \sim 400) \times 10^{-6}$ 。

相同时间段不同深度 CO₂ 浓度在一昼夜内的变化有一定差异。虽然不同深度 CO₂ 浓度的高值段都出现在 11:15—19:15,但是 CO₂ 浓度的最高值出现时间不同,1 m 高处空气中 CO₂ 浓度的最高值出现在 13:15。1 m 深度处沙层中 CO₂ 浓度受温度、风速、光照等因素影响较大,但其浓度的最高值也出现在 13:15。而 2 m、4 m 深度 CO₂ 浓度受温度、风速、光照等因素影响较小,CO₂ 浓度的最高值出现时间要晚 1~2 h,分别出现在 14:15、15:15。不同深度 CO₂ 浓度的低值段都出现在 23:15 至次日 7:15 时间段内,但是 CO₂ 浓度的最低值出现时间不同,1 m 高处 CO₂ 浓度的最低值开始出现在 6:15,1 m、2 m、4 m 深度处 CO₂ 浓度的最低值均滞后 1 h,出现在次日 7:15。

由图 1(a)可知,不同深度 CO₂ 浓度变化与温度



(a)、(b)分别为流动沙丘迎风坡中上部、中下部CO₂与气温的观测结果

图1 流动沙丘迎风坡不同观测点 CO₂浓度与气温的昼夜变化
Fig.1 Change of CO₂ concentration and temperature of different observation points at the windward slope of the moving dune day and night

变化趋势基本一致,均呈现明显地由低到高再降低的变化规律,并且二者之间的高低时段存在一定的对应关系。1 m 深度 CO₂ 浓度高低时段的变化与 1 m 高度空气温度大致相同,而 2 m、4 m 深度 CO₂ 浓度的高低时段与温度的高低时段相比,有一定的滞后性,大约滞后 1~2 h。这是由于白天光照强烈,1 m 深度沙层温度和 1 m 高度大气温度升高迅速,具有同步性,而 2 m、4 m 深度较大,沙层温度升高缓慢。到了晚上,1 m 深度沙层温度和 1 m 高度空气温度迅速降低,而 2 m、4 m 深度沙层温度缓慢降低。由此可以得出,流动沙丘中上部 CO₂ 浓度与温度呈正相关。

2.2 迎风坡中下部 CO₂浓度观测结果

通过对流动沙丘迎风坡中下部不同深度的 CO₂ 浓度进行间隔为 1 h 的连续昼夜观测结果图 1(b) 分析可知,2 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值最大,为 344×10^{-6} ,变化范围为 $(280 \sim 410) \times 10^{-6}$ 。1 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值次之,为 318×10^{-6} ,变化范围为 $(260 \sim 380) \times 10^{-6}$ 。4 m 深度处 CO₂ 浓度的 24 h 平均值最小,为 293×10^{-6} ,变化范围为 $(210 \sim 380) \times 10^{-6}$ 。与流动沙丘迎风坡中上部对比可知,不同深度 CO₂ 浓度的昼夜平均值由大到小的顺序都为:2 m > 1 m > 4 m。但迎风坡的中下部比中上部的 CO₂ 浓度低,1 m、2 m、4 m 深度处中下部 CO₂ 浓度昼夜平均值比中上部分别低 5.3%、4.1%、7.4%。

相同时间段不同深度 CO₂ 浓度在一昼夜内的变化有很大差异。虽然不同深度 CO₂ 浓度的高值

都出现在 11:20 至 20:20 时段内,但是 CO₂ 浓度的最高值出现时间不同,1 m 高处 CO₂ 浓度的最高值出现在 14:20。与迎风坡中上部相似,中下部 1 m 深度处 CO₂ 浓度的最高值与 1 m 高处 CO₂ 浓度的最高值出现时间相同,2 m、4 m 深度 CO₂ 浓度的最高值出现时间要滞后 1~2 h,分别出现在 15:20、16:20。不同深度 CO₂ 浓度的低值段都出现在次日 0:20—9:20,其中 1 m、2 m 深度处沙层 CO₂ 浓度的最低值与 1 m 高处空气 CO₂ 浓度的最低值开始出现的时间相同,为 8:20,而 4 m 深度处 CO₂ 浓度的最低值要晚 1 h,出现在 9:20。与迎风坡中上部相比较,中下部 CO₂ 浓度的最高值与最低值出现时间晚 1 h 左右,这可能由于中下部 CO₂ 浓度变化受风速等因素影响较小所致。

2.3 背风坡中上部 CO₂浓度观测结果

通过对流动沙丘背风坡中上部不同深度的 CO₂ 浓度进行间隔为 1 h 的连续昼夜观测结果(图 2a) 分析可知,2 m 深度处 CO₂ 浓度的昼夜平均值最大,为 380×10^{-6} ,变化范围为 $(330 \sim 440) \times 10^{-6}$ 。4 m 深度处 CO₂ 浓度的昼夜平均值最小,为 357×10^{-6} ,变化范围为 $(300 \sim 430) \times 10^{-6}$ 。1 m 深度处 CO₂ 浓度的昼夜平均值介于 2 m 深和 4 m 深之间,为 370×10^{-6} ,变化范围为 $(320 \sim 430) \times 10^{-6}$ 。通过对比可知,背风坡中上部不同深度 CO₂ 浓度的昼夜平均值的大小顺序与迎风坡中上部和中下部相同,但背风坡中上部不同深度 CO₂ 浓度的昼夜平均值均大于迎风坡的中上部和中下部。

相同时间段流动沙丘背风坡中上部不同深度的

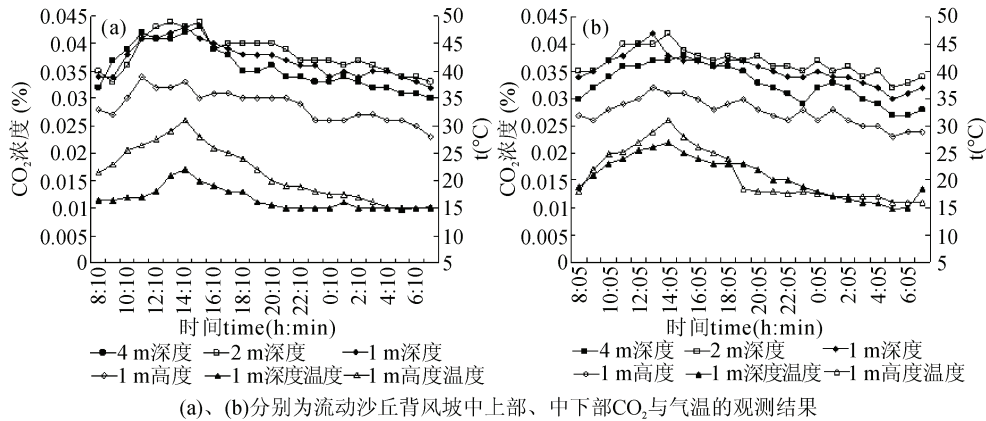


图2 流动沙丘背风坡不同观测点 CO₂ 浓度与气温的昼夜变化
Fig. 2 Change of CO₂ concentration and temperature of different observation points at the leeward slope of the moving dune day and night

CO₂ 浓度昼夜间的变化差异主要表现在两方面。首先表现为 CO₂ 浓度的最高值出现时间不同, 1 m 高处 CO₂ 浓度的最高值出现在 1 m 高处温度最高的 14:10, 由于 1 m 深处受气温、光照等因素影响较大, CO₂ 浓度的最高值也出现在 14:10。而 2 m 和 4 m 相对较深, 受气温等影响较小, CO₂ 浓度的最大值出现在 15:10, 大约滞后 1 h。另一方面表现为 CO₂ 浓度的低值段开始时间不同, 1 m、2 m、4 m 深处 CO₂ 浓度的低值段分别出现在次日 0:10、1:10、2:10, 但不同深度低值段结束时间相同, 都在 7:10 时降到了最低值。

由图 2a 可知, 流动沙丘背风坡中上部不同深度 CO₂ 浓度与温度均呈明显地由低到高再降低的变化规律, 并且二者之间的高低时段存在一定的对应关系。1 m 深处的 CO₂ 浓度高低时段与大气温度高低时段基本一致, 而 2 m 和 4 m 深处的 CO₂ 浓度在白天的时段较 1 m 高度空气温度的时段有一定的滞后性, 大约滞后 1~2 h。因为 2 m 和 4 m 深度处的沙层较深, 温度升降缓慢, 而 1 m 深度相对较浅, 温度升降迅速。由此可以得出, 流动沙丘 CO₂ 浓度与大气温度呈正相关, 这一规律同样表现在流动沙丘迎风坡的中上部与中下部。

2.4 背风坡中下部 CO₂ 浓度观测结果

通过对流动沙丘背风坡中上部不同深度的 CO₂ 浓度进行间隔为 1 h 的连续昼夜观测结果(图 2b)分析可知, 2 m 深度处 CO₂ 浓度的昼夜平均值最大, 为 366×10^{-6} , 变化范围为 $(320 \sim 420) \times 10^{-6}$ 。4 m 深度处 CO₂ 浓度的昼夜平均值最小, 为 328×10^{-6} , 变化范围为 $(270 \sim 380) \times 10^{-6}$ 。1 m 深度处 CO₂ 浓

度的昼夜平均值介于 2 m 深和 4 m 深之间, 为 353×10^{-6} , 变化范围为 $(300 \sim 420) \times 10^{-6}$ 。通过对比可知, 背风坡中上部不同深度 CO₂ 浓度的昼夜平均值的大小顺序与前述 3 个观测点相同, 背风坡中下部不同深度 CO₂ 浓度的昼夜平均值均大于迎风坡的中上部和中下部, 但均小于背风坡中上部, 1 m、2 m、4 m 深度处中下部 CO₂ 浓度昼夜平均值比中上部分别低 8.2%、3.7%、4.7%。

由图 2b 可知, 流动沙丘背风坡中下部不同深度 CO₂ 浓度、温度变化趋势与前 3 个观测点相似, 都呈现明显地由低到高再降低的变化规律。相同时间段流动沙丘背风坡中下部不同深度的 CO₂ 浓度昼夜间的变化主要表现在两方面。首先表现为 CO₂ 浓度的低值段开始时间不同, 1 m、2 m、4 m 深处 CO₂ 浓度的低值段开始时间为次日 1:05、2:05、3:05, 但到 5:05 时都降到了最低值。与背风坡中上部相比, CO₂ 浓度的低值段开始时间滞后 1 h 左右, 但降到最低值的时间却提前了 2 h 左右; 另一方面表现为 CO₂ 浓度的峰值出现时间不同, 1 m 高处与 1 m 深处 CO₂ 浓度的峰值都出现在正午 13:05, 2 m 和 4 m CO₂ 浓度的峰值出现时间大约滞后 1 h, 各出现在 14:05、15:05。

3 讨论

3.1 流动沙丘不同深度 CO₂ 浓度与温度的相关性

由图 1、2 可知, 不同深度 CO₂ 浓度与昼夜温度的变化趋势基本一致, 即从当日早晨到次日早晨都呈由低到高再到低的变化规律。相关性分析结果表

明,流动沙丘不同深度 CO_2 浓度与温度之间存在显著的正相关关系,这与前人的研究是相符的(De

Klein and Van Logtestijn,1996;董云社等,2000;刘贤德等,2009)。相关系数具体值见表1。

表1 流动沙丘温度与 CO_2 浓度在各深度的相关系数

Table 1 The correlation coefficient between temperature and CO_2 concentration of the moving dune at different depths

流动沙丘观测点	孔深(m)	相关系数	流动沙丘观测点	孔深(m)	相关系数
迎风坡中上部	4	0.921 **	背风坡中上部	4	0.941 **
	2	0.815 **		2	0.789 **
	1	0.868 **		1	0.901 **
迎风坡中下部	4	0.927 **	背风坡中下部	4	0.863 **
	2	0.940 **		2	0.852 **
	1	0.936 **		1	0.837 **

注: ** 经 Pearson 相关分析, $P < 0.01$

由表1可知,流动沙丘不同深度 CO_2 浓度与温度之间的相关系数均在0.75以上,说明二者的相关性很显著。这是因为在极端干燥的沙漠区,当沙层含水量不变(一昼夜内深部沙层含水量基本不变)的情况下,各深度 CO_2 浓度的大小主要受空气温度的影响。空气温度升高时,微生物活动增强,加速了沙层中含碳物质的分解和微生物的呼吸作用, CO_2 浓度也随之增加。反之,空气温度降低时,微生物呼

吸代谢减弱, CO_2 浓度相应降低。

为进一步分析流动沙丘不同深度 CO_2 浓度与空气温度的相关性,利用线性模型和指数分布模型对其进行分析(图3),图中线性模型和指数分布模型的曲线几乎重合,同样显示温度与流动沙丘不同深度 CO_2 浓度具有显著的正相关关系。线性模型和指数模型的回归方程的相关系数 R^2 如表2所示。

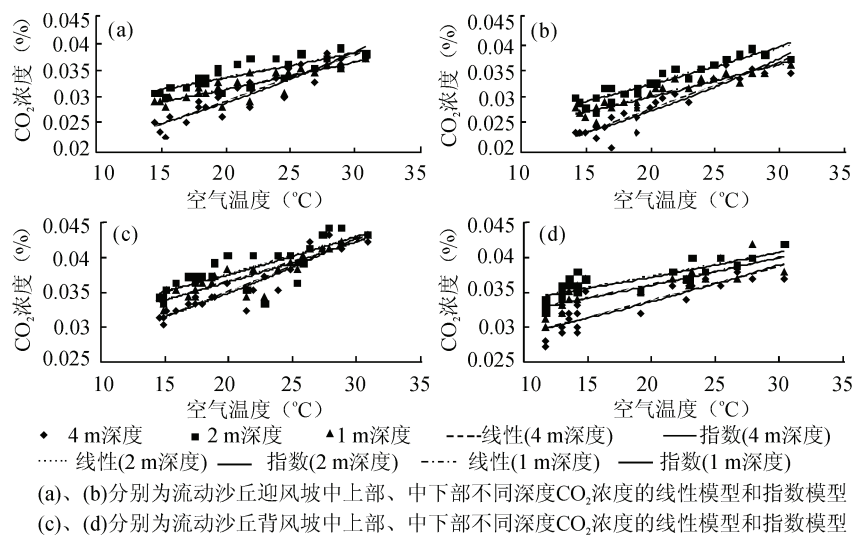


图3 空气温度与流动沙丘不同深度 CO_2 浓度的线性模型和指数模型

Fig.3 The linear model and exponential model between temperature and CO_2 concentration of the moving dune at different depths

3.2 流动沙丘 CO_2 浓度昼夜变化差异及原因

由表3可知,流动沙丘不同观测点白天(7~18 h) CO_2 浓度累积值均高于夜间(19~6 h),其中白天 CO_2 浓度累积值约占总累计值的52%~54%,而夜间只占46%~48%。这种昼高夜低的变化特

点在阔叶林土壤(De Klein and Van Logtestijn,1996)和高寒灌丛草甸土壤(张金霞等,2001;李东等,2005)中也有出现,这主要是由温度昼夜变化和微生物活动强弱所致。流动沙丘 CO_2 浓度主要受大气温度的影响,虽然沙层温度的升降滞后于空气温

表2 流动沙丘不同深度 CO₂ 浓度与气温的线性模型和指数模型的相关系数Table 2 The correlation coefficient of the linear model and exponential model between temperature and CO₂ concentration of the moving dune at different depths

流动沙丘观测点	孔深(m)	线性模型相关系数 R^2	指数模型判定系数 R^2	流动沙丘观测点	孔深(m)	线性模型相关系数 R^2	指数模型判定系数 R^2
迎风坡	4	0.848	0.832	背风坡	4	0.886	0.889
中上部	2	0.664	0.661	中上部	2	0.623	0.609
	1	0.753	0.738		1	0.811	0.802
迎风坡	4	0.860	0.834	背风坡	4	0.746	0.721
中下部	2	0.884	0.869	中下部	2	0.727	0.714
	1	0.877	0.861		1	0.700	0.692

表3 流动沙丘不同观测点 CO₂ 浓度累积值的昼夜差异Table 3 Comparison of the cumulative value of CO₂ concentration between day and night at different observation points from moving dune

观测点分布	迎风坡中上部	迎风坡中下部	背风坡中上部	背风坡中下部
1 m 深 24 h CO ₂ 累积值	0.805	0.762	0.888	0.848
1 m 深 7 ~ 18 h CO ₂ 累积值	0.417	0.395	0.463	0.443
1 m 深 19 ~ 6 h CO ₂ 累积值	0.388	0.367	0.425	0.405
2 m 深 24 h CO ₂ 累积值	0.860	0.825	0.913	0.879
2 m 深 7 ~ 18 h CO ₂ 累积值	0.442	0.429	0.471	0.455
2 m 深 19 ~ 6 h CO ₂ 累积值	0.418	0.396	0.442	0.424
4 m 深 24 h CO ₂ 累积值	0.760	0.704	0.857	0.787
4 m 深 7 ~ 18 h CO ₂ 累积值	0.410	0.373	0.459	0.417
4 m 深 19 ~ 6 h CO ₂ 累积值	0.350	0.331	0.398	0.370

度,但由于沙层结构疏松多孔,且沙子的比热容较大,所以滞后时间较短,一般为 1 ~ 2 h。在一昼夜内,空气温度从当日早晨到次日早晨呈现由低到高再到低的变化规律,这种昼夜间明显的气温差异使得流动沙丘不同深度沙层 CO₂ 浓度呈昼高夜低的变化规律。另外,流动沙丘周围无植被生长,CO₂ 主要是由微生物活动产生的,所以微生物活动决定了 CO₂ 浓度。因此,该规律也说明沙层中微生物活动强度白天大于夜间。

3.3 流动沙丘 CO₂ 的释放

大气中 CO₂ 浓度的增加是导致全球变暖的主要因素,它将在很大程度上影响区域乃至全球未来气候变化的趋势,探索温室气体源汇问题一直是全球变化研究领域的重点核心内容。目前,CO₂ 源和汇的平衡问题依然没有解决。IPCC、田中正之(1990)、Trans 等均认为进入大气的 CO₂ 约有 10% ~ 20% 的去向不明。IPCC 称之为“遗漏的 CO₂ 汇”(Missing sink)。近年来,许多学者对此进行了大量的研究,试图捕捉这 10% ~ 20% 的 CO₂ 行踪(徐胜友和蒋忠诚,1997;田中正之,1990;徐永福,1995)。袁道先(1993,1999)认为碳酸盐溶蚀回收

的 CO₂ 可能是“遗漏的 CO₂ 汇”的重要组成部分,且这个汇具有不断增加的趋势。森林生态系统与大气之间存在着较大的 CO₂ 负通量,是吸收人类释放 CO₂ 的一个重要的汇(Pacala et al,2001)。而青藏高原冻土区具有很大的 CO₂ 释放潜力,是 CO₂ 的重要排放源(林清等,1996)。沙漠是极度干旱、环境极其恶劣、微生物活动很弱的地区,查明沙漠是 CO₂ 的“源”还是“汇”对揭示沙漠在全球碳循环中所起的作用有重要意义。

根据 CO₂ 浓度观测数据可知,1 m、2 m、4 m 深处 CO₂ 浓度均高于距地面 1 m 高处 CO₂ 浓度,这表明 4 m 以上沙层在温暖季节不断向空气中释放 CO₂。距地面 1 m 高处 CO₂ 浓度与不同深处 CO₂ 浓度变化均具有昼高夜低的变化趋势,并且高低时段存在一定的对应关系,这显然是沙层向空气快速释放的结果,并且昼夜间都在释放 CO₂。流动沙丘几乎无植被覆盖,植物光合作用吸收的 CO₂ 很少,这表明该区是 CO₂ 的排放源区,也表明流动沙丘微生物活动产生的沙层 CO₂ 浓度超过了大气 CO₂ 浓度。观测结果显示,流动沙丘空气 CO₂ 浓度变化范围为 0.023% ~ 0.034%,平均为 0.028%。而我国大部

分地区全年 CO_2 浓度大约为 0.038%, 而全球范围内 CO_2 浓度近几年为 0.035% 左右(李海防等, 2007)。由此可见, 在我们观测的季节, 腾格里沙漠流动沙丘空气 CO_2 浓度比我国大部分地区明显偏低。

4 结论

综上所述, 可得出如下结论:

(1) 沙坡头区流动沙丘不同观测点 1 m、2 m、4 m 不同深度 CO_2 浓度与 1 m 高度空气温度变化趋势基本一致, 在一昼夜内从早 8 点到次日 8 点, 均呈明显地由低到高再降低的变化规律, 并且二者之间的高低时段存在一定的对应关系。1 m 深度 CO_2 浓度高低时段的变化与大气温度具有同步性, 而 2 m、4 m 深度 CO_2 浓度的高低时段与大气温度的高低时段相比, 有一定的滞后性, 大约滞后 1~2 h。

(2) 流动沙丘不同深度 CO_2 浓度与温度之间存在显著的正相关关系, 在沙层含水量不变的情况下, 空气温度是影响 4 m 以上沙层 CO_2 浓度大小的主要因素。

(3) 流动沙丘不同观测点白天 CO_2 浓度累积值均高于夜间, 这是由大气温度昼高夜低的变化规律决定的, 也表明沙层中微生物活动强度白天大于夜间。

(4) 流动沙丘 1 m、2 m、4 m 深处 CO_2 浓度均高于距地面 1 m 高处空气 CO_2 浓度, 这表明 4 m 以上沙层在温暖季节昼夜间不断向空气中释放 CO_2 。表明该区流动沙丘微生物活动产生的沙层 CO_2 浓度超过了大气 CO_2 浓度, 是 CO_2 的排放源区。

参考文献

- 董云社, 章 申, 齐玉春, 等. 2000. 内蒙古典型草地 CO_2 , NO_2 , CH_4 通量的同时观测及其日变化[J]. *科学通报*, 45(3): 318-322.
- 黄水生, 姜爱萍, 李志萌, 等. 2009. 东江源区森林水源涵养、吸收二氧化碳和释放氧气价值核算[J]. *江西农业学报*, 21(12): 176-177.
- 蒋 超, 钱亦兵, 杨海峰, 等. 2009. 古尔班通古特沙漠南缘浅层风沙土含水量空间差异[J]. *干旱区研究*, 26(4): 519-524.
- 李 东, 曹广民, 胡启武, 等. 2005. 高寒灌丛草甸生态系统 CO_2 释放的初步研究[J]. *草地学报*, 13(2): 144-147.
- 李海防, 夏汉平, 熊燕梅, 等. 2007. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展[J]. *生态环境*, 16(6): 1781-1788.
- 林 清, 金会军, 程国栋, 等. 1996. 青藏高原五道梁冻土活动层表面二氧化碳和甲烷的排放[J]. *冰川冻土*, 18(4): 325-330.
- 刘贤德, 车宗玺, 金 铭, 等. 2009. 祁连山不同海拔梯度和放牧强度土壤呼吸变化特征[J]. *干旱区研究*, 26(1): 8-13.
- 吕 萍, 董治宝, 张正偲, 等. 2009. 腾格里沙漠近地面层风、气温、湿度特征[J]. *中国沙漠*, 29(5): 977-981.
- 吕 萍, 董治宝, 张正偲, 等. 2010. 腾格里沙漠沙尘暴天气动力要素特征研究[J]. *水土保持通报*, 30(3): 104-106.
- 穆元伟, 雷加强, 石泽云, 等. 2005. 古尔班通古特沙漠工程沙害形成的环境分析[J]. *干旱区研究*, 22(3): 350-354.
- 田中正之. 1990. 地球在变暖[M]. 北京: 气象出版社.
- 王宪伟, 李秀珍, 吕久俊, 等. 2010. 冻融作用对大兴安岭湿地泥炭分解排放二氧化碳的影响[J]. *土壤通报*, 41(4): 970-975.
- 徐胜友, 蒋忠诚. 1997. 我国岩溶作用与大气温室气体 CO_2 源汇关系的初步估算[J]. *科学通报*, 42(9): 953-956.
- 徐永福. 1995. 二氧化碳生物地球化学循环研究的进展[J]. *地球化学进展*, 10(4): 367-372.
- 阎满存, 董光荣, 李保生, 等. 1998. 腾格里沙漠东南缘沙漠演化的初步研究[J]. *中国沙漠*, 18(2): 111-117.
- 杨书运, 王凤文, 徐得泽, 等. 2003. 农田 CO_2 释放初步研究[J]. *安徽农业科学*, 31(5): 757-758.
- 叶冬梅, 秦佳琪, 韩胜利, 等. 2005. 乌兰布和沙漠流动沙丘不同部位水分动态研究[J]. *干旱区研究*, 22(3): 367-370.
- 袁道先. 1993. 碳循环与全球岩溶[J]. *第四纪研究*, (1): 1-6.
- 袁道先. 1999. “岩溶作用与碳循环”研究进展[J]. *地球科学进展*, 14(5): 425-432.
- 张金屯. 1998. 全球气候变化对自然土壤碳、氮循环的影响[J]. *地理科学*, 18(5): 463-471.
- 张金霞, 曹广民, 周党卫, 等. 2001. 退化草地暗沃寒冻锥形土 CO_2 释放的日变化和季节动态[J]. *土壤学报*, 38(1): 32-39.
- 张 弥, 温学发, 于贵瑞, 等. 2010. 二氧化碳储存通量对森林生态系统碳收支的影响[J]. *应用生态学报*, 21(5): 1201-1209.
- 赵景波, 岳应利, 张晓龙, 等. 2003. 西安南郊夏季土壤碳排放量的变化研究[J]. *干旱区研究*, 20(3): 206-210.
- De Klein C A M, Van Logtestijn R S P. 1996. Denitrification in grassland soils in the Netherlands in relation to irrigation, N-application rate, soil water content and soil temperature[J]. *Soil Biol Biochem*, 28(2): 231-237.
- Pacala S W, Hurtt G C, Baker D, et al. 2001. Consistent land-and-atmosphere-based U. S. Carbon sink estimates[J]. *Science*, 292: 2316-2319.