

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2014-0179

杨磊,贾宏涛,胡毅,苏建红,朱新萍,李策.水分条件对巴音布鲁克高寒湿地 CO₂ 排放的影响[J].草业科学,2015,32(2):168-173.
YANG Lei, JIA Hong-tao, HU Yi, SU Jian-hong, ZHU Xin-ping, LI Ce. Impacts of water condition on CO₂ emissions in Bayinbuluke Marsh Meadow[J]. Pratacultural Science, 2015, 32(2): 168-173.

水分条件对巴音布鲁克高寒湿地 CO₂ 排放的影响

杨磊, 贾宏涛, 胡毅, 苏建红, 朱新萍, 李策

(新疆土壤与植物生态过程实验室, 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 在新疆天山中部巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地, 以苔草(*Carex tristachya*)为主要建群种的样地为研究对象, 利用英国 PP-systems 公司生产的便携式土壤呼吸测定系统(CIRAS-2-SRC)研究了不同地表水分条件对天鹅湖高寒湿地夏季土壤 CO₂ 排放的影响。结果表明, 1) 湿润区的生物量大于干燥区; 干燥区土壤 CO₂ 排放高于湿润区, 干燥区土壤 CO₂ 排放日变化曲线为单峰曲线, CO₂ 排放最高点出现在当地 14:00—16:00, 最高值为 1.185 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹; 湿润区土壤 CO₂ 排放日变化曲线为双峰曲线, 两个峰值分别出现在 12:00 和 16:00, 最高值为 1.024 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹。2) 不同水分条件下生物量中凋落物含量影响土壤 CO₂ 排放。土壤温度是 CO₂ 排放的主要限制因子, 且地表干燥区 CO₂ 排放与土壤温度的相关性更显著($P < 0.01$)。土壤湿度与 CO₂ 排放相关性不显著($P_{\text{湿润区}} = 0.997, P_{\text{干燥区}} = 0.409$)。

关键字: 天山中部; 夏季; CO₂ 排放; 日变化

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2015)02-0168-06^{*}

Impacts of water condition on CO₂ emissions in Bayinbuluke Marsh Meadow

YANG Lei, JIA Hong-tao, HU Yi, SU Jian-hong, ZHU Xin-ping, LI Ce
(Xingjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Proceses, College of Grassland and
Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The CO₂ emission in *Carex tristachya* alpine wetland with different water conditions in Bayinbuluke Swan Lake, Xinjiang Tianshan Central in summer were measured with portable soil respiration measurement system (CIRAS-2-SRC) made by British PP system company. The results showed that the biomass of humid area was greater than that of the drying area. The CO₂ emission of drying area was higher than that of the wet area. The diurnal variation curve of CO₂ emission from dry area was unimodal curves with the highest points occurred between 14:00 and 16:00 (1.185 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹). The diurnal variation curve of CO₂ emission from wet area were bimodal curves with the highest points occurred at 12:00 and 16:00, respectively, and the highest value was 1.024 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹. The litter content of biomass had effects on soil CO₂ emissions under different water conditions, however, soil temperature was

* 收稿日期: 2014-04-09 接受日期: 2014-09-04

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2013211B17); 新疆土壤学重点学科资助

第一作者: 杨磊(1988-), 男, 陕西西安人, 在读硕士生, 主要从事环境监测研究工作。E-mail: daqinzidi@foxmail.com

通信作者: 朱新萍(1978-), 女, 新疆伊宁人, 副教授, 博士, 主要从事区域环境演变、生态环境质量与安全评价研究工作。

E-mail: zhuxinping1978@163.com

the major limiting factor for CO₂ emissions. CO₂ emissions had a significant positive correlation with surface soil temperature in the dry area ($P < 0.01$) and did not have significant positive correlation with soil humidity ($P_{\text{wet area}} = 0.997, P_{\text{dry area}} = 0.409$).

Key words: Xinjiang Tianshan Central; summer; CO₂ emission; diurnal variation

Corresponding author: ZHU Xin-ping E-mail: zhuxinping1978@163.com

全球湿地总面积为 $5.3 \times 10^{12} \text{ m}^2$, 约占全球表面积的 1%^[1]。中国湿地占国土面积的 2.91%, 湿地不仅在局部气候水资源的保持调节等方面起着重要作用, 同时由于其较低的有机质分解速率和较高的生产力而成为全球重要的碳汇。而作为巨大碳库储存的湿地, 对其的研究目前主要集中在东北三江平原^[2]和长江中下游^[3]等地, 研究重点在 CH₄ 排放^[4]、凋落物分解, 植被类型对湿地碳蓄积^[5]的影响等方面, 而对于地处内陆干旱区的高寒湿地碳循环观测数据比较匮乏, 尤其是在全球气候变化的背景下水分条件的改变对温室气体排放的影响亟需进一步探讨。本研究以位于新疆天山中部巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地为研究区域, 通过对不同地表水分条件典型区域 CO₂ 排放进行监测, 探讨不同水分条件对天鹅湖高寒湿地土壤 CO₂ 排放的影响, 以期高寒湿地碳循环研究提供基础数据, 同时为高寒湿地适应气候变化的科学管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

巴音布鲁克天鹅湖湿地位于中天山中部新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州和静县境内, $82^{\circ}59' - 83^{\circ}31' \text{ E}, 42^{\circ}45' - 43^{\circ}00' \text{ N}$, 主要植被类型为苔草 (*Carex tristachya*) + 早熟禾 (*Poa pratensis*)^[6], 面积约 77 640 hm², 海拔 2 300~3 042 m, 沼泽地貌类型为天山南坡大尤尔斯盆地的山前洪积扇间洼地和河漫滩洼地。冬长无夏, 年平均气温 -4.6 °C, 极端最高气温 28 °C, 极端最低气温 -48.1 °C。年平均降水量 273 mm, 年蒸发量 1 250 mm, 年平均相对湿度 60%, 属于典型的高寒气候。沼泽水源靠冰雪融水和地下潜水溢出补给, 地下水位埋深 0.5~1.0 m, 矿化度 $1.54 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[7], 属国家级湿地自然保护区, 为开都河—孔雀河的源流区。

选择具有代表性的干燥区与湿润区为监测区域。干燥区 ($84^{\circ}22'31'' \text{ E}, 42^{\circ}49'13'' \text{ N}$) 海拔 2 390

m, 主要植被类型为早熟禾、松草 (*Ceratopteris pteroides*)、苔草, 土壤水分含量 30%~40%, 除冬季降雪覆盖, 土壤均处于干燥状态。湿润区 ($84^{\circ}22'29'' \text{ E}, 42^{\circ}49'04'' \text{ N}$) 海拔 2 391 m, 主要植被类型为苔草、冰草 (*Agropyron cristatum*), 土壤水分 50%~70%, 除冬季外, 土壤保持湿润状态。

1.2 监测方法

1.2.1 植被调查方法 植被采集采用样方法, 在干燥区和湿润区各选择具有代表性的地段, 按一定方向设置 50 m 样线, 每隔 10 m 布设一个 1 m × 1 m 的样方, 对样方内地表活体植物生物量和凋落物进行采集, 用称重法测定。

1.2.2 土壤呼吸监测方法 用 PP-systems 公司生产的便携式土壤呼吸测定系统 (CIRAS-2-SRC) 进行土壤 CO₂ 排放速率监测; 选择 3~5 个典型日, 分别对干燥区和湿润区的土壤 CO₂ 排放速率进行监测, 白天每隔 2 h 监测一次, 晚上每隔 3 h 监测一次。

1.2.3 土壤环境要素监测方法 监测土壤 CO₂ 排放速率时同步监测环境因素, 包括土壤湿度、土壤温度等。土壤温度为 5 cm、10 cm 深度的地温, 采用地温计进行监测, 土壤湿度采用经典烘干法测定。

1.3 数据处理

对土壤 CO₂ 排放速率、生物量、地温及它们之间的相关性用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 地表水分条件对巴音布鲁克沼泽草甸 CO₂ 排放日变化的影响

干燥区土壤 CO₂ 排放速率日变化为单峰曲线, 土壤 CO₂ 排放最高点出现在当地 14:00—16:00, 最高值为 $1.185 \text{ g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; 最低点出现在 04:00 左右, 最低值为 $0.480 \text{ g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; 湿润区土壤 CO₂ 排放日变化速率为双峰曲线, 两个峰值分别出现在 12:00 和 16:00, 最高值为 $1.024 \text{ g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$; 最低点出现在 07:00 左右, 最低值为 $0.322 \text{ g CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ (图 1)。

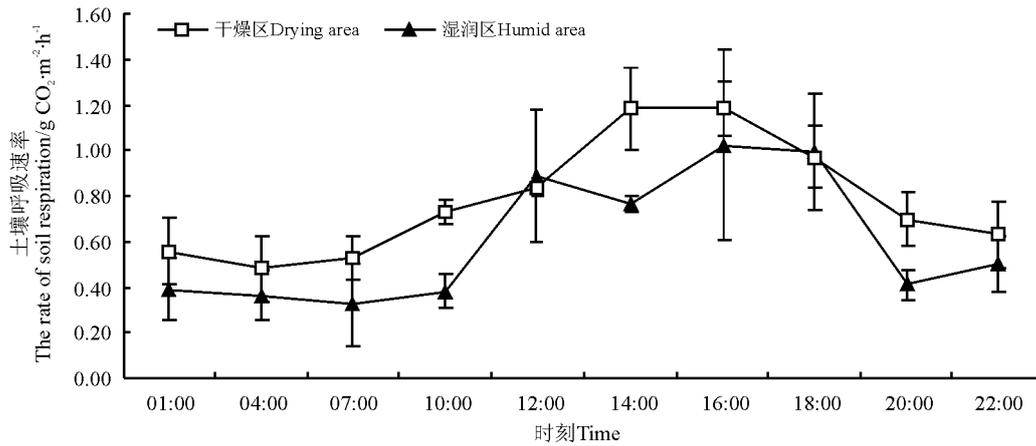


图1 不同水分条件下土壤 CO₂ 排放日变化特征

Fig.1 Daily change of soil CO₂ emissions with different soil moisture

2.2 不同水分条件下生物量及土壤 CO₂ 日排放特征

干燥区活体生物量为 109.25 g · m⁻²,凋落物生物量为 47.18 g · m⁻²;而湿润区活体生物量为 182.93 g · m⁻²,凋落物生物量为 39.17 g · m⁻²(图 2);湿润区总生物量明显大于干燥区。土壤 CO₂ 日排放量干燥区为 14.612 1 g · m⁻² · d⁻¹,湿润区为 11.220 4 g · m⁻² · d⁻¹,二者差异不显著(P > 0.05)。总体来看,在活体生物量高、凋落物少的湿润区,CO₂ 排放量反而低于干燥区。

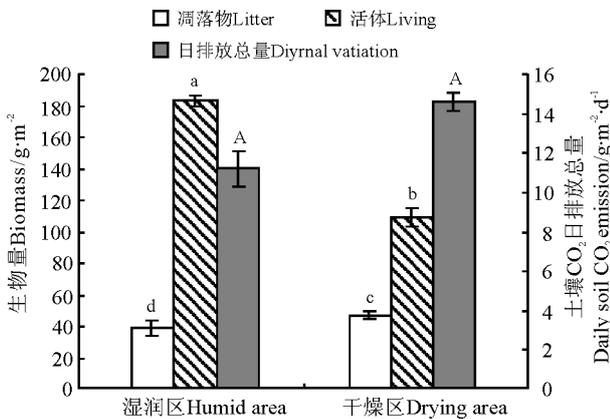


图2 干燥区和湿润区地上植被生物量与 CO₂ 日排放量

Fig.2 Aboveground vegetation biomass and daily soil CO₂ emissions in drying and humid areas

注:不同小写、大写字母分别表示生物量和土壤 CO₂ 日排放量在两个区间差异显著(P < 0.05)。

Note: Different lower case letters show significant difference of biomass between humid and drying areas at 0.05 level. Different capital letters show significant difference of daily soil CO₂ emission between humid and drying areas at 0.05 level.

2.3 不同水分条件下的环境因素

2.3.1 土壤温度日变化特征 干燥区 5 cm 土壤温度高于湿润区,干燥区和湿润区 5 cm 地温都呈现单峰曲线,峰值出现在 16:00,干燥区最高温度值为 27.1 °C,湿润区为 18.3 °C;温度最低值则出现在 07:00 左右,干燥区为 7.5 °C,湿润区为 4.6 °C,二者峰值出现时间基本吻合(图 3)。

干燥区 10 cm 土壤温度高于湿润区,干燥区 10 cm 地温呈单峰曲线,峰值出现在 14:00-18:00,最大值为 22.45 °C,最小值则出现在 10:00 左右,为 13.1 °C。湿润区的 10 cm 地温日变化不明显,温度最高值为 14.46 °C,出现在 18:00;最低值为 7.93 °C,出现时间为 10:00,湿润区水分处于近饱和状态,导致 10 cm 土壤温度日变化不显著(图 4)。与 5 cm 土壤温度相比(图 3),10 cm 土壤温度变幅相对较小。

2.3.2 土壤湿度日变化特征 不同水分条件下的土壤含水量均没有明显日变化,湿润区土壤含水量变幅在 50%~74%,干燥区的土壤含水量明显低于湿润区,土壤含水量变幅在 30%~49%;湿润区土壤含水量最高值为 73.23%,出现在 14:00,最小值为 54.45%,出现在 01:00;干燥区土壤含水量最高值为 48.59%,出现在 18:00,最低值为 30.85%,与湿润区同样都出现在 01:00(图 5)。

2.4 土壤 CO₂ 排放与环境因素的相关分析

土壤 CO₂ 排放与土壤温度有着密切的关系,两种水分条件下,土壤 CO₂ 排放与 5 和 10 cm 地温存在着极显著正相关(P < 0.01),其中 5 cm 的地温与土壤 CO₂ 排放的相关性优于 10 cm 地温;其中湿润区 5 cm 土壤温度 R² = 0.566 9(图 6),10 cm 土壤 R² =

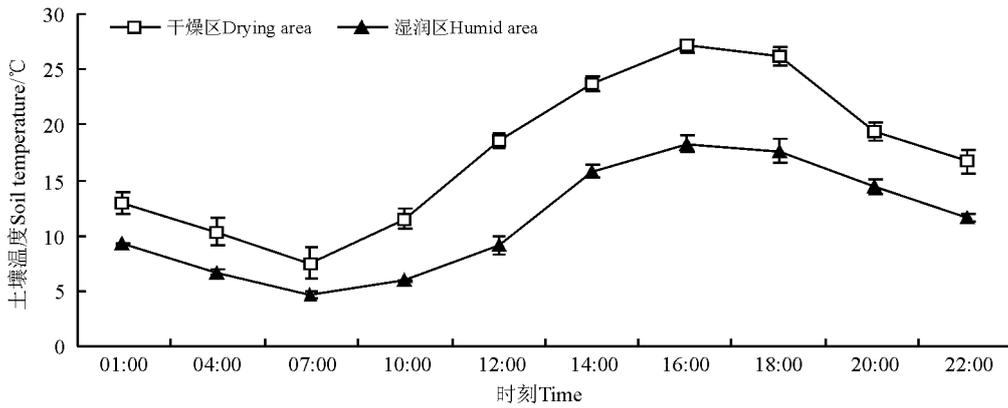


图3 不同水分条件下5 cm土壤温度日变化

Fig.3 Daily change of 5 cm soil temperature with different soil moisture

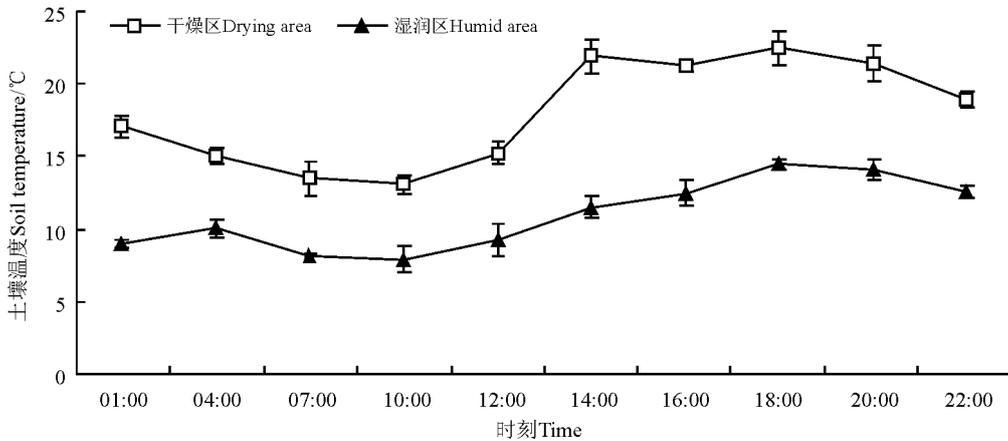


图4 不同水分条件下10 cm土壤温度日变化

Fig.4 Daily change of 10 cm soil temperature with different soil moisture

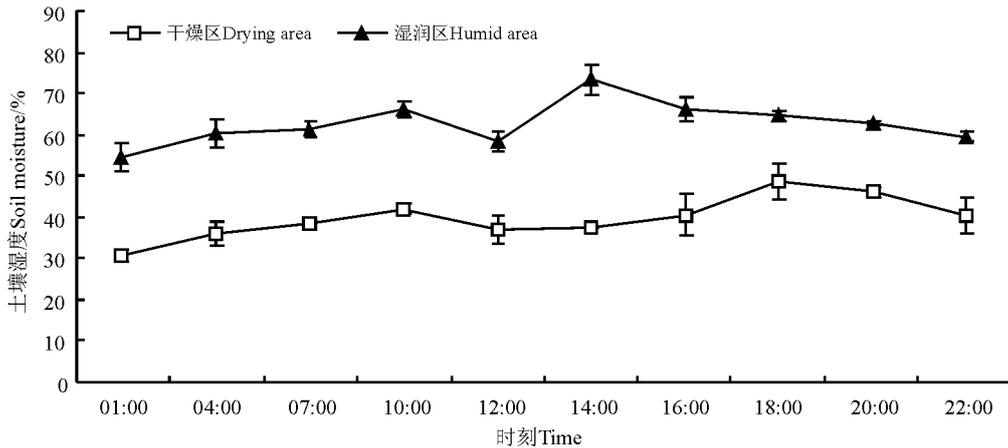


图5 不同水分区10 cm土壤湿度日变化

Fig.5 Daily change of 10 cm soil from different regional soil moisture

0.228 5(图6);干燥区5 cm土壤温度 $R^2=0.782 5$,10 cm土壤 $R^2=0.436 0$;土壤 CO_2 排放速率与土壤含水量之间的相关性不显著($P>0.05$),说明在两种水分条件下,温度是决定土壤 CO_2 排放的主导因子。

干燥区土壤 CO_2 排放速率与5 cm土壤温度相关性优于湿润区,其中干燥区拟合方程 $y=0.033 5x+0.197 5$,相关系数 $R^2=0.782 5$;湿润区拟合方程 $y=0.042 6x+0.120 3$,相关系数 $R^2=$

0.566 9;干燥区土壤 CO₂ 排放速率与 10 cm 土壤温度相关性优于湿润区。

与土壤温度相比,土壤湿度与 CO₂ 排放速率相关

性均不显著。其中湿润区的拟合方程为 $y = 0.020 8x - 0.701 9$, 相关系数 $R^2 = 0.146 8$;干燥区拟合方程 $y = 0.016 1x + 0.140 6$, 相关系数 $R^2 = 0.099 1$ 。

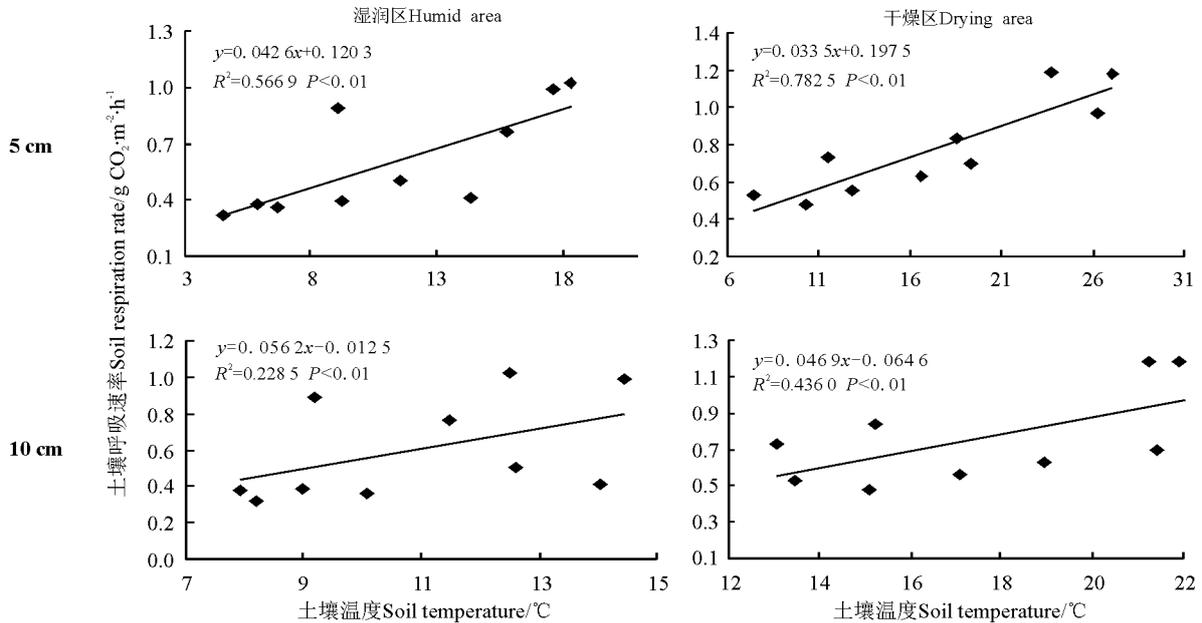


图6 高寒湿地土壤 CO₂ 排放与 5 和 10 cm 地温的关系

Fig.6 Relationship between soil CO₂ emission and 5 and 10 cm soil temperature in marsh meadow

3 讨论

3.1 植被类型

生物是湿地的重要组成部分,能够综合反映整个湿地的生态环境,是湿地的重要指标。植被类型和生物量是影响土壤碳通量的重要因素,不同的植被类型,地上、地下生物量、凋落物的数量和性质有所不同,这些不同的外源有机物质会导致土壤有机质的矿化速率发生改变,从而影响土壤 CO₂ 的排放。不同的植被覆盖度也会影响土壤的湿度和温度,从而间接影响土壤呼吸,同样,植物根系的密度、分布也会影响土壤的 CO₂ 排放速率。对巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地的 CO₂ 排放研究发现,研究区建群种均为苔草,但干燥区植物多样性、凋落物数量均高于湿润区,其总生物量低与湿润区;植物凋落物的分解也会影响到土壤 CO₂ 排放,本研究中,土壤 CO₂ 排放与凋落物数量呈现正相关趋势,对新疆高山草原的研究结果^[8]也证明了这一点。植被类型相同,气候条件的差异也会导致生物量的差异,从而影响到土壤 CO₂ 排放。鄱阳湖地区苔草草洲的土壤 CO₂ 排放要高于巴音布鲁克高寒湿地^[3],可能是由

于气候条件的差异导致的;植被类型不同,凋落物和根系的返还量不同,即使气候条件相似,土壤 CO₂ 排放特征也具有明显差异;青藏高原高寒矮嵩草 (*Kobresza humilis*) 草甸的 CO₂ 排放通量低于巴音布鲁克高寒湿地^[9],表明不同植被类型对土壤 CO₂ 排放有着重要影响。

3.2 土壤温度

温度是决定植物生长的关键因子,土壤温度是影响土壤呼吸的重要因素,对异养呼吸速率具有重要的控制作用,CO₂ 的排放与土壤呼吸温度敏感性系数 Q_{10} 有密切关系^[10],温度升高会促进土壤 CO₂ 的排放^[11-12]。同时,温度也是调控生化过程与物质能量周转的关键因子,温度高低是影响凋落物分解的主要因素,土壤温度对植物生长率、微生物活性、有机质分解等有重要影响,当其他条件趋于稳定时,温度在一定范围内与凋落物分解速率呈正相关,土壤微生物活性及植物根呼吸、酶活性随温度升高而升高,因此在一定土壤温度范围内,土壤呼吸随温度的升高而增强^[13]。若尔盖高原沼泽湿地 5 cm 深的土壤温度与 CO₂ 呼吸通量的相关系数相对较高^[14],与本研究结果一致。三江平原沼泽湿地植

物—土壤系统 CO₂ 排放强度与根层土壤温度有关,二者呈显著的指数相关关系,且 CO₂ 排放高值区与土壤温度高值区具有明显的一致性^[15]。

3.3 土壤湿度

土壤水分主要通过影响土壤温度、土壤孔隙度、pH 值、氧化还原电位(Eh)、微生物活性、植物量以及土壤中温室气体向大气的扩散速率等来影响温室气体的产生与排放,其中最主要的是土壤的温度和湿度条件,综合国内外土壤呼吸的研究,更多情况下是温度和湿度两者相结合共同作用。而在不同时空维度上,影响土壤 CO₂ 排放的所有非生物因素中,土壤湿度的变化是一个重要的因素,但不同生态系统的研究结果略有不同,巴西南部常规耕作和免耕土壤含水量是 CO₂ 排放的控制因素,而非土壤温度^[16]。但本研究中,土壤湿度与 CO₂ 排放速率相关性不明显,这可能与该高寒湿地的气温较低、蒸发量小的有关,在这种条件下土壤湿度对 CO₂ 排放不具

有决定性控制作用。

4 结论

湿润区的生物量大于干燥区,干燥区土壤 CO₂ 排放高于湿润区;干燥区土壤 CO₂ 排放日变化曲线为单峰曲线,土壤 CO₂ 排放最高点出现在当地 14:00—16:00,最高值为 1.185 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹;湿润区土壤 CO₂ 排放日变化曲线为双峰曲线,两个峰值分别出现在 12:00 和 16:00,最高值为 1.024 0 g CO₂ · m⁻² · h⁻¹。

从环境因素相关性来看,无论是地表湿润区还是干燥区,土壤 CO₂ 排放均与土壤温度呈现显著相关,地表干燥区 CO₂ 排放与土壤温度的相关性更显著,说明干燥区土壤 CO₂ 排放主要受到土壤温度的限制。土壤湿度与 CO₂ 排放相关不显著,凋落物数量与土壤 CO₂ 排放呈正相关。

参考文献

- [1] 胡启武,吴琴,刘影,李晓峰,尧波,钟中罡,卢伍山.湿地碳循环研究综述[J].生态环境学报,2009,18(6):2381-2386.
- [2] 苗正红.1980—2010年三江平原土壤有机碳储量动态变化[D].长春:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2013.
- [3] 幸瑞新.鄱阳湖典型苔草草洲 CO₂ 释放特征及影响因子研究[D].南昌:江西师范大学,2013.
- [4] Yu J, Liu J, Sun Z, Sun W, Wang J, Wang G, Chen X. The fluxes and controlling factors of N₂O and CH₄ emissions from fresh water marsh in Northeast China[J]. Science China(Earth Sciences), 2010, 53(05): 700-709.
- [5] 钟华平,樊江文,于贵瑞,韩彬.草地生态系统碳蓄积的研究进展[J].草业科学,2005,22(1):4-11.
- [6] 丁涛,李远,刘艳.巴音布鲁克草原主要植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J].遥感信息,2009(1):53-59
- [7] 杨青,崔彩霞.气候变化对巴音布鲁克高寒湿地地表水的影响[J].冰川冻土,2005,27(3):397-403.
- [8] 董自红,蒋平安,贾宏涛,李慧,程路明.新疆高山草甸草原植物群落夏季 CO₂ 排放日变化分析[J].新疆农业科学,2007,44(1):1-5.
- [9] 吴琴,曹广民,胡启武,李东,王跃思,李月梅.矮嵩草草甸植被—土壤系统 CO₂ 的释放特征[J].资源科学,2005,27(2):96-102.
- [10] 杨庆朋,徐明,刘洪升,王劲松,刘丽香,迟永刚,郑云普.土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性[J].生态学报,2011,31(8):2301-2311.
- [11] 陈全胜,李凌浩,韩兴国,阎志丹,王艳芬,袁志友.水热条件对锡林河流域典型草原退化群落土壤呼吸的影响[J].植物生态学报,2003,27(2):202-209
- [12] 秦小光,蔡炳贵,吴金水,刘东生,王国安.北京灵山草地土壤 CO₂ 源汇和排放通量与温度湿度昼夜变化的关系[J].生态环境,2004,13(04):470-475.
- [13] Raich J W, Tufekcioglu A. Vegetation and soil respiration: Correlations and controls[J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1): 71-90.
- [14] 王德宣.若尔盖高原泥炭沼泽二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放通量研究[J].湿地科学,2010,8(3):220-224.
- [15] 宋长春,王毅勇.湿地生态系统土壤温度对气温的响应特征及对 CO₂ 排放的影响[J].应用生态学报,2006,17(4):625-629.
- [16] LaScala N, Panosso A R, Pereira G T. Modelling short-term temporal changes of bare soil CO₂ emissions in a tropical agrcosystem by using meteorological data[J]. Applied Soil Ecology, 2003, 24(1): 113-116.

(责任编辑 武艳培)