

降水对青藏高原高寒灌丛冷季 CO₂ 通量的影响

徐世晓, 赵亮, 李英年, 古松, 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001)

摘要: 利用涡度相关系统 CO₂ 通量观测数据, 分析了青藏高原高寒灌丛生态系统冷季 CO₂ 通量对降水事件的响应 (以2003~2005年10月和11月份为例)。结果表明: 在降水事件过后的较短时间尺度内, 青藏高原高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量会显著增加, 而且增加量明显大于降水前平衡态下的正常波动值; 一般经过较长的无降水时间段后的降水会显著促进土壤呼吸, 从而使高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量明显增加。

关键词: 高寒草甸; CO₂ 通量; 降水

中图分类号: X715.1; X826 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2007)03-0193-03

Effect of Precipitation on Cold Season CO₂ Flux of Alpine Shrub on Qinghai-Tibetan Plateau

XU Shi-xiao, ZHAO Liang, LI Ying-nian, GU Song, ZHAO Xin-quan

(Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810001)

Abstract: Based on the continuous CO₂ flux observation with eddy covariance system conducted in the alpine shrub on the Qinghai-Tibet Plateau, the relationship between CO₂ flux and precipitation was analyzed according to data of October and November in 2003, 2004 and 2005. The results show that after individual rain events the large pulses of CO₂ flux were observed over the alpine shrub ecosystem during October and November, and the increase exceeded normal variations under the former balance, evidently. The precipitation after longer dry period distinctly facilitate soil respiration, consequently, the CO₂ flux over the alpine shrub markedly increased after the occurrence of precipitation during October and November.

Key words: alpine shrub; CO₂ flux; precipitation

除温度、土壤有机质含量等主要影响因子之外, 土壤湿度也是草地生态系统 CO₂ 通量重要影响因子, 尤其当土壤水分成为胁迫因子时, 可能取代温度而成为主要控制因子。例如, 土壤过于干旱往往会导致土壤呼吸量锐减, 从而影响草地生态系统 CO₂ 通量^[1,2]。陈四清等^[3]研究发现, 大针茅草原土壤含水量与 CO₂ 排放速率相关较好, 尤其是与 0~20 cm 土壤平均含水量相关最好。李明峰等^[4]研究表明, 由于极端干旱的气候使草原生态系统 CO₂ 排放通量逐渐减少, 排放通量仅相当于同期的大约 1/5, 其原因可能是干旱抑制土壤微生物的活性。

青藏高原这一世界最高海拔的独特地理单元是我国天然草地分布面积最大的一个区域; 高寒灌丛是由耐寒的中生或旱生灌木为优势种而形成的一类植被, 是青藏高原植被类型的重要组成部分, 也是当地的优势植被之一^[5]。青藏高原降水分布呈现明显的季节差异, 降水大多集中在短暂的生长季节 (5~9月), 从9月份以后降水发生的频次开始降低, 每年的10, 11月初, 经过较长的无降水时间段后, 常有 1~10 mm 的降水发生。因此, 分析降水事件对该时段高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量的影响, 对于研究青藏高原高寒草地生态系统 CO₂ 通量特征具有重要的科学意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

通量观测样地设在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站 (海北站) 试验区, 地处青藏高原东北隅、祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷 (37°37'N, 101°19'E), 海拔 3200 m。气候以东南季风和西伯利亚高压为主, 属于大陆性季风气候, 无明显的四季之分, 冷季寒冷漫长 (10~翌年4月), 暖季短暂凉爽 (5~9月)。年平均气温 -1.7℃, 极端高温 27.6℃, 极端低温 -37.1℃; 最暖 (7月) 和最冷 (1月) 月平均气温分别为 9.8℃ 和 -14.8℃。

收稿日期: 2006-12-27

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01-01A5); 国家自然科学基金项目 (30500080); 国家重点基础研究发展规划项目 (2002CB412501); 中国科学院“百人计划”项目 (0429091211) 资助

作者简介: 徐世晓, 男, 生于1973年, 助理研究员, 主要从事草地生态学方面研究。

。多年平均降水量约580 mm, 主要集中于5~ 9月, 约占年总降水量的80%, 10月至翌年4月仅为年降水量的20%左右^[6]。主要植被类型为高寒灌丛(alpine shrub)和高寒草甸(alpine meadow), 在滩地、山地阳坡分布着蒿草草甸, 而在山地阴坡、偏阴坡广泛分布有高寒灌丛。

1.2 研究方法

对选定的样地 CO₂ 通量进行连续测定, 并利用以下公式计算高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量:

$$F_{CO_2} = \overline{ws} = \frac{1}{T} \int_0^T ws dt = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ws \quad (1)$$

式中: F_{CO_2} ——生态系统 CO₂ 通量; w ——空气瞬时垂直速度脉动量, 用三维超声风速计(CSAT3, CSI, USA)测定; s ——空气 CO₂ 的脉动量, 用红外线分析仪(Li-7500, Li-Cor, USA)测定, 上横线表示在某一时间段的平均^[7]。传感器高度为距地面2.20 m, $T = 30$ min, 数据采样频率为10 Hz。同时对土壤温度(105T, CSI, USA)等进行连续监测。所有的数据由CR5000数据采集器(CSI)采集并计算。

由于电力及仪器故障等原因, 在长期连续的野外监测试验中不可避免出现数据缺失或较大“野点”被剔除等问题。用摩擦速度阈值 $u^* > 0.2$ m/s 的通量值 (F_{CO_2}) 与5 cm 土壤温度 (T_{soil}) 拟合得到的指数方程(2)式来插补夜间 $u^* < 0.2$ m/s 时段和缺失的通量数据^[6]: $F_{CO_2} = b_0 \exp(b_1 T_{soil})$ (2)

2 结果与分析

2.1 降水季节分布特征

通量观测场2003~ 2005年全年降水量分别为537.9 mm, 494.4 mm 和542.8 mm, 降水主要集中在6~ 9月份, 10月份至翌年4月份的降水量很小。2003年、2004年和2005年6~ 9月降水量分别为411.0 mm, 380.8 mm 和404.7 mm, 6~ 9月降水分别占全年降水量的76.6%, 77% 和74.6%。通量观测场土壤水分含量也呈现与降水相类似的季节变化特征(图1)。

李英年^[8](1998)分析表明海北站17年(1980~ 1996年)的年降水量在425.3~ 850.4 mm 之间, 多年平均为582.1 mm。降水在7月和8月最多, 而1月和12月最少; 暖季(5~ 9月)降水量为444.6 mm, 占年降水量的近80%。通量观测场2003年至2005年间降水分布呈现与海北站多年平均一致的季节分布特征。

2.2 降水事件与 CO₂ 通量

分别以2003年、2004年和2005年10月和11月份为例, 分析降水与海北地区高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量间的联系; 2003~ 2005年连续3年的结果表明, 10月和11月间的降水事件对高寒灌丛生态系统 CO₂ 通量影响显著(图2)。

例如2003年10月10~ 13日的脉冲性降水使高寒灌丛净生态系统 CO₂ 交换量由降雨前一天的1.20 g CO₂/(m²·d) 上升到降雨当天的3.76 g CO₂/(m²·d), 在降雨后的第2天维持在2.10 g CO₂/(m²·d); 2004年10月20, 21日的降水使净生态系统 CO₂ 交换量由降雨前一天的3.28 g CO₂/(m²·d) 上升到降雨当天的4.34 g CO₂/(m²·d)。

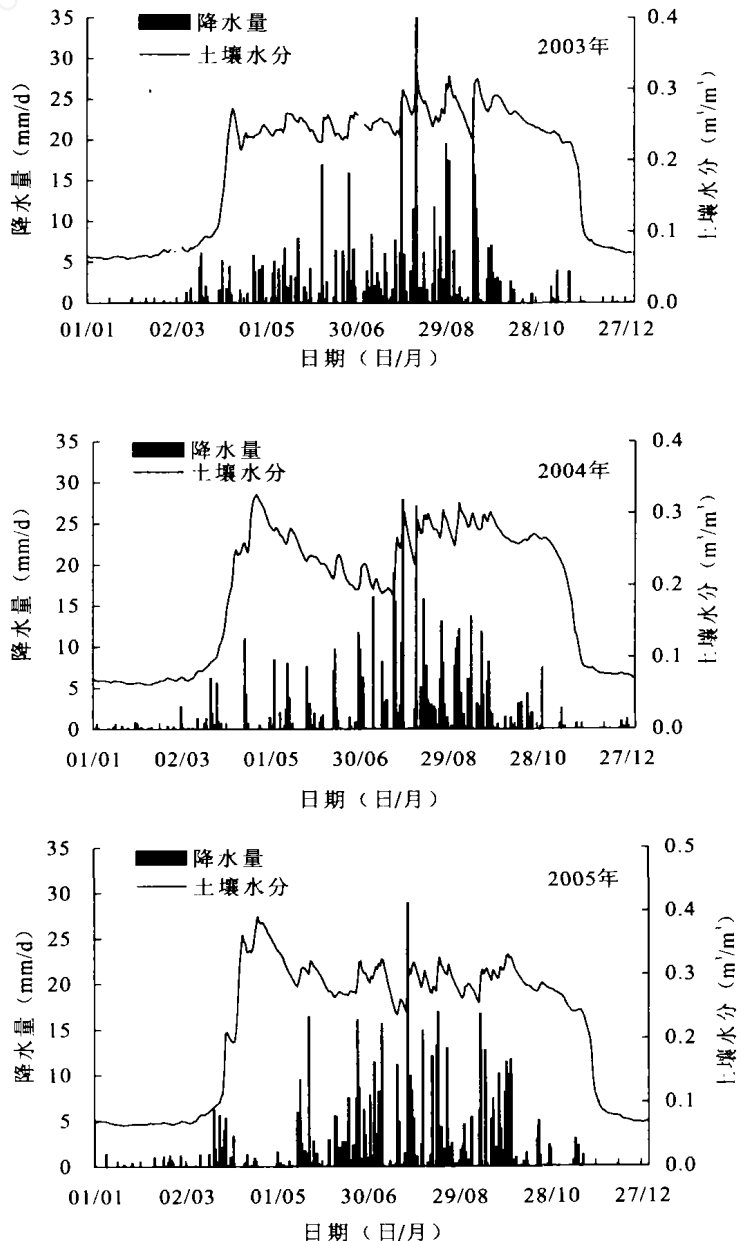


图1 高寒灌丛降水量和土壤水分变化特征

(m²·d), 在降雨后的第2天达到5.65 g CO₂/(m²·d)。2005年11月13日开始的脉冲性降水使净生态系统 CO₂交换量由降雨前一天的1.86 g CO₂/(m²·d) 上升到降雨当天的2.34 g CO₂/(m²·d), 在降雨后的第二天达到2.46 g CO₂/(m²·d)。

海北地区高寒灌丛净生态系统 CO₂ 交换量受降水事件影响的分析结果, 与在地中海气候条件下的加利福尼亚一年生草地和有季节性干旱期的新西兰丛生草地的研究相似: 一段无降水时段之后的降水事件发生后, 生态系统 CO₂ 通量会迅速升高^[9, 10]。

3 讨论与结论

降水可以通过影响土壤中生物活动和根系生长所需要的水量、土壤含水量以及土壤温度来影响土壤呼吸; 土壤呼吸随季节降水量的变化而一般呈正相关关系。土壤水分过低, 缺少根系或微生物活动所必需的生存环境的, 产生 CO₂ 量将会减少^[1]。有研究发现, 在降雨之前, 土壤 CO₂ 通量的日变化趋势差异很小, 可是在降水发生后土壤 CO₂ 通量有明显增加的趋势^[11]。Rochette 等^[12]甚至发现, 经2 h 降水过程后, 农田中测量点的土壤呼吸比对照点升高了近9倍。

土壤呼吸量在降雨发生后增大, 一方面可能是降水激活了土壤微生物的活性, 增加了微生物的种群数量, 进而增强了分解活动, 另一个可能原因是降雨增加了根系的呼吸。一些实验室和野外测定均表明, 由相对干旱的一段时间导致的土壤呼吸率的低下, 在降水改变土壤水分的条件下土壤微生物的呼吸可以快速恢复^[10]。Xu 和 Baldocchi^[10] (2004) 对加利福尼亚州一年生草地的研究也发现, 一段时间的相对干旱期后的降水事件对高秆草原土壤呼吸具有显著影响, 生态系统 CO₂ 通量明显增大。一段无降水时段之后, 土壤水分降低, 土壤微生物代谢活动受到抑制, 土壤呼吸释放 CO₂ 的量降低; 当降水发生后, 土壤湿度增加, 植物和土壤微生物活动加强, 土壤呼吸释放 CO₂ 的量会迅速升高。通过分析海北地区10月和11月份日降水量与高寒灌丛净生态系统 CO₂ 交换量之间的关联发现, 在降水事件过后的短时间尺度内, 土壤呼吸速率迅速增加, 增加量明显大于降水前平衡态下的正常波动值。由此可见, 在这种一段时间水分胁迫后的降水事件的影响下, 青藏高原高寒灌丛生态系统土壤呼吸率明显增大, 从而致使生态系统 CO₂ 通量显著增加。

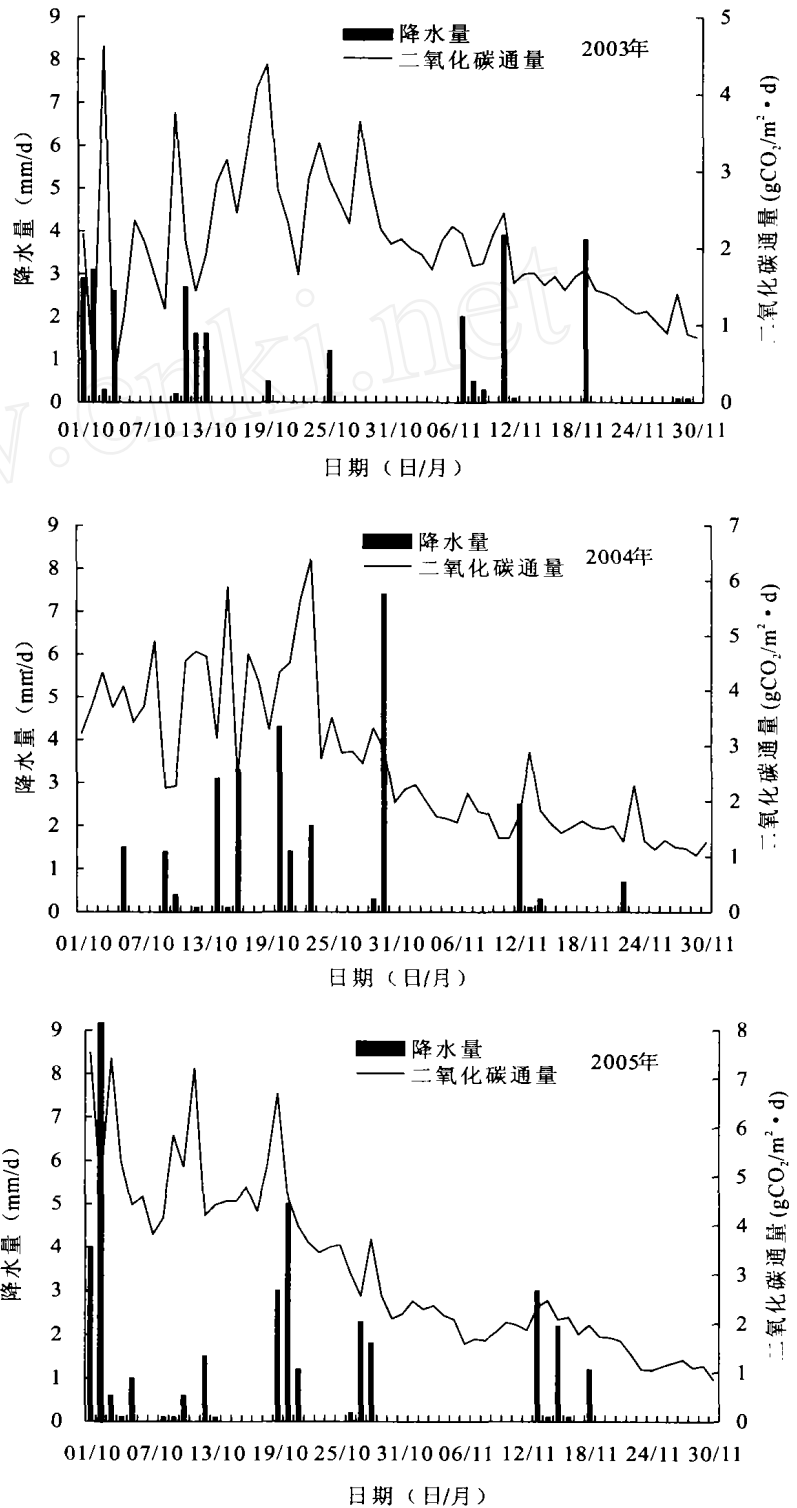


图2 高寒灌丛日降水量和净生态系统 CO₂ 交换

生态系统 CO₂ 通量明显增大。一段无降水时段之后, 土壤水分降低, 土壤微生物代谢活动受到抑制, 土壤呼吸释放 CO₂ 的量降低; 当降水发生后, 土壤湿度增加, 植物和土壤微生物活动加强, 土壤呼吸释放 CO₂ 的量会迅速升高。通过分析海北地区10月和11月份日降水量与高寒灌丛净生态系统 CO₂ 交换量之间的关联发现, 在降水事件过后的短时间尺度内, 土壤呼吸速率迅速增加, 增加量明显大于降水前平衡态下的正常波动值。由此可见, 在这种一段时间水分胁迫后的降水事件的影响下, 青藏高原高寒灌丛生态系统土壤呼吸率明显增大, 从而致使生态系统 CO₂ 通量显著增加。

变化可以间接指示气候的波动变化,第3阶段沉积时期气候应最为温暖,第5阶段气候也较为温暖,第2阶段沉积时气候较为冷。

参考文献

- [1] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao H Z, et al. Onset of Asian desertification by 22 M a ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2002, 416: 159- 163.
- [2] 闫海涛, 胡守云, 朱育新. 磁学方法在环境污染研究中的应用[J]. *地球科学进展*, 2004, 19(2): 230- 236.
- [3] 姜月华, 殷鸿福, 王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展[J]. *地球学报*, 2004, 25(3): 357- 362.
- [4] 王健, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义[J]. *地理学报*, 1996, 51(2): 155- 162.
- [5] 隋玉柱. 黄土不同指标的古环境意义探讨[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(1): 14- 19.
- [6] 王苏民, 薛滨, 张振克. 研究季风区历史时期湖泊环境演化的意义[J]. *湖泊科学*, 1998, 10(2): 1- 4.
- [7] 宋友桂, 方小敏, 石川尚人, 等. 1.5 M a 以来黄土高原风尘堆积的岩石磁学记录与中更新世气候转型[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 43- 51.
- [8] 张普纲, 樊行昭, 霍俊杰. 磁性参数的环境指示意义[J]. *太原理工大学学报*, 2003, 34(3): 301- 308.
- [9] 刘艳霖, 岳乐平, 帕拉提. 陕西老高川红粘土剖面粒度磁化率特征及古环境意义[J]. *中国地质*, 2005, 32(3): 496- 501.
- [10] 王丽霞, 汪卫国, 李心清. 中国北方干旱半干旱区表土的有机质碳同位素、磁化率与年降水量的关系[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(3): 311- 315.
- [11] 孙知明, 胡守云. 现代湖泊沉积物中磁性矿物的研究及其环境意义[J]. *地球物理学报*, 1996, 39(2): 178- 187.
- [12] 胡守云, 吉磊, 王苏民, 等. 呼伦湖地区扎赉诺尔晚第四纪湖泊沉积物的磁化率变化及其影响因素[J]. *湖泊科学*, 1995, 7(1): 33- 40.
- [13] 高陵县地方志编纂委员会. 高陵县志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2000.
- [14] 黄春长. 渭河流域3100年前资源退化与人地关系演变[J]. *地理科学*, 2001, 21(1): 30- 35.
- [15] 黄春长, 庞奖励, 张站平. 黄土高原环境恶化的自然背景研究[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2000, 28(3): 110- 114.
- [16] 殷淑燕, 黄春长. 论关中盆地古代城市选址与渭河水文和河道变迁的关系[J]. *陕西师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2006, 35(1): 58- 65.

上接第195页

参考文献

- [1] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展[J]. *地球科学研究进展*, 2005, 20(7): 778- 785.
- [2] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下的温度影响[J]. *生态学报*, 1997, 17(5): 469- 476.
- [3] 陈四清, 崔骁勇, 周广胜, 等. 内蒙古锡林河流域大针茅草原土壤呼吸和凋落物分解的 CO₂ 排放速率研究[J]. *植物学报*, 1999, 41(6): 645- 650.
- [4] 李明峰, 董云社, 齐玉春, 等. 极端干旱对温带草地生态系统 CO₂, CH₄, N₂O 通量特征的影响[J]. *资源科学*, 2004, 26(3): 89- 95.
- [5] 于应文, 胡自治, 徐长林, 等. 东祁连山高寒灌丛植被类型与分布特征[J]. *甘肃农业大学学报*, 1999, 34(1): 12- 17.
- [6] Zhao Liang, Li Yingnian, Gu Song, et al. Carbon dioxide exchange between the atmosphere and an alpine shrubland meadow during the growing season on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(3): 271- 282.
- [7] 朱治林, 孙晓敏, 张仁华, 等. 内蒙古半干旱草原能量物质交换的微气象方法估算[J]. *气候与环境变化研究*, 2002, 7(3): 351- 358.
- [8] 李英年. 海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. *资源生态环境网络研究动态*, 1998, 9(3): 30- 33.
- [9] Hunt J E, Kelliher F M, McSeveny T M. Evaporation and carbon dioxide exchange between the atmosphere and a tussock grassland during a summer drought[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 111: 65- 82.
- [10] Xu L K, Baldocchi D. Seasonal variation in carbon dioxide exchange over a Mediterranean annual grassland in California[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 123: 79- 96.
- [11] Lee M S, Nakane K, Nakatsubo T. Effects of rain fall events on soil CO₂ flux in a cool temperate deciduous broadleaved forest[J]. *Ecological Research*, 2002, 17: 401- 409.
- [12] Rochette P, Desjardins R L, Pattey E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1991, 71: 189- 196.