

韩聪, 刘鹏, 母艳梅, 原媛, 郝少荣, 田赟, 查天山, 贾昕 (2022). 黑沙蒿灌丛生态系统碳平衡对昼夜非对称增温的响应. *植物生态学报*, 46, 1473-1485. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0485

Han C, Liu P, Mu YM, Yuan Y, Hao SR, Tian Y, Zha TS, Jia X (2022). Response of ecosystem carbon balance to asymmetric daytime vs nighttime warming in *Artemisia ordosica* shrublands. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 46, 1473-1485. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0485

<https://www.plant-ecology.com/CN/10.17521/cjpe.2021.0485>

附录II 涡度协方差观测系统和微气象观测系统

Supplement II Eddy covariance observation system and microclimate observation system

涡度协方差观测系统

设备高度 6.2 m, 主要包括闭路红外气体分析仪(LI-7200, LI-COR, Lincoln, USA)和三维超声风速仪(CSAT3, CSI, Logan, USA), 由数据采集器(LI-7550, LI-COR, Lincoln, USA)收集采样频率为 10 Hz 的原始数据。

微气象观测系统

安装高度 6.0 m, 主要包括空气温湿度计(HMP155A, Vaisala, Helsinki, Finland)和总辐射强度计(CMP3, Kipp & Zonen, Delft, the Netherlands), 并在周围 50 m 处设置 3 个翻斗式雨量桶(TR-525M, Texas, Dallas, USA)。所测数据由数据采集器(CR3000 & CR200X, CSI, Logan, USA)记录。

数据处理

采用 EddyPro 4.0.0 软件对半小时原始 CO₂通量数据进行处理。主要步骤包括去除异常值、双坐标螺旋、时间延迟和频率损失校正、去趋势以及通量计算。由于闭路红外气体分析仪可以输出 CO₂混合比, 则没有进行密度波动校正(即 Webb-Pearman-Leuning correction)。运用 MAD (median of absolute deviation about the median) 算法分别对日间和夜间的原始通量数据进行异常值筛选(Papale *et al.*, 2006)。采用 R 4.0.2 “ReddyProc”包滤除低于摩擦风速(u^*)的通量数据值, 采用动点法(Papale *et al.*, 2006; Wutzler *et al.*, 2018)估算 u^* 的阈值(当前为 0.22–0.32 m·s⁻¹)。利用质量控制获得的通量数据值可看作净生态系统 CO₂交换(NEE), 夜间 NEE 代表夜间呼吸(Re)。

运用 R “REddyProc”包的边际分布算法(MDS)补全缺失的 CO₂通量数据, 该算法还可以填补缺失的气象数据, 并将日间 NEE 拆分成总初级生产力(GPP)和 Re (Reichstein *et al.*, 2005; Wutzler *et al.*, 2018)。利用 Lloyd & Taylor 模型(Lloyd & Taylor, 1994)对夜间通量数据建立呼吸作用和温度的时间变化关系:

$$Re = Re_{ref} \exp \left[E_0 \left(\frac{1}{T_{ref} - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right]$$

式中, T_0 是恒值(-46.02 °C), T_a 指空气温度, T_{ref} 为 15 °C, Re_{ref} 指 Re 在 T_{ref} 下的速率, E_0 指活化能。该公式以连续 15 天的夜间通量数据为一个窗口, 通过多个时间窗口拟合计算得到 E_0 和 Re_{ref} , 再将二者带回式中即可算出日间 Re , 并最终得到 GPP 和净生态系统生产力(NEP)的计算公式为:

$$GPP = Re - NEE$$

$$NEP = -NEE = GPP - Re$$

涡度协方差观测系统和微气象观测系统于 2011 年建成并投入使用, 定期进行设备维护、标定和数据采集。关于涡度协方差仪器和数据信息详见 Jia 等(2014, 2016, 2020)。

参考文献

- Jia X, Mu Y, Zha TS, Wang B, Qin SG, Tian Y (2020). Seasonal and interannual variations in ecosystem respiration in relation to temperature, moisture, and productivity in a temperate semi-arid shrubland. *Science of the Total Environment*, 709, 136210. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136210.
- Jia X, Zha T, Gong J, Wang B, Zhang Y, Wu B, Qin S, Peltola H (2016). Carbon and water exchange over a temperate semi-arid shrubland during three years of contrasting precipitation and soil moisture patterns. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228, 120-129.

- Jia X, Zha T, Wu B, Zhang Y, Gong J, Qin S, Chen G, Qian D, Kellomäki S, Peltola H (2014). Biophysical controls on net ecosystem CO₂ exchange over a semiarid shrubland in northwest China. *Biogeosciences*, 11, 4679-4693.
- Lloyd J, Taylor JA (1994). On the temperature dependence of soil respiration. *Functional Ecology*, 8, 315-323.
- Papale D, Reichstein M, Aubinet M, Canfora E, Bernhofer C, Kutsch W, Longdoz B, Rambal S, Valentini R, Vesala T, Yakir D (2006). Towards a standardized processing of Net Ecosystem Exchange measured with eddy covariance technique: algorithms and uncertainty estimation. *Biogeosciences*, 3, 571-583.
- Reichstein M, Falge E, Baldocchi D, Papale D, Aubinet M, Berbigier P, Bernhofer C, Buchmann N, Gilmanov T, Granier A, Grünwald T, Havráneká K, Ilvesniemi H, Janous D, Knohl A, et al. (2005). On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology*, 11, 1424-1439.
- Wutzler T, Lucas-Moffat A, Migliavacca M, Knauer J, Sickel K, Šigut L, Menzer O, Reichstein M (2018). Basic and extensible post-processing of eddy covariance flux data with REddyProc. *Biogeosciences*, 15, 5015-5030.