

Picarro 高频温室气体分析仪用于城市绿化屋顶碳通量监测



摘要：

气候变化是全球未来发展所面临的巨大挑战，2020年9月，习近平主席宣布了力度空前且具有雄心的气候目标：中国将努力争取2060年前实现碳中和。为了更好的贯彻该发展理念，实施积极应对气候变化的国家战略，我们需要大力倡导绿色低碳循环的生产生活方式。屋顶绿化的开展在减缓城市温室气体排放方面也发挥着重要的作用。在这里我们特别关注的一个研究领域是量化固碳措施或技术（比如屋顶绿化）对环境的影响。

哥伦比亚大学、USPS 和 TectaAmerica 合作开展了一个项目，在该项目中，对纽约市的七个绿化屋顶进行了评估，评价它们在减少热岛效应、发挥潜在的碳汇作用方面的有效性。来自哥伦比亚大学 Lamont-Doherty、地球天文台的 Wade McGillis 在曼哈顿的主邮局大楼最大的绿化屋顶上部署了 Picarro 高频温室气体分析仪（G2311-f）。屋顶生态系统以景天属植物为主。Picarro 分析仪的部署是为了帮助定量从屋顶到大气的净通量，同样值得关注的是，屋顶花园是甲烷的源还是汇。结果显示，Picarro 具有良好的频率响应和低漂移特性，能够测量低浓度的碳通量。在高达 64 Wm^{-2} 的高潜热通量期间，还测量了低至 $+2 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的 CO_2 通量。日间、每小时甲烷通量在 $+0.004$ 和 $(-)0.01 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间，误差一般小于 $0.001 \mu\text{mol/m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。正如对相对干旱、高温条件的预期，甲烷通量没有出现明显的趋势，表明屋顶不是一个重要的甲烷源或汇。

仪器部署：

一个 1.5 米高的通量塔位于 10.9 万平方英尺的楼顶上，这样塔的足迹只包含楼顶区域，如图 1 所示。



图 1：通量塔在楼顶的位置

Picarro G2311-f 分析仪位于塔架底部附近的一个温控箱中，靠近塔基的温控箱与 2 米长的取样管相连，取气口在塔上的 Gill WindmasterPro 三维超声风速仪的 0.15 米范围内。塔上还安装了 Vaisala 相对湿度 (RH) 和温度计，以及一个开路 CO₂ 和 H₂O 分析仪 (LiCOR 7500)。将来自 RH 仪表和 LiCOR 的模拟信号输入到 Gill 风速仪，后者通过 RS232 向 Picarro 传输所有数据。Picarro 内置计算机作为数据记录器，利用其独特的软件自动解析、时间同步和将分析仪的集中数据与输入数据流集成。利用 Picarro 分析仪对 Li7500 进行 H₂O 校正。通过 NOAA 气体标准和 Li-COR 发生器对 Li7500 进行了校准，Picarro 气体分析仪出厂前经过工厂校准，后期无需频繁校准，Picarro 工厂校准包括 6 点校准，二级标准参考 NOAA 校准的黄金标准仪器。

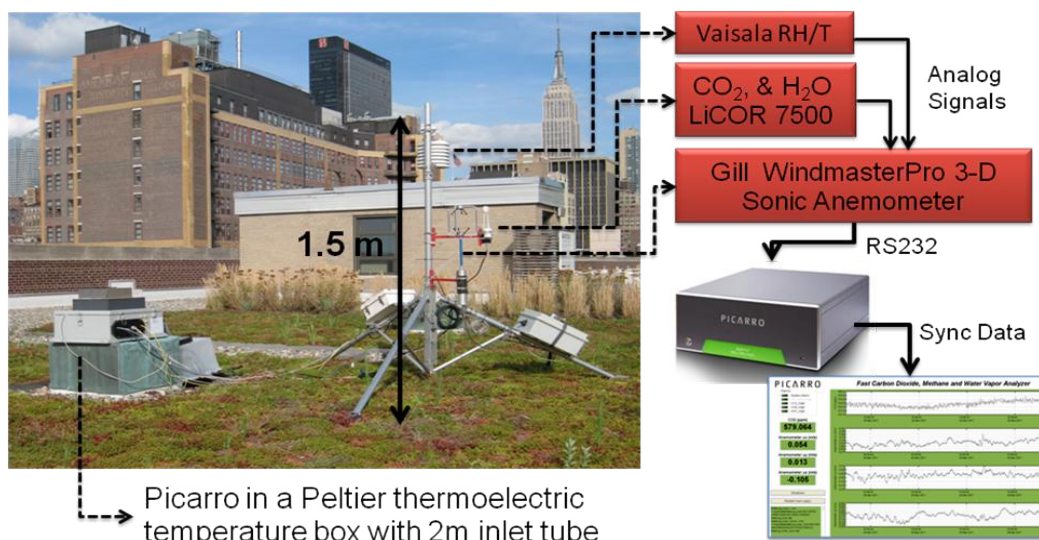


图 2：仪器配置和数据图示

结果：

Li7500 和 Picarro 测试的时间序列见图 3、图 4 和图 5。除了几点偏移和一些偏差之外，这两个分析仪在总体趋势方面密切相关。

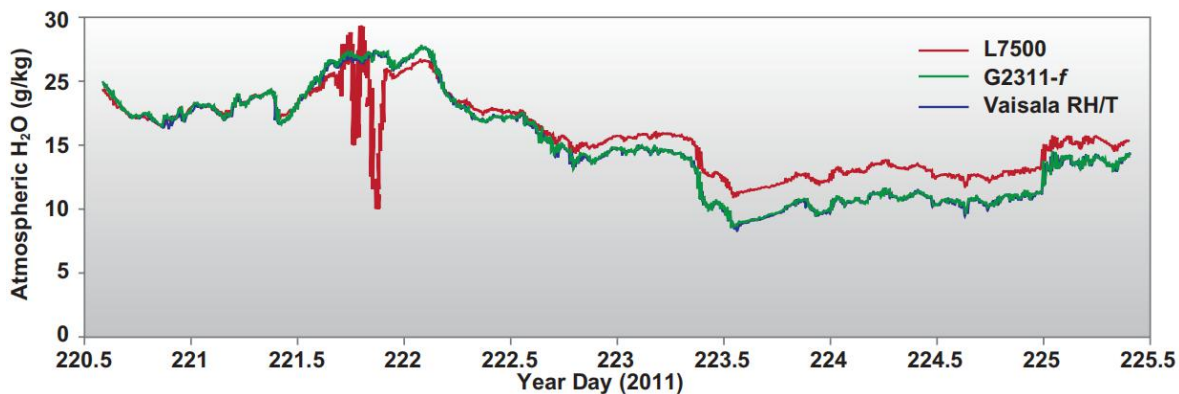


图 3：Li7500 和 Picarro 的 H₂O 浓度时间变化序列 (5 天)

在 221 日受降雨影响，开路 Li7500 镜子上有液态水存在，H₂O 和 CO₂ 浓度均出现异常波动（图 3、4）。降雨之后，水汽浓度在 Li7500 和其他两种仪器之间出现偏移。除降雨事件外，这两种仪器测试的 CO₂ 浓度都非常接近，直到第 223 日，两种仪器之间的偏移开始出现。H₂O 和 CO₂ 测量偏移量的原因可能是仪器漂移。

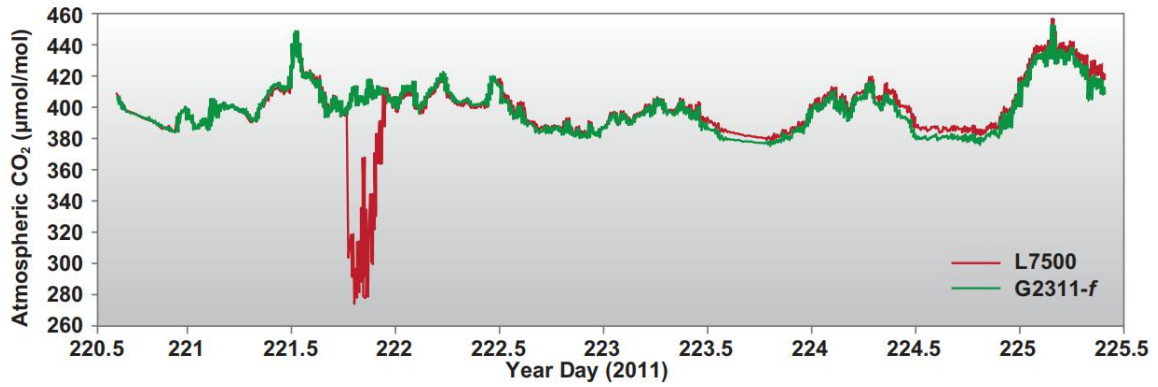


图 4 : Li7500 和 Picarro 的 CO_2 浓度时间变化序列 (5 天) : 由于减少稀释和稳定的边界层条件, 可以观察到夜间 CO_2 的浓度较高。

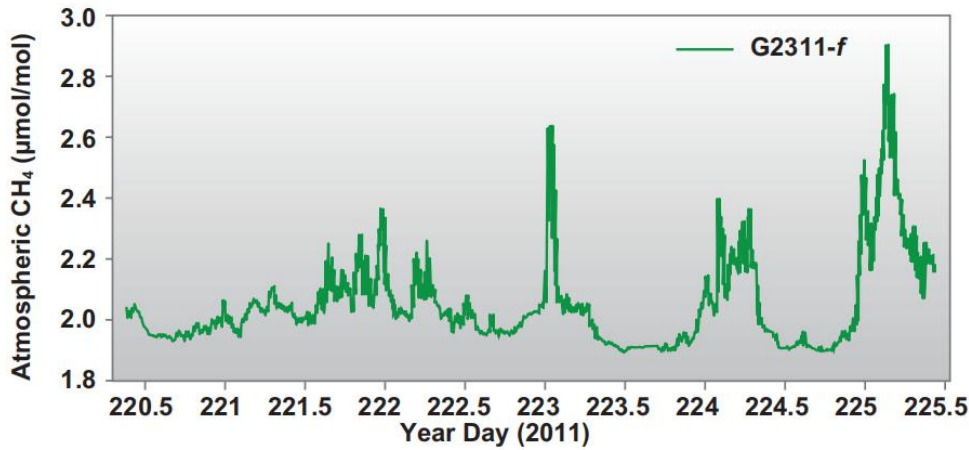


图 5 : Picarro 的 CH_4 浓度时间变化序列 (5 天) : 与 CO_2 时间序列一致, 观察到夜间甲烷生成。甲烷通量如图 9 所示, 接近零, 表明屋顶不是甲烷源或汇。

计算了 45 分钟的平均通量, 并在图 6、8 和 9 中显示了 5 天的同时刻平均通量, 以说明楼顶上通量的日周期变化。白天的水汽通量很高, 但 CO_2 呼吸量很低, 这是这种植被和相对较小的生物量所决定的。密歇根州立大学对景天属植物进行的实验室研究表明, 净碳吸收量几乎为零¹。

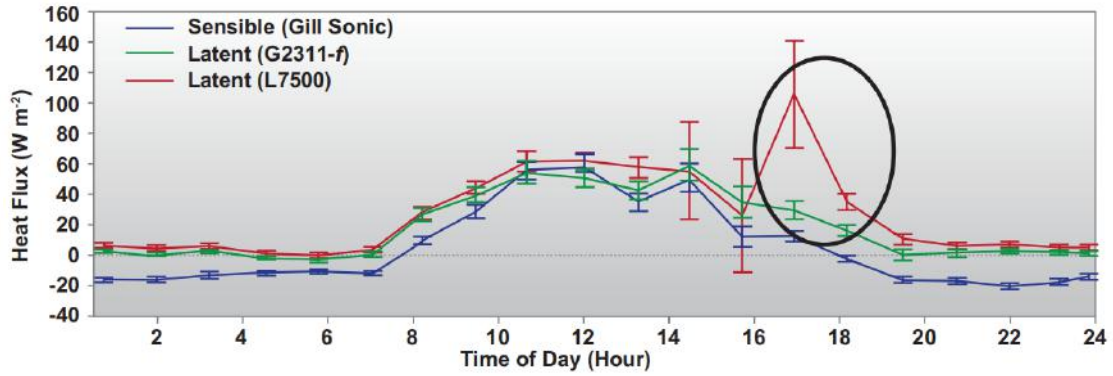


图 6：潜热和显热通量（5天综合）在观测期间，两种仪器之间通常有良好的一致性，除了由于镜面上积聚的液态水而导致的 Li7500 数据中的偏移。在此期间，每日气温在 92 至 115 华氏度之间，白天的通量值很大。

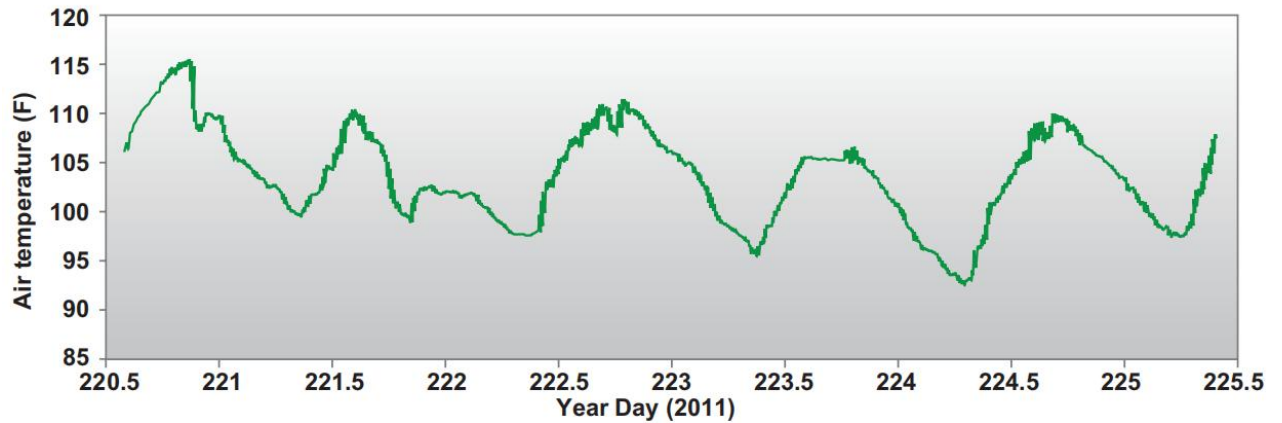


图 7：屋顶温度时间序列

在水汽通量较低的时期，这两种仪器之间有很好的 consistency。然而，在高水汽通量期间，Li7500 中的 CO_2 信号会增强，从而导致对碳吸收的过度估计。

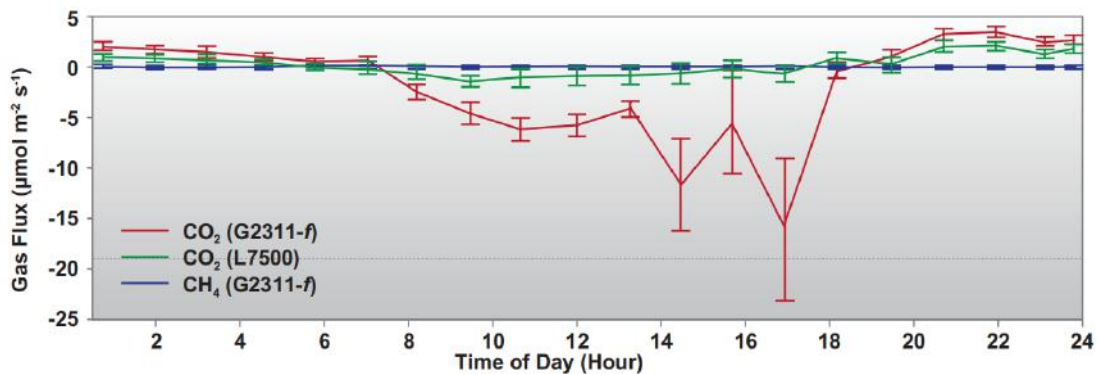


图 8： CO_2 通量日变化（综合 5 天）。Li7500 数据做了 WPL 校正

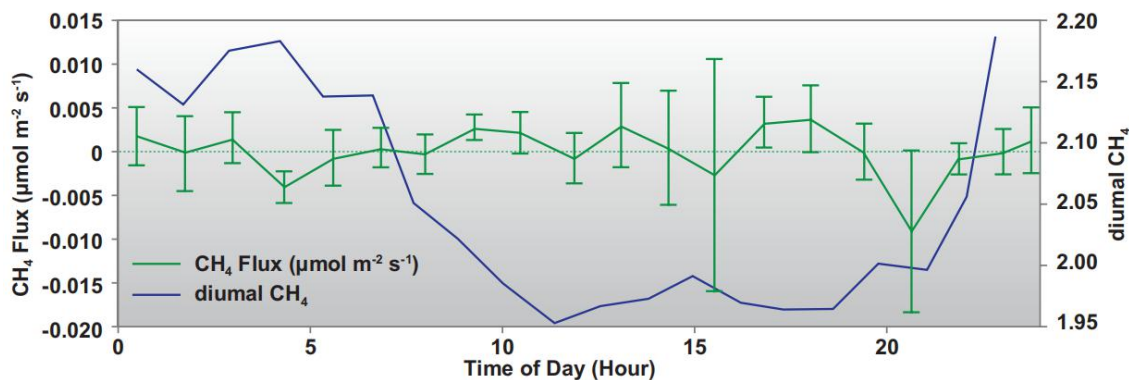


图 9：甲烷的浓度和通量日变化趋势。白天稀释/夜间贮存效果明显。正如预期的，屋顶似乎不是甲烷的源或汇。Picarro 仪器在低通量环境下表现出稳定的性能。

评论：

Picarro G2311-f 高频温室气体分析仪具有独特的能力，能够以 10 Hz 频率对 CO₂、CH₄ 和 H₂O 三种气体的浓度进行同步精确测量，因此非常适合城市生态系统的测量。分析仪能够自动校正水蒸气（稀释度和光谱）的影响，并报告准确的干混合比，仪器中的精确温度和压力控制使仪器能够确定低水平的通量，而无需应用 WPL 或数据后处理期间的其他更正。在仪器漂移较低的情况下，分析仪对 CO₂、CH₄ 和水蒸气读数的精度可分别优于 200 ppb、3 ppb 和 6 ppm+0.3% 读数，从而可准确地测定较低水平的通量值，而且不需要频繁的校准和压缩气体参考测量。保证的最低数据速率为 10 Hz，最低气体响应为 5 Hz，确保了所有频率的优良性能。与开路系统测量相比，此部署显示出相同或更好的频率响应。此外，Picarro 的内置计算机和软件使风速和其他外围数据能够通过 RS232 直接集成和时间同步于分析仪数据，并保存在单个用户文件中。在此部署中，此功能无需单独的数据记录器和 PC，并且大大简化了数据分析，这有助于消除由于相对时钟漂移或数据处理错误而产生的潜在错误。

¹*Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs, Environ. Sci. Technol. 2009, 43, 7564–7570*

如对该文章涉及的应用有兴趣，欢迎联系我们：

Chenxf@cen-sun.com

James@cen-sun.com