

可现场部署的 Picarro G2508 和 Eosense eosAC/eosMX 在长期或周期性淹水土壤的应用

PICARRO
eosense

应用文章 (AN041) 温室气体分析仪系统 Eosense eosAC 通量箱和 eosMX 多路器

美国加利福尼亚大学伯克利分校环境科学、政策与管理系生态系统科学组
Tyler L. Anthony 与 Whendee L. Silver

摘要

漫灌的农田土壤是二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄) 和氧化亚氮 (N₂O) 等温室气体 (GHG) 的重要来源 (Linguist 等人, 2011; Oertel 等人, 2016)。由于这些生态系统具有高度的时空异质性, 因此需要连续测定痕量气体浓度, 以便更好地监测其排放模式和量化净生态系统通量。在漫灌期间, 测量地表通量是一项具有挑战性的工作, 但是错过这些时期, 可能会显著地低估每年的 CH₄ 排放量, 并有可能高估 N₂O 的排放量。本文我们通过对 Eosense eosAC 自动化呼吸室系统进行改造, 并将 Picarro G2508 温室气体分析仪置于改造过的 Bonar 塑料保温箱中, 对定期漫灌田地进行了连续测定。



系统改造与维护

我们部署了一套三组分痕量气体分析系统, 并在 15 × 15 米的网格中, 以相距 5 米的距离部署了 9 台呼吸气室。为了在定期漫灌系统中进行连续的现场部署, 主要进行了两个改造。第一处改造包括使用两种不同高度的呼吸室土壤环, 确保 eosAC 呼吸室始终位于地下水位以上。第二个改造是制作一个防风防雨的保温箱, 此处对 Bonar 塑料保温渔具箱进行了改装。考虑到空调 (500 W)、Picarro G2508 气体分析仪和循环泵 (~200 W)、Eosense eosAC/eosMX 呼吸室和多路器系统 (~100 W) 的电源要求, 采用市电供电非常有助于连续测定。关于 eosAC/eosMX 和 Picarro G2508 设置的详细说明, 请参阅 Picarro 应用文章 AN0003 (Eosense n.d.)。

改造 eosAC 呼吸室土壤环

本研究测定的农田全年经历两种类型的淹水。在生长期会定期漫灌, 地下水位保持在土壤表面以上 10 厘米处超过 24 小时。在休耕期, 这些田地持续被淹约三个月, 以最大程度地减少杂草的生长, 并为迁徙水禽提供栖息地。休耕期淹水发生时, 地下水位最高可达 30 厘米。考虑到一年中淹水情况存在着巨大的差异, 因此每个季节都需要使用不同高度的呼吸室土壤环。



图 1. 现场部署的 eosAC 呼吸室，安装了经过改造的 15 厘米土壤环(左)，环内外土壤湿度相似(右)。

在漫灌期，从直径为 6 英寸的美标 SCH 40 PVC 管横切出 15 厘米的土壤环，这个尺寸必须与 eosAC 呼吸室所需的尺寸相匹配。在距离土壤环边缘 2 厘米处钻了 6 个 10 毫米的孔，以确保土壤环内外的表层土之间有足够的液体交换。土壤环底部距离土壤表面大约 3 至 4 厘米，以确保土壤覆盖钻孔。我们在呼吸室底部插入了一个与土壤环高度相同的小金属支架，以提供更好的稳定性（图 1）。在这项研究中，测试管架运行良好。对于较长的休耕期，采用直径 6 英寸的美标 SCH 40 PVC 管制成类似的 35 厘米土壤环，并使用传统的牛奶箱为腔室底部提供额外的支撑（图 2）。除了农田管理（犁地、播种等）期间或更换土壤环进行维护期间，在整个农田测定期间这两套土壤环都固定在原始位置。

为了测定腔室容积，每周测量呼吸室土壤环高度并在测量之间进行插值，以得到土壤和地下水位高度随时间的变化。这些值还用于计算 N_2O 最小可检测通量 (Nickerson 2016)。15 厘米土壤环高度下 N_2O 最小可检测通量为 $0.22 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ，30 厘米土壤环高度下 N_2O 最小可检测通量为 $0.33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ，均比这两个土壤环高度下测定的平均通量低大约两个数量级。这里报告的 N_2O 最小可检测通量是保守估计，因为实际的腔室容积总是小于用于计算上述值的最大理论容积。

使用 Eosense eosAnalyze-AC v. 3.7.7 软件计算 CO_2 、 N_2O 和 CH_4 的通量。详情请参考 eosAC 说明书 (Eosense 2016)。然后数据以 .csv 文件格式导出，并在 R 程序 (R v.3.2.2) 中进行数据筛选 (O' Connell 等, 2018)。以下情况则会从最终数据集中剔除通量数据 (均单独采样)：通量与异常温度、湿度或压强读数有关； CO_2 、 N_2O 或 CH_4 的初始浓度为负数或与环境值显著不同；腔室部署时间少于 9 分钟或超过 11 分钟。根



图 2. 休耕期淹水期间，安装有 30 厘米土壤环的呼吸室。

据研究地点的不同，这种方法剔除了 1-10% 的单个通量测量值（在所有部署地点，单个通量测量值的数量都大于 20000）。

创建一个不受天气影响的保温箱

我们改造一只大小为 21 立方英尺、颜色为极地蓝的 Bonar 塑料高密度聚乙烯（HDPE）渔具箱，为 Picarro G2508 制作一个具有最佳运行温度且防风防雨的保温箱。为了将箱内温度保持在 27°C 左右，需要使用空调。我们在最长的那一面上锯了一个 40 厘米 × 35 厘米的方孔（图 4），安装了一台 Whirlpool WHAW050BW（或等同的）空调。空调用配套支架安装，其余孔用泡沫保温材料密封。为了使外壳顶部不受风雨侵蚀，在箱盖边缘和箱体边缘安装了特大窗户密封条。为了防止仪器被盗还安装了门闩和挂锁作为安全措施。

箱子自带的排水孔大小刚好与仪器供电所需的管道和电缆所需的尺寸相匹配，因此不需要改造。如果需要更多的电缆，还可以用电钻和孔锯将箱子随附的插头座切掉（如图 3 中的白色方框所示）。用电腻子或泡沫密封胶对孔进行密封。



图 3. 现场部署经过改造的 Bonar 塑料渔具箱。



图 4. 装有 Picarro G2508 和 Eosense eosMX 的箱子内部。

防止仪器进水

我们采取了一些方法来尽量避免水进入 Picarro G2508。在 eosMX 多路器和 G2508 入口之间安装了一个带有陶瓷冷凝元件的总除水装置（Parker A914-BX，Picarro 未对其进行评估）。目的是在过度潮湿的空气中凝结过量的 H₂O，并作为保护 G2508 的最终措施。在潮湿寒冷的冬季，我们也保持较高的温度，并尽可能多地将样品管留在保温箱内。这样有助于在样气接触到 eosMX 内部的金属组件之前提高样气的温度。水平安装 eosMX，这样可以尽量避免冷凝水从 eosMX 出口流进 G2508 入口。

为了进一步降低水对仪器造成损害的可能性，在潮湿的冬季和春季，我们每周使用带有 5/16 英寸 Swagelok 接头的空气压缩机（Husky Tools）从气体取样管中清除液态水。每个腔室的入口管和出口管都连接到空气压缩机，并用压强为 30 psi 的压缩空气对每条管路吹扫至少 15 秒。

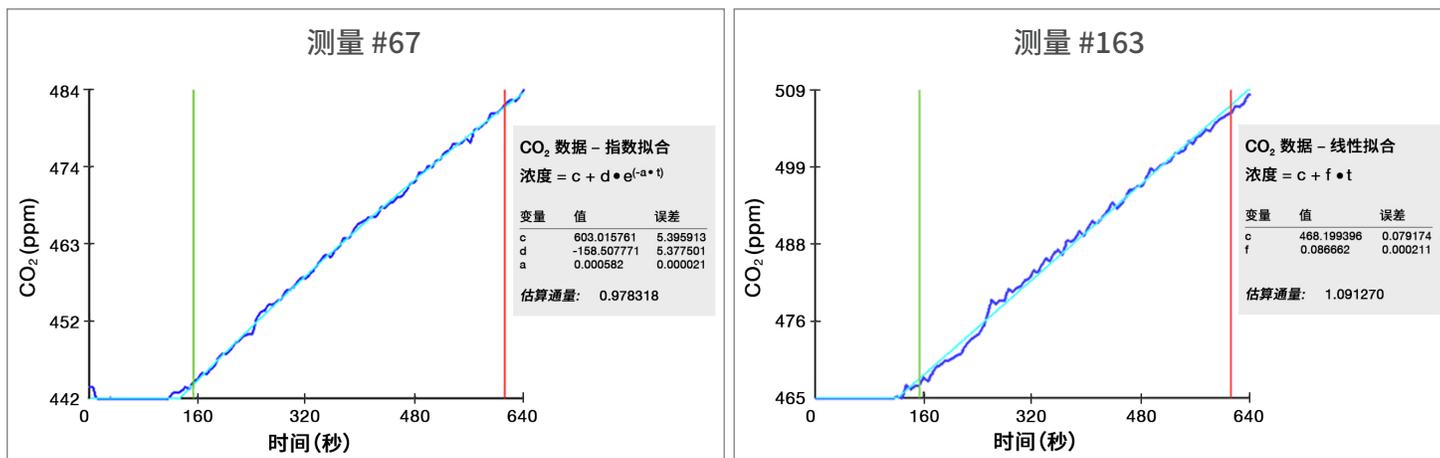


图 5. Eosense flux 软件中显示的样品 CO₂ 测量值。相隔一天在同一地点采用 15 厘米土壤环（左）和 30 厘米土壤环（右）测量的通量值 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)。软件输出结果同时包括线性拟合和指数拟合——最佳拟合可以在后处理中确定。

抽样验证和预期结果

我们观察到在相似的土壤和气候条件下，两个不同土壤环高度下测得的通量值是相近的（图 5），这说明土壤环高度的差异并不会显著影响土壤通量的测量结果。上文描述的改造帮助我们z从这些周期性淹水环境中连续收集了超过三年的通量测量结果。这些测量结果突出了 CH₄ 和 N₂O 净通量的热点时刻，这是其它测量方法所没有测到的。这些发现将有助于为漫灌农业提供更全面的年度温室气体评估。

如需更深入地了解这项研究，可以在 Hemes 等人的文章中找到初步的一年总结，参考如下：

参考文献

Eosense. (n.d.). AN003: eosAC/eosMX and Picarro analyzer quick setup Introduction: 3–5.

Eosense. 2016. eosAC Autochamber and Software User Manual.

Hemes, K, S. Chamberlain, E. Eichelmann, T. Anthony, A. Valach, K. Kasak, D. Szutu, J. Verfaille, W. Silver, and D. Baldocchi. 2019. Assessing the carbon and climate benefit of restoring degraded agricultural peat soils to managed wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology* 268 202-214.

Linquist, B., K. J. Van Groenigen, M. A. Adviento-Borbe, C. Pittelkow, and C. Van Kessel. 2011. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biology* 18:194–209.

Nickerson, N. 2016. Evaluating gas emission measurements using Minimum Detectable Flux (MDF). White Paper.

O’Connell, C. S., L. Ruan, and W. L. Silver. 2018. Drought drives rapid shifts in tropical rainforest soil biogeochemistry and greenhouse gas emissions. *Nature Communications* 9:1348.

Oertel, C., J. Matschullat, K. Zurba, F. Zimmermann, and S. Erasmí. 2016. Greenhouse gas emissions from soils - A review. *Chemie der Erde - Geochemistry* 76:327–352.