
Picarro 应用系列——在线测量树干温室气体排放过程

摘要：利用 Picarro G4301、G2201-i 气体分析仪探索“全球碳循环的新领域”



引言：

作为一种被忽视的温室气体排放源，树干甲烷的排放正受到越来越多的关注。地球上估计有 3.04 万亿棵树，即使是很小的树干 CH_4 排放也可能转化为庞大的 CH_4 源；因此，这可能会显著增加森林湿地的甲烷预算，并有可能降低许多山地森林的假定甲烷汇容量。

现有的测量树干温室气体通量和同位素的方法可能提供可靠的综合排放数据，但由于其分辨率较低，因此无法深入了解树干排放的精细尺度动态。澳大利亚南十字星大学的 Luke C. Jeffrey 等学者演示和现场测试了另一种方法，这种方法体积小、灵活、可在现场进行，允许在复杂和对比强烈的茎表面进行精细的通量测量 (Small Nimble In Situ Fine-Scale Flux Method 简称为 SNIFF 测量法)。搭配较为便携的 Picarro G4301 温室气体分析仪及 G2201-i 碳同位素分析仪，适用于野外在线测试。

SNIFF 测样装置的设计

SNIFF 系统由一个小巧、可快速密封的腔体和 Picarro 气体分析仪组成（图 1）。圆柱形腔体由一个 50 毫米宽的白色聚氯乙烯杯构成，盖子上有两个大约 6.4 毫米的气体进口和出口。腔体同 Picarro 主机进气口与出气口通过两根 BEV 管道连接，行成一个闭路循环，呼吸腔体同树茎间的空隙通过粘土环挤压密封。

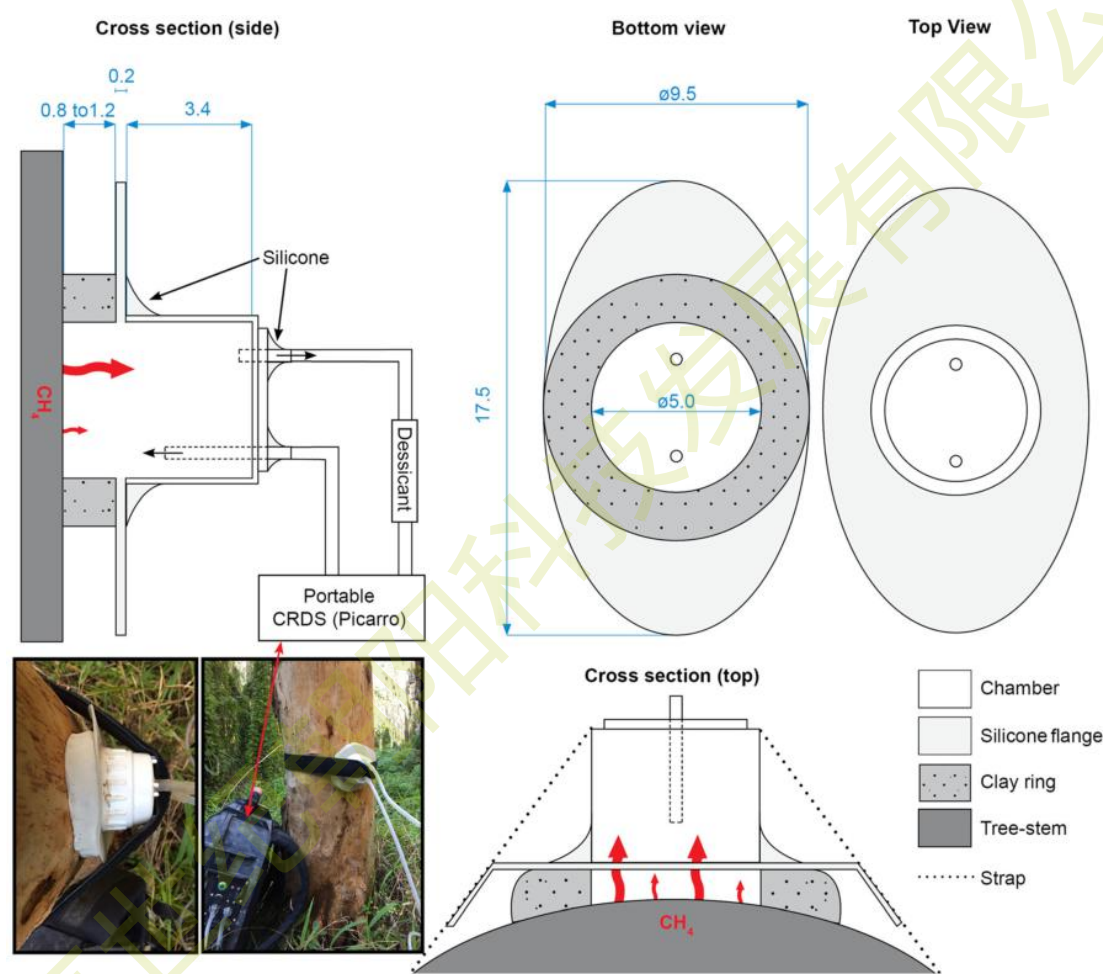


图 1. SNIFF 测样系统及呼吸腔室设计概念图，尺寸以厘米为单位。

分析仪选择：

Picarro G4301：CO₂、CH₄、H₂O 便携式高精度气体分析仪

Picarro G2201-i：二氧化碳(CO₂)和甲烷(CH₄)高精度碳同位素分析仪

现场试验过程：

在每一次实地测量之前，首先利用 Picarro 分析仪通过循环管路测试大气环境中的 CH₄

浓度，确保了不引入人为排放 CH_4 ，防止改变树干和大气之间的自然 CH_4 浓度梯度。接下来，将腔室上的粘土环轻轻压在树干上，以适应树干的曲线，用尽可能少量的粘土形成密封。一旦达到明显的密封效果，随即用一根皮带固定测试 2 分钟，并记录测试开始和结束的时间。测量结束后移除腔室，测量并记录粘土环内径与深度，用于计算通量值，随后重塑粘土环并开始下次测试。

现场测试树干的 CH_4 通量的垂直、径向及时间变化

现场进行多组实验，以评估精细尺度的垂直、径向和物种间的甲烷通量变化。这些包括对死去的热带红树林 (*Avicennia marina*) 和淡水湿地物种：阔叶干层木 (*Melaleuca quinquenervia*) 和粗枝木麻黄 (*Casuarina glauca*) 的垂直通量测量。为了证明径向和短期的时间变异性，在两个时间段对一棵阔叶干层木进行 360° 径向测量 (每 45° 做一次测量)。

现场测量 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 动态变化

利用 Picarro G2201-i 碳同位素分析仪对粗枝木麻黄树茎 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 稳定同位素比值进行现场测量，测样方法类似，但由于 G2201-i 的流速较慢 (30 mL/min)，测量时间增加到 15-20 分钟。树茎垂直测量高度分别为 10、20 和 50 厘米。并利用预抽真空气泡捕集器采集沉积物排放 CH_4 ，现场使用 G2201-i 测试其 CH_4 同位素值。为了探索粗枝木麻黄树干内部 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 的趋势，在每次同位素测量后，分别移除 4mm、8mm 的树皮层，再分别测试其 $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 。

树茎 CH_4 垂直通量和种间变异的评估

实地测试表明，树干的 CH_4 通量垂直梯度可以在短时间尺度获取 (图 2)，连续六次垂直树干通量测定可在 20 分钟内完成 (图 2)。尽管测量时间相对较短 (2 min)，但测量期间浓度随时间的线性回归表现出较高的 r^2 值 (平均 $r^2 = 0.995 \pm 0.004$)。

这种快速的测量方法允许在一天内进行许多离散的测量，从而能够探索树干 CH_4 通量

的异质性和种间变异性 (图 2B/C)。在 CH₄ 通量较低的山地森林中，需要更长的测量时间。

测量结果的精细尺度分辨率证实了湿地树种的 CH₄ 通量随树干高度增加而明显衰减，这与

CH₄ 在垂直输送过程中脱气的情况相一致，CH₄ 可能来源于沉积物中。

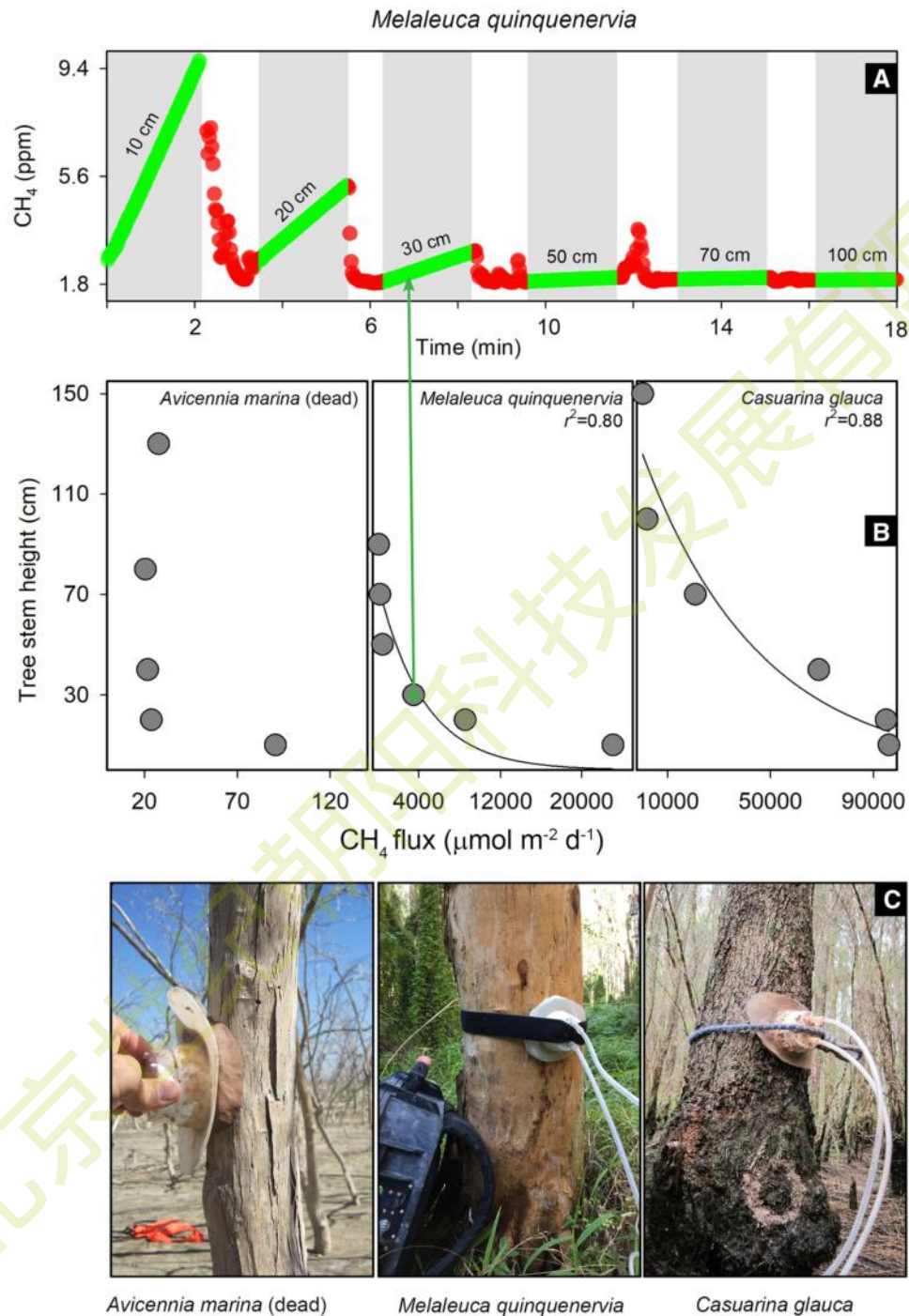


图 2. 利用 SNIFF 测试系统快速测试不同树种树干垂直通量变化。

树干 CH₄ 通量垂直、径向和时间变化分析

通过测量两种树种树干在 5cm 增量时的垂直 CH₄ 通量变异性和径向 CH₄ 通量变异性 (图 3A, B), 我们观察到湿地树种树干 CH₄ 通量随高度程对数衰减; 在同一平面水平上, 树干也存在径向非均匀性(图 3B)。

在短时间尺度上, 我们还发现在树干 CH₄ 排放中存在相当大的变异性, 在上午 8:00 到 11:00 之间, 最低和最高通量点分别存在 16 倍和 18 倍的差异(图 3C)。此外, CH₄ 通量的径向分布也揭示了与 CO₂ 类似的空间趋势, CH₄ 和 CO₂ 的热点都出现在阔叶干层木树干同一西侧(270°)(图 3C)。这一区域的树干有一个深的裂缝, 那里有大约 50% 的树皮深度。这棵树的茎面异常可能代表一种优先的气体流出途径, 来自 CH₄ 源的扩散速率可以更容易地从沉积物向上流动和/或通过树皮层向外流动。该分析表明, 湿地树干的 CH₄ 排放具有相当大的异质性, 可能存在高度局部化的热点/冷点, 造成这种异质性的潜在原因需要进一步研究。

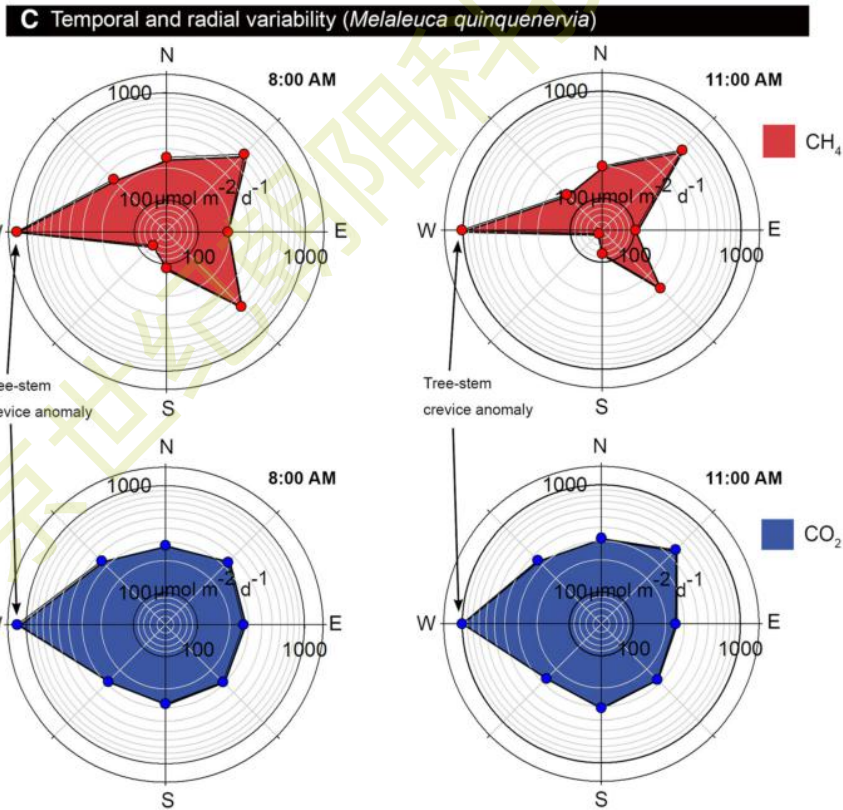
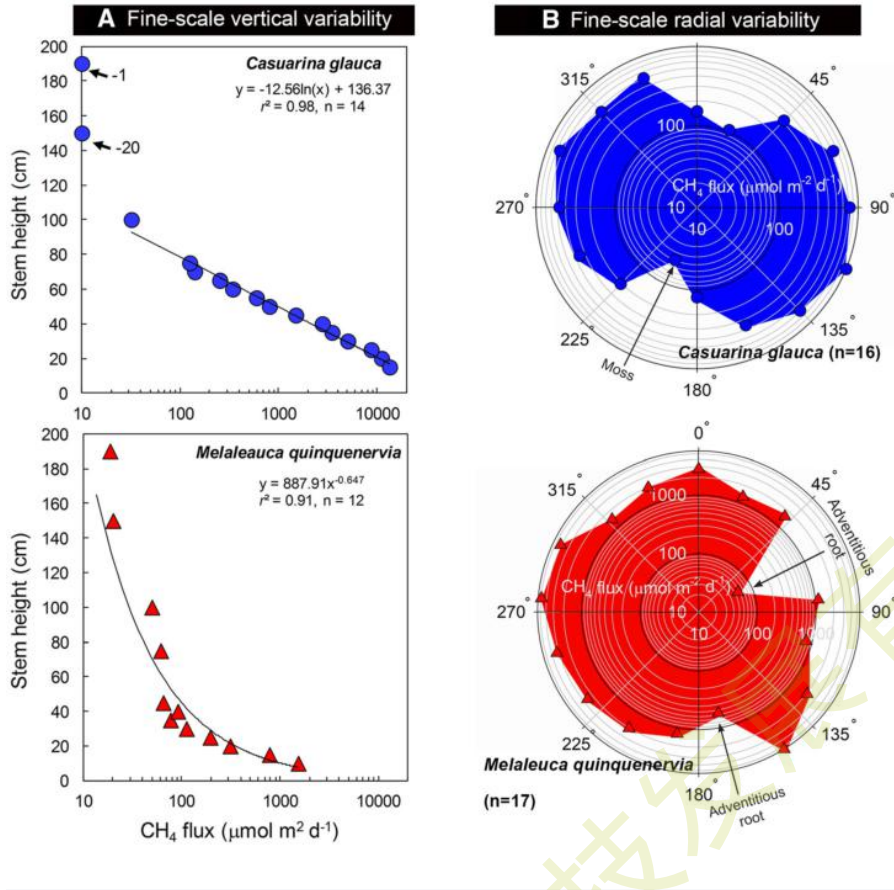


图 3. 树干精细空间尺度（垂直、径向）和时间尺度的 CH₄、CO₂ 通量变化特征

研究树干 CH₄ 中 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 同位素变化趋势

与周围沉积物源($-69.3 \pm 2.0 \text{‰}$)相比,在 50 cm 树干高度处($-58.08 \pm 0.23 \text{‰}$),粗枝木麻黄茎表面信号的 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 富集有明显的垂直趋势(图 4A)。这可能代表当 CH₄ 向上移动并远离沉积源或生物源时发生的内部微生物氧化,导致 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 随高度而富集。另外,所观察到的趋势也可能与质量依赖的分馏有关,这是由于水平扩散运输优先将 ^{12}C -CH₄ 向外运输(向树皮表面),使剩余的垂直运输的 CH₄ 具有更丰富的 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 值。

对于阔叶干层木,去除 8mm 树皮($-66.8 \pm 0.1 \text{‰}$)后测得的 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 与沉积端元 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ 特征相似(图 4B)。但在树皮外表面 $\delta^{13}\text{C}$ -CH₄ ($-86.9 \pm 0.5 \text{‰}$)偏轻一些。此处测得排放的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成可能与优先向外传输的 ^{12}C -CH₄ 相关的质量依赖分馏有关。

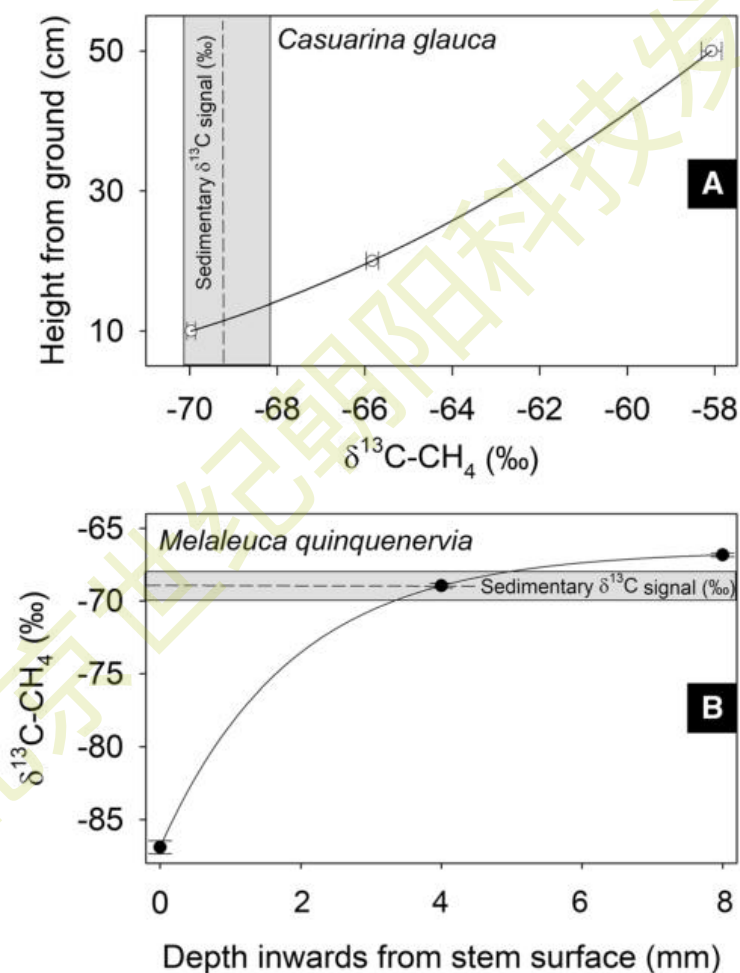


图 4. 稳定的同位素结果揭示了潜在的 CH₄ 氧化和/或分馏发生的变化

结论：

本文描述并验证了一个小体积呼吸腔室方法来测量树干温室气体通量有以下特点：

- (1)有助于快速密封;
- (2)利用现场气体分析仪提供快速的通量响应时间;
- (3)几乎适用于任何大小的树木或树皮表面;
- (4)能够对 CH₄ 通量和同位素组成进行精细的空间和时间分辨率测量，便于进行野外作业。

这种方法促进了捕获精细尺度的垂直和径向甲烷通量测量的新结果：

- (1)采样湿地树种 30 cm 以下的甲烷排放量占 86% ~ 89%;
- (2) $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ 的垂直和水平趋势明显，这是由于扩散运输过程中氧化和/或与质量有关的分馏引起的分馏;
- (3)存在明显的径向非均质性。

因此，利用具有高径向和垂直分辨率能力的小腔室，可以促进未来对驱动因素、途径、氧化汇和树干温室气体排放的强度进行更可靠的评估，并对以前的大尺度采样技术进行补充。

以上内容出自澳大利亚南十字星大学的 Luke C. Jeffrey 等学者的研究报告。

如果希望进一步了解文章应用，欢迎与我们联系讨论：

+86-13701917489 或 +86-18969955870

james@cen-sun.com 或 chenxf@cen-sun.com

北京世纪朝阳科技发展有限公司