

植物叶片排放甲烷的初步研究

蔡锡安, 黄娟*, 吴彤, 刘菊秀, 蒋芬, 王森浩

中国科学院华南植物园/中国科学院退化生态系统植被恢复与管理重点实验室, 广东 广州 510650

摘要: 植物能直接释放甲烷 (CH₄) 一直被质疑。为了验证活体植物的 CH₄ 源汇功能, 利用改装的便携式光合仪 (Li-6400) 采集植物叶片释放的 CH₄, 并通过气象色谱分析甲烷体积分数, 初步研究了 14 种植物叶片的 CH₄ 排放情况, 并比较了原位和离体枝条叶片 CH₄ 排放差异, 以及海拔变化对部分植物叶片 CH₄ 排放的影响。结果表明, 华南地区 14 种植物叶片 CH₄ 排放情况随植物种类而异, 无忧树 (*Saraca dives*)、树菠萝 (*Artocarpus heterophyllus*) 和海南菜豆树 (*Radermachera hainanensis*) 的叶片能直接排放 CH₄, 垂叶榕 (*Ficus benjamina*) 则吸收 CH₄, 其他种类植物则有吸收和排放 CH₄ 的双重现象。而且, 原位和离体枝条采集植物叶片排放 CH₄ 的气体浓度没有显著差异, 表明离体枝条法采集叶片 CH₄ 排放气体适合野外采样。海拔梯度引起的小幅度增温抑制了被测 4 种植物叶片的 CH₄ 排放, 并在 30 m 海拔 (增温 3 °C) 的环境中表现出显著的 CH₄ 吸收。可见, 植物叶片在有氧的环境中可直接排放或吸收 CH₄, 然而其 CH₄ 的释放与植物种类和环境因子 (如海拔、温度) 密切相关。在今后的植物 CH₄ 排放清单编制时, 应充分考虑环境因子对植物 CH₄ 源汇功能的影响, 以准确评估森林生态系统的 CH₄ 源汇功能。

关键词: 植物源甲烷; 原位枝条叶片; 离体枝条叶片; 环境因子; 海拔梯度

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.09.008

中图分类号: Q948; X16; X17

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2021) 09-1842-06

引用格式: 蔡锡安, 黄娟, 吴彤, 刘菊秀, 蒋芬, 王森浩, 2021. 植物叶片排放甲烷的初步研究[J]. 生态环境学报, 30(9): 1842-1847.

CAI Xi'an, HUANG Juan, WU Tong, LIU Juxiu, JIANG Fen, WANG Senhao, 2021. Study on methane emission from tree leaves [J]. Ecology and Environmental Sciences, 30(9): 1842-1847.

甲烷 (CH₄) 是仅次于 CO₂ 的重要温室气体。过去普遍认为, CH₄ 的唯一生物产生过程是在厌氧条件下, 有机物经多种厌氧细菌作用生成小分子物质 (HCOOH、CH₃COOH、CO₂、H₂ 等) 后, 再被产甲烷菌利用并生成 CH₄ (Peters et al., 1996; Segers, 1998; 邓永翠等, 2010); 因而坚信: 植物不能产生 CH₄, CH₄ 的最大生物来源是湿地、稻田、垃圾填埋场以及反刍动物消化系统等。然而, 自 2006 年 Keppler 等首次证实有氧条件下植物能够释放 CH₄ 后, 植物排放 CH₄ 的相关报道也越来越多 (Crutzen et al., 2006; Sanhueza et al., 2006; Cao et al., 2008; Wang et al., 2016)。热带地区是植物最大的 CH₄ 源, 约占全球陆地排放 2/3 (Keppler et al., 2006; Keppler et al., 2008; Viganò et al., 2008; Wang et al., 2008)。还有研究表明, 植物亦吸收 CH₄, 如云杉 (*Picea abies*)、桦木 (*Betula pubescens*)、花楸 (*Sorbus aucuparia*) 和欧洲赤松 (*Pinus sylvestris*) 等, 其平均吸收速率达 0.7 μmol·m⁻²·h⁻¹

(Sundqvist et al., 2012); 森林冠层是大气 CH₄ 的重要的汇 (Sundqvist et al., 2015)。另有一些植物则白天表现为源, 晚上表现为汇 (Zhang et al., 2014)。其他一些研究则显示, 不同种类、不同生长条件下的植物排放或吸收 CH₄ 的通量有很大差异, 据此推测植物 CH₄ 的排放或吸收可能与生长环境和植物种类等因素相关 (Cao et al., 2008; Wang et al., 2008; Covey et al., 2019)。目前研究植物 CH₄ 排放对象多数集中在植物的枝条或树干上 (Jeffrey et al., 2019), 对植物叶片 CH₄ 排放的研究少见报道。因此, 在全球变暖的趋势下, 大范围地开展热带陆地植物叶片实测研究, 探讨植物 CH₄ 的源或汇的功能及其对大气 CH₄ 通量的贡献具有重要的科学意义。

目前植物叶片排放 CH₄ 气体样品的采样多数是借鉴其他气体的采样方法, 如静态箱法、动态枝条密闭法等。便携式光合测定仪 (如 Li-6400 等) 具开放式气路系统, 其气路具有精确的流量调控单

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31971459; 41977287)

作者简介: 蔡锡安 (1968 年生), 男, 博士, 从事植被恢复生态学研究。E-mail: xncai@scib.ac.cn

*通信作者, 黄娟, E-mail: lotus-hj@scbg.ac.cn

收稿日期: 2021-03-18

元, 通过适当的末端改装使其具备气体采集功能, 则可同时开展光合测定和 CH_4 等气体采集实验, 为光合作用监测和气体的采集提供了更便捷的方案。为探讨离体枝条叶片采样排放气体的可能性, 利用 Li-6400 光合仪采集植物叶片排放气体样品时, 分析离体枝条与原体枝条叶片排放 CH_4 气体浓度的差异, 验证离体枝条叶片 CH_4 采样的可行性。另在鼎湖山自然保护区的海拔梯度实验平台, 选择木荷 (*Schima superba*)、鼠刺 (*Itea chinensis*)、红车 (*Syzyglum hancei*) 和短序润楠 (*Machilus breviflora*) 等 4 种植物为研究对象, 测定由海拔梯度引起的温度变化对其叶片释放 CH_4 的影响; 还测定了其他 10 种低海拔常见植物叶片的 CH_4 排放速率, 为研究植物的 CH_4 源或汇功能提供证据, 也为今后 CH_4 排放清单研究提供原始数据积累。

1 材料和方法

1.1 试验区概况和供试植物

试验地点位于广东鼎湖山森林生态系统国家野外科学观测研究站 (鼎湖山站) 内。鼎湖山站位于 $112^{\circ}30'39''$ — $112^{\circ}33'41''\text{E}$, $23^{\circ}09'21''$ — $23^{\circ}11'30''\text{N}$, 属山地丘陵地貌, 南亚热带季风湿润气候。年均温度为 21.4°C , 年平均降雨量为 1927mm 。鼎湖山的土壤是由砂岩、砂页岩发育而成的赤红壤。本实验选择本区低海拔常见植物 10 种, 分别为尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、无忧树 (*Saraca dives*)、垂叶榕 (*Ficus benjamina*)、大叶冬青 (*Ilex latifolia*)、桂花 (*Osmanthus fragrans*)、树菠萝 (*Artocarpus heterophyllus*)、含笑 (*Michelia figo*)、假槟榔 (*Archontophoenix alexandrae*)、海南菜豆树 (*Radermachera hainanensis*) 等。

另在鼎湖山自然保护区的海拔梯度实验平台, 选择木荷 (*Schima superba*)、鼠刺 (*Itea chinensis*)、红车 (*Syzyglum hancei*) 和短序润楠 (*Machilus breviflora*) 等 4 种植物测定海拔对其释放 CH_4 的影响。本平台建于 2012 年, 根据海拔高度对气温等影响的原理而设置, 具体是将海拔高度 600m 的山地土壤移位到 300m 和 30m 区, 并种植山地林的优势树种开展实验, 根据测定, 30m 处理组比 300m 处理组气温高约 1.5°C , 比 600m 处理组高约 3.0°C (刘菊秀等, 2013)。

1.2 试验方法

根据便携式光合仪的设计原理, 其开放气式通路是通过气阀和分流器使气路中的 75% 流量通过样品室, 然后排放到大气中。通过对该仪器稍作改装, 只在样品室气路末端加装三通阀, 通过三通阀将气体接入 CH_4 采样袋来收集 CH_4 样气 (如图 1)。本方法可收集叶片排放的气体, 且可调节气体流速。

实验于 2018 年 9 月—2019 年 9 月进行。因植物的光合能力在 09:00—11:00 最强, 其气孔活性也最大, 因此, 植物排放 CH_4 的采样工作也在该时段进行。所有实验都选取植株冠层中上部向阳生长的枝条, 在该枝条上选取健康、成熟的、距离顶端的第 3、4 叶片作为采样对象。气体采集的方法为光合仪的开路气路连接气袋方法收集 (图 1)。除无忧树和垂叶榕采用离体枝条采气外, 其余植物种类的气体采集均采用原位法。

原位枝条叶片气体采集: 按上述选取植株和叶片的方法选择叶片作为采样对象。叶室为自然光透明叶室, 按照光合作用测定的流程和要求, 将叶片置于叶室内, 夹紧叶片, 检查叶室的密封性。让叶片适应 1—2 min, 然后从探头的排气端连接气袋,

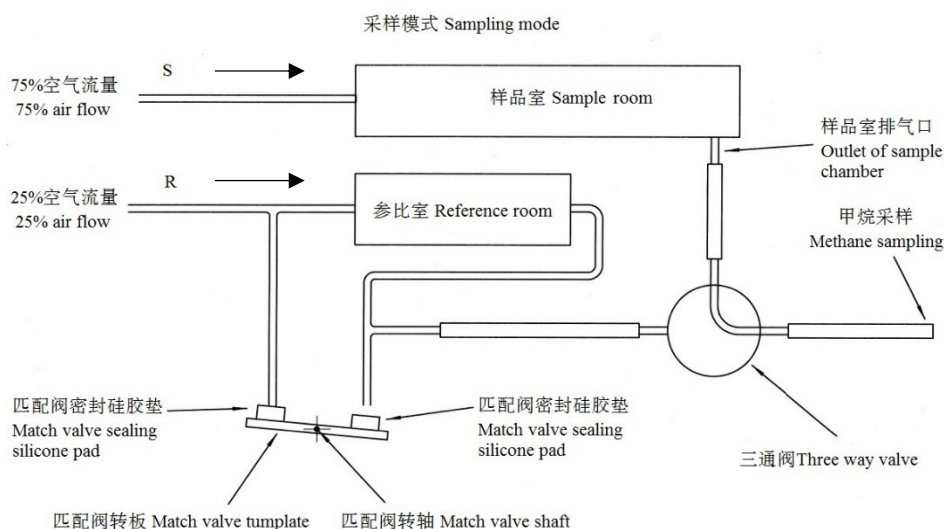


图 1 Li-6400 光合仪采集植物叶片排放 CH_4 的气路示意图

Fig. 1 Passage of methane from plant leaf sampled by Li-6400 photosynthetic apparatus

打开阀门,进行采样。采样时间为 1 min,流速为 375 mL·min⁻¹。每个样品采集 3—5 个重复样。

离体枝条叶片气体采集:原位气体采集完成后,把采集的叶片作标记,同时把叶片所在的枝条剪下(为了减少剪口伤害对叶片排放 CH₄ 的影响,剪口离叶片 50 cm 以上),立刻将剪口插入清水中,待水平平衡后,尽快以原位相同的方法完成标记叶片(离体法和原体法为同一叶片)的气体收集。离体枝条叶片的气体收集一般在离体 2 h 内尽快完成(Wyka et al., 2012)。每个样品采集 3—5 个重复样。

在采集植物气体样品的同时,采集空气样品。采集样品完成后,气袋带回实验室采用气相色谱(Agilent 5890, Agilent Co. USA)连接火焰离子检测器(FID)测定 CH₄ 气体体积分数。气袋中的 CH₄ 通过 2 m 长、内径 2 mm 的 60—80 目 13XMS 色谱柱分离,分离条件为:柱温 55 °C,载气为高纯氮气,流量为 30 mL·min⁻¹。

CH₄ 体积分数计算公式:

$$\Delta C = C_{\text{leaf}} - C_{\text{air}} \quad (1)$$

式中:

ΔC ——叶片释放 CH₄ 的净体积分数 ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$);

C_{leaf} ——收集到的叶片排放的 CH₄ 体积分数;

C_{air} ——空气中 CH₄ 体积分数。当 ΔC 为正值时,表明植物叶片释放 CH₄; 当 ΔC 为负值时,表明植物叶片吸收 CH₄。

利用叶面积仪测定植物叶片样品叶面积 (m^2),每片叶子测定 3 次,取均值。之后,将其置于烘箱中 60 °C 下烘 24 h 至恒重,称量其干质量。计算采样叶面积的干质量 (g),用于计算 CH₄ 的排放速率。

植物叶片 CH₄ 排放速率计算公式如下:

$$F = \rho \times V \times \Delta C / m \quad (2)$$

式中:

F ——植物叶片的 CH₄ 排放速率 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$);

ρ ——CH₄ 气体密度 ($\mu\text{g}\cdot\mu\text{L}^{-1}$);

V ——流速 ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$);

ΔC ——叶片排放的 CH₄ 气体与空气 CH₄ 的体积分数之差 ($\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$);

m ——植物叶片采样面积的干质量 (g)。

1.3 数据分析

本研究中各指标的平均值和标准差均应用 Excel 2013 软件计算。原位植物叶片采样与离体枝条叶片采样 2 种方法的差异性比较,通过 SPSS 13.0 软件的配对样本 t 检验 (Paired Sample Test) 进行分析,如果 2 种方法的 $P > 0.05$,即认为 2 种采样方法

的结果没有显著差异。在海拔梯度实验中,采用双因素方差分析法 (two-way ANOVA) 分析海拔与植物种类对甲烷排放的影响差异。应用 Origin 2019 软件作图。

2 结果与分析

2.1 原位枝条和离体枝条叶片采样 CH₄ 浓度比较

无忧树和垂叶榕的叶片排放 CH₄ 的原位气体采样体积分数分别为 (0.95 ± 0.18) 、 $(-0.39 \pm 0.11) \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$; 离体气体采样体积分数分别为 (0.95 ± 0.11) 、 $(-0.51 \pm 0.06) \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ (如图 2); 统计分析表明,这 2 种采样方法对无忧树和垂叶榕排放 CH₄ 浓度均没有显著性影响 (表 1, $P > 0.05$)。因此,在对高大乔木的叶片排放 CH₄ 气体开展研究时,离体气体采样是可代替的方法。

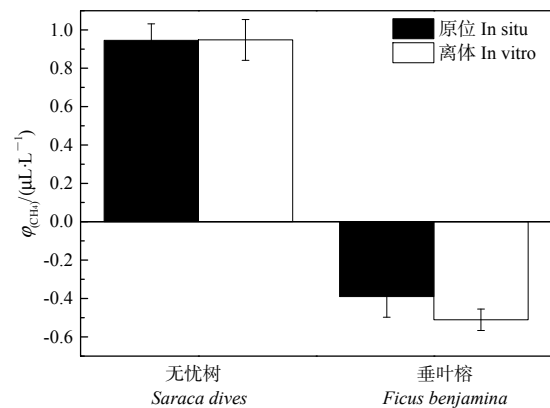


图 2 原位与离体采样的无忧树、垂叶榕的 CH₄ 体积分数
Fig. 2 Volume fraction of CH₄ from *Saraca dives* and *Ficus benjamina* in situ and in vitro methods

2.2 植物叶片的 CH₄ 排放情况

从表 2 可知,树菠萝和海南菜豆树叶片 CH₄ 排放速率分别为 30.76—36.69、42.97—45.44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。垂叶榕则吸收 CH₄, 吸收速率为 39.85—120.36 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$; 其他植物如大叶冬青、桂花、含笑、假槟榔、尾叶桉和马尾松等,则均有排放和吸收现象,具体原因有待进一步研究。

2.3 海拔梯度对植物叶片排放 CH₄ 的影响

从图 3 可知,海拔对 4 种植物(木荷、短序润楠、红车和鼠刺)叶片释放 CH₄ 有较大影响。在海拔 600 m 处,木荷、短序润楠、红车和鼠刺植物排放 CH₄ 体积分数分别为 (0.09 ± 0.00) 、 (0.06 ± 0.00) 、 (0.07 ± 0.04) 和 $(0.01 \pm 0.00) \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在 300 m 处,分别为 (0.17 ± 0.00) 、 (0.28 ± 0.06) 、 (0.05 ± 0.00) 和 $(0.11 \pm 0.05) \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 。可见在海拔 600 m 和 300 m 处,4 种植物叶片都排放 CH₄。在海拔 30 m 处 4 种植物排放 CH₄ 浓度有正亦有负,说明其叶片有排放和吸

表1 原位采样与离体采样的配对样本检验
Table 1 Paired sample test for methane concentration from *in situ* sampling and *in vitro* sampling

植物种类 Species	处理 Treatment	配对差异性 Paired Differences					t 检验 t-test	自由度 df	显著性 Sig.(2-tailed)
		均值 Mean	标准偏差 Std. deviation	标准误均值 Std. error mean	95%置信区间的差异性 95% confidence interval of the difference				
					下限 Lower	上限 Upper			
无忧树 <i>Saraca dives</i>	原位-离体 <i>In situ vs. in vitro</i>	0.00	0.61	0.31	-0.98	0.98	0.00	3	0.99
垂叶榕 <i>Ficus benjamina</i>	原位-离体 <i>In situ vs. in vitro</i>	0.12	0.12	0.07	-0.18	0.42	1.75	2	0.22

无忧树, n=4; 垂叶榕, n=3
For *Saraca dives*, n=4; for *Ficus benjamina*, n=3

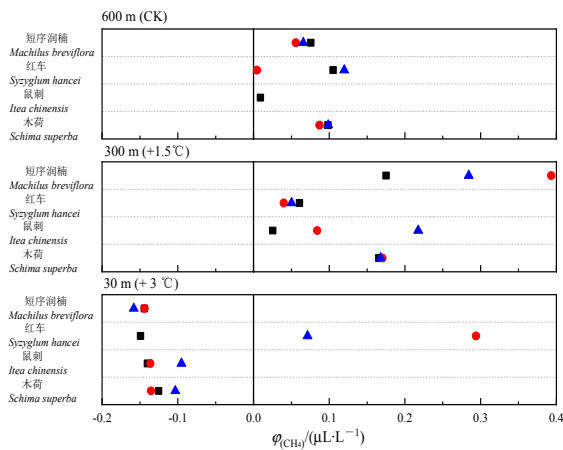


图3 海拔梯度对植物叶片排放的CH₄的影响
Fig. 3 Responses of methane emission from tree leaves to different altitudes

收CH₄现象(表2,图3)。可见,海拔的降低(增温3.0℃)抑制了植物CH₄的排放,并促进了CH₄的吸收,植物叶片从CH₄源向汇转变。

统计分析表明,海拔梯度变化对树种间的CH₄释放没有显著影响(P>0.05),但海拔梯度对同种叶

片CH₄的排放有显著抑制作用(P<0.001),海拔与树种对叶片CH₄排放有交互作用(表3,P<0.01)。

3 讨论

对于高大的乔木来说,测定其冠层叶片的光合并不容易,因此,有些研究者采用离体的方法进行测定(许大全,2002)。为了验证原位采样和离体采样对植物排放CH₄的影响,开展了无忧树和垂叶榕

表3 海拔梯度和树种对叶片排放CH₄影响的方差分析
Table 3 Variance analysis of the effects on leaf methane emission from tree species and altitude

源 Source	Ⅲ类平方和 Quadratic sum of type III	自由度 df	均方 Mean square	F	显著性 Significance
修正模型 Fixed model	0.528	11	0.048	7.599	0.000
截距 Intercept	0.072	1	0.072	11.331	0.003
树种 Tree species	0.028	3	0.009	1.495	0.241
海拔 Altitude	0.332	2	0.166	26.248	0.000
树种×海拔 Tree species×altitude	0.168	6	0.028	4.434	0.004

表2 植物叶片的CH₄排放速率

Table 2 Methane emission rate from plant leaves in southern China

植物种类 Plant species	拉丁学名 Latin name	排放速率 Emission rate/(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		
		海拔600 m Altitude 600 m	海拔300 m Altitude 300 m	海拔30 m Altitude 30 m
木荷	<i>Schima superba</i>	0.77-0.86	1.36-1.37	-1.19-2.37
鼠刺	<i>Itea chinensis</i>	0.08	0.20-2.22	-2.01-2.34
红车	<i>Syzyglum hancei</i>	0.03-0.78	0.23-0.43	-1.49-2.12
短序润楠	<i>Machilus breviflora</i>	0.35-0.61	1.48-2.73	-1.28-3.11
假槟榔	<i>Archontophoenix alexandras</i>			-6.10-43.94
大叶冬青	<i>Ilex latifolia</i>			-0.04-8.98
含笑	<i>Michelia figo</i>			-0.36-15.37
桂花	<i>Osmanthus fragrans</i>			-5.62-5.65
海南菜豆树	<i>Radermachera hainanensis</i>			42.97-45.44
树菠萝	<i>Artocarpus heterophyllus</i>			30.76-36.69
无忧树	<i>Saraca dives</i>			245.49-447.05
垂叶榕	<i>Ficus benjamina</i>			-120.36- -39.85
尾叶桉	<i>Eucalyptus urophylla</i>			-49.10-1.64
马尾松	<i>Pinus massoniana</i>			-75.85-127.28

的叶片排放 CH₄ 的原位气体采样和离体气体采样的比较研究, 结果表明, 这 2 种采样方法对无忧树和垂叶榕排放的 CH₄ 浓度均没有显著性影响 (表 2, $P > 0.05$)。结合 LIi-6400 光合测定仪等仪器, 采用离体方法收集植物叶片排放 CH₄ 气体具有操作方便、前期准备时间短、样品需求量少、重复性好等优点。因此, 利用光合测定仪采集植物离体枝条叶片排放 CH₄ 的方法适合于野外采样操作, 可推广应用。

植物在有氧条件下能释放 CH₄ 已被多个研究证实 (Crutzen et al., 2006; Keppler et al., 2006; Sanhueza et al., 2006; Cao et al., 2008)。本研究结果也表明华南地区常见森林植物叶片能直接释放 CH₄。陆地植物排放 CH₄ 与植物种类和环境因子 (海拔梯度、温度) 密切相关 (表 2)。在海拔 600 m 和 300 m 环境中, 植物显著排放 CH₄, 然而在海拔 30 m 的环境中, 植物表现为排放或吸收 CH₄ 的现象 (表 2, 图 3), 即同一种植物在较低海拔处有时排放 CH₄, 有时却吸收 CH₄, 其源或汇的角色并不固定。说明海拔梯度对植物排放或吸收 CH₄ 有明显的影响, 这可能与海拔梯度变化引起其他环境因子 (温度、湿度和 UVB 辐射等) 的变化有关, 具体原因有待进一步研究。

一般认为, 植物产生 CH₄ 是对环境胁迫的一种防御策略。增温刺激植物释放 CH₄, 其机理是高温促进植物细胞壁组分果胶和多聚半乳糖醛等排放 CH₄ (Keppler et al., 2006, 2008)。果胶是植物排放 CH₄ 的前体物质, Bruhn et al. (2009) 检测到高温条件下 (37 °C 和 80 °C) 果胶的 CH₄ 排放。Vigano et al. (2008) 则认为, 高温会刺激植物材料或其组分 (木质素和纤维素等) 甚至非结构性组分 (强氧化下的抗坏血酸) 排放出大量的 CH₄。而本研究结果却表明, 在海拔降低导致的自然增温 (≤ 3.0 °C) 环境中, 植物并不会增加叶片的 CH₄ 释放, 相反, 植物出现了 CH₄ 吸收现象。推测原因可能是, 小幅度内的自然增温 (自然增温 ≤ 3.0 °C) 并不会对植物的生长造成胁迫, 因而不会增加叶片的 CH₄ 释放; 相反, 自然增温反而导致了叶片吸收 CH₄ 现象, 详细的机理还需更进一步的探索。这个结果暗示, 在未来的全球变暖情况下, 植物可能是大气 CH₄ 的潜在汇, 这对评估森林的碳汇功能和温室气体减排具有重要的意义。

4 结论

原位和离体采集植物叶片排放的 CH₄ 气体浓度没有显著性差异。利用光合测定仪采集植物离体枝条叶片排放 CH₄ 的采样方法适合于野外采样操作, 可推广应用。

在华南地区低海拔的 14 种植物中, 无忧树、树菠萝和海南菜豆树具有明显的 CH₄ 排放, 而垂叶榕则表现为明显的 CH₄ 吸收, 其他植物 (尾叶桉、马尾松、大叶冬青、假槟榔、含笑、桂花等) 表现为有时吸收、有时排放 CH₄ 的现象。研究结果初步证明植物在有氧的环境中可直接排放或吸收 CH₄。

海拔梯度对植物的甲烷源或汇功能有重要影响。在南亚热带地区较小幅度内的海拔降低 (自然增温 ≤ 3.0 °C), 可导致植物叶片由 CH₄ 释放转变为 CH₄ 吸收。在今后的植物 CH₄ 排放清单中, 应考虑植物种类及环境因子对植物 CH₄ 源汇功能的影响, 以准确评估其对碳中和的生态贡献。

参考文献:

- BEERLING D, GARDINER T, LEGGETT G, et al., 2008. Missing methane emissions from leaves of terrestrial plants [J]. *Global Change Biology*, 14(8): 1821-1826.
- BRUHN D, MIKKELSEN T N, ØBRO J, et al., 2009. Effects of temperature, ultraviolet radiation and pectin methyl esterase on aerobic methane release from plant material [J]. *Plant Biology*, 11(1): 43-48.
- CAO G M, XU X L, LONG R J, et al., 2008. Methane emissions by alpine plant communities in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Biology Letters*, 4(6): 681-684.
- COVEY K R, MEGONIGAL P J, 2019. Methane production and emissions in trees and forests [J]. *New Phytologist*, 222(1): 35-51.
- CRUTZEN P J, SANHUEZA E, BRENNINKMEIJER C A M, 2006. Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6(2): 3093-3097.
- DUECK T A, D E VISSER R, POORTER H, et al., 2007. No evidence for substantial aerobic methane emission by terrestrial plants: A $\delta^{13}\text{C}$ -labelling approach [J]. *New Phytologist*, 175(1): 29-35.
- JEFFREY L, REITHMAIER G, SIPPO J Z, et al., 2019. Are methane emissions from mangrove stems a cryptic carbon loss pathway? Insights from a catastrophic forest mortality [J]. *New Phytologist*, 224(1): 146-154.
- KEPPLER F, HAMILTON J T G, MCROBERTS W C, et al., 2008. Methoxyl groups of plant pectin as a precursor of atmospheric methane: evidence from deuterium labeling studies [J]. *New Phytologist*, 178(4): 808-814.
- KEPPLER F, HAMILTON J T G, BRAB M, et al., 2006. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions [J]. *Nature*, 439: 187-191.
- KIRSCHBAUM M U F, WALCROFT A, 2008. No detectable aerobic methane efflux from plant material, nor from adsorption/desorption processes [J]. *Biogeosciences*, 5(4): 1551-1558.
- NISBET R E R, FISHER R, NIMMO R H, et al., 2009. Emission of methane from plants [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1660): 1347-1354.
- PETERS V, CONRAD R, 1996. Sequential reduction processes and initiation of CH₄ production upon flooding of oxic upland soils [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(3): 371-382.
- SANHUEZA E, DONOSO L, 2006. Methane emission from tropical savanna *Trachypogon* sp. Grasses [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 6(12): 5315-5319.
- SEGRS R, 1998. Methane production and methane consumption: a review of process underlying wetland methane fluxes [J]. *Biogeochemistry*,

- 41(1): 23-51.
- SUNDQVIST E, CRILL P, MÖLDER M, et al., 2012. Atmospheric methane removal by boreal plants [J]. *Geophysical Research Letters*, DOI: 10.1029/2012gl053592.
- SUNDQVIST E, MÖLDER M, CRILL P, et al., 2015. Methane exchange in boreal forest estimated by gradient method [J]. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 67(1): 26688.
- VIGANO I, VANWEELDEN H, HOLZINGER R, et al., 2008. Effect of UV radiation and temperature on the emission of methane from plant biomass and structural components [J]. *Biogeosciences*, 5(3): 937-947.
- VILLANUEVA I, POPP C J, MARTIN R S, 2004. Biogenic emissions and ambient concentrations of hydrocarbons, carbonyl compounds and organic acids from ponderosa pine and cottonwood trees at rural and forested sites in Central New Mexico [J]. *Atmospheric Environment*, 38(2): 249-260.
- WANG Z P, GU Q, DENG F D, et al., 2016. Methane emissions from the trunks of living trees on upland soils [J]. *New Phytologist*, 211(2): 429-439.
- WANG Z P, HAN X G, WANG G G, et al., 2008. Aerobic methane emission from plants in the Inner Mongloia steppe [J]. *Environmental Science & Technology*, 42(1): 62-68.
- WYKA T P, OLEKSYN J, ŻYTKOWIAK R P, et al., 2012. Response of leaf structure and photosynthetic properties to intra-canopy light gradients: A common garden test with four broadleaf deciduous angiosperm and seven evergreen conifer tree species [J]. *Oecologia*, 170(1): 11-24.
- ZHANG X, LEE X H, GRIFFIS T J, et al., 2014. The influence of plants on atmospheric methane in an agriculture-dominated landscape [J]. *International Journal of Biometeorology*, 58: 819-833.
- 邓永翠, 杜岩功, 吴伊波, 等, 2010. 植物释放甲烷研究进展 [J]. *生态学报*, 30(13): 3608-3615.
- DENG Y C, DU Y G, WU Y B, et al., 2010. Methane emissions from plants: a review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 30(13): 3608-3615.
- 刘菊秀, 李跃林, 刘世忠, 等, 2013. 气温上升对模拟森林生态系统影响实验的介绍 [J]. *植物生态学报*, 37(6): 558-565.
- LIU J X, LI Y L, LIU S Z, et al., 2013. An introduction to an experimental design for studying effects of air temperature rise on model forest ecosystems [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 37(6): 558-565.
- 许大全, 2002. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社: 17-18.
- XU D Q, 2002. Photosynthetic efficiency [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press: 17-18.
- 杨燕华, 易黎明, 谢锦升, 等, 2013. 温度对亚热带地区常见树种叶片甲烷排放的影响 [J]. *应用生态学报*, 24(6): 1545-1550.
- YANG Y H, YU L M, XIE J S, et al., 2013. Effects of temperature on CH₄ emission from subtropical common tree species leaves [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 24(6): 1545-1550.

Study on Methane Emission from Tree Leaves

CAI Xi'an, HUANG Juan, WU Tong, LIU Juxiu, JIANG Fen, WANG Senhao

Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems/South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

Abstract: Whether plants directly release methane has remained a question. Fourteen tree species were chosen for a study of methane emission from their leaves to demonstrate whether living plants directly released methane, using a modified portable photosynthetic apparatus to collecting methane emitted from leaves and then determining the concentration of methane via gas chromatography. Furthermore, the differences in leaf methane emissions measured by *in situ* and *in vitro* methods and the effects of environmental factors (e.g., altitude) on leaf methane emissions were also explored. The results showed that methane emissions from tree leaves varied by plant species. Among the 14 tree species, methane emission was observed in *Saraca dives*, *Artocarpus heterophyllus*, and *Radermachera hainanensis*, and methane absorption was observed in *Ficus benjamina*. Both methane emission and absorption were found in the other tree species, based on the differences in concentration of methane from the atmosphere in leaves. Further, there were no significant differences in methane concentrations between *in situ* and *in vitro* methods, suggesting that sampling methane from leaves of tall trees in the field was feasible. Elevated temperature caused by an altitude gradient [from 600 m to 300 m (+1.5 °C) and to 30 m (+3 °C)] depressed methane emissions from the leaves of four tree species (i.e., *Schima superba*, *Itea chinensis*, *Syzyglum hancei*, and *Machilus breviflora*), and significant methane absorption was observed at 30 m altitude (with a temperature increase of 3 °C). Therefore, our study confirms that living plant leaves release or absorb methane in an aerobic environment; however, the methane emission or absorption is limited by plant species and environmental factors (e.g., altitude, temperature). In the future, the list of methane emission from plants should be investigated and environmental factors should be considered to assess accurately the roles that forest ecosystems play as a source or a sink of methane.

Keywords: biogenic methane; branch with leaves *in situ*; branch with leaves *in vitro*; environmental factors; altitudinal gradient