

青藏高原高寒草甸优势植物种对大气甲烷行为 分异机制

郭小伟^{1 2} 韩道瑞^{1 2}, 杜岩功¹ 林 丽¹ 张法伟¹, 李以康¹, 李婧^{1 2}, 刘淑丽^{1 2}, 曹广民^{1*}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 采集青藏高原高寒草甸 15 种优势植物进行室内沙培实验, 利用静态箱 - 气相色谱法测定其甲烷通量, 以确定其对大气甲烷的源汇效应; 对植物体实施横切、纵切处理, 研究植物甲烷排放的机制。结果显示: 8 种植物为大气甲烷的源, 多为草本植物, 7 种为大气甲烷的汇, 多数灌木植物吸收甲烷; 横切、纵切处理对于植物甲烷释放速率的影响显著 ($p < 0.05$)。释放甲烷的植物中 5 种植物纵切后甲烷释放速率增加, 增幅 10.9% ~ 244.06%, 6 种植物横切后甲烷释放速率增加, 增幅 27.04% ~ 37.44%。灌丛植物在横切、纵切处理后甲烷通量都呈降低的趋势; 对植物纵切处理后甲烷释放速率显著高于未处理与横切处理后植物甲烷释放速率, 推测是由于几种处理间对于植物维管束处的气腔破坏程度不同造成的; 温度对于植物的甲烷行为影响显著 ($p < 0.05$), 随着温度的升高植物甲烷的源/汇效应均呈现增加趋势, 甲烷源植物 $Q_{10} = 1.75$, 甲烷汇植物 $Q_{10} = 1.44$ 。

关键词: 甲烷通量; 高寒草甸; 优势种; 温室气体

中图分类号: S812

文献标识码: A

甲烷是引起气候变暖的重要温室气体之一, 其红外吸收能力强, 单分子的增温潜势是 CO_2 的 30 倍^[1], 它贡献了温室气体增温效应的 20%^[2], 每年以约 1.1% 的速度增加^[3]。大气甲烷的浓度已经由工业化前的 $715 \times 10^9 \text{ L/L}$ 增加到 $1\,774 \times 10^9 \text{ L/L}$ ^[4]。2006 年初德国科学家 Keppler 首次发现很多类植物会在有氧条件下排放甲烷气体, 并估算得出这部分甲烷占全球甲烷排放总量的 10% ~ 40%^[5], 随后许多研究涉及到植物对甲烷贡献方面的报道^[6-8], 但是这些甲烷是否均来自于土壤, 甲烷在植物的传导中, 是否被放大或缩小, 植物是否隐藏着甲烷的源, 这些研究的准确性也受到质疑^[9]。

为解除土壤甲烷通量对于观测植物甲烷排放的干扰作用和研究植物甲烷排放的机理, 本研究进行了室内沙培植物甲烷行为定性实验和植物维管束气

腔的物理破坏试验, 以明晰青藏高原植物在有氧条件下甲烷源汇行为, 有助于理解高寒植物对大气甲烷库产生多大影响。

1 材料与方法

1.1 供试植物的采集

盆栽植物采集于中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站, 其地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷, 位于 $101^\circ 19' \text{E}$, $37^\circ 37' \text{N}$, 海拔 3 280 m。年均气温 -1.7°C , 最暖月 (7 月) 和最冷月 (1 月) 平均气温分别为 9.8°C 和 -14.8°C , 年均降水量 618 mm, 主要集中于 5—9 月, 占年总降水量的 80%。选取选取青藏高原高寒嵩草草甸、金露梅灌丛草甸和高寒湿地不同功能群的 15 种

收稿日期 (Received date): 2011 - 12 - 11; 改回日期 (Accepted): 2012 - 04 - 03。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (30970520); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05050304 - 3) 资助。[National Natural Science Key Foundation of China (30970520); Advanced Strategy Program of CAS (XDA05050304 - 3)]。

作者简介 (Biography): 郭小伟 (1985 -), 男, 汉族, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事植物生态学相关研究。[Guo Xiaowei (1985 -), male, Han nationality, born in Weifang of Shandong province, master candidate; mainly engages in plant ecology.] E-mail: xwguo1206@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): E-mail: Caogm@nwipb.cas.cn

植物种作为沙培实验对象,高寒草甸优势植物种:矮嵩草(*Kobresia humilis*)、小嵩草(*Kobresia parva*)、青藏高原常见人工草地种垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、高寒草甸常见杂草:苔草(*Carex*. spp)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、鸢尾(*Iris tectorum*)、线叶龙胆(*Gentiana farreri*)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、高寒湿地优势植物种藏嵩草(*Kobresia littledalei*)、青藏高原常见灌丛植物:沙棘(*Hippophae*. spp)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、大叶杜鹃(*Ericaceae*. spp)、小叶杜鹃(*Rhododendron calostrotum*);选取沙棘、金露梅、鬼箭锦鸡儿、藏嵩草、矮嵩草、小嵩草、苔草、垂穗披碱草、棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)、鹅绒委陵菜、鸢尾、线叶龙胆、细叶亚菊、美丽风毛菊14种植物作为植物气腔的物理破坏实验(11种草本植物3种灌丛植物)。

1.2 沙培试验

在春季返牧草青期进行野外采集,田间挖掘土壤至20 cm深,将完整植株带回实验室,用自来水和蒸馏水洗涤干净,再分别用75%乙醇灭菌5 sec,0.1%升汞灭菌5 min后,浸泡在蒸馏水中1 h,立即移栽到试验盆钵中(禾本科植物 $\phi = 26$ cm, $H = 18.8$ cm;灌丛植物 $\phi = 12.2$ cm, $H = 9.4$ cm),用过2 mm的细沙(冲洗、消毒)进行栽培,每种植物设置3个重复。用含N40 mg/L、P25 mg/L和K200 mg/L的混合培养液进行浇灌,使其盆钵底部溶液自由流出为止。放置于阴凉处使其生长2 d。每天早晚分别用蒸馏水或营养液浇灌2次,沙培颗粒较大(>2 mm)导致平均湿度仅15%,土壤处于氧化状态,没有形成甲烷的环境条件^[10]。

1.3 植物气腔物理损伤实验

采集野外14种主要高寒草甸植物整体(包括根系)。用冰壶尽快带回实验室,用清水洗涤干净,以吸水纸吸干植物体外水分,设置3个处理整体、纵切(用单面刀片将植物体延长轴剖开4份,迅速放入洗气瓶进行测定)、横切(用剪刀将植物体剪碎成2 mm左右的小段,迅速放入洗气瓶进行测定),每种处理设置3个重复,烘干称重。

1.4 植物甲烷通量测定

气体测定采用气相色谱法(HP4890D, Agilent)。检测器为离子火焰化检测器(FID),分离柱为SS-2 m \times 2 mm \times 13 XMS(60/80),检测器和分离柱温度分别为230 $^{\circ}$ C和55 $^{\circ}$ C。标气中CH₄浓度

分别为2.24 μ L/L、最小检测限0.08 μ L/L。

植物培养后的第10 d开始进行甲烷通量的测定。每次气体采集大约在浇水后的2 h后进行,木本和草本植物密闭箱分别为 $\phi = 19.5$ cm, $H = 29.8$ cm; $\phi = 14.3$ cm, $H = 20$ cm,每月测定2次。

1.5 通量的计算

$$F = \rho \frac{V}{A} \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T} \frac{dC_t}{dt}$$

式中 F 是甲烷气体排放通量, V 是箱内空气体积, A 是有机玻璃箱覆盖的面积, C_t 是 t 时刻箱内被测气体的体积混合比浓度, t 是时间, ρ 是标准状态下的被测气体密度, T_0 和 P_0 分别为标准状况下的空气绝对摄氏温度和气压, P 为采样地点的气压, T 为采样时的绝对温度。

排放通量和土壤温度以及湿度的关系采用相关性分析、不同植物甲烷排放通量间比较采用单因素方差分析(SPSS 16.0)。

2 实验结果

2.1 植物甲烷行为分异

室内盆栽试验中,有8种植物表现释放甲烷的现象,另外7种植物表现出氧化甲烷的现象,而无论是释放甲烷植物还是氧化吸收甲烷植物其甲烷通量随着植物的生长,生物量的增加甲烷释放、吸收速率都呈现增加趋势,到8月中下旬随着植物枯死甲烷释放、吸收速率又表现出下降的现象(图1、图2)。

8种释放甲烷的植物分别为矮嵩草植物其甲烷通量[0.30 \pm 0.11 mg/(盆 \cdot h)]、藏嵩草[0.29 \pm 0.10 mg/(盆 \cdot h)]、垂穗披碱草[0.33 \pm 0.11 mg/(盆 \cdot h)]、鹅绒委陵菜[0.26 \pm 0.15 mg/(盆 \cdot h)]、沙棘[0.34 \pm 0.07 mg/(盆 \cdot h)]、线叶龙胆[0.30 \pm 0.13 mg/(盆 \cdot h)]、小嵩草[0.38 \pm 0.15 mg/(盆 \cdot h)]、小叶杜鹃[0.32 \pm 0.04 mg/(盆 \cdot h)]。8种释放甲烷植物甲烷通量平均为0.31 \pm 0.03 mg/(盆 \cdot h),种间差异不显著。

7种吸收甲烷的植物分别为大叶杜鹃[-0.36 \pm 0.06 mg/(盆 \cdot h)]、美丽风毛菊[-0.24 \pm 0.10 mg/(盆 \cdot h)]、鬼箭锦鸡儿[-0.32 \pm 0.10 mg/(盆 \cdot h)]、金露梅[-0.32 \pm 0.13 mg/(盆 \cdot h)]、苔草[-0.17 \pm 0.61 mg/(盆 \cdot h)]、细叶亚菊[-0.31 \pm 0.13 mg/(盆 \cdot h)]和鸢尾[-0.35 \pm 0.07 mg/(盆 \cdot h)]。7种吸收甲烷植物甲烷通量平均0.29 \pm 0.06 mg/(盆 \cdot h),种间差异不显著。

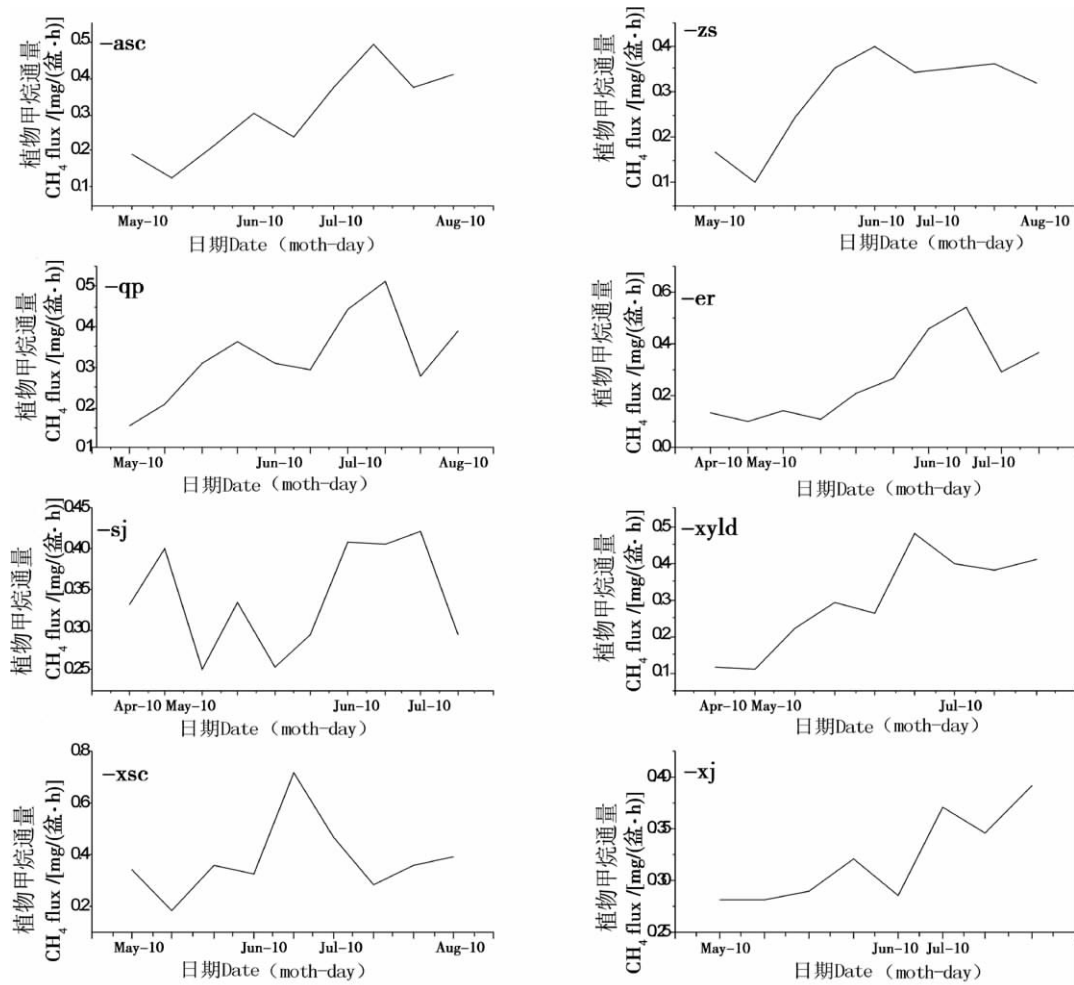


图 1 8 种释放甲烷植物

Fig. 1 8 species of methane emission plants

培养使用的沙体较粗(>2 mm),水分含量低,且处于氧化状态,因此通过沙培实验得出的甲烷通量即为植物本身的甲烷行为。盆栽试验中 10 种草本植物种 7 种表现为排放甲烷。5 种灌丛植物中的 3 种能够吸收甲烷,其中高寒草甸优势植物种的莎草科植物藏嵩草、矮嵩草、小嵩草均表现为甲烷源;经常用于人工植草的垂穗披碱草也在释放甲烷;而一些杂类草如美丽风毛菊、细叶亚菊表现出吸收甲烷的特性。

2.2 植物甲烷通量影响因素

2.2.1 植物甲烷通量对横纵切处理的反应

释放甲烷的植物甲烷释放速率在 $3.21 \sim 24.99 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 之间,平均甲烷释放速率为 $10.16 \pm 6.78 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$;吸收甲烷的植物甲烷吸收速率在 $-3.08 \sim 36.04 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 间,均吸收率为 $-9.65 \pm 10.51 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$;所采集的 3 种灌丛甲烷平均通量

为 $-2.67 \pm 3.49 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$,而 11 种草本植物甲烷平均通量为 $1.59 \pm 1056 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。

横切、纵切处理后 8 种释放甲烷的植物的甲烷通量都呈现出增加的趋势,经整体 [$12.92 \pm 9.82 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$]、横切 [$16.70 \pm 12.09 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$]、纵切处理 [$22.01 \pm 14.09 \text{ ng}/(\text{g} \cdot \text{h})$] 后三者间甲烷通量差异均达到显著水平 ($p < 0.05$),纵切处理后甲烷释放速率增幅最大的为小嵩草 244.06%,最小的为垂穗披碱草 10.9%,横切处理后甲烷释放速率增幅最高的为矮嵩草 37.44%,最小的为棘豆 27.04%;在对 3 种灌木金露梅、鬼箭锦鸡儿和沙棘横切、纵切后发现其甲烷吸收速率减小;而除灌木的 4 种吸收甲烷植物美丽风毛菊、苔草、细叶亚菊和鸢尾横切、纵切处理后甲烷吸收速率增加(图 3)。

8 种释放甲烷植物纵切处理后植物甲烷释放速率显著高于横切处理 ($p < 0.05$),推测是由于 2 种

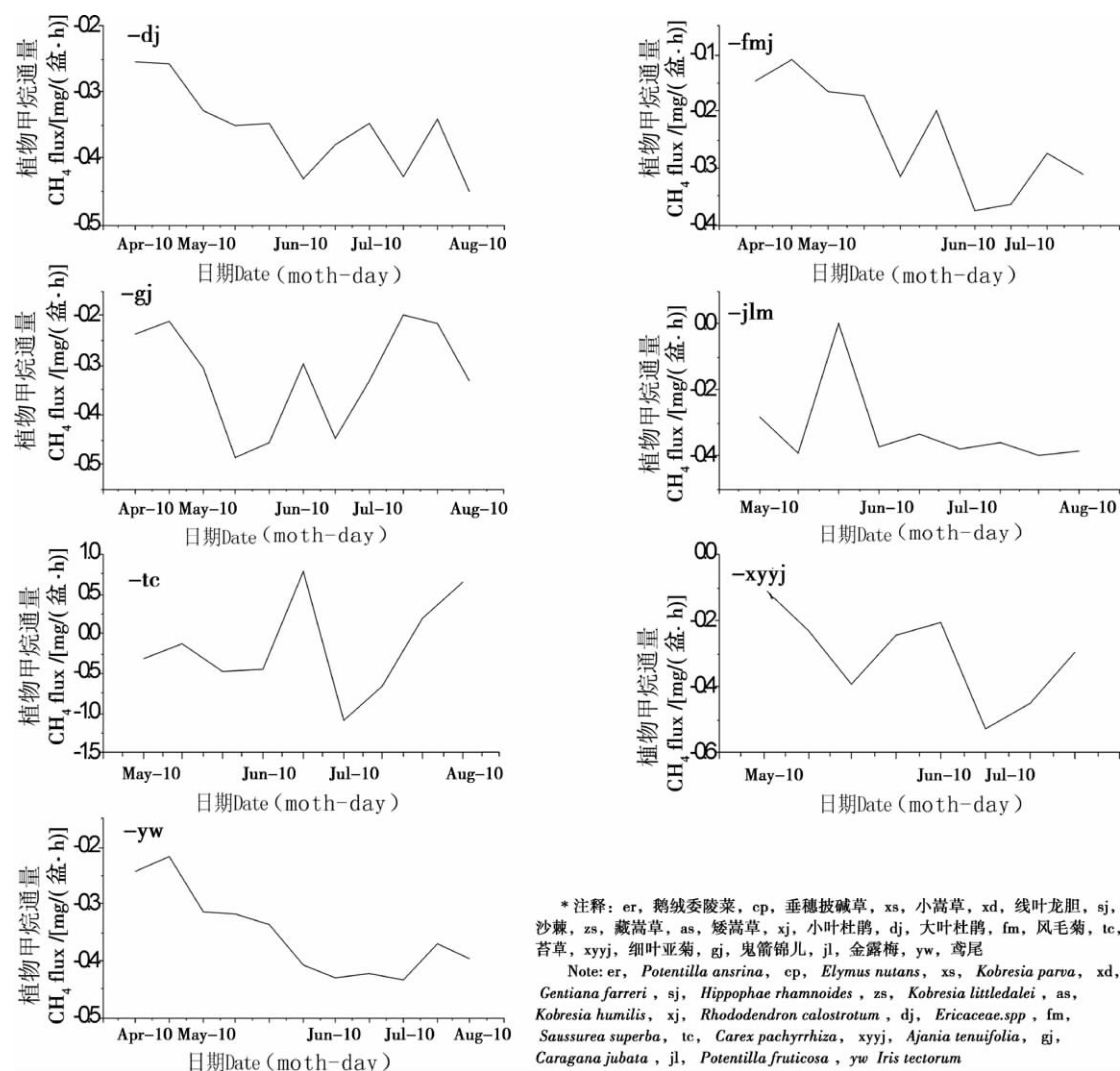


图2 7种吸收甲烷植物

Fig. 2 7 species of methane absorption plants

处理对于植物维管束部的气腔破坏程度不同造成的。横切处理后植物气腔未完全遭到破坏,而纵切处理后气腔遭到完全破坏使得甲烷完全释放,所以得到了纵切处理后甲烷释放速率更大的现象;3种灌丛植物在横切、纵切处理后甲烷吸收速率增加,推测是由于气腔的破坏导致甲烷释放抵消了部分甲烷吸收速率。

2.2.2 甲烷通量与温度

甲烷通量与温度的相关分析显示,在没有土壤干扰的条件下8种甲烷源植物甲烷释放速率与温度正相关,相关性达到极显著($p < 0.01$), $Q_{10} = 1.75$;而7种甲烷汇植物的甲烷吸收速率也与温度显著正相关($p < 0.05$), $Q_{10} = 1.44$ 。说明温度是影响植物甲烷通量速率的重要因素(图4)。

3 讨论

3.1 关于植物是否能够释放甲烷的争论

甲烷的生物源来自复杂的生物化学反应,有机质在厌氧细菌作用下被分解,产生 CH_3COOH 、 H_2 和 CO_2 。这些分解产物在厌氧条件下可被产甲烷菌利用并生成甲烷^[11-12],而Keppler等^[5]首次发现许多植物能在有氧条件下能释放甲烷,而且用 γ 射线杀菌后的植物叶片仍然能够释放甲烷,由此引发了关于植物源甲烷广泛的讨论。Crutzen等^[13]早在1988年的委内瑞拉稀树大草原进行的通量观测就发现植物有氧条件下能释放甲烷,Whiticar和Ednie^[14]用玉米和小麦等的新鲜和干叶片做实验材料也都检测到了甲烷的产生。关于植物不能释放甲烷的报道

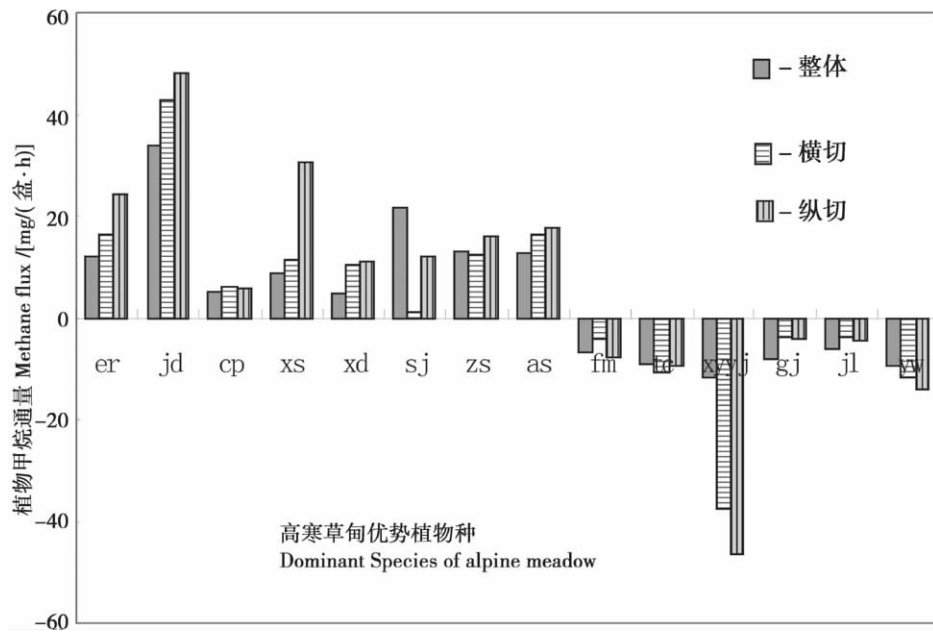


图3 植物横切纵切对植物甲烷通量的影响
Fig. 3 The effect of two treatments to methane emission rate

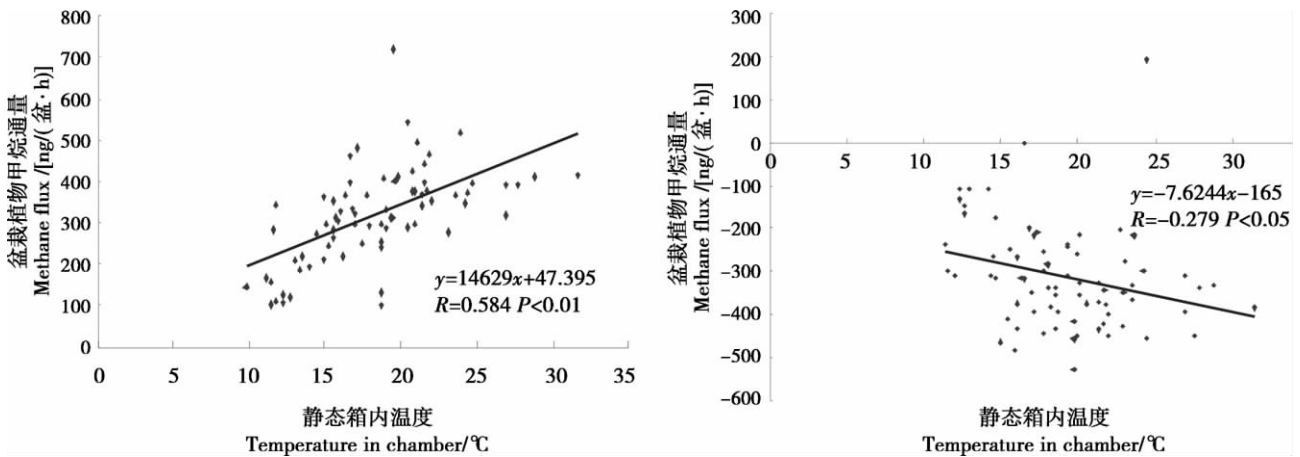


图4 甲烷源植物、甲烷汇植物分别与温度相关性
Fig. 4 The Correlation of temperature and methane emission rate

也有很多, Dueck 等应用碳同位素标记和激光检测技术测量了 6 种不同陆生植物, 没有发现明显的甲烷释放^[15], Beerling 也以 C_3 和 C_4 植物实验对象在光照和暗环境下都没有检测到甲烷释放^[16]。

关于植物排放甲烷机制大多采用间接或者推测的方法, 目前没有哪一种说法的到学术界完全的认可。在本研究沙培实验中细沙平均湿度仅 15%, 且土壤处于氧化状态, 没有形成甲烷的环境条件^[10], 由此排除了土壤甲烷通量的干扰, 植物甲烷定性研究显示, 植物在有氧条件下能够释放甲烷, 作为青藏高原草地主要植物种的一些莎草可植物藏嵩草、矮

嵩草、小嵩草均表现为甲烷源, 而大部分的灌丛植物表现为甲烷汇。这一结论相悖于内蒙古草原 7 种灌木植物具有排放甲烷能力, 而其余 33 种草本植物并没有显著的排放能力^[17], 推测是由不同的环境条件造成的, 也有可能是由于青藏高原植物长期适应高山气候形成的特定甲烷行为机制。

3.2 影响植物甲烷排放机制及影响因素

目前关于植物释放甲烷的机理有多重解释, 植物传输并释放土壤微生物产生的甲烷^[18], 植物细胞壁处的果胶和木质素一碳单位是甲烷的前体物质^[19-21], 植物维管束中的气腔氧化与贮存甲烷作

用^[22] 经过横切、纵切处理后大部分的草本植物甲烷释放速率增加,而灌丛植物吸收速率下降。物理伤害使得更多的细胞壁暴露,增加了甲烷前体物质一碳单位的释放,为适应高山地区缺氧、低温、强辐射等自然条件多数高山植物在维管束部位都有气腔存在^[23]。植物体横切纵切与植物整体相比,其甲烷通量受到了显著的影响,横切纵切使得植物甲烷通量变化的原因为物理伤害形成胁迫条件导致植物代谢加速加速了甲烷释放^[24],有报道则称是植物体内的气囊受到破坏所致^[17],而纵切相比横切具有更大程度的气腔破坏,导致了2种处理后植物甲烷通量差异显著。在水分含量很低(15%)状态下进行的盆栽试验结果显示,温度与甲烷排放(吸收)速率相关显著,温度大约每增加10℃甲烷源植物甲烷释放速率增加75%,而甲烷汇植物的甲烷吸收速率增加44%,温度和UV辐射有着相似的促进甲烷释放机理,都加速了甲烷前体物质的细胞壁组分果胶和多聚半乳糖醛酸释放^[18]。

3.3 青藏高原不同功能群植物的甲烷行为

Keppler等提出植物细胞壁果胶种的甲氧基为植物排放甲烷的前提物质^[21],由此可知所有的植物都可以释放甲烷,但这一结论似乎相悖于本研中大部分的草本植物为甲烷源植物,大部分的灌丛植物为甲烷汇植物,在对植物进行横切、纵切处理后,其甲烷释放速率产生显著变化,植物维管束遭到破坏后释放出的甲烷,或源自植物体释放,或从大气中吸收。因此我们推断不同植物类群的甲烷行为差异是由于其维管束构造差异引起的。青藏高原杂类草相比于原生草甸植物要面对更为恶劣的环境条件(低土壤湿度、更强的UV辐射等),有些杂类草页面附绒毛,角质层加厚,推测这些结构特征是其表现出甲烷源行为而不同于草本植物整体甲烷行为的原因。高寒草甸的退化(杂类草增多)与不能简单的理解为甲烷源的减弱,由此得出对温室效应的缓解,应考虑到高寒草甸的退化伴随着土壤微生物的甲烷吸收减弱以及草地碳封存的变化^[25]。

3.4 植物甲烷行为对于甲烷库的影响

Cao等^[25]在青藏高原进行的野外观测通过植被系统甲烷通量与相应的裸地甲烷通量相减,得到了植物在有氧条件下能够释放甲烷的结论,而Wang等^[26]则对于野外条件下的植被系统与裸地甲烷通量相减的做法提出质疑,认为相减得到的甲烷净排放通量是由土壤水热及其他条件改变引起的。本研究

通过沙培青藏高原15种植物,得到了多种草本植物植物能够释放甲烷的结论。甲烷源植物释放速率在 3.21 ± 0.58 至 24.99 ± 2.78 ng/(gdw·h)间,与Cao等的观测结果一致,略高于Wang等^[17]在内蒙古进行的植物体(去根) $3.09 - 13.5$ ng/(gdw·h)的甲烷排放速率,这可能是去根处理造成的说明植物根系与释放甲烷有着密切联系,也可能是因为青藏高原高寒草甸植物长期受低温和高UV辐射影响,植物在长期进化过程形成的独特的适应性策略。

在青藏高原大部分的草本植物为甲烷源,而大部分的灌丛植物为甲烷的汇,全球土壤中微生物能移除30 Tg CH₄^[27],大气氧化作用为甲烷的最主要汇,长期的自然适应使得甲烷循环的维持于平衡状态。人类过度放牧和全球气候变化会对这个平衡产生严重影响,高寒灌丛的退化,草地退化导致的土壤微生物活性与生物量的降低^[28],削弱了甲烷的吸收,而大气甲烷浓度的升高又将加速气候变化,温室气体甲烷将是气候变化的放大器。

4 结论

本研究通过植物沙培实验主要得到以下结论:

1. 在中科院海北定位站附近采集的15种植物中8种为甲烷源植物,7种为甲烷汇植物,5种灌丛种3种为甲烷汇,10种草本植物中7种为甲烷源。
2. 温度显著影响植物的甲烷行为。
3. 大部分的甲烷源植物在进行横切、纵切处理后甲烷通量增加,而灌木在横切、纵切处理后甲烷吸收速率减小。
4. 释放甲烷的植物种纵切处理后甲烷释放速率显著高于未处理和横切处理后甲烷释放速率,推测是由于纵切处理使植物维管束处的气腔破坏更完全导致的。
5. 植物维管束以及植物体表面附着的绒毛、角质层与其甲烷行为联系密切。

参考文献(References)

- [1] Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse-effect[J]. Science, 1990, 248(4960): 1217-1219
- [2] IPCC WGI. Climate change 2001: The scientific basis[M]. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge Univ Press, 2001: 881
- [3] Zhou Ling, Li Jinlong, Tang Jie et al. Variations of background atmospheric methane at mt. Waliguan, China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24(1): 91-95
- [4] IPOC. Climate change 2007: The physical science basis[J]. Agen-

- da 2007, 4(6): 07
- [5] Keppler F, Boros M, Frankenberg C, et al. Methane formation in aerobic environments [J]. *Environmental Chemistry* 2009, 6(6): 459–465
- [6] Gogoi Nirmali, Baruah K K, Boby Gogo, et al. Methane emission characteristics and its relations with plant and soil parameters under irrigated rice ecosystem of northeast India [J]. *Chemosphere* 2005, 59(11): 1677–1684
- [7] Hirota Mitsure, Tang Y H, Hu Q W, et al. Methane emission from different vegetation zones in a Qinghai–Tibetan Plateau wetland [J]. *Soil Biology & Biochemistry*. 2004, 36(8): 737–748
- [8] Anthony J, Parsons, Paul C D, et al. Scaling methane emissions from vegetation [J]. *Trends in Ecology and Evolution*. 2006, 21(8): 423–424
- [9] Kazuhiko Terazawa, Shigehiro Ishizuka, Tadashi Sakata, et al. Methane emissions from stems of *Fraxinus mandshurica* var. *japonica* trees in a floodplain forest [J]. *Soil Biology & Biochemistry*. 2007, 39(12): 2689–2692
- [10] Koschorreck M, Conrad R. Oxidation of atmospheric methane in soil: measurements in the field, in soil cores and in soil samples [J]. *Global Biogeochem. Cyc.* 1993, 7(1): 109–121
- [11] Peters V, Conrad R. Sequential reduction processes and initiation of CH_4 production upon flooding of oxic upland soils [J]. *Soil Biology & Biochemistry* 1996, 28(3): 371–382
- [12] Segers R. Methane production and methane consumption: A review of processes underlying wetland methane fluxes [J]. *Biogeochemistry* 1998, 41(1): 23–51
- [13] Crutzen PJ, Sanhueza E, Brenninkmeijer CAM. Methane production from mixed tropical savanna and forest vegetation in Venezuela [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 2006, 6(2): 3093–3097
- [14] Whiticar MJ, Ednie AC. Aerobic methane generation from plants (amp)? Yes, mostly [J]. *American Geophysical Union, Fall Meeting* 2007, abstract, 2007B53A–0939
- [15] Dueck T A, De Visser R, Poorter H, et al. No evidence for substantial aerobic methane emission by terrestrial plants: A ^{13}C labelling approach [J]. *New Phytologist* 2007, 175(1): 29–35
- [16] Beerling D J, Gardiner T, Leggett G, et al. Missing methane emissions from leaves of terrestrial plants [J]. *Global Change Biology*, 2008, 14(8): 1821–1826
- [17] Wang Z P, Han X G, Wang G G, et al. Aerobic methane emission from plants in the inner Mongolia steppe [J]. *Environmental Science & Technology* 2008, 42(1): 62–68
- [18] Nisbet RER, Fisher R, Nimmo RH, et al. Emission of methane from plants [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009, 276(1660): 1347–1354
- [19] Mukhin VA, Voronin P Y. Methanogenic activity of woody plants [J]. *Russian Journal of Plant Physiology* 2009, 56(1): 138–140
- [20] Brüggemann N, Meier R, Steigner D, et al. Nonmicrobial aerobic methane emission from poplar shoot cultures under low light conditions [J]. *New Phytologist*, 2009, 182(4): 912–918
- [21] Keppler Frank, Hamilton John T G, McRoberts W Colin, et al. Methoxyl groups of plant pectin as a precursor of atmospheric methane: Evidence from deuterium labelling studies [J]. *New Phytologist* 2008, 178(4): 808–814
- [22] Wang Mingxing, Li Jing, Zheng Xunhua. Methane emission and mechanisms of methane production, oxidation, transportation in the ice fields [J]. *Atmospheric Science*, 1998, 22(4): 600–612 [王明星, 李晶, 郑循华. 稻田甲烷排放及产生, 转化, 输送机理 [J]. *大气科学*, 1998, 22(4): 600–612]
- [23] Wang Wenhe, Yu Jianjun, Tian Yelin. Comparative Studies on the Anatomical Structures of Leaves of 3 Species in *Saussurea* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2007, 27(003): 275–278 [王文和, 于建军, 田晔林, 风毛菊属 3 种植物叶的解剖结构比较 [J]. *植物研究*, 2007, 27(003): 275–278]
- [24] Wang Z, Gullledge J, Zheng JQ, et al. Physical injury stimulates aerobic methane emissions from terrestrial plants [J]. *Biogeosciences* 2009, 6(4): 615–621
- [25] Guo Xiaowei, Han Daorui, Zhang Fawei, et al. The response of potential carbon sequestration capacity to different land use patterns in alpine rangeland [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(5): 40–745 [郭小伟, 韩道瑞, 张法伟, 等. 青藏高原高寒草原碳增贮潜力的初步研究 [J]. *草地学报* 2011, 19(5): 40–745]
- [25] Cao Guangmin, Xu Xingliang, Long Ruijun, et al. Methane emissions by alpine plant communities in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Biology Letters* 2008, 4(6): 681–684
- [26] Wang Shiping, Yang Xiaoxia, Lin Xingwu, et al. Methane emission by plant communities in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau: A new experimental study of alpine meadows and oat pasture [J]. *Biology Letters* 2009, 5(4): 535–538
- [27] Houghton J T, Ding Y. *Climate Change 2001: The Scientific Basis* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 239–287
- [28] Liu Shirui, Ge Shaorong, Long Zhangfu. Studies on microorganism number and microbiota of degenerated rangelands in northwest region of Sichuan [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 1994, 4(03): 70–76 [刘世贵, 葛绍荣, 龙章富. 川西北退化草地土壤微生物数量与区系研究 [J]. *草业学报*, 1994, 4(03): 70–76]

Methane Flux of Dominant Species of Alpine Meadow on the Qinghai – Tibetan Plateau

GUO Xiaowei^{1 2}, HAN Daorui^{1 2}, Yangong Du¹, LIN Li¹, ZHANG Fawei¹, LI Yikang¹,
LI Jing^{1 2}, Liu Shuli^{1 2}, CAO Grangmin¹

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: To determine the methane flux of dominant species of alpine meadow, we had done a indoor cultivation of 15 kinds of dominant species by using closed chamber – GC method from may to august in 2009, and did a comparative study on cross-section treatment and longitudinal treatment to find the effect factors of plants methane emission rate. The result shows that 8 species of them emitted methane, the other 7 absorbed methane, 7 out of 11 herb species emitted methane and 3 out of 5 shrub species absorbed methane; Methane flux rate remarkably influenced by temperature ($p < 0.05$), Q10 of these methane emission plants was 1.75, then Q10 of the absorption plants was 1.44; methane emission rate increased by 10.9% ~ 244.06% after the cross-section treatment and plants methane emission rate increased by 27.04% ~ 37.44% to longitudinal treatment, all the shrub species methane flux decline after cross-section and longitudinal treatment. The methane emission rate to longitudinal treatment was significantly higher than the other two treatments ($p < 0.05$).

Key words: Methane flux; alpine meadow; dominant species; greenhouse gases

征 稿 简 则

《山地学报》是专门报道山地科学研究理论与山区开发、整治、建设实践相结合等内容的综合性科技期刊,内容涵盖自然科学与人文科学两大门类中与山地研究、开发有关的多学科知识,重点报道山地资源开发与山地生态环境演变、山区工程建设与山地灾害(崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、山洪等)防治、山区社会发展与城镇规划、山区可持续发展与产业结构调整等领域的理论文章、应用技术、研究和实验方法等。同时设有学术动态、新书介绍和书评等不固定栏目,此外还特设了青藏高原等专题栏目。投稿者请注意:

1 严格遵守国家保密规定,涉及国家和地区名称、界线、保密等政治及敏感问题须认真核实,与我国政府口径一致。

2 严格按照来稿要求投稿,凡未按要求投稿的一律按退稿处理。投稿时,请寄纸质稿件1份到编辑部。

3 稿件文责自负。本刊对来稿有修改权,如不同意请事先声明。勿一稿多投。本刊审稿周期为3个月左右,作者在投出稿件100天后未收到稿件处理意见,可另行处理。由于人手有限,稿件刊用与否均不退还原件,请自留底稿。本刊对刊用稿件酌收版面费和审稿费。如需抽印,请事先声明数量,酌收成本费。

4 本刊所拟刊载稿件将同时优先进入各大检索数据源并上网,作者若有异议请预先申明。

5 来稿请寄:成都市一环路南二段10号中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所《山地学报》编辑部,邮政编码610041; E-mail: hyfeng@imde.ac.cn; 电话: (028) 85223826; 网上在线投稿 <http://www.sdxbl983.com>。作者投稿时务必附上联系电话。

《山地学报》编辑部