

Effects of *Spartina alterniflora* Invasion on Methane Fluxes in Subtropical Coastal Wetlands

Junhui Zhao

College of Life and Environmental Sciences, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang, 325035, China

Abstract

To investigate the impact of *Spartina alterniflora* invasion on methane (CH_4) emissions in subtropical coastal wetlands, this study compared the emission fluxes from three habitats: *S. alterniflora* marshes, native salt marshes, and bare mudflats. The results showed that the CH_4 emission flux from the *S. alterniflora* habitat ($1.74 \pm 0.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) was significantly higher than those from the native salt marsh and bare mudflat. This increase is primarily attributed to the invasion-induced elevation of soil organic carbon content, increased availability of substrates such as methyl compounds, and the restructuring of microbial communities, which collectively enhance CH_4 production. Correlation analysis indicated that CH_4 emissions in different habitats are driven by distinct environmental factors. This study reveals the stimulatory effect of *S. alterniflora* invasion on CH_4 emissions in coastal wetlands, providing a basis for assessing its influence on the carbon cycle.

Keywords

methane; flux; coastal wetlands; *Spartina alterniflora*

互花米草入侵对亚热带滨海湿地甲烷通量的影响

赵君惠

温州大学生命与环境科学学院, 中国·浙江 温州 325035

摘 要

为探究互花米草入侵对亚热带滨海湿地甲烷(CH_4)排放的影响,本研究对比分析了互花米草、本地盐沼及光滩3种生境的排放通量。结果显示,互花米草生境的 CH_4 排放通量($1.74 \pm 0.22 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)显著高于本地盐沼,光滩最低。其排放机制主要源于互花米草入侵通过增加土壤有机碳含量、甲基化合物等可利用底物以及重塑微生物群落,从而促进了 CH_4 的生成与排放。相关性分析表明,不同生境的 CH_4 排放受不同环境因子驱动。本研究揭示了互花米草入侵对滨海湿地 CH_4 排放的增强效应,为评估其碳循环影响提供了依据。

关键词

甲烷; 排放通量; 滨海湿地; 互花米草

1 引言

全球湿地面积虽仅占陆地总面积的 5-8%^[1],却是大气甲烷(CH_4)的重要自然排放源,其年均排放量约占全球总排放量的 30% (约 194 Tg)^[2,3]。滨海湿地作为其重要组成部分, CH_4 年排放量达 5-28 Tg,在全球 CH_4 循环中具有关键作用^[4]。由于地处陆海生态交错带,滨海湿地生态系统结构脆弱,极易受环境变化与生物入侵等压力的影响^[5],自 1979 年,为促淤造陆而引入后,该植物凭借其快速生长、高繁殖力以及对高盐度与潮汐淹没等逆境的强耐受性,迅速在滨海湿地失控扩散^[6]。截至 2020 年,其入侵面积已超过 $5.5 \times 10^4 \text{ ha}$ ^[7],范围覆盖自辽宁至海南的多个沿海省份,其中

江苏、上海、浙江、福建、等亚热带滨海湿地入侵程度最为严重,占总入侵面积的 91.64%^[8]。互花米草的广泛入侵已引发严重的生态后果,不仅排挤本地优势群落,还通过改变土壤理化性质进而影响土壤微生物活动,进而调控滨海湿地 CH_4 产生与排放。然而,目前关于互花米草入侵在亚热带滨海湿地 CH_4 排放特征的影响有待进一步研究。

本研究选取中国亚热带滨海湿地福建、浙江、上海和江苏等省(市)的典型滨海湿地作为研究对象,通过对比 3 种生境下(本地盐沼、互花米草、光滩)的 CH_4 排放通量,解析其排放特征及驱动机制。结合对土壤有机碳、总氮、温度等环境因子的观测,进一步识别影响 CH_4 排放的关键驱动因素,并探讨其与湿地生态功能之间的内在联系。

【作者简介】赵君惠(2001-),女,中国浙江温州人,硕士在读,从事湿地生态学研究。

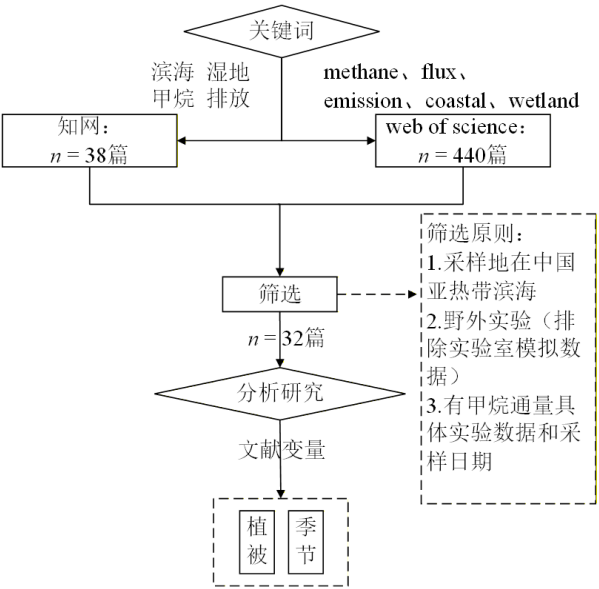


图 1 文献筛选与研究流程图

2 互花米草入侵对 CH₄ 排放通量的影响

互花米草入侵显著提高了亚热带滨海湿地 CH₄ 排放通量。互花米草生境中, CH₄ 排放通量 (1.74 ± 0.22 mg · m⁻² · h⁻¹), 显著高于本地盐沼 (0.73 ± 0.07mg · m⁻² · h⁻¹) 和光滩 (0.27 ± 0.04 mg · m⁻² · h⁻¹) (p < 0.001, 表 1), 表现为互花米草>本地盐沼>光滩, 与以往的研究相符^[9,10]。

表 1 三种湿地类型 CH₄ 排放通量的单因素方差分析

生境	通量 (mg · m ⁻² · h ⁻¹)	F	p	R ²
本地盐沼	0.73 ± 0.07b	25.40	< 0.001	0.09
互花米草	1.74 ± 0.22a			
光滩	0.27 ± 0.04b			

本研究通过 Spearman 相关性分析发现, 互花米草生境 CH₄ 排放通量与 SOC 存在弱相关性 (p < 0.05, 表 2), 互花米草生境的土壤有机碳 (SOC) 含量为 9.65 ± 0.55 g/kg, 显著高于本地盐沼和光滩。在中国北部湾滨海湿地的研究表明, 互花米草生境的 SOC 含量较高, 为微生物生成 CH₄ 提供了更多可利用底物^[11]。以上影响主要是由于互花米草入侵导致其凋落物的分解以及根系分泌物输入大量有机物质^[12,13]。此外, 还包括富含甲基化合物 (如三甲胺), 这些“非竞争性”底物不容易被其他微生物 (如硫酸盐还原菌) 消耗, 几乎专性地被产甲烷菌利用, 从而通过甲基营养型途径产生 CH₄^[14]。另一方面, 互花米草的入侵通过重塑产甲烷菌群落^[15], 促使产甲烷菌的丰度增加, 从而促进 CH₄ 的生成^[13]。在九段沙湿地的研究亦证实了以上观点, 互花米草入侵显著改变了土壤功能微生物, 导致温室气体排放的增加^[10]。值得注意的是, 互花米草的根、茎、叶鞘及叶片都具备发达的通气组织^[16], 促进了 CH₄ 的运输。

表 2 CH₄ 排放通量与环境因子间的 Spearman 相关系数

生境	SOC (g/kg)	TN (g/kg)
本地盐沼	0.10	0.17*
互花米草	0.27*	-0.09
光滩	0.71**	0.72**

光滩生境的 CH₄ 排放通量较低, 且与土壤总氮 (TN) 呈显著负相关 (p < 0.01, 表 2)。光滩生境的总 TN 含量为 0.49 ± 0.03 g/kg, 显著低于互花米草 (0.76 ± 0.05 g/kg) 和本地盐沼 (0.67 ± 0.05 g/kg)。以上影响主要是由于光滩生境极易受潮汐影响, 潮汐作用导致该地区土壤的氧化还原条件频繁变化, 而氮素的形态 (如硝态氮和铵态氮) 及其转化过程 (如硝化作用和反硝化作用) 与这些氧化还原条件密切相关。在有氧条件下, 氮的氧化过程 (如硝化作用) 会消耗氧气, 但总体上, 高溶解氧环境有利于 CH₄ 的氧化^[17]。此外, 在干湿交替的环境中, 氮的输入可能改变土壤微生物群落的组成及其功能, 从而影响 CH₄ 的产生与消耗平衡。这可能进一步解释了光滩低 CH₄ 排放的原因之一。

光滩生境的低 CH₄ 排放也可能与其缺乏植被覆盖有关。首先, 光滩生境缺乏植物覆盖, 不能有效地截取氮等营养盐, 降低了产甲烷菌可利用底物的供应, 从而减少了 CH₄ 的排放^[18]。其次, 缺乏植被使得土壤中产甲烷菌产生的 CH₄ 难以通过植被的通气组织有效输送到大气中^[17]。这两个因素共同作用, 可能导致光滩的 CH₄ 排放显著低于其他湿地生境。

3 总结与展望

本研究深入探讨了互花米草入侵对亚热带滨海湿地的 CH₄ 排放的影响及其环境调控机制, 通过分析 3 种生境的 CH₄ 排放通量数据, 发现互花米草的 CH₄ 排放显著高于本地盐沼和光滩, 揭示了不同植被覆盖、土壤有机碳、总氮等多种因素对 CH₄ 排放的复杂影响。未来的研究可进一步细化不同湿地类型的 CH₄ 排放机制, 探索更多的生物学和环境因子对排放的综合作用。

参考文献

[1] Saengkerdsub S, Ricke S C. Ecology and characteristics of methanogenic archaea in animals and humans [J]. Crit Rev Microbiol, 2014, 40(2): 97-116.

[2] Sauniois M, Martinez A, Poulter B, et al. Global Methane Budget 2000–2020 [M]. 2024.

[3] 李思琦, 臧昆鹏, 宋伦. 湿地甲烷代谢微生物产甲烷菌和甲烷氧化菌的研究进展 [J]. 海洋环境科学, 2020, 39(03): 488-496.

[4] Rosentreter J A, Borges A V, Deemer B R, et al. Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources [J]. Nature Geoscience, 2021, 14(4): 225-230.

[5] Chapman D, Purse B V, Roy H E, et al. Global trade networks determine the distribution of invasive non - native species [J]. Global Ecology and Biogeography, 2017, 26(8): 907-917.

- [6] Yang W, Cai A, Wang J, et al. Exotic *Spartina alterniflora* Loisel. Invasion significantly shifts soil bacterial communities with the successional gradient of saltmarsh in eastern China [J]. *Plant and Soil*, 2020, 449: 97-115.
- [7] Liu J-q, Wang W-q, Shen L-d, et al. Response of methanotrophic activity and community structure to plant invasion in China's coastal wetlands [J]. *Geoderma*, 2022, 407: 115569.
- [8] Zheng X, Javed Z, Liu B, et al. Impact of *Spartina alterniflora* Invasion in Coastal Wetlands of China: Boon or Bane? [J]. *Biology*, 2023, 12(8): 1057.
- [9] Liang W, Chen X, Chen Z L, et al. Unraveling the impact of *Spartina alterniflora* invasion on greenhouse gas production and emissions in coastal saltmarshes: New insights from dissolved organic matter characteristics and surface-porewater interactions [J]. *Water Research*, 2024, 262: 122120.
- [10] He C, Wang X, Wang D, et al. Impact of *Spartina alterniflora* invasion on soil bacterial community and associated greenhouse gas emission in the Jiuduansha wetland of China [J]. *Applied Soil Ecology*, 2021, 168: 104168.
- [11] Huang X, Duan Y, Tao Y, et al. Effects of *Spartina alterniflora* Invasion on Soil Organic Carbon Storage in the Beihai Coastal Wetlands of China [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9
- [12] Liao Q, Yuan F, Fan Q, et al. Plant- and microbial-mediated soil organic carbon accumulation in *Spartina alterniflora* salt marshes [J]. *CATENA*, 2024, 237: 107777.
- [13] Jiang Y, Shao Y, Huang J, et al. Changes in sediment greenhouse gases production dynamics in an estuarine wetland following invasion by *Spartina alterniflora* [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2024, 15
- [14] Yuan J, Liu D, Ji Y, et al. *Spartina alterniflora* invasion drastically increases methane production potential by shifting methanogenesis from hydrogenotrophic to methylotrophic pathway in a coastal marsh [J]. *Journal of Ecology*, 2019, 107(5): 2436-2450.
- [15] Cao M, Cui L, Sun H, et al. Effects of *Spartina alterniflora* Invasion on Soil Microbial Community Structure and Ecological Functions [J]. *Microorganisms*, 2021, 9(1): 138.
- [16] Maricle B R, Lee R W. Aerenchyma development and oxygen transport in the estuarine cordgrasses *Spartina alterniflora* and *S. anglica* [J]. *Aquatic Botany*, 2002, 74(2): 109-120.
- [17] Määttä T, Malhotra A. The hidden roots of wetland methane emissions [J]. *Global Change Biology*, 2024, 30(2)
- [18] Song H, Liu X. Anthropogenic Effects on Fluxes of Ecosystem Respiration and Methane in the Yellow River Estuary, China [J]. *Wetlands*, 2016, 36(1): 113-123.