

广西北部湾不同入侵年份互花米草盐沼湿地土壤 有机碳空间分布

徐惠民¹, 张燕², 王薛平¹, 黄星¹, 王耕³

(1.北部湾大学广西北部湾海洋环境变化与灾害研究重点实验室, 广西钦州 535011; 2.北部湾大学广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535011; 3.辽宁师范大学地理科学学院, 辽宁大连 116029)

摘要:自 2011 年以来, 互花米草在广西壮族自治区北海市合浦县西场镇盐沼湿地从无到有, 并且快速扩张, 改变了盐沼湿地的景观, 进一步影响了盐沼湿地的碳收支平衡。基于卫星遥感影像的方法确定互花米草的入侵年份, 分析了 2019 年 10 月广西北部湾潮间带 7 条断面的互花米草盐沼湿地土壤中有有机碳含量的空间分布, 及其与互花米草生长年份的关系。结果表明: (1) 互花米草盐沼湿地土壤中有有机碳含量沿海岸线呈 M 型分布; (2) 互花米草盐沼湿地土壤中有有机碳含量的增加量随互花米草生长年份的增加而升高, 互花米草生长 5 年时达到最大; (3) 互花米草盐沼湿地土壤中有有机碳含量随互花米草覆盖度的增大而升高; (4) 互花米草盐沼湿地土壤中 C/N 平均值为 12.5 (>12), 说明土壤有机碳受陆源的输入影响较大。

关键词:互花米草; 盐沼湿地; 空间分布; 土壤有机碳; 北部湾

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2023)03-0405-05

Spatial distribution characteristics of soil organic carbon in *Spartina alterniflora* salt marsh in different invasive years along Beibu Gulf, Guangxi

XU Hui-min¹, ZHANG Yan², WANG Xue-ping¹, HUANG Xing¹, WANG Geng³

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Environmental Change and Disaster in Beibu Gulf, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China; 3. College of Geography Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: *Spartina alterniflora* has rapidly expanded from nothing at the salt marsh of Xichang Town, Hepu County, Beihai, Guangxi Zhuang Autonomous Region since 2011, which changed the landscape of the salt marsh wetland and may affect the carbon budget of the salt marsh wetland further. Based on satellite remote sensing images, the invasion year of *Spartina alterniflora* was determined. Then the relationship between the spatial distribution of soil organic carbon and the growth year of *Spartina alterniflora* in 7 sections of salt marsh wetland along Beibu Gulf of Guangxi in October 2019 were analyzed. Results showed that: (1) the spatial distribution pattern of soil organic carbon (SOC) in *Spartina alterniflora* salt marsh shaped like “M” along the coast; (2) the content of soil organic carbon increased with the growth of *Spartina alterniflora* in this

收稿日期: 2022-10-17, 修订日期: 2022-12-21

基金项目: 广西自然科学基金(2020JJA150012); 广西重点研发计划(AB21076016); 北部湾大学科研启动项目(2019KYQD13); 广西北部湾海洋环境变化与灾害研究重点实验室自主课题(2022ZD05)

作者简介: 徐惠民(1971-), 男, 辽宁朝阳人, 副教授, 主要从事生态系统动力学研究, E-mail: 13941164513@163.com

通讯作者: 张燕(1971-), 女, 辽宁大连人, 助理工程师, 主要从事生物技术研究, E-mail: 124815129@qq.com

salt marsh wetland and reached the maximum after about 5 years of growth; (3) the content of soil organic carbon (SOC) in *Spartina alterniflora* salt marsh increased with the coverage of *Spartina alterniflora*; (4) the average ratio of C/N in the *Spartina alterniflora* salt marsh was 12.5 (>12), indicating that the soil organic carbon was greatly affected by the terrestrial input.

Key words: *Spartina alterniflora*; salt marsh; spatial distribution; soil organic carbon; Beibu Gulf

互花米草(*Spartina alterniflora*), 原为美洲大西洋沿岸植物, 自 20 世纪 70 年代末被引入中国以来, 在中国沿海地区迅速扩张, 改变了盐沼湿地的生态平衡^[1]。

盐沼湿地由于初级生产力高、土壤有机碳(soil organic carbon, SOC)分解率低, 被认为是“蓝碳”(blue carbon)汇的关键部分^[2-4], 在全球 C 循环中具有重要作用^[5-6]。互花米草的入侵, 对中国沿海盐沼湿地土壤有机碳库产生了重要影响^[7]。在江苏省东台市, 垂直于海堤由海向堤生有 1~5 年的互花米草, 土壤有机碳含量与生长年份呈正相关, 潮水对有机质的搬运影响较小^[8]。江苏盐城新洋港互花米草入侵的第 1、3、5、12 年的土壤数据表明, 随着入侵时间的增长, 互花米草贡献有机碳的含量及其占土壤有机碳的比例均呈上升趋势, 两者与入侵时间呈显著正相关; 入侵 12 年的地表土中有机碳储量最大, 是中国农田碳汇速率的 12 倍^[9]。江苏盐城典型互花米草湿地 4 个年份、5 个断面互花米草盐沼湿地土壤有机碳的数据表明, 随着入侵时间的增加, 土壤有机碳的含量显著增加^[10]。上海崇明东滩互花米草入侵第 4、6、10 年盐沼湿地土壤中 C/N 表明, 随入侵时间的增加, 互花米草对土壤碳库的贡献逐渐变大。同时, 入侵早期(4 年), 土壤碳库的增加主要来自潮汐悬浮沉积物的输入, 而随着入侵时间的增加(6 年后), 土壤有机碳库的主要来源为植物自身的碳输入^[11]。

广西北部湾西场镇盐沼湿地在 2011 年出现互花米草, 随着时间的推移, 零散分布的小斑块已经聚集成连续成片的整体, 多年来一直呈持续扩张态势。广西北部湾西场镇互花米草盐沼湿地土壤有机碳的含量尚未见报道。本研究首次对广西北部湾西场镇互花米草盐沼湿地土壤有机碳的含量进行研究, 阐释其空间分布规律, 从而为研究互花米草入侵湿地的碳循环和增汇减排提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于中国广西壮族自治区北海市合浦县西场镇盐沼湿地(21°35'34"N—21°37'18"N, 108°53'52"E—109°0'34"E), 多年的年平均气温约为 23 °C, 多年年平均降水量约为 1660 mm, 约 78% 集中在每年 5—9 月; 潮滩为粉砂淤泥质, 潮汐为正规全日潮, 潮流基本为往复流^[12]。

根据 ArcGIS 网站、GoogleEarth 网站的遥感影像历史资料(下载影像 16 级), 研究区 2009 年以前为光滩, 2011 年有零星的互花米草出现, 2013 年、2016 年有爆发式扩张, 2019 年互花米草的分布面积已达 87.3 ha, 主要分布在东部区域(近南流江入海口)、西部区域(近大风江入海口)。自 2019 年以来, 互花米草呈快速扩张态势(图 1)。

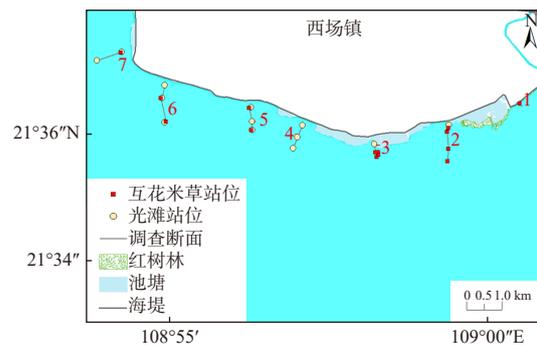


图 1 取样站位

Fig. 1 Sampling stations

1.2 样品采集

研究区内沿海岸自东向西设 7 个垂直于海岸的断面, 每个断面自岸边向离岸方向设 3 个以上的站位, 并且至少有 1 个互花米草盐沼湿地土壤有机碳调查站位、1 个光滩土壤有机碳调查站位, 并且尽可能成对分布(断面 4 没有互花米草, 只设光滩土壤调查站位)。互花米草盐沼湿地土壤站位与光滩土壤站位分别编号, 自岸向海从

1 开始,且湿地土壤站位编号与光滩土壤站位编号匹配。

结合遥感影像的历史资料,确定调查站位互花米草的生长年份为 1~9 年。

样品采集于 2019 年 10 月,每个站位设 1 m × 1 m 样方。在样方内随机设 5 个采样点,共采集 13 个站位互花米草根际 0~20 cm 表层土样和 13 个光滩 0~20 cm 表层土样,装入带有编号的聚乙烯密封袋中带回实验室。

1.3 样品测试

有机碳参照《海洋监测规范》(GB 17378.5—2007)采用重铬酸钾氧化还原容量法测试,4 个平行样,相对偏差小于 2.5%,检出限为 0.001%。

1.4 数据处理及统计分析

使用 Excel 进行数据汇总。基于 SPSS 26,用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据正态性,用单因素 ANOVA 分析判断不同站位、不同断面间有机碳含量差异的显著性 ($P < 0.05$)。基于 ArcGIS 10.2 对互花米草盐沼湿地土壤有机碳的空间特征进行分析。

2 结果与讨论

2.1 互花米草盐沼湿地土壤有机碳分布特征

2.1.1 平行于海岸方向的土壤有机碳分布

根据位置将互花米草盐沼湿地土壤站位沿海岸线分为两条剖面线(近岸、离岸剖面线)。

近岸剖面线被断面 4 分为东段和西段两部分,各穿过 3 个断面。近岸剖面线中的东、西两段,互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量均为从东向西,由低到高 ($P < 0.05$),各段的段内数值差距约为 1 倍,两段间的数据基本相当(图 2A)。

离岸剖面线被断面 4 分为东段和西段两部分,其中,东段互花米草盐沼土壤有机碳含量从东向西升高,而西段为从东向西降低 ($P < 0.05$) (图 2B)。互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量东段高于西段,且站位间差值为东段小于西段;东段互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量最高值为西段最低值的 12.25 倍。

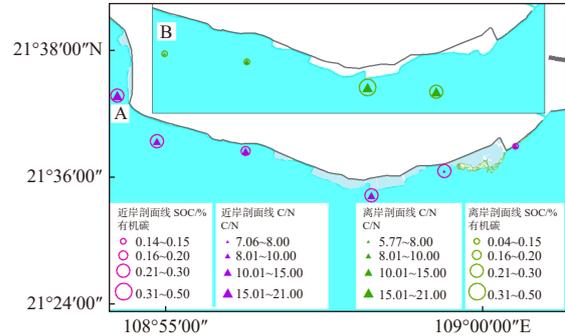


图 2 互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量及 C/N

Fig. 2 SOC & C/N of *Spartina alterniflora* salt marsh

2.1.2 垂直于海岸方向的土壤有机碳分布

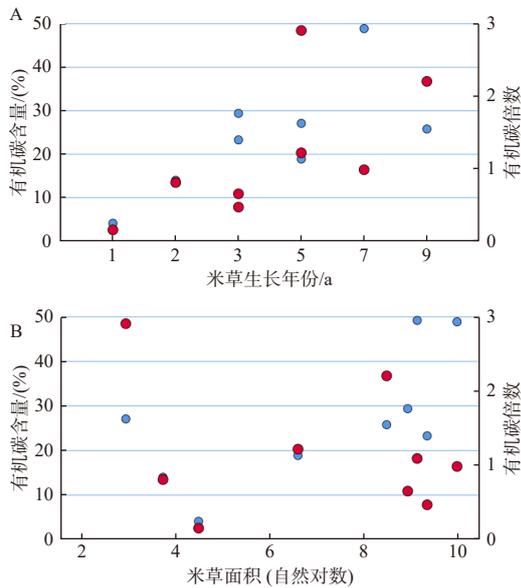
根据断面 4,将研究区分为东、西两部分:东半部分互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量自岸向海呈递增趋势,西半部分自岸向海呈递减趋势;东部数值变化最大处位于断面 2,2 号站位是 1 号站位的 2 倍;西部数值变化最大处位于断面 6,1 号站位是 2 号站位的 6.3 倍(图 2)。

2.1.3 互花米草生长时间分布

样本中互花米草的生长年份为 1~9 年,互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量最高值出现在 3 年和 5 年处,其质量分数分别为 0.492% 和 0.489%,两者差距不足 1%,基本相同。互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量的最低值出现在 1 年处。互花米草盐沼湿地土壤有机碳的最高值为最低值的 12.25 倍(图 3A)。

考虑样本的空间分布及背景值(光滩盐沼湿地土壤有机碳含量),互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量的趋势为随互花米草生长年份的增加,由低于背景值向高于背景值的方向发展,5 年左右达到平衡 ($R=0.655, n=8$) (图 3A)。互花米草入侵的初期,其根系对土壤的扰动较大,可以促进土壤有机碳与潮水间的交换以及土壤的呼吸作用,降低有机碳含量。互花米草定居后,迅速形成高密度与高生产力的群落^[8,13],同时,生物量大量增加,向土壤输入的有机质含量也逐渐增高^[14-15]。

互花米草盐沼湿地土壤有机碳的含量与光滩相比,需 5 年时间达到最大,与盐城滩涂等区域(11 年)的时间不同^[16-17],推测与地域温度较高、生长较快,以及地域降水量较大、潮差较大



注:以站位为中心 100 米半径内互化米草面积,以自然对数表示

图 3 互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量随互花米草生长年份变化

Fig. 3 The changes of SOC according to invasion ages and the area of *Spartina alterniflora*

有关^[12]。

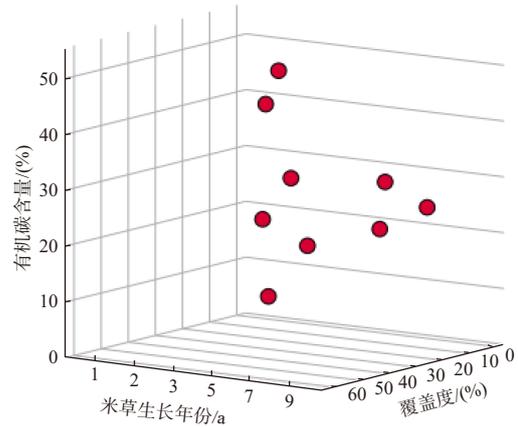
互花米草盐沼湿地土壤中有机碳含量随互花米草生长面积的扩大呈先下降后增加的趋势,但互花米草覆盖度较小时,规律性不明显(图 3B,图 4)。

2.2 湿地土壤有机碳含量低于国内其他地区

研究区互花米草盐沼湿地土壤中有机碳含量为 0.411 ~ 4.92 g/kg(平均值为 2.69 g/kg),低于盐城(7.57 g/kg)^[17]、新洋港(5.57 g/kg)^[18]、漳江口[(16.86±1.01)g/kg]^[19]、长江河口[(7.07±0.30)g/kg]^[6]、三沙湾潮滩(6.7 g/kg)^[20]、黄河三角洲[4.98 g/kg(0~10 cm 表层土壤平均值)]^[21],与苏北潮滩(2.173 g/kg)相当^[22]。研究区潮流为往复流、潮差较大^[12],水交换较强,应是土壤有机碳含量较低的主要原因。

2.3 湿地土壤有机碳主要来自陆源

研究区互花米草盐沼湿地土壤 C/N 有平行于海岸的分布趋势:近岸剖面线,东段和西段的趋势相同,呈 V 型;中间低、两端高,最大值皆出现在西侧($P < 0.05$)(图 2A)。离岸剖面线整体呈向上箭头型:东段从东向西升高,西段从东向西降低,东段高于西段($P < 0.05$)(图 2B)。



注:以站位为中心 100 米半径内互化米草面积,以自然对数表示

图 4 互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量随互花米草生长年份和生长面积变化变化

Fig. 4 the changes of SOC according to invasion ages and areas of *Spartina alterniflora*

互花米草盐沼湿地土壤中 C/N 垂直海岸的分布趋势:研究区东侧(南流江口)由岸向海方向增大,研究区西侧(大风江口)由岸向海方向降低。互花米草盐沼湿地土壤中 C/N 应该与该研究区的潮流与江水入海的相互作用有关。

C/N 常用来确定土壤中有机碳的来源,一般海水中 C/N < 10,而陆地植物的 C/N 往往高于 12^[23-25]。本研究区土壤 C/N 为 5.7 ~ 20.2,平均值为 12.5。土壤 C/N > 10 的互花米草站位占 69.2%,表明互花米草盐沼湿地土壤有机质主要为陆源输入;光滩土壤 C/N > 10 的站位占 75%,比互花米草盐沼湿地土壤 C/N 多 5.8%,表明互花米草的生长改变了 C/N,增加了土壤中海源有机质的输入。

3 结论

(1)研究区内互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量平行于海岸方向呈倒 V 形分布,垂直海岸向海方向降低。研究区内互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量低于全国平均水平。

(2)研究区内互花米草生长对盐沼湿地土壤有机碳的贡献在 5 年后达到最大。互花米草盐沼湿地土壤有机碳含量由互花米草生长年份和互化米草的覆盖面积共同决定。

(3)研究区内互花米草盐沼湿地土壤有机碳

主要为陆源输入,但互花米草的持续生长正在改变这一状况。

参考文献:

- [1] 解雪峰,孙晓敏,吴涛,等.互花米草入侵对滨海湿地生态系统的影响研究进展[J].应用生态学报,2020,31(6):2119-2128.
- [2] MITSCH W J, GOSSELINK J G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting[J]. Ecological Economics, 2000, 35(1): 25-33.
- [3] MCLEOD E, CHMURA G L, BOUILLON S, et al. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2011, 9(10): 552-560.
- [4] BERNAL B, MITSCH W J. Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities[J]. Global Change Biology, 2012, 18(5): 1636-1647.
- [5] CROOKS S, HERR D, TAMELANDER J, et al. Mitigating climate change through restoration and management of coastal wetlands and near-shore marine ecosystems: challenges and opportunities. Environment Department Papers, no 121[R]. Washington DC: World Bank, 2011.
- [6] 布乃顺,胡悦,杨骁,等.互花米草入侵对长江河口湿地土壤理化性质的影响[J].长江流域资源与环境,2017,26(1):100-109.
- [7] 刘金娥,苏海蓉,徐杰,等.互花米草对中国海滨湿地土壤有机碳库的影响[J].生态环境学报,2017,26(6):1085-1092.
- [8] 沈永明,王艳芳,陈寿军,等.互花米草盐沼湿地大型底栖动物时空分布特征[J].地理研究,2013,32(4):638-644.
- [9] 王刚,杨文斌,王国祥,等.互花米草海向入侵对土壤有机碳组分、来源和分布的影响[J].生态学报,2013,33(8):2474-2483.
- [10] 陈秋宇,杨仁敏,朱长明.基于VIS-NIR光谱的互花米草入侵湿地土壤有机碳预测研究[J].土壤学报,2021,58(3):694-703.
- [11] 王丹,张荣,熊俊,等.互花米草入侵对滨海湿地土壤碳库的贡献——基于稳定同位素的研究[J].植物生态学报,2015,39(10):941-949.
- [12] 黎广钊,梁文,王欣,等.北部湾广西海陆交错带地貌格局与演变及其驱动机制[M].北京:海洋出版社,2017:2-4.
- [13] 邓自发,安树青,智颖颀,等.外来种互花米草入侵模式与爆发机制[J].生态学报,2006,26(8):2678-2686.
- [14] 李家兵,张秋婷,张丽烟,等.闽江河口春季互花米草入侵过程对短叶荇菜沼泽土壤碳氮分布特征的影响[J].生态学报,2016,36(12):3628-3638.
- [15] 金宝石,高灯州,杨平,等.闽江河口区互花米草入侵不同年限下湿地土壤有机碳变化[J].自然资源学报,2016,31(4):608-619.
- [16] XU X, WEI S J, CHEN H Y, et al. Effects of *Spartina* invasion on the soil organic carbon content in salt marsh and mangrove ecosystems in China[J]. Journal of Applied Ecology, 2022, 59(7): 1937-1946.
- [17] QI X Z, LIU H Y, LIU Z S, et al. Impacts of age and expansion direction of invasive *Spartina alterniflora* on soil organic carbon dynamics in coastal salt marshes along eastern China[J]. Estuaries and Coasts, 2019, 42(7): 1858-1867.
- [18] 杭子清,王国祥,刘金娥,等.互花米草盐沼土壤有机碳库组分及结构特征[J].生态学报,2014,34(15):4175-4182.
- [19] 张祥霖,石盛莉,潘根兴,等.互花米草入侵下福建漳江口红树林湿地土壤生态化学变化[J].地球科学进展,2008,23(9):974-981.
- [20] 李健成,吴伊婧,江彬彬,等.不同植被类型对福建三沙湾潮滩有机碳埋藏的影响[J].海洋科学,2021,45(6):13-21.
- [21] 李哲,张仲胜,李敏,等.黄河三角洲盐沼表层土壤有机碳含量、可溶性有机碳含量及其官能团结构特征[J].湿地科学,2019,17(6):645-650.
- [22] 高建华,杨桂山,欧维新.互花米草引种对苏北潮滩湿地TOC、TN和TP分布的影响[J].地理研究,2007,26(4):799-808.
- [23] MEYBECK M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers[J]. American Journal of Science, 1982, 282(4): 401-450.
- [24] HOLLIGAN P M, HARRIS R P, NEWELL R C, et al. Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel[J]. Marine Ecology Progress Series, 1984, 14: 111-127.
- [25] CIFUENTES L A, COFFIN R B, SOLORZANO L, et al. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1996, 43(6): 781-800.