

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

南大港滩涂湿地土壤有机碳分布特征研究

石田¹, 饶鑫鹏¹, 魏伯阳¹, 岳荣生¹, 王凤², 林琳¹

(1. 国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714; 2. 河北省林业调查规划设计院, 河北 石家庄 050056)

摘要:滨海滩涂湿地是提高“蓝碳”碳汇、补偿碳排放的重要空间资源。为研究滨海滩涂土壤有机碳分布特征,在河北南大港滩涂湿地内设置采样地,对不同湿地类型、不同植被覆盖下土壤有机碳含量进行测定。结果表明,南大港滩涂湿地土壤有机碳含量平均值为 8.03 ± 3.39 g/kg,略低于全国平均水平。土壤有机碳空间分布有一定差异,内陆滩涂湿地土壤有机碳含量高于沿海滩涂湿地。土壤有机碳含量随土层深度增加呈下降趋势,不同深度下土壤有机碳含量差异显著。不同植物群落下土壤有机碳含量不同,表现为芦苇群落>莎草群落>碱蓬群落>金鱼藻群落>光滩地。南大港滩涂湿地土壤有机碳密度分布与土壤碳含量分布相似,土壤结构、地表植被类型对土壤有机碳含量、碳密度分布产生影响。

关键词:土壤有机碳;碳密度;湿地类型;植被类型;南大港滩涂湿地

中图分类号:S714.5;Q178.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0167-05

引文格式:石田,饶鑫鹏,魏伯阳,等.南大港滩涂湿地土壤有机碳分布特征研究[J].林业调查规划,2024,49(1):167-171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

SHI Tian, RAO Xinpeng, WEI Boyang, et al. Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in Nandagang Mudflat Wetland[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 167-171. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.029

Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon in Nandagang Mudflat Wetland

SHI Tian¹, RAO Xinpeng¹, WEI Boyang¹, YUE Rongsheng¹, WANG Feng², LIN Lin¹

(1. Academy of Forest and Grassland Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China; 2. Hebei Forest Inventory and Planning Institute, Shijiazhuang 050056, China)

Abstract: Coastal mudflat wetland is an important space resource to improve carbon sink and compensate carbon emission. In order to study the distribution characteristics of soil organic carbon in coastal mudflat, sampling sites were set in Nandagang mudflat wetland in Hebei Province. The content of soil organic carbon under different wetland types and different vegetation cover were collected. The results showed that the average content of soil organic carbon in Nandagang mudflat wetland was 8.03 ± 3.39 g/kg, which was slightly lower than the national average level. There were some differences in the spatial distribution of soil organic carbon. The contents of soil organic carbon in inland mudflat wetland were higher than that in coastal mudflat wetland. The content of soil organic carbon decreased with the increase of soil depth, and the contents of soil organic carbon were significantly different at different depths. The contents

收稿日期:2022-04-21.

第一作者:石田(1982-),男,湖北武汉人,高级工程师.主要从事湿地保护修复研究.

责任作者:林琳(1989-),女,北京人,工程师.研究方向为生态环境保护. Email:daben1989@126.com

of soil organic carbon were different under different plant communities, which showed that *Phragmites australis* community > *Cyperus rotundus* community > *Suaeda glauca* community > *Ceratophyllum demersum* community > pure mudflat. The distribution of soil organic carbon density in Nandagang mudflat wetland was similar to that of soil carbon content. Soil structure and surface vegetation types had an impact on soil organic carbon content and carbon density distribution.

Key words: soil organic carbon; carbon density; wetland type; vegetation type; Nandagang mudflat wetland

湿地生态系统是地球上最重要的碳库之一,作为碳移动和流通媒介,其碳汇功能是消减大气温室气体含量的主要途径之一。湿地土壤有机碳含量约占整个陆地碳库的 20%~30%,因其积水厌氧环境而在土壤中积累大量的有机碳,是陆地上碳素积累速度最快的自然生态系统之一^[1-2]。

红树林地、沼泽地、滩涂地等不同湿地类型土壤碳储量差异较大^[3]。目前针对湿地土壤碳研究集中在红树林、森林沼泽等碳汇功能以及沼泽地、泥炭地的碳储量计算,对滨海湿地“蓝碳”研究相对较少,尤其是滨海内陆滩涂、沿海滩涂土壤碳含量对比研究存在一定空缺^[4]。滨海湿地分布于海洋与陆地交汇地带,具有独特水文、土壤、植被特征。滨海湿地大部分时间处于水淹状态,缺氧环境使土壤中微生物分解碳的能力较弱,且滨海地区河流较多,带来的泥沙快速埋藏植物残骸,形成长期稳定的碳库。滨海湿地具有碳沉积速率高、碳埋藏速率快、固碳能力强的特点,是地球上重要的碳库之一,对抑制大气中温室气体升高、缓解全球变暖具有重要作用^[5]。

我国滨海湿地面积广阔,是未来补偿碳排放的重要空间资源^[3]。研究滨海滩涂湿地土壤有机碳含量及空间分布特征,准确估算其土壤碳储量,对制定科学合理的滨海湿地管理措施具有重要意义。南大港湿地位于渤海湾西岸,分布有典型内陆滩涂、沿海滩涂湿地,生物资源众多,是我国环渤海地区保存较为完好的滨海湿地之一^[6]。本研究在河北南大港滨海湿地内陆滩涂、沿海滩涂中设置样地,采集植物及 1 m 深度的土壤样品,测定土壤有机碳含量,分析不同湿地、不同植被类型下湿地土壤有机碳分布差异,以期为滨海湿地生态管理提供支撑。

1 研究区概况

研究区位于河北省沧州市东北部南大港湿地区(38°25′~38°35′N, 117°24′~117°40′E),泻湖洼地、浅槽型洼地密布,是海陆交接、咸淡水交汇的过渡地带。研究区地处暖温带半湿润大陆性气候区域,四

季分明,光照充足,年均温 12.1℃,日照时数 2 462 h,降水年内分布不均,年均降水量 624.5 mm,集中在 6—8 月,年蒸发量约 1 974 mm。研究区土壤类型为盐化潮土、滨海盐土,其中潮土分布面积较大,土层厚度 0.3~0.8 m^[6]。

研究区处于陆地生态系统与海洋生态系统过渡区域,生物资源丰富,野生植被组成中多为盐生植物,呈带状、斑块状分布,常见某种植物形成单优种群落。主要分布植物有芦苇(*Phragmites australis*)、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、中亚滨藜(*Atriplex centralasiatica*)、獐毛(*Aeluropus sinensis*)等。研究区丰富的植物资源和独特的地理位置使其成为东亚—澳大利西亚候鸟迁徙网络的重要中转站,每年春秋两季迁徙鸟类数量达数十万只,主要有灰雁(*Anser anser*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、东方白鹳(*Ciconia boyciana*)等。

2 研究方法

2.1 土壤样品采集

2021 年 7—8 月,在南大港滩涂湿地区(以下简称“南大港湿地”)选取 12 个典型样地,每个样地根据地表植被不同,选取 3 个能够代表整个样地的样方,分别对每个样方内地表植被类型、盖度及生物量进行调查和采样。鉴于土壤有机碳主要分布在土壤表层下 100 cm 以内,本研究以 100 cm 作为本次研究的采样深度。使用土钻及环刀、容重钻等工具,按表土层 0~30 cm、心土层>30~50 cm 及底土层>50~100 cm 3 个深度分层采集土样,每次取 200 cm²,称取鲜重后带回实验室分析。

2.2 样品测定及数据处理

用烘干法测定植被、土壤含水量;用环刀法测定土壤容重。土壤有机碳测定采用丘林法(重铬酸钾外加热法),将筛孔风干土样加入 0.80 mol/L 重铬酸钾标准溶液及 98% 浓硫酸,热油浴锅中煮沸冷却后滴加邻菲罗啉指示剂,用 0.2 mol/L FeSO₄ 标准溶液滴定。

土壤有机碳密度及有机碳储量参考王勇辉、聂浩亮等研究中的计算方法,计算公式为:

$$D_{\text{SOC}} = \sum_{i=1}^n \text{SOC}_i \times D_i \times H_i \times 10^{-2} \tag{1}$$

式中: D_{soc} 为土壤有机碳密度 (kg/m^2); SOC_i 为第 i 层土壤有机碳含量 (g/kg); H_i 为第 i 层土层厚度 (cm); D_i 为第 i 层土壤容重 (g/cm^3); n 为剖面土层数。因各土壤层次深度不同,为便于对比分析,采用第 i 层土壤有机碳含量 $\times$ 第 i 层土壤容重作为单位 (cm) 厚度土壤有机碳密度 (kg/m^2)^[7-8]。

利用 SPSS 软件对上述数据进行分析。由于数据呈偏态分布,利用 Kruskal-Wallis H 检验不同分类土壤有机碳含量差异,在总体差异显著的情况下,采用 Mann-Whitney U 比较两两之间差异性。文中土壤有机碳含量数值以平均值 $\pm$ 标准差表示。用 Origin 2021 软件完成制图。

3 结果与分析

3.1 土壤有机碳含量

经分析,南大港滩涂湿地土壤有机碳含量在 2.25~16.13 g/kg 范围,平均值为 $8.03 \pm 3.39 \text{ g}/\text{kg}$ (表 1)。

表 1 南大港滩涂湿地土壤有机碳含量总体分布
Tab. 1 Distribution of soil organic carbon content in Nandagang wetland

有机碳含量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	出现频数/次	占比/%
≤ 5	7	19.44
$>5 \sim 10$	23	63.89
$>10 \sim 15$	4	11.11
>15	2	5.56

3.1.1 不同湿地类型土壤有机碳含量

南大港湿地有机碳含量变异系数均值为 25.33%,属于中度变异,表明南大港湿地土壤有机碳空间分布有一定差异。南大港内陆湿地土壤有机碳含量平均为 $9.28 \pm 3.37 \text{ g}/\text{kg}$,含量相对较多,但不同样地间数值变动较大。沿海滩涂湿地土壤有机碳平均含量为 $5.83 \pm 0.70 \text{ g}/\text{kg}$,数值分布较为均匀。Mann-Whitney U 检验显示,不同湿地类型土壤有机碳含量差异极显著($U=54.000, P<0.01$)。

3.1.2 不同土层深度土壤有机碳含量

南大港土壤有机碳含量随土壤深度增加呈减小趋势。0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度

土壤有机碳含量依次为 $10.14 \pm 3.79 \text{ g}/\text{kg}$ 、 $7.68 \pm 3.28 \text{ g}/\text{kg}$ 、 $6.68 \pm 2.10 \text{ g}/\text{kg}$,Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同深度下土壤有机碳含量差异显著($\chi^2=6.813, \text{df}=2, P<0.05$)。进一步两两比较发现,仅 0~30 cm 土层深度表土壤与其他两个深度土壤间差异显著(Mann-Whitney U 检验。0~30 cm 与 >30~50 cm; $U=35.000, P<0.05$; 0~30 cm 与 >50~100 cm; $U=23.000, P<0.05$)(表 2)。

表 2 不同土层深度下南大港滩涂湿地土壤有机碳含量分布

Tab. 2 Distribution of soil organic carbon content in Nandagang wetland at different depths

湿地类型	土层深度 /cm	土壤有机碳含量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			标准差	变异系数/%
		最大值	最小值	均值		
内陆滩涂	0~30	16.13	6.46	11.47	3.81	33.22
	>30~50	15.05	5.20	8.85	3.16	35.71
	>50~100	9.61	4.50	7.64	1.56	20.42
沿海滩涂	0~30	8.70	6.20	7.06	2.03	28.75
	>30~50	8.05	3.25	5.57	1.48	26.57
	>50~100	7.39	2.25	5.35	0.39	7.29

3.1.3 不同植被类型土壤有机碳含量

南大港滩涂湿地植被类型主要有芦苇群落、莎草群落、金鱼藻群落、碱蓬群落等,不同植物群落下土壤有机碳含量不同。总体而言,土壤有机碳含量大小依次为芦苇群落($9.51 \pm 1.21 \text{ g}/\text{kg}$)>莎草群落($8.81 \pm 0.60 \text{ g}/\text{kg}$)>碱蓬群落($7.17 \pm 0.49 \text{ g}/\text{kg}$)>金鱼藻群落($6.25 \pm 0.16 \text{ g}/\text{kg}$)>光滩地($3.23 \pm 0.41 \text{ g}/\text{kg}$)。Kruskal-Wallis H 检验结果表明,不同植物群落土壤有机碳含量差异极显著($\chi^2=13.865, \text{df}=4, P<0.01$)。芦苇群落下土壤有机碳含量变异系数较大,金鱼藻群落土壤有机碳变异系数较小,在 0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度各植物群落土壤有机碳含量变化如图 1 所示。

3.2 土壤有机碳密度

土壤有机碳密度是指单位面积(m^2)中一定厚度的土层中有机碳储量,其大小与土壤容重有关。南大港湿地区土壤容重均值为 $1.55 \pm 0.15 \text{ g}/\text{cm}^3$,其中内陆滩涂、沿海滩涂容重均值分别为 $1.58 \pm 0.13 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、 $1.49 \pm 0.17 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。结合容重计算得出南大港内陆滩涂、沿海滩涂湿地土壤有机碳密度分别为 $14.23 \text{ kg}/\text{m}^2$ 、 $8.81 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

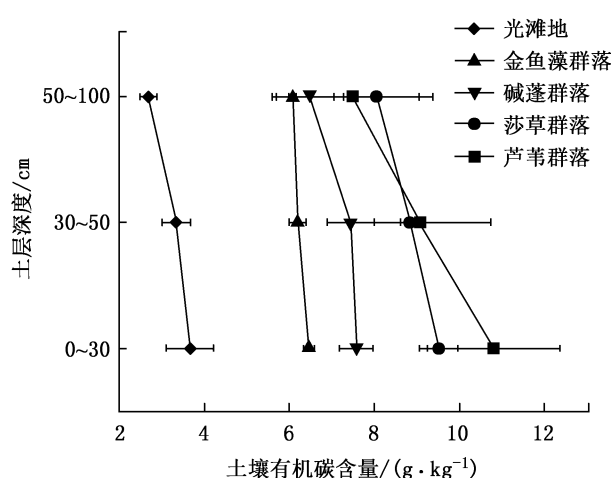


图 1 不同植被群落土壤有机碳含量垂直分布

Fig. 1 Vertical distribution of soil organic carbon in different vegetation communities

不同湿地类型之间土壤有机碳密度差异较大(图 2)。内陆滩涂土壤有机碳密度较高,在 0~30 cm、>30~50 cm、>50~100 cm 土层深度下单位(cm)厚度有机碳密度依次表现为 17.43 kg/m²、14.07 kg/m²、12.38 kg/m²。沿海滩涂有机碳密度相对较低,依次为 10.10 kg/m²、8.19 kg/m²、8.29 kg/m²。不同植物群落下土壤有机碳密度分布与有机碳含量分布相似,表现为莎草群落>芦苇群落>碱蓬群落>金鱼藻群落>光滩地,莎草、芦苇群落土壤有机碳密度大小显著高于其他植被群落。

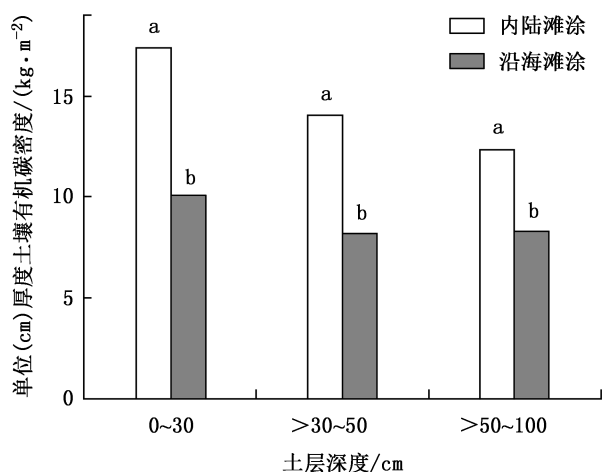


图 2 不同湿地类型土壤有机碳密度分布

Fig. 2 Distribution of soil organic carbon density in different wetlands

4 讨 论

南大港滩涂湿地土壤有机碳含量与同区域天津

北大港滩涂湿地土壤有机碳含量相似,略低于同纬度河北内陆白洋淀其他沼泽湿地土壤有机碳含量^[9]。滨海湿地土壤主要由海河交互作用沉积而成,土壤类型主要为潮土、盐土,质地较为紧实,空隙较少,土壤中积累的有机碳含量平均较低^[10]。

陈立华研究滨海湿地滩涂土壤物理性质与土壤有机质含量关系,植被覆盖区土壤容重较低,土壤孔隙度、最大持水量较高,土壤结构明显较好,有机质含量较多^[11]。本研究内陆滩涂土壤容重及有机碳含量均高于沿海滩涂,土壤容重与土壤有机碳含量呈正相关关系,与部分研究结果相反,属水文运动和土壤质地双重影响造成^[12]。南大港沿海滩涂区域以砂质土壤为主,质地松散,表土层结构差,土壤容重相对较低,较高的土壤孔隙度结合潮汐涨落的冲刷作用减少了土壤有机物质含量。而南大港内陆滩涂区域筑堤形成了较为稳定的水文条件,土壤质地以砂壤土和轻壤土为主,结构呈夹粘型、夹砂型,有利于土壤有机碳的积累。

南大港沿海滩涂、内陆滩涂土壤有机碳含量随土层深度增加均呈下降趋势。表土层土壤有机碳含量最高,心土层土壤有机碳含量下降明显,底土层土壤有机碳含量趋于稳定。土壤有机碳分布具有表聚效应,在表层土壤出现峰值,随着土层深度增加其含量呈下降趋势^[9]。凋落物和土壤微生物活动影响土壤有机碳含量,0~30 cm 表层是草本植物根系主要分布区和地表凋落物的主要分解区,植被凋落物的分解和植物根系的固定作用造成浅层土壤碳含量及碳密度较大,随着土壤深度增加,有机质含量逐渐下降。底土层较为紧实,与上层有机质及空气中碳交换较少,物质转化缓慢,土壤有机碳含量及碳密度较小,本研究结果与白洋淀湿地、黄河三角洲滩涂湿地土壤有机碳空间分布规律相似^[13]。

自然状态下,土壤有机碳主要来自于地表植被凋落物及根茎,不同植被类型因其相异的生理生态特征,在土壤中分解残留量不同,对土壤有机碳密度及含量产生影响。刘文龙等对胶州湾滨海湿地研究发现,土壤碳含量与地表芦苇等植被生物量呈正相关关系,与本研究结果相似^[14]。南大港内陆滩涂湿地芦苇、莎草群落生物量较大,植物凋落物对碳归还作用较为明显,生物量较大的植被土壤含碳量较高。此外,芦苇、莎草等草本植物根系主要分布在 40 cm 以上土层,通过根系呼吸作用促进土壤团粒结构的形成,有利于土壤中有机质的积累,造成芦苇、莎草土壤表层有机碳含量较高。

南大港沿海滩涂以碱蓬为主,群落内植物较为单一,部分区域无植被覆盖。天津滨海新区盐生植物及光滩土壤有机碳含量集中在 3.32~8.55 g/kg 范围,黄河三角洲沿海滩涂碱蓬群落下土壤有机碳含量集中在 2.54~6.14 g/kg 范围,与本研究相似。沿海滩涂受径流和潮汐作用双重影响,潮间带较强的水动力作用会带走地表植被枯落物及残体,造成土壤表层有机质含量较低^[13]。

5 结 论

南大港滩涂湿地土壤有机碳整体含量较低,其中内陆滩涂湿地土壤有机碳含量高于沿海滩涂。不同湿地类型和植物群落下土壤有机碳分布具有表聚效应,在表层土壤出现峰值,随着土层深度增加其含量呈下降趋势。土壤结构、地表植被类型通过有机质沉积与分解对土壤有机碳含量产生影响,芦苇、莎草群落植被土壤碳含量高于碱蓬、金鱼藻群落,光滩地土壤有机碳含量最低。南大港滩涂湿地土壤有机碳密度分布与土壤碳含量分布相似。

参考文献:

- [1] MITRA S, WASSMANN R, VLEK P L G. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock[J]. *Current Science*, 2005, 88(1): 25-35.
- [2] MITSCH W J, BERNAL B, NAHLIK A M, et al. Wetlands, carbon, and climate change[J]. *Landscape Ecology*, 2013, 28(4): 583-597.
- [3] 李瑾璞, 于秀波, 夏少霞, 等. 白洋淀湿地区土壤有机碳密度及储量的空间分布特征[J]. *生态学报*, 2020, 40(24): 8928-8935.
- [4] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 等. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(3): 241-251.
- [5] 王启栋, 宋金明, 李学刚. 黄河口湿地有机碳来源及其对碳埋藏提升策略的启示[J]. *生态学报*, 2015, 35(2): 568-576.
- [6] 黄艳凤, 胡振, 周绪申, 等. 南大港湿地浮游植物多样性现状分析[J]. *环境生态学*, 2020, 2(6): 34-38.
- [7] 王勇辉, 焦黎. 艾比湖湿地土壤有机碳及储量空间分布特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(18): 5893-5901.
- [8] 聂浩亮, 薄慧娟, 张润哲, 等. 北京海坨山典型林分土壤有机碳含量及有机碳密度垂直分布特征[J]. *林业科学研究*, 2020, 33(6): 155-162.
- [9] 郝翠, 李洪远, 李姝娟, 等. 天津滨海湿地土壤有机碳储量及其影响因素分析[J]. *环境科学研究*, 2011, 24(11): 1276-1282.
- [10] 李媛媛, 朱源山, 郭长城, 等. 津冀 3 个盐渍化沼泽湿地土壤团聚体有机碳的分布特征[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(6): 51-61.
- [11] 陈立华, 张欢, 姚宇阔, 等. 盐地碱蓬覆被对滨海滩涂土壤理化性质的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, 30(2): 19-27.
- [12] WANG C, FU B J, ZHANG L, et al. Soil moisture-plant interactions; an ecohydrological review [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2019, 19(1): 1-9.
- [13] 董洪芳, 于君宝, 管博. 黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征[J]. *环境科学*, 2013, 34(1): 288-292.
- [14] 刘文龙, 谢文霞, 赵全升, 等. 胶州湾芦苇滩涂土壤碳、氮和磷分布及生态化学计量学特征[J]. *湿地科学*, 2014, 12(3): 362-368.

责任编辑: 许易琦