

江苏滨海湿地不同植被演替阶段土壤有机碳分布特征

王磊¹, 何冬梅¹, 刘华², 江浩¹, 王火¹

(1. 江苏省林业科学研究院, 南京 211153; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036)

摘要: 对江苏滨海湿地土壤有机碳的分布特征进行研究, 阐明了植被演替和土壤理化性质对土壤有机碳分布的影响, 对探讨今后如何增加滨海湿地的“碳汇”能力具有重要的意义。结果表明, 水平方向上, 有机碳的分布特征表现为: 光滩 > 米草群落 > 芦苇群落 > 刺槐群落 > 碱蓬群落。在 0~10 cm 层, 土壤有机碳平均含量为 20.84 g·kg⁻¹, 其中米草群落土壤有机碳含量显著高于其他几种类型; 10~25 cm 和 25~40 cm 土层, 土壤有机碳平均含量分别为 18.66 g·kg⁻¹ 和 19.15 g·kg⁻¹, 光滩含量最高。垂直方向上, 0~10 cm 层土壤有机碳含量均最高, 光滩土壤有机碳含量随土层深度增加而增加; 碱蓬和米草群落湿地土壤有机碳含量的垂直分布特征则相反; 刺槐群落和芦苇群落湿地土壤有机碳含量分布表现为, 表层含量最高, 中间土层含量最低。土壤有机碳含量与土壤容重具有极显著的负相关关系, 而与 C/N 和盐分呈显著的正相关关系。虽然研究结果中土壤有机碳含量与其他因子的相关性不显著, 但是土壤各理化性质间的相互作用会间接影响有机碳含量的分布。

关键词: 滨海湿地; 土壤有机碳; 植被演替; 江苏

中图分类号: S153

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)06-1064-06

Distribution of soil organic carbon under different vegetation successions in the coastal wetland of Jiangsu

WANG Lei^{1,2}, HE Dongmei¹, LIU Hua², JIANG Hao¹, WANG Huo¹

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153;

2. School of Forest & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The horizontal and vertical distribution of soil organic carbon (SOC) in the coastal wetland of Jiangsu was studied. The influence of vegetation succession and soil physic-chemical properties on SOC distribution was analyzed in order to explore how to increase the potential carbon sink of coastal wetland. The results showed that the SOC content at different succession stages was mudflats > *Spartina anglica* wetland > *Phragmites australis* wetland > *Robinia pseudoacacia* forest > *Suaeda glauca* wetland. The average content of the SOC at the five succession stages was 20.84 g·kg⁻¹ in the 0-10 cm soil layer and the SOC content in mudflats was significantly higher than the others. In the 10-25 cm and 25-40 cm deep soils, the average values of the SOC contents were 18.66 g·kg⁻¹ and 19.15 g·kg⁻¹, respectively, with the greatest value in mudflats. The SOC content at all five succession stages in the soil exhibited that the SOC content was the highest in the 0-10 cm soil layer. The distribution of SOC content along the soil profile in mudflats was increased with an increase of the soil depth, while the *Suaeda glauca* wetland and *Spartina anglica* wetland showed an opposite trend. The highest content of SOC in *Phragmites australis* wetland and *Robinia pseudoacacia* forest was observed in the 0-10 cm soil layer, while the lowest value was observed in the 10-25 cm soil layer. Correlation analysis indicated that the SOC content was positively correlated with the soil C/N and salinity, while a significant negative relationship was observed between SOC and bulk density. Although there were no significant correlations between the SOC content and other soil factors in this study, the interaction of soil factors could indirectly influence SOC distribution.

Key words: coastal wetland; soil organic carbon (SOC); vegetation succession; Jiangsu Province

收稿日期: 2017-04-13

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201404305), 江苏省青年基金 (BK20141040) 和江苏盐城滨海湿地生态系统定位观测研究站运行补助 (2017-LYPT-DW-038) 共同资助。

作者简介: 王磊, 博士, 副研究员。E-mail: wl.stone@163.com

湿地生态系统是处于水体与陆地生态系统间的动态交界面, 尽管其面积仅仅占陆地面积的 5%~8%, 但是湿地土壤中却储存了约 550 Pg C, 占陆地土壤 C 库的 20%~30%, 是陆地生态系统极其重要的碳库之一^[1-3]。关于碳储量及其分布特点的研究过去多集中在森林、农田等陆地生态系统^[4-5], 泥炭地、苔原沼泽等高原湿地以及河流、湖泊等内陆湿地生态系统^[6-9], 但对于滨海湿地碳储量的研究较少。全球滨海湿地的面积约 $20.3 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 而滨海湿地中碳的年均积累速率可达 $250 \sim 500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 远远高于其他类型的湿地生态系统^[10-11]。一方面, 由于滨海湿地相对于其他湿地具有更高的初级生产力, 所以其积累有机物的速率会更高^[12]; 另一方面滨海湿地中存在大量的 SO_4^{2-} , 对甲烷的产生具有抑制作用, 在一定程度上降低了甲烷的排放量, 这种碳的高固存能力和温室气体的低释放效应, 促使单位面积滨海湿地的碳的积累率较高^[13]。在大气 CO_2 浓度不断升高的情况下, 人们逐渐意识到滨海湿地所具有的“碳汇”功能的重要性。因此, 研究滨海湿地土壤有机碳的含量和分布特征对维持碳循环平衡和应对气候变化都具有重要意义。

江苏滨海湿地地处北亚热带向南暖温带的过渡地带, 滨海湿地面积达 100 万 hm^2 , 占全国滨海面积的 1/4。其中, 淤泥质滩涂面积约 41.56 万 hm^2 , 是中国淤泥质滨海湿地的重要组成部分。在江、河以及海洋的交互作用下, 沿海岸线向陆地延伸, 湿地植被群落演替明显, 具有较为完整演替序列。本研究对江苏滨海湿地不同植被演替阶段的土壤有机碳含量及其分布进行研究, 探讨滨海湿地不同植被演替阶段土壤有机碳的固存能力, 以及影响有机碳分布格局的时空因素。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于江苏省盐城市大丰麋鹿自然保护区第 3 核心区 ($33^\circ 05' \text{N}$, $120^\circ 44' \text{E}$), 该区处于暖温带向亚热带过渡性地带, 受海洋和大陆性气候的影响, 季风气候明显, 四季分明, 气温适中, 雨量充沛, 年均气温为 14°C , 年降水量为 $1\ 000 \sim 1\ 100 \text{ mm}$ 。大丰沿海湿地为典型的淤泥质滩涂湿地, 原始植被类型简单, 生态演替序列相对完整, 由海向陆延伸不同植被演替阶段的代表群落依次为: 米草 (*Spartina anglica*)、碱蓬 (*Suaeda glauca*)、芦苇 (*Phragmites australis*) 和刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)。

1.2 研究方法

1.2.1 样点设置和样品采集 以植被空间演替系列代替时间系列的方法, 在研究区内沿与海岸线垂直的方向, 选取一条具有典型研究意义的样带, 在样带上自海向陆分别为光滩、米草群落、碱蓬群落、芦苇群落和刺槐群落, 其中光滩几乎无植被。在光滩以及代表不同植被演替阶段的这 4 种优势群落中分别设置 3 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的样方。除去土壤表层凋落物后, 按 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $10 \sim 25 \text{ cm}$ 和 $25 \sim 40 \text{ cm}$ 土壤深度进行分层采样。在每个样方内, 用直径为 2 cm 的土钻按“S”形采集 5~8 个土芯并将其混合。土壤样品带回实验室, 去除可见根系、动植物残体、石砾等, 轻拈过筛, 在阴凉处风干后用于测定土壤有机碳含量和其他基本理化性质。

1.2.2 土壤基本理化性质测定 土壤总有机碳 (SOC): 重铬酸钾外加热法^[14]; 总氮 (TN) 和 C/N: 元素分析仪 (Elementar Vario EL, 德国); 土壤 pH: 玻璃电极测定 (1: 2.5 土水比); 容重: 环刀法^[14]。

1.2.3 数据分析方法 利用单因素方差分析方法对水平方向不同生态演替阶段以及垂直方向不同土层深度有机碳含量的分布情况进行分析。运用 Pearson 法分析碳含量与其他土壤理化的相关性, 数据分析软件为 SPSS 20.0。

2 结果与分析

2.1 滨海湿地土壤基本性质

土壤容重在 3 个土层差异性不显著, 但在同一土层深度, 不同生态演替阶段间土壤容重具有显著性差异 (表 1)。在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 层, 土壤平均容重为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 其中刺槐群落土壤的容重为 $1.56 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 显著大于芦苇和米草群落; $10 \sim 25 \text{ cm}$ 土层, 土壤平均容重为 $1.44 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 米草群落湿地土壤的容重较小; $25 \sim 40 \text{ cm}$ 土层, 土壤平均容重为 $1.45 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。不同植被演替阶段的土壤容重具有显著差异性, 刺槐群落 > 碱蓬群落 > 芦苇群落 > 米草群落。土壤 pH 平均值范围在 $7.45 \sim 8.12$ 之间, 其中芦苇群落 pH 最高, 刺槐群落最低, 不同演替阶段间差异显著。土壤 pH 随着土层深度而逐渐增加, 即 pH 在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 层最低, 为 7.79 (表 1)。在 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层, 芦苇群落土壤的 pH 相对较大, 而刺槐群落土壤 pH 则最小; 滨海湿地土壤盐分范围为 $0.44 \sim 2.93 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 盐分沿着从海向陆地的演替方向逐渐递减, 光滩土壤盐分显著高于米草群落、芦苇群落和刺槐群落。在土壤垂直剖面, 土壤盐分随土层深度增加而显著增加。不同演替阶段, 土壤总氮

平均含量为 2.39~3.49 g·kg⁻¹, 刺槐群落土壤总氮含量显著高于其他演替阶段。土壤 C/N 沿由海向陆的

演替方向逐渐减小, 光滩 C/N 最高, 为 8.51, 刺槐群落土壤 C/N 最低, 为 5.07。

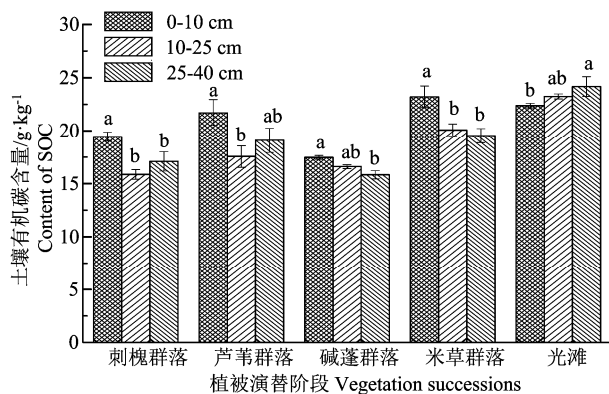
表 1 不同植被演替阶段土壤理化性质

Table 1 Physic-chemical properties of soils under different vegetation successions

土层深度/cm Soil depth	演替阶段 Succession stage	土壤有机碳/g·kg ⁻¹ SOC	总氮/g·kg ⁻¹ TN	盐分/g·L ⁻¹ Salinity	土壤容重/g·cm ⁻³ Bulk density	C/N	pH
0~10	刺槐群落 <i>Robinia pseudoacacia</i> forest	19.44±0.44 ^{bc}	3.61±0.33 ^a	0.17±0.02 ^d	1.56±0.07 ^a	5.45±0.37 ^c	7.24±0.35 ^b
	芦苇群落 <i>Phragmites australis</i> wetland	21.7±1.19 ^{ab}	3.12±0.11 ^{ab}	0.16±0.01 ^d	1.32±0.02 ^b	6.97±0.46 ^{bc}	8.08±0.07 ^a
	碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> wetland	17.47±0.19 ^c	2.57±0.05 ^{bc}	2.14±0.08 ^c	1.49±0.05 ^{ab}	6.8±0.08 ^{bc}	7.87±0.06 ^a
	米草群落 <i>Spartina auglica</i> wetland	23.21±1.02 ^a	2.42±0.27 ^c	2.33±0.04 ^b	1.35±0.06 ^b	9.88±1.43 ^a	7.98±0.09 ^a
	光滩 Mudflats	22.38±0.22 ^a	2.79±0.14 ^{bc}	2.61±0.07 ^a	nd	8.04±0.23 ^{ab}	7.78±0.06 ^a
10~25	刺槐群落 <i>Robinia pseudoacacia</i> forest	15.86±0.45 ^d	3.46±0.47 ^a	0.36±0.01 ^c	1.55±0.08 ^a	4.75±0.60 ^b	7.50±0.24 ^b
	芦苇群落 <i>Phragmites australis</i> wetland	17.55±1.02 ^{cd}	2.57±0.23 ^{ab}	0.57±0.01 ^b	1.40±0.06 ^{ab}	6.86±0.23 ^a	8.04±0.05 ^a
	碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> wetland	16.60±0.18 ^d	2.26±0.20 ^b	2.70±0.07 ^a	1.54±0.00 ^a	7.44±0.57 ^a	8.08±0.06 ^a
	米草群落 <i>Spartina auglica</i> wetland	20.08±0.57 ^b	2.66±0.05 ^{ab}	2.83±0.07 ^a	1.28±0.09 ^b	7.57±0.36 ^a	7.97±0.11 ^{ab}
	光滩 Mudflats	23.24±0.24 ^a	2.89±0.32 ^{ab}	2.84±0.04 ^a	nd	8.22±0.79 ^a	7.78±0.20 ^{ab}
25~40	刺槐群落 <i>Robinia pseudoacacia</i> forest	17.09±0.91 ^{bc}	3.41±0.25 ^a	0.78±0.04 ^c	1.49±0.07 ^{ab}	5.02±0.12 ^b	7.61±0.17 ^c
	芦苇群落 <i>Phragmites australis</i> wetland	19.09±1.15 ^b	2.38±0.12 ^b	0.96±0.06 ^c	1.39±0.07 ^{ab}	8.08±0.76 ^a	8.24±0.10 ^a
	碱蓬群落 <i>Suaeda glauca</i> wetland	15.83±0.38 ^c	2.34±0.06 ^b	3.11±0.04 ^b	1.56±0.05 ^a	6.78±0.17 ^a	7.98±0.07 ^{ab}
	米草群落 <i>Spartina auglica</i> wetland	19.54±0.67 ^b	2.62±0.21 ^b	3.20±0.09 ^{ab}	1.35±0.16 ^b	7.57±0.74 ^a	8.05±0.06 ^a
	光滩 Mudflats	24.18±0.92 ^a	2.61±0.01 ^b	3.35±0.06 ^a	nd	9.26±0.43 ^a	7.71±0.57 ^{bc}

注: 每列中小写字母分别表示不同植被演替阶段间差异的显著性 ($P < 0.05$); “nd”表示该值未测定。

Note: Different letters in the same column indicate significant ($P < 0.05$) among the vegetation successions at the same soil depth. “nd” indicates the values were not determined.



图中小写字母表示不同土层间差异的显著性 ($P < 0.05$)

Different letters over the bars represent significant difference ($P < 0.05$)

图 1 江苏滨海湿地土壤有机碳含量的垂直分布特征

Figure 1 Vertical distribution of soil organic carbon content in the coastal wetland of Jiangsu at different soil depths

2.2 滨海湿地土壤有机碳水平分布特征

滨海湿地土壤有机碳在不同植被演替阶段的平均含量为 16.64~23.27 g·kg⁻¹。受植被类型的影响, 不同植被演替阶段土壤有机碳含量具有极显著差异 ($P < 0.01$)。不同植被群落, 有机碳的含量表

现为: 光滩 > 米草群落 > 芦苇群落 > 刺槐群落 > 碱蓬群落。在 0~40 cm 土层深度, 光滩土壤有机碳平均含量为 23.27 g·kg⁻¹ ($se = 0.32$), 显著高于其他几种植被群落的土壤有机碳含量。碱蓬群落土壤有机碳含量在所有演替阶段中呈现出最低值, 为 16.64 g·kg⁻¹ ($se = 0.27$), 显著低于其他群落。

从同一土层看, 在土壤 0~10 cm、10~25 cm 以及 25~40 cm 层, 各植被演替阶段土壤有机碳含量在同一土层分别存在显著差异性 (表 1)。在 0~10 cm 层, 各植被演替阶段土壤有机碳平均含量为 20.84 g·kg⁻¹ ($se = 0.63$), 其中米草群落土壤有机碳含量为 23.21 g·kg⁻¹, 显著高于其他几种类型, 而碱蓬群落土壤有机碳含量显著较低, 为 16.70 g·kg⁻¹; 10~25 cm 和 25~40 cm 土层, 土壤有机碳平均含量分别为 18.66 g·kg⁻¹ ($se = 0.75$) 和 19.15 g·kg⁻¹ ($se = 0.82$)。除 0~10 cm 土层外, 土壤有机碳含量在不同植被演替阶段的分布趋势均表现为: 光滩含量最高, 米草群落土壤有机碳含量次之, 然后是芦苇群落。

2.3 滨海湿地土壤有机碳垂直分布特征

在同一植被群落类型中, 沿土壤垂直剖面不同

土层深度土壤有机碳含量的分布也具有差异性 (图 1)。除光滩外, 其余 4 个演替阶段 0~10 cm 层土壤有机碳含量均最高。在不同植被演替阶段, 土壤有机碳含量在土壤垂直剖面的分布规律也具有较大差异。光滩表面无任何植物覆盖, 其土壤有机碳含量

在土壤垂直剖面的分布趋势为: 随着土层深度增加而增加; 碱蓬和米草群落湿地土壤有机碳含量的垂直分布特征则与光滩相反, 其含量随土层深度逐层递减; 刺槐群落和芦苇群落湿地土壤有机碳含量分布表现为表层含量最高, 中间土层含量最低。

表 2 土壤理化性质间的 Pearson 相关系数

Table 2 Pearson correlation coefficients (r -value) between the physico-chemical properties of soil

指标 Index	土壤有机碳 SOC	总氮 TN	C/N	pH	容重 Bulk density	盐分 Salinity
土壤有机碳 SOC	1	0.015	0.649**	-0.054	-0.653**	0.342*
总氮 TN	0.015	1	-0.716**	-0.638**	0.019	-0.535**
C/N	0.649**	-0.716**	1	0.351*	-0.367*	0.590**
pH	-0.054	-0.638**	0.351*	1	-0.148	0.236
容重 Bulk density	-0.653**	0.019	-0.367*	-0.148	1	-0.113
盐分 Salinity	0.342*	-0.535**	0.590**	0.236	-0.113	1

注: “*”表示显著相关水平 ($P < 0.05$); “**”表示极显著相关水平 ($P < 0.01$)。

Note: “*” indicates significant correlation at $P < 0.05$, “**” indicates extremely significant correlation at $P < 0.01$.

2.4 滨海湿地土壤有机碳含量与土壤性质的关系

对滨海湿地土壤有机碳和总氮含量、C/N、土壤容重、pH 以及盐分进行相关性分析, 发现土壤 C/N 与其他因子均具有显著的相关性, 与有机碳含量、pH 以及盐分呈正相关, 与土壤总氮含量和容重负相关 (表 2)。土壤有机碳含量与土壤容重具有极显著的负相关关系, 而与 C/N 和盐分呈显著的正相关关系, 相关系数分别为 0.65 ($P < 0.01$, $n = 45$) 和 0.34 ($P < 0.05$, $n = 45$)。pH 是最重要的土壤性质之一, 对土壤其他理化性质以及微生物性质都有一定的影响作用。本研究中土壤 pH 与土壤有机碳含量、容重以及盐分都不具有显著相关性, 但与土壤总氮含量呈极显著的负相关关系, 与 C/N 呈显著的正相关关系。盐分是影响滨海湿地土壤有机质分解的主要因素, 本研究中土壤盐分与有机碳含量、总氮含量以及 C/N 都具有显著的相关性。

3 讨论

3.1 植被群落对土壤有机碳含量的影响

研究表明, 土壤有机碳含量分布受气候、水文、成土母质、植被以及人类活动等因素影响, 在一定的区域内, 当气候和母质都相似的情况下, 土壤有机碳含量的分布主要受土壤表面的植被群落类型所影响^[15]。滨海湿地土壤为高浓度盐渍土, 由于植物耐盐性的不同, 随着生态演替进程的发展, 滨海湿地沿海向陆各演替阶段的优势植物群落各不相同, 从而导致土壤有机碳的含量也具有一定的差异性^[16]。在 0~40 cm 土层, 光滩土壤有机碳含量显著

高于其他植被演替阶段, 这与其他滨海湿地的研究结果不一致^[1,17], 这种不一致与研究区植被的生长年限, 受人类活动干扰情况以及采样时间等都相关^[18]。光滩土壤有机碳含量较高, 一方面, 沉积物有机质的来源主要分为陆源和海源, 陆源主要是潮水涨落冲刷芦苇、米草等群落使其枯落物随着潮水回落聚集在沉积物中, 最终通过一系列的土壤过程形成有机碳并储存在沉积物中, 而海源则是由于海水中大量的浮游和底栖生物对沉积物中有机质的积累具有较大贡献^[18-19]; 另一方面, 由于长期淹水使得光滩土壤主要为厌氧环境, 且土壤盐分较高, 微生物的活性受到抑制, 因此对有机质分解也相对缓慢^[8,12,20]。在其他 4 种植物群落的土壤中, 米草群落土壤有机碳含量显著较高, 主要是由于米草的生长过程对滩涂淤积起着重要的促进作用, 滩涂淤积速度快有利于营养物质的积累, 从而增加了滩涂湿地有机碳的储存量^[18]。在土壤 0~10 cm 层, 碱蓬群落土壤有机碳含量显著较低, 主要是由于碱蓬相对于其他几种植物生物量较小, 因此输入到土壤里有机质含量也较少; 另一方面碱蓬群落土壤的淤积速度比米草和芦苇群落慢, 因此暴露在空气中的时间相对较长, 有利于好氧微生物对有机质的充分分解, 从而使碱蓬群落表层土壤有机碳储量降低^[19]。

3.2 植被演替对土壤有机碳含量垂直分布的影响

土壤有机碳在垂直剖面上的分布也受植被演替的影响。不同演替阶段, 植物群落类型不同, 枯落物的输入量、植物根系分布格局、根系分泌物以及根系死亡腐解程度等都影响着土壤剖面有机碳的分

布特征^[15,17]。通常情况下,植物根系在土壤表层最丰富,根际微生物活跃,再加之地表大量植物枯落物的输入,从而使土壤表层有机碳含量较高^[20-21]。同样,本研究区中的4种植被群落的土壤有机碳的最大值都出现在0~10 cm层。有机碳在土壤剖面上的垂直分布格局影响着土壤碳的动态,表层土壤有机碳更容易受环境和人类活动的影响,因此对表层土壤的保护对维持土壤有机碳库的稳定性十分重要^[22]。本研究中碱蓬和米草群落土壤有机碳含量在剖面上的分布与多数研究结果一致,表现为由表层向下层逐渐降低^[20]。刺槐群落和芦苇群落中间层土壤有机质含量相对较低,主要是刺槐群落和芦苇群落为沙质土壤以及沙质土壤与淤泥质土壤的过度,根系分布在较深的土层,中间层土壤根系分布相对较少,因此中间层土壤只能通过上层淋溶过程获得一定数量的有机质^[1]。

3.3 滨海湿地土壤有机碳含量与土壤理化性质的关系

土壤有机碳的含量除了与外界环境相关外,与土壤基本理化性质也密切相关。滨海湿地土壤与其他土壤相比,pH和盐分都相对较高,土壤密度大,这对土壤有机碳的产生和累积都有一定的影响。土壤pH一般通过影响微生物活性从而影响土壤中有机质的分解和积累。本研究中,pH与土壤总氮和C/N具有显著的相关性,表明pH可通过微生物作用,影响土壤中C和N的动态,是影响有机质分布的重要土壤因子^[17]。C/N是衡量土壤有机质组成和土壤质量的一个重要指标,与土壤微生物活性也密切相关^[19]。因此,江苏滨海湿地土壤有机碳含量与土壤总氮含量虽然相关性不显著,但是二者均与C/N具有极显著关系,表明了碳和氮的相互作用影响着土壤质量。土壤盐分反映了土壤溶液中离子的强度,是影响有机质分布特征的重要因素。肖颖和杨继松^[23]研究表明,滨海湿地土壤盐分主要通过影响微生物的活性,从而影响土壤有机质的分解。通常,在低盐浓度下,微生物胞外酶活性随盐浓度升高而升高,从而促进有机碳的分解;而在高盐浓度下,土壤微生物由于胞外渗透式降低而影响其活性,最终导致对有机碳的分解利用能力降低^[24-25]。本研究中,滨海湿地属于盐碱地,土壤盐分高,影响了微生物对有机质的分解利用,因此土壤有机质的积累随盐分的增加而增加。总的来说,土壤因子间的相互关系,表明土壤有机碳的积累和分布特征受土壤环境因子的共同影响。

4 结论

江苏滨海湿地不同植被演替阶段土壤有机碳含量为16.64~23.27 g·kg⁻¹,平均值为19.55 g·kg⁻¹。在生态演替序列中,植物群落类型对土壤有机碳含量的影响显著,表现为:光滩>米草群落>芦苇群落>刺槐群落>碱蓬群落。土壤有机碳含量在各个植被演替阶段的分布,呈现出了随演替进程的推移而逐渐降低。在垂直方向,除光滩土壤有机碳含量随土层深度增加而增加外,其余4个演替阶段土壤有机碳含量分布均表现为0~10 cm土层最高。土壤有机碳含量与土壤容重具有极显著的负相关关系,而与土壤C/N和盐分分别呈极显著和显著的正相关关系。滨海湿地不同植被演替阶段对土壤有机碳的影响主要是通过土壤的物理、化学以及微生物性质共同影响有机质的含量和分布。

参考文献:

- [1] 廖小娟,何东进,王韧,等. 闽东滨海湿地土壤有机碳含量分布格局[J]. 湿地科学, 2013, 11(2): 192-197.
- [2] MITSCH W J, BERNAL B, NAHLIK A M, et al. Wetlands, carbon, and climate change [J]. *Landscape Ecol*, 2013, 28(4): 583-597
- [3] WESTON N B, NEUBAUER S C, VELINSKY D J, et al. Net ecosystem carbon exchange and the greenhouse gas balance of tidal marshes along an estuarine salinity gradient [J]. *Biogeochemistry*, 2014, 120: 163-189.
- [4] 杨添,戴伟,安晓娟,等. 天然林土壤有机碳及矿化特征研究[J]. 环境科学, 2014, 35(3): 1105-1110.
- [5] 罗勇,王小国,高美荣,等. 川中丘陵典型农田土壤有机碳储量及空间分布特征[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4): 669-675.
- [6] 王维伟,王辉,黄蓉,等. 尕斯库勒湖湿地生态系统土壤有机碳储量和碳密度分布[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 738-744.
- [7] WANG YX, WEI J, JIANG P, et al. Carbon storage and flux for alpine tundra ecosystems in Changbai Mountains, Northeast China [J]. *J Forestry Res*, 2007, 18(2): 109-113.
- [8] 肖焯,黄志刚,武海涛,等. 三江平原不同湿地类型土壤活性有机碳组分及含量差异[J]. 生态学报, 2015, 35(23): 7625-7633.
- [9] 吴琴,尧波,幸瑞新,等. 鄱阳湖典型湿地土壤有机碳分布及影响因子[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2): 313-318.
- [10] HOWE A J, RODRIGUEZ J F, SACO P M, et al. Surface evolution and carbon sequestration in disturbed and undisturbed wetland soils of the Hunter estuary, southeast Australia. [J]. *Estuar Coast Shelf S*, 2009, 84(1): 75-83.
- [11] 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 se-

- questering CO₂[J]. *Front Ecol Environ*, 2011, 9(10): 552-560.
- [12] 张艳楠, 李艳丽, 王磊, 等. 崇明东滩不同演替阶段湿地土壤有机碳汇聚能力的差异性及其微生物机制[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(3): 631-637.
- [13] 曹磊, 宋金明, 李学刚, 等. 中国滨海盐沼湿地碳收支与碳循环过程研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(17): 5141-5152.
- [14] 国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范:LY/T 1721-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] 杨玉梅, 陈亚宁, 李卫红, 等. 伊犁河谷不同植被带下土壤有机碳分布[J]. *地理学报*, 2010, 65(5): 605-612.
- [16] 谷东起, 付军, 闫文文, 等. 盐城滨海湿地退化评估及分区诊断[J]. *湿地科学*, 2012, 10(1): 1-7.
- [17] 邵学新, 杨文英, 吴明, 等. 杭州湾滨海湿地土壤有机碳含量及其分布格局[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 658-664.
- [18] 张文敏, 吴明, 王蒙, 等. 杭州湾湿地不同植被类型下土壤有机碳及其组分分布特征[J]. *土壤学报*, 2014, 51(6): 1351-1360.
- [19] 高建华, 白凤龙, 杨桂山, 等. 苏北潮滩湿地不同生态带碳、氮、磷分布特征[J]. *第四纪研究*, 2007, 27(5): 756-765.
- [20] 訾园园, 郗敏孔, 范龙, 等. 胶州湾滨海湿地土壤有机碳时空分布及储量[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2075-2083.
- [21] 康健, 孟宪法, 许妍妍, 等. 不同植被类型对滨海盐碱土壤有机碳库的影响[J]. *土壤*, 2012, 44(2): 260-266.
- [22] 张文敏. 杭州湾南岸土壤有机碳分布特征及空间异质性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [23] 肖颖, 杨继松. 辽河口滨海湿地土壤有机碳矿化及其与盐分的关系[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(10): 2792-2798.
- [24] WESTON N B, VILE M A, NEUBAUER S C, et al. Accelerated microbial organic matter mineralization following salt-water intrusion into tidal freshwater marsh soils [J]. *Biogeochemistry*, 2011, 102: 135-151.
- [25] MORRISSEY E M, BERRIER D J, NEUBAUER S C, et al. Using microbial communities and extracellular enzymes to link soil organic matter characteristics to greenhouse gas production in a tidal freshwater wetland [J]. *Biogeochemistry*, 2014, 117: 473-490.