

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.008

# 翠亨湿地无瓣海桑人工林土壤有机碳分布特征及与土壤理化指标相关性

徐耀文<sup>1</sup>, 姜仲茂<sup>1</sup>, 武 锋<sup>1</sup>, 杨倩梨<sup>2</sup>, 廖宝文<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中山翠亨新区公共建设局, 广东 中山 528400)

**摘要:** [目的] 通过对比不同潮位带无瓣海桑人工林土壤有机碳的含量和分布规律, 探讨与无瓣海桑人工林土壤有机碳分布有关的主要土壤理化性质指标的相关关系。[方法] 以中山翠亨国家湿地公园无瓣海桑人工林为例, 选择高潮带和中潮带无瓣海桑人工林以及低潮带光滩区域, 测定土壤有机碳含量及主要土壤理化指标, 并计算土壤有机碳密度, 再进一步分析其与土壤理化指标的相关性。[结果] 研究表明: 在垂直方向上, 土壤有机碳平均含量和平均密度均表现出显著差异, 从大到小依次为: 高潮带>中潮带>低潮带; 其中, 在高潮带, 土壤有机碳含量最大值出现在 0~20 cm 土层, 有机碳密度最大值出现在 20~40 cm 土层。土壤有机碳含量与含盐量显著负相关, 与土壤全氮、全磷极显著正相关, 与土壤 pH 值极显著负相关。[结论] 高潮带无瓣海桑人工林土壤有机碳的密度和含量均高于中潮带和低潮带; 土壤全氮、全磷含量、pH 值与土壤有机碳含量关系最密切, 这些指标可以用来预测无瓣海桑人工林的土壤有机碳分布。

**关键词:** 无瓣海桑人工林; 土壤有机碳; 土壤理化性质; 相关分析

**中图分类号:** S718.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)01-0062-07

红树林是生长在热带、亚热带的木本群落<sup>[1]</sup>, 是国际上生物多样性保护和湿地生态保护的重要对象, 近年来已成为国际上普遍关注的资源环境热点问题之一<sup>[2]</sup>。由于全球变暖的加剧, 红树林的固碳能力得到了大量关注<sup>[3]</sup>, 研究表明, 红树林生态系统是滨海湿地生态系统中碳密度最高的生态系统<sup>[4]</sup>。红树林土壤有机碳是红树林生态系统碳库的重要组成部分, 与此同时, 土壤有机碳的影响因素也得到了大量的关注。土壤有机碳是植物枯枝落叶、动物和微生物分泌物等的产物, 处于不断累积和消耗的动态平衡中。关于红树林土壤有机碳的迁移、转化、固定机制等方面的研究较多<sup>[5-9]</sup>, 但关于土壤有机碳的调查深度却不尽相同, 有 30、50、100、120 cm 等。一般认为, 土壤有机碳分布随着土层深度的增加而逐渐降低, 但表层土壤有机碳不稳定且易受其他因素的干扰, 下层土壤有机碳分布较稳定。中国关于红树林土壤有机碳分布及影

响因素的研究较多, 而关于人工引种的无瓣海桑林土壤有机碳分布规律及土壤因素的研究却鲜有报道。有些学者分析了其他红树林土壤有机碳含量与土壤 pH 值、盐度、氮磷的关系, 如赵泽阳等<sup>[10]</sup> 调查海南岛北部地区红树林湿地土壤发现, 土壤有机碳含量与砂粒含量和 pH 值呈显著负相关, 与黏粒和粉粒含量呈显著正相关; 但人工引种的无瓣海桑林土壤有机碳分布是否和其他红树林土壤有机碳有相似的分布规律是一个值得研究的问题。

研究无瓣海桑 (*Sonneratia apetala* Buch.-Ham.) 人工林土壤有机碳的分布规律及影响因素, 对合理评估无瓣海桑人工林的生态价值, 完善无瓣海桑人工林的保护制度, 推进人工红树林的恢复有着重要的现实意义。本文以广东中山翠亨国家湿地公园人工引种的无瓣海桑林为研究对象, 参考最新的滨海生态系统土壤碳库的野外采样标准<sup>[11]</sup>, 测定不同潮位带 0~100 cm 层土壤有机碳含量及其

收稿日期: 2019-07-10 修回日期: 2019-10-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41876094; 41676080); 中山翠亨国家湿地公园红树林固碳效益项目

\* 通讯作者: 廖宝文, 研究员, 博士, 博士研究生导师. 研究方向: 红树林恢复. E-mail: baowenliao@caf.ac.cn

他土壤理化指标数据, 通过分析不同潮位带土壤有机碳分布规律和各种土壤理化指标之间的相关关系, 为进一步研究无瓣海桑人工林碳循环和有机碳储量提供依据。

## 1 研究区概况

本研究区位于广东省中山市翠亨国家湿地公园内(113°9'2"~113°46'E, 22°11'12"~22°46'35"N), 该地处于珠江横门水道的咸淡交汇处, 是珠江流域河口湿地生态系统的典型代表。中山翠亨国家湿地公园总面积为 623.6 hm<sup>2</sup>, 无瓣海桑人工林湿地面积 393.44 hm<sup>2</sup>, 湿地率达到 63.09%。该湿地公园海域属珠江口, 潮汐属不正规半日潮。

翠亨国家湿地公园内地貌类型属低丘、台地、浅海等, 具有明显的垂直地带性, 即从浅海沉积的滩涂、泥沼→水道或旱地土壤→坡地赤红壤; 或从浅海沉积的滩涂、泥沼→滨海砂土→坡地赤红壤。滩涂是湿地公园内分布最广的土类, 此土壤属浅海沉积的黑色黏质盐土(滩涂), 由于受海潮、海水

生物和河流带来有机质的作用, 土壤肥力高, 有利于红树林植物生长发育。研究区内红树林植被呈带状分布于水道两侧堤岸外围的潮汐带, 种类组成单纯, 结构较简单, 主要以无瓣海桑组成的单优人工群落, 林下有老鼠筋(*Acanthus ilicifolius* L.), 三叶鱼藤(*Derris elliptica* Benth.)等。

在湿地公园内, 于 2018 年 6 月选择人为干扰少、代表性强, 2005 年营造的无瓣海桑林作为研究对象, 以潮位因素作为分类依据, 分别在不同地点选取高潮带、中潮带和低潮带(光滩)各 3 个小区, 每个小区 3 个 10 m×10 m 的重复样地。3 种潮位带样地情况见表 1, 其中, 高潮带位于潮间带的最上部, 上界为大潮高潮线, 下界是只有在大潮时才被海水淹没的小潮高潮线; 中潮带是上界为小潮高潮线, 下界是小潮低潮线, 为典型的潮间带地区; 低潮带是上界为小潮低潮线, 下界是大潮低潮线, 大部分时间浸在水里, 只有在大潮落潮的短时间内才露出水面。根据研究区的实际情况, 同一区域 3 种潮位带之间的采样距离间隔 100 m 左右。

表 1 调查样地基本情况

Table 1 General conditions of sampled plots

样地 Sample plot	主要树种 Chief species	栽种时间 Planting time/a	土壤类型 Soil type	现存密度 Existing density/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均树高 Average tree height/m	平均胸径 Mean DBH/cm
低潮带(光滩)Low tide zone	\	\	\	\	\	\
中潮带Middle tide zone	无瓣海桑	2005	盐渍沼泽土	约1 200	9.04±0.29	13.92±0.51
高潮带High tide zone				约1 400	11.33±0.33	18.60±0.68

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

在每个重复样地内随机选取立地条件相同的 3 个地点采集土样。土壤样品采集深度为 100 cm, 每个取样点用直径 5 cm 的土钻取 0~100 cm 深的土柱, 并按 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 的深度将土柱分为 5 层, 将同一地点的 3 个重复土柱混合, 带回实验室自然风干, 去除根系, 石粒等杂质。研磨, 过 100 目筛。在分土层的同时, 另外取土壤样品, 称质量, 在 105℃ 烘干至恒质量, 用于计算土壤密度和含水量。测定土壤 pH 值和有机碳、全氮、全磷、盐度等含量, 测定的依据分别是 LY/T1239-1999、LY/T1237-1999、LY/T1228-1999、LY/T1232-1999、LY/T1251-1999。

### 2.2 实验数据处理

土壤有机碳(SOC)密度指一定深度土层中单

位面积中土壤有机碳的储存量<sup>[11]</sup>, 其计算公式为:

$$SOCD_K = \frac{C_K \times D_K \times E_K \times (1 - G_K)}{100} \quad (1)$$

式中:  $SOCD_K$ —第  $k$  层 SOC 密度 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ );  $K$ —土壤层次;  $C_k$ —第  $k$  层 SOC 含量 ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-2}$ );  $D_k$ —第  $k$  层土壤密度 ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $E_k$ —第  $k$  层土壤厚度 (cm);  $G_k$ —第  $k$  层土壤中直径 > 2 mm 石砾所占体积百分比 (%) (国家林业局, 2011)。实验数据的处理和表格的绘制采用 Excel 2013, 数据的显著性、回归性以及相关性分析采用 IBM 公司的 SPSS 23.0。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同潮位带土壤有机碳的垂直分布特征

不同潮位带土壤有机碳含量的垂直分布特征见图 1, 再结合土壤含水量的分布特征计算得到土壤

有机碳密度的分布特征(图2)。在高潮带,土壤有机碳含量的变化范围为1.09%~2.73%,土壤有机碳密度的变化范围为24.98~42.71 t·hm<sup>-2</sup>。在中潮带,土壤有机碳含量和有机碳密度随土壤深度的增加变化相对不明显,变化范围分别为1.23%~1.45%和24.19~29.41 t·hm<sup>-2</sup>;低潮带(光滩)土壤有机碳含量和有机碳密度的变化范围分别为1.30%~1.38%和22.26~28.88 t·hm<sup>-2</sup>,没有明显的变化趋势。高潮带0~80 cm土壤有机碳含量和密度明显高于中潮带和低潮带,一方面是由于高潮带受到海水的冲刷较中潮带和低潮带少,林下的枯枝落叶更易停留分解,对土壤有机碳的输入也越多<sup>[12]</sup>;另一方面高潮带的无瓣海桑的密度和胸径树高均大于中潮带,而低潮带没有树木生长(表1),高潮带高的生物量为土壤有机碳提供了更高的输入源。因此,高潮带无瓣海桑人工林土壤有机碳含量及密度较中潮带和低潮带(光滩)高。

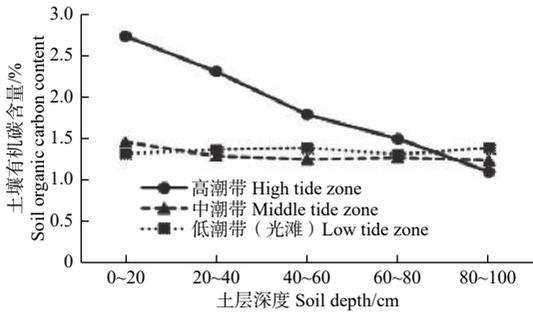


图1 不同潮位带土壤有机碳含量垂直分布特征

Fig. 1 Vertical distribution characteristics of soil organic carbon content in different tidal zones

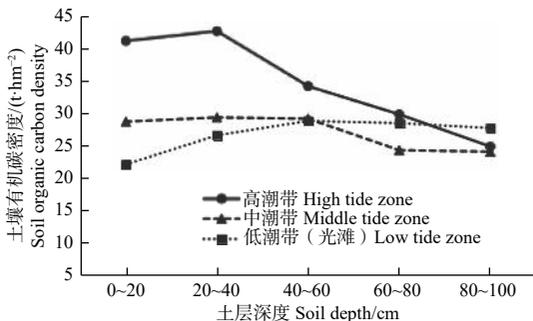


图2 不同潮位带土壤有机碳密度垂直分布特征

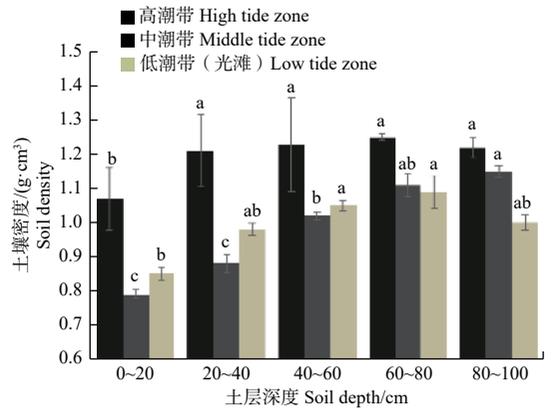
Fig. 2 Vertical distribution characteristics of soil organic carbon density in different tidal zones

图1、2表明:在高潮位,土壤表层(0~20、20~40 cm)有机碳含量和密度最高,这是因为在高潮带,植物群落已经形成且生长稳定,林下灌木和草本植物丰富,乔木的枯枝落叶和林下植被为土壤有机碳提供了丰富的来源,增加了土壤有机碳的

表聚力<sup>[13]</sup>。由于高潮带丰富植物群落的存在,在一定程度上改变了潮汐海岸带的地形,更有利于高潮带截获海水冲刷进来的营养物质,因此,在0~20、20~40 cm土层中土壤有机碳是整个土壤剖面含量最高的。

### 3.2 不同潮位带土壤物理性质的垂直分布特征

3.2.1 土壤密度的垂直分布特征 图3表明:在高潮带,其土壤密度的变化范围为1.07~1.22 g·cm<sup>-3</sup>,平均为1.20 g·cm<sup>-3</sup>,但在20~100 cm土层没有显著增加;而中潮带和低潮带土壤密度在0~100 cm剖面上的平均土壤密度均低于高潮带,且平均密度相同,均为0.99 g·cm<sup>-3</sup>;但3种潮位带土壤密度的共同点是表层(0~20 cm)土壤密度均为整个土层的最低值。土壤密度是土壤含水量的间接体现,土壤质地、结构和所处的环境共同决定了土壤的密度<sup>[13]</sup>。土壤中增加的物质主要来自于植物枯枝落叶及根系有机质和半有机质等分解固定的结果<sup>[14]</sup>。



注:图中不同小写字母表示同一潮位带不同土层之间的比较,相同小写字母表示差异不显著(Duncan's法,  $P>0.05$ );下同。

Note: The different letters in the figure are the comparison between different soil layers in the same tidal zone, the difference is not significant if there are the same lowercase letters (Duncan's method,  $P>0.05$ ); The same below.

图3 不同潮位带土壤密度的垂直分布特征

Fig. 3 Vertical distribution characteristics of soil density in different tidal zones

3.2.2 土壤含盐量的垂直分布特征 图4表明:在3种潮位带中,在0~100 cm土层,土壤含盐量大部分呈先增再降低的变化趋势,但平均含盐量各不相同,从小到大依次为:高潮带(2.11 g·kg<sup>-1</sup>)<中潮带(2.57 g·kg<sup>-1</sup>)<低潮带(2.89 g·kg<sup>-1</sup>),其中,3种潮位带土壤含盐量的最大值大部分出现在40~60 cm土层。土壤含盐量是影响红树林有机碳储量的主要影响因子<sup>[15]</sup>,土壤盐度越大,会造成土壤紧实度越高,对有机碳的固定也就越弱。所以,高盐度地区不利于红树林的生长进而影响土壤有机

碳的累积<sup>[16-17]</sup>。叶君等<sup>[18]</sup>通过在长江口研究不同盐度下碳的分布和来源, 得出不同形态的碳均与盐度存在负相关的结论, 与本研究结果一致。

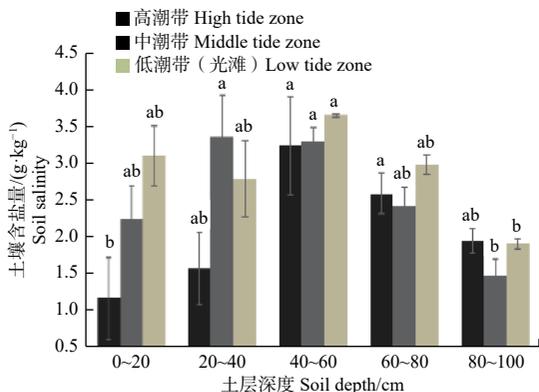


图 4 不同潮位带土壤含盐量的垂直分布特征

Fig. 4 Vertical distribution characteristics of soil salinity in different tidal zones

### 3.3 不同潮位带土壤化学性质的垂直分布特征

3.3.1 土壤 pH 值的垂直分布特征 在本研究中, 3 种潮位带土壤在各个土层中的 pH 值均低于 8.0, 且随着潮位的增高土壤剖面平均 pH 值逐渐降低, 依次为: 低潮带 (7.82) > 中潮带 (7.35) > 高潮带 (6.92) (图 5)。3 种潮位带均表现出表层土壤 pH 值最低, 且 pH 最高值出现在土壤中下层的特点。周慧杰等<sup>[19]</sup>通过对广西钦州湾红树林研究也得到相同的结果。

3.3.2 土壤全氮含量的垂直分布特征 图 6 表明: 高潮带土壤全氮在土壤剖面上总的变化趋势是随着土层深度的增加, 土壤全氮含量逐渐降低, 变化范围为 0.83 ~ 1.93 g·kg<sup>-1</sup>, 平均值为 1.30 g·kg<sup>-1</sup>; 中潮带土壤全氮整个土层剖面平均为 0.98 g·kg<sup>-1</sup>; 最高值出现在 80 ~ 100 cm 土层, 含量为 1.06 g·kg<sup>-1</sup>; 低潮带土壤全氮的最高值出现在表层 0 ~ 20 cm 土层, 含量为 1.15 g·kg<sup>-1</sup>。

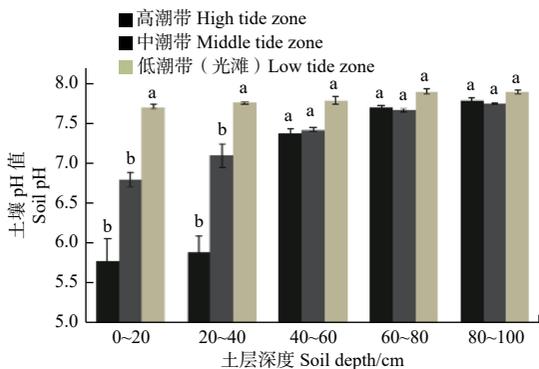


图 5 不同潮位带土壤 pH 值的垂直分布特征

Fig. 5 Vertical distribution characteristics of soil pH values in different tidal zones

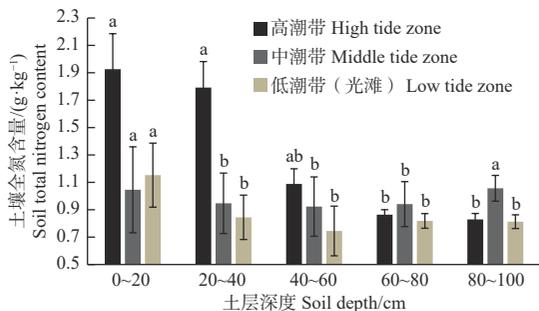


图 6 不同潮位带土壤全氮的垂直分布特征

Fig. 6 Vertical distribution characteristics of soil total nitrogen in different tidal zones

3.3.3 土壤全磷含量的垂直分布特征 图 7 表明: 在高潮带, 随着土层深度的增加, 全磷含量逐渐降低, 最大含量为 1.02 g·kg<sup>-1</sup>; 中潮带, 全磷含量最高值出现在 20 ~ 40 cm 土层, 最低值出现在 60 ~ 80 cm 土层, 且各土层间没有明显的规律性; 低潮带, 全磷含量最高值出现在 0 ~ 20 cm 土层, 最低值出现在 20 ~ 40 cm 土层, 平均含量为 0.68 g·kg<sup>-1</sup>。

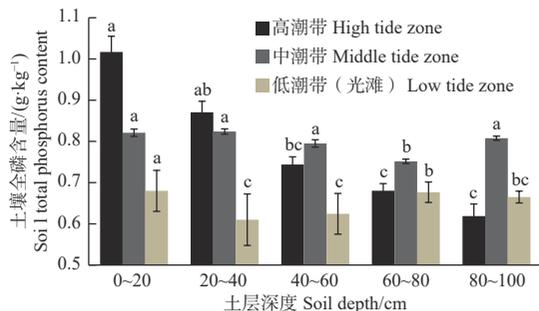


图 7 不同潮位带土壤全磷的垂直分布特征

Fig. 7 Vertical distribution characteristics of total phosphorus in soil at different tide levels

### 3.4 土壤理化性质与土壤有机碳的相关性

将 3 种潮位带土壤性质综合, 进行双变量分析, 得表 2。表 2 表明: 土壤有机碳和土壤 pH 值极显著负相关; 土壤全氮含量是各项指标中和有机碳含量相关性最显著的, 土壤中氮的来源和有机碳一样, 主要来自与腐殖质的分解, 因此, 在相关性上表现出极显著正相关性 ( $P < 0.01$ ); 磷元素和氮、有机碳一样, 其主要来源是植物枯枝落叶的分解, 土壤有机碳含量和全磷含量之间呈极显著正相关, 相关系数为 0.488; 土壤有机碳和含盐量之间存在着显著的负相关关系, 皮尔逊相关系数为 -0.328; 土壤有机碳含量和密度之间无相关性。

表2 土壤有机碳与土壤理化性质的相关性

Table 2 correlation between soil organic carbon and soil physical and chemical properties

因子 Factor	土壤有机碳 Soil organic carbon	pH值 pH value	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	含盐量 Total salinity	密度 Density
土壤有机碳Soil organic carbon	1					
pH值pH value	-0.583**	1				
全氮Total nitrogen	0.976**	-0.618**	1			
全磷Total phosphorus	0.488**	-0.450**	0.502**	1		
含盐量Total salinity	-0.328*	0.286	-0.331**	-0.122	1	
密度Density	0.165	0.084	0.940	-0.126	-0.511**	1

注: \*代表显著相关, \*\*代表极显著相关。Notes: \* represents significant correlation, \*\*represents extremely significant correlation.

## 4 讨论

### 4.1 中山翠亨无瓣海桑人工林土壤有机碳分布特征

总体来看, 中山翠亨无瓣海桑人工林土壤有机碳含量和有机碳储量都远高于我国其他农田生态系[20], 而与其他相近地区陆地森林生态系统相似[21-22]。与其他天然红树林生态系统相比, 无论是有机碳含量还是有机碳储量均较低[19,23]。红树林生态系统生产力高, 腐殖质等有机物分解回归土壤的比例也大, 这都是红树林土壤有机碳含量高的原因。由于中山翠亨红树林属人工林, 乔木树种均为无瓣海桑, 其生态系统群落结构相对其他天然红树林较简单, 生产力水平也相对较低, 这是造成无瓣海桑人工林土壤有机碳低于天然红树林的主要原因。有研究表明, 红树林土壤有机碳和树龄、潮位因素、树种等都有密切的关系[24], 这些因素对于无瓣海桑人工林土壤有机碳的影响都需要进一步的深入研究。中山翠亨无瓣海桑人工林土壤有机碳的垂直分布和潮位有密切关系, 在高潮带, 土壤有机碳含量和密度均随着土层深度的增加而不断降低, 而在中潮带和低潮带, 土壤有机碳含量和密度均在一定范围内波动, 且变化幅度不大。土壤有机碳的垂直分布和林下枯落物碳源的输入、立地环境、潮汐等密切相关, 这些复杂因子的存在是土壤有机碳垂直分布特征在不同潮位带出现差异的主要原因。

### 4.2 中山翠亨无瓣海桑人工林土壤有机碳含量和土壤全氮、全磷、pH 值存在极显著关系

在本研究中, 无瓣海桑人工林土壤有机碳和全氮、全磷均呈极显著正相关。在其他天然红树林土壤理化性质的研究中, 也均发现土壤有机碳和土壤全氮有极显著正相关, 但却与土壤全磷呈极显著负相关[19]; 而袁彦婷等[25]对广东、海南、广西的红

树林土壤有机碳和全氮、全磷关系的研究和本研究的结果一致。土壤中有有机碳和全氮的来源基本一致, 均来自植物枯枝落叶的分解[26], 而土壤有机碳和全磷的关系存在着一定的争议, 主要是因为土壤中全磷含量还受到土壤质地、机械组成等因素的强烈影响[27], 如有研究表明, 粘粒土壤对颗粒态磷的吸附作用极强[19], 这些都是造成土壤全磷含量和土壤有机碳含量关系在不同地区存在差异的原因。

中山翠亨无瓣海桑人工林土壤有机碳含量和土壤 pH 值间存在极显著负相关, 在森林生态系统和天然红树林生态系统中也同样存在[20,25]。土壤 pH 值差异直接影响土壤微生物生长的环境, 不同的 pH 值会导致不同的微生物种类、数量以及活性。一般认为, 强酸性和强碱性的环境都不利于微生物的生长, 所以, 在中性偏弱酸的环境下, 土壤 pH 值越低, 越有利于有机物质的分解, 土壤有机碳的含量也就越高, 即土壤有机碳含量和土壤 pH 值表现出负相关关系。

需要指出的是, 无瓣海桑是作为人工恢复红树林过程中的替代树种, 其只作为人工恢复红树林过程中的一部分, 最终的恢复结果是乡土红树植物的定居, 且人工无瓣海桑在引种的过程中存在生物入侵风险以及后代再生困难等问题[28]。对红树林的恢复最好的方式是“引进种 + 乡土种”, 所以, 在人工无瓣海桑林的研究过程中应逐渐加入“引进种 + 乡土种”这一配植模式。本文的研究主要聚焦于人工无瓣海桑林, 所以, 在后续的研究中应加强这一方面的跟踪调查, 以期为红树林恢复提供更加实际科学的基础素材, 这些都是值得进一步研究的课题。

## 5 结论

潮位因素对无瓣海桑人工林土壤有机碳分布影响明显, 高潮带无论是土壤有机碳含量还是有机碳储量均高于中潮带和低潮带。通过对土壤有机碳含量和各种土壤理化指标的相关性分析, 发现土壤有机碳的含量和土壤全磷、全氮、pH 值的关系最密切, 这些指标可以用来预测人工无瓣海桑林的土壤有机碳分布。

## 参考文献:

- [1] 张怀清, 赵峰, 崔丽娟. 红树林湿地恢复遥感动态监测技术研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(S1): 32-36.
- [2] 林鹏. 中国红树林研究进展[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(2): 592-603.
- [3] 詹绍芬. 海南东寨港不同红树林群落土壤环境有机碳的垂直分布研究[D]. 海南: 海南大学, 2015.
- [4] Daniel M. Alongi, Sandip K. Mukhopadhyay. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2015, 213(15): 266-273.
- [5] Adame M F, Kauffman J B, Medina L, *et al.* Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean[J]. *PLoS one*, 2013, 8(2): e56569.
- [6] Donato D C, Kauffman J B, Murdiyarso D, *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the Tropics[J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(5): 293-297.
- [7] Liu H, Hai R, Hui D, *et al.* Carbon stocks and potential carbon storage in the mangrove forest of China[J]. *Journal of Environment Management*, 2013, 133(3): 86-93.
- [8] 王秀君, 章海波, 韩广轩. 中国海岸带及近海碳循环与蓝碳潜力[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1218-1225.
- [9] 唐剑武, 叶属峰, 陈雪初, 等. 海岸带蓝碳的科学概念、研究方法以及在生态恢复中的应用[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(6): 661-670.
- [10] 赵泽阳, 赵志忠, 付博, 等. 海南岛北部地区红树林湿地土壤有机碳分布规律及影响因素[J]. 广东农业科学, 2018, 45(12): 49-55.
- [11] Jwnnifer Howard, Sarah Hoyt, Kirsten Isensee著. 滨海蓝碳[M]. 陈鹭真, 卢伟志, 林光辉译. 厦门: 厦门大学出版社, 2018.
- [12] 陈瑶瑶, 张雅松, 娄铎, 等. 广东英罗湾不同潮位红树林-滩涂系统碳密度差异[J]. 生态环境学报, 2019, 28(6): 1134-1140.
- [13] 董秀群, 王百田, 武中鹏, 等. 晋西黄土区三种林地土壤养分随林分生长的变化[J]. 林业科学研究, 2018, 31(02): 69-76.
- [14] 李威威, 何东进, 严思晓, 等. 互花米草入侵对闽东滨海湿地红树林土壤物理性质的影响分析[J]. 林业资源管理, 2018(2): 151-156.
- [15] Twilley R R, Chen R H, Hargis T. Carbon sinks in mangrove forests and their implications to the carbon budget of tropical coastal ecosystems[J]. *Water, Air&Soil Pollution*, 1992, 64(1-2): 265-288.
- [16] Mitra A, Sengupta K. Standing biomass and carbon storage of above-ground structures in dominant mangrove trees in the Sundarbans[J]. *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(7): 1325-1335.
- [17] 姜俊彦, 黄星, 李秀珍, 等. 潮滩湿地土壤有机碳储量及其与土壤理化因子的关系——以崇明东滩为例[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(4): 540-547.
- [18] 叶君, 姚鹏, 徐亚宏, 等. 长江口盐度梯度下不同形态碳的分布、来源与混合行为[J]. 海洋学报, 2019, 41(4): 15-26.
- [19] 周慧杰, 莫莉萍, 刘云东, 等. 广西钦州湾红树林湿地土壤有机碳密度与土壤理化性质相关性分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(17): 120-123, 240.
- [20] 杨思存, 王成宝, 霍琳, 等. 不同耕作措施对甘肃引黄灌区耕地土壤有机碳的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 114-121.
- [21] 赵栋, 权丽, 屠彩芸. 拱坝河流域5种森林类型土壤有机碳的分布特征[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 54-60.
- [22] 文伟, 彭友贵, 谭一凡. 深圳市森林土壤主要类型有机碳分布特征[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2018, 38(6): 106-113.
- [23] 郭志华, 张莉, 郭彦茹, 等. 海南清澜港红树林湿地土壤有机碳分布及其与pH的关系[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 8-15.
- [24] 高天伦, 管伟, 毛静, 等. 广东省雷州附城主要红树林群落碳储量及其影响因子[J]. 生态环境学报, 2017, 26(6): 985-990.
- [25] 袁彦婷, 丁振华, 张玲. 土地利用方式改变对红树林沉积物中营养元素含量的影响[J]. 地球与环境, 2012, 40(3): 385-390.
- [26] 马和平, 郭其强, 刘合满, 等. 西藏色季拉山西坡不同海拔梯度表层土壤碳氮变化特性的研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(2): 240-246.
- [27] 王丹, 王兵, 戴伟, 等. 不同发育阶段杉木林土壤有机碳变化特征及影响因素[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 667-671.
- [28] 黄晓敏, 卢昌义. 无瓣海桑人工混交林结构及幼苗天然更新能力[J]. 福建林业科技, 2019, 46(1): 1-5, 61.

# Soil Organic Carbon Distribution and Its Correlation with Soil Physical and Chemical Indexes of *Sonneratia apetala* Plantation at Cuiheng Wetland

XU Yao-wen<sup>1</sup>, JIANG Zhong-mao<sup>1</sup>, WU Feng<sup>1</sup>, YANG Qian-li<sup>2</sup>, LIAO Bao-wen<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Zhongshan Cuiheng New District Public Construction Bureau, Zhongshan 528400, Guangdong, China)

**Abstract:** [Objective] By comparing the content and distribution rules of soil organic carbon in *Sonneratia apetala* plantation at different tidal levels to study the correlation between the main soil physical and chemical properties indexes and the distribution of soil organic carbon in *S. apetala*. [Method] Taking the *S. apetala* plantation in Zhongshan Cuiheng Wetland National Park as an example, the soil organic carbon content and the main soil physical and chemical index were measured, the soil organic carbon density was calculated, and its correlation with soil physical and chemical index was analyzed. [Result] The average content and density of soil organic carbon showed significant differences in the vertical direction, which was in the order of high tide zone > middle tide zone > low tide zone. In the high-water zone, the maximum value of soil organic carbon content appeared in the 0-20 cm soil layer, and the maximum value of organic carbon density appeared in the 20-40 cm soil layer. Soil organic carbon content was significantly negatively correlated with soil salt content, extremely positively correlated with the total nitrogen and total phosphorus, and extremely positively correlated with soil pH value. [Conclusion] The density and content of soil organic carbon in *S. apetala* plantation in high tide zone are higher than those in middle tide zone and low tide zone. The soil total nitrogen, total phosphorus and pH value are significantly related to soil organic carbon content, so they can be used to judge the distribution of soil organic carbon in *S. apetala* plantation.

**Keywords:** *Sonneratia apetala* plantation; soil organic carbon; soil physical and chemical properties; correlation analysis

(责任编辑: 徐玉秀)