

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20190629001

http://www.yykxjz.cn/

陶玉华, 黄星, 王薛平, 钟秋平, 亢振军. 广西仙岛公园和沙井红树林土壤碳氮储量的空间分布. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 38–45

Tao YH, Huang X, Wang XP, Zhong QP, Kang ZJ. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen stocks in Mangrove Wetland of Xiandao Park and Shajing in Guangxi. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 38–45

# 广西仙岛公园和沙井红树林 土壤碳氮储量的空间分布\*

陶玉华<sup>①</sup> 黄星 王薛平 钟秋平 亢振军

(北部湾大学 广西北部湾海洋灾害研究重点实验室 广西北部湾海岸科学与工程实验室 钦州 535011)

**摘要** 通过对广西茅尾海的仙岛公园和沙井红树林土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)含量和空间分布特征,以及碳氮比(C/N)与SOC和TN的相关性研究,结果显示,仙岛公园红树林的SOC和TN的平均含量分别为24.5和1.06 g/kg,沙井红树林的SOC和TN平均含量分别为11.9和0.71 g/kg。仙岛公园和沙井红树林的SOC储量分别为181.03和92.4 t/hm<sup>2</sup>,存在显著性差异( $P<0.05$ ),仙岛公园和沙井红树林的TN储量分别为8.23和5.12 t/hm<sup>2</sup>,SOC和TN储量垂直分布,随土层深度的增加呈先减少后增加的趋势(沙井TN除外)。沙井红树林的SOC与TN储量之间相关性极显著( $P<0.01$ ,  $R=0.947$ ),仙岛公园红树林的SOC与TN储量之间相关系数为0.407。这2个研究地点的C/N值为16.77~24.39,其有机质主要来源于陆地,仙岛公园红树林的C/N值与SOC储量存在显著的相关性( $P<0.01$ ),沙井红树林的C/N值与TN储量呈显著负相关( $P<0.05$ )。仙岛公园红树林的SOC储量高于我国森林土壤平均碳储量,显示了红树林土壤较高的固碳能力。

**关键词** 仙岛公园; 沙井; 红树林; 碳氮储量; 空间分布

中图分类号 S154.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2020)05-0005-08

红树林是热带、亚热带海岸重要的湿地生态系统,是全球生产力最高的区域之一,具有极其重要的生态和环境价值(高天伦等, 2017; 许永辉等, 2018)。碳和氮是海洋初级生产力的关键营养元素(张雪等, 2018),土壤有机碳(Soil organic carbon, SOC)和全氮(Total nitrogen, TN)是评价土壤肥力的重要指标,直接影响湿地生态系统的生产力,对生态系统结构和功能的形成具有重要作用。土壤的碳氮比(C/N)是反映土壤质量变化的敏感指标,也是反映土壤微生物群落结构

的重要标志,印证着区域生态系统的演变规律(肖玉等, 2003)。人类活动对红树林产生了极大的干扰,从填海造地等土地利用变化到过度挖掘、捕获海洋经济动物对红树林的损坏,以及船只出入对红树林的压踩等,都影响了红树林生态系统的物质循环。通过对不同人类活动区域的红树林碳氮储量变化的研究,可为红树林物质循环及其保护提供理论依据。全球气候变化日益受到重视,滨海湿地碳氮储量及其分布特征越来越受到关注(Liu *et al.*, 2007)。国外对红树林生态系

\* 钦州学院高层次人才科研启动项目(2017KYQD203)和广西北部湾海洋灾害研究重点实验室自主项目(2018TS01)共同资助 [This work was supported by Qinzhou University High-level Scientific Research Foundation for the Introduction of Talent(2017KYQD203), and Guangxi Key Laboratory of Marine Disaster in the Beibu Gulf(2018TS01)].

① 通讯作者: 陶玉华, 教授, E-mail: arlenetao12@aliyun.com

收稿日期: 2019-06-29, 收修改稿日期: 2019-07-16

统碳氮储量研究较多,尤其是集中于有机碳储量的研究(Chen *et al*, 2014; Laanbroek *et al*, 2018; Marchand, 2017; Morimaru *et al*, 2017)。我国关于红树林湿地研究多集中在重金属、微生物和有机碳等方面(罗松英等, 2018; 丁苏丽等, 2018; 胡杰龙等, 2015), 少有同时对其碳库和氮库的研究以及 C/N 与碳、氮相关性的研究, 而且对红树林湿地碳库和氮库的研究多集中在海南、闽江和广东等地, 而对于广西红树林湿地的相关研究不多, 不利于总结规律性的成果。

本研究地点设立在广西北部湾茅尾海红树林保护区。茅尾海红树林是我国面积最大、最典型的岛群红树林和特有的岩滩红树林, 是北部湾最北端的红树林分布区, 植物群落类型为桐花树(*Aegiceras corniculatum*)群落、秋茄(*Kandelia candel*)+桐花树群落、白骨壤(*Avicennia marina*)+桐花树群落和白骨壤群落。仙岛公园是红树林受到较好保护的地点, 而沙井位于渔业区范围内, 受到人为活动影响较大, 研究其土壤有机碳和全氮储量及分布特征, 分析 C/N 与 SOC 和 TN 储量之间的相关性, 试图揭示广西茅尾海红树林湿地 SOC 和 TN 的分布规律, 有助于更好地认识茅尾海红树林湿地的碳汇能力, 为区域性碳氮循环研究和红树林保护提供理论依据, 对理解生物地球化学循环和生态作用具有重要意义。

## 1 地理概貌

茅尾海位于北部湾顶部钦州湾海域, 为半封闭式内海, 连接着钦江和茅岭江, 面积约为 135 km<sup>2</sup>, 处于亚热带, 受热带海洋气候的影响, 季风环流明显,

年均气温为 22°C, 平均年降雨量为 2104.2 mm, 年平均降雨日数为 171 d(刘永泉等, 2009)。茅尾海海底底质以淤泥、淤泥质土以及粗、中、细和粉砂为主。沿岸红树林面积约为 2302 km<sup>2</sup>, 主要为木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄、桐花树、海漆(*Excoecaria agallocha*)、白骨壤、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)、银叶树(*Heritiera littoralis*)、黄槿(*Hibiscus tiliaceus*)、露兜树(*Pandanus tectorius*)、小花老鼠簕(*Acanthus ebracteatus*)和老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)。茅尾海红树林自然保护区于 2005 年成立, 所在海域为不规则全日潮, 平均潮差为 2.52 m(常涛等, 2014)。选取茅尾海的仙岛公园和沙井作为研究地点, 与保护较好的仙岛公园相比, 沙井是钦州养殖大蚝的主要产区, 受人为活动影响稍大。研究区域红树林种类包括桐花树、秋茄、白骨壤和少量的无瓣海桑及半红树植物老鼠簕, 通过样方调查测定仙岛公园红树林平均胸径为 4.03 cm, 树高为 3.03 m, 沙井红树林平均胸径为 2.4 cm, 树高为 2.1 m。

## 2 研究方法

### 2.1 采集土样

分别在仙岛公园和沙井红树林区域设立 8 个 5 m×5 m 的样方, 在每个样方内随机选取 3 个土壤采样点, 土壤剖面深度分别为 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm, 采用 100 cm<sup>3</sup> 环刀取样, 并测定土壤容重。将土壤样品放入聚乙烯自封袋后运回实验室, 经过自然风干、过筛和去除凋落物、石砾和根系(杂物)后, 用于 SOC 含量和全氮含量的测定。

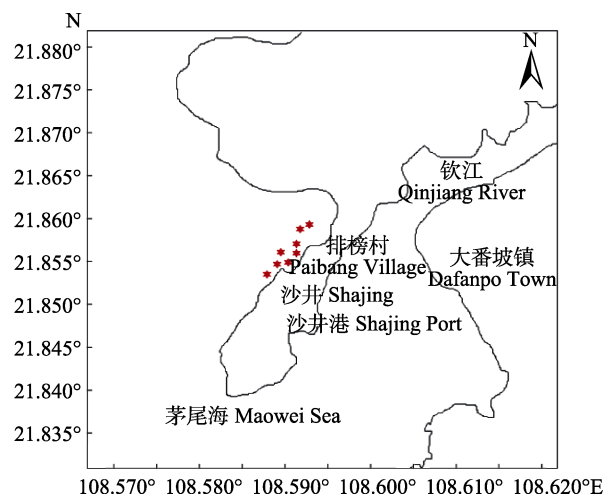
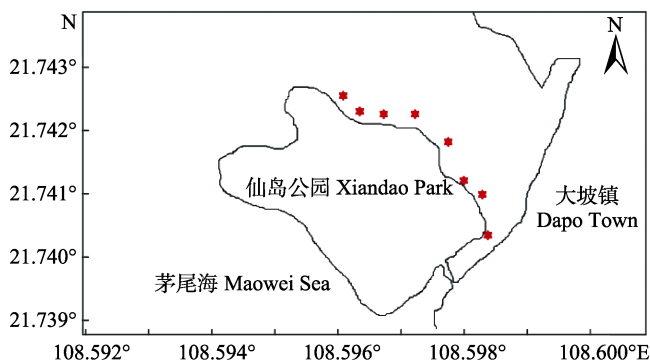


图 1 仙岛公园和沙井采样点  
Fig.1 Sample sites in Xiandao Park and Shajing

**2.1.1 SOC 和 TN 的测定** SOC 含量采用重铬酸钾外加热法测定, 土壤 TN 含量采用凯氏定氮法测定。

**2.1.2 土壤 SOC 储量和 TN 储量的计算** 土壤容重的计算公式如下:

$$rs = g \cdot 100 / v \cdot (100 + W)$$

式中,  $rs$  为土壤容重( $g/cm^3$ ),  $g$  为环刀土鲜重( $g$ ),  $v$  为环刀容积( $100 cm^3$ ),  $W$  为样品含水百分数(不带%)

SOC 储量和 TN 储量计算公式如下:

$$SOC_S = \sum_i^n D_i \times M_i \times H_i \times 0.1$$

$$STN_S = \sum_i^n D_i \times N_i \times H_i \times 0.1$$

式中,  $SOC_S$  为一定深度内的 SOC 储量( $t/hm^2$ ),  $STN_S$  为一定深度内土壤 TN 储量( $t/hm^2$ ),  $D_i$  为第  $i$  层土壤容重( $g/cm^3$ ),  $M_i$  为第  $i$  层 SOC 含量( $g/kg$ ),  $N_i$  为第  $i$  层土壤 TN 含量( $g/kg$ ),  $H_i$  为第  $i$  层土壤厚度( $cm$ ),  $n$  为土层数。

## 2.2 统计分析

用 Pearson 相关法和 SPSS 19.0 软件进行统计分析, 比较仙岛公园与沙井红树林湿地 SOC 和 TN 储量的差异, 并分析 C/N 与 SOC 和 TN 储量的相关性。

## 3 结果与分析

### 3.1 仙岛公园和沙井红树林 SOC 和 TN 含量变化

仙岛公园和沙井 SOC 和 TN 含量表现为表聚性特征, 即最高值出现在 0~20 cm。仙岛公园 SOC 含量在 0~60 cm 的范围为 22.4~27.03 g/kg, TN 含量为 1.02~1.1 g/kg。沙井 SOC 含量在 0~60 cm 的范围为 10.5~14.2 g/kg, TN 含量为 0.57~0.79 g/kg。仙岛公园 SOC 和 TN 均高于沙井, 二者 SOC 含量在 0~20 cm 土层没有显著差异, 但在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层中, 二者 SOC 含量均有显著差异。仙岛公园和沙井 TN 含量仅在 40~60 cm 土层中有显著差异。同一研究点不同土层 SOC 和 TN 含量均无显著差异( $P > 0.05$ ) (图 2)。

### 3.2 仙岛公园和沙井红树林 SOC 和 TN 储量的分配

仙岛公园红树林总 SOC 储量和总 TN 储量均大于沙井。仙岛公园红树林在 0~60 cm 土层的 SOC 总储量为 181.03  $t/hm^2$ , 大于沙井 SOC 储量 (92.4  $t/hm^2$ ), 二者存在显著差异。仙岛公园红树林在 20~40 cm 和 40~60 cm 土层的 SOC 均与沙井红树林存在显著性差异。仙岛公

园的 TN 储量 (8.23  $t/hm^2$ ) 大于沙井 (5.12  $t/hm^2$ ), 但差异不显著, 在各土层间无显著差异。仙岛公园和沙井红树林 SOC 储量和 TN 储量在 0~60 cm 的 3 个土层均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。2 个研究地点的 SOC 储量均表现为表聚性。仙岛公园 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 层的 SOC 储量分别占总 SOC 储量的 34.5%、32.1% 和 34.4%, 沙井各层 SOC 储量则为 35.5%、30.2% 和 34.3%。仙岛公园 TN 储量最高值出现在 20~40 cm 土层, 占总 TN 储量的 34.8%。沙井 TN 储量占总储量的 35.3% (表 1)。

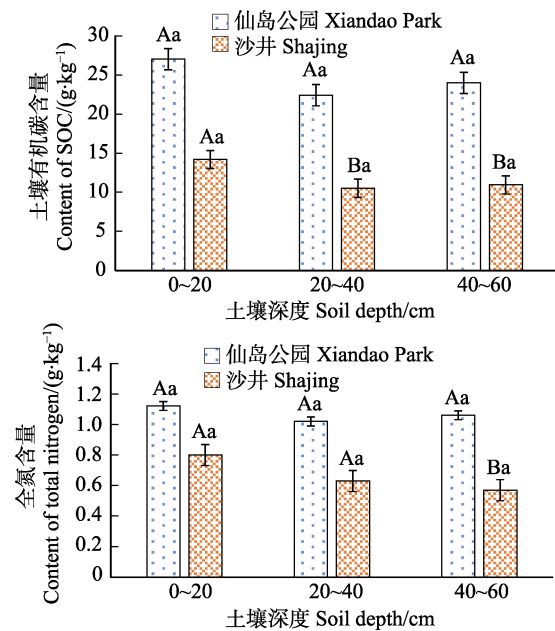


图 2 仙岛公园和沙井土壤有机碳和全氮含量  
Fig.2 Content of soil organic carbon and total nitrogen in Xiandao park and Shajing

不同大写字母表示不同地点在同一土层差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同小写字母表示同一地点不同土层深度差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同

Different capital letters mean significant differences at 0.05 level among different location in same soil layer. Small letters mean significant differences at 0.05 level among the same location in different soil layer, the same as below

### 3.3 C/N 与 SOC 和 TN 的相关性

由表 2 可知, 仙岛公园 C/N 值与 SOC 储量存在显著相关性 ( $P < 0.01$ ,  $R = 0.961$ ), C/N 值与 TN 相关性不显著, SOC 储量与 TN 储量之间相关性不显著。沙井 C/N 值与 SOC 储量无显著相关性, 与 TN 储量显著负相关 ( $P < 0.05$ ,  $R = -0.681$ ), SOC 储量与 TN 储量之间相关性极显著 ( $P < 0.01$ ,  $R = 0.947$ )。

表 1 仙岛公园和沙井 SOC 和 TN 储量  
Tab.1 Storage of soil organic carbon and total nitrogen in Xiandao Park and Shajing

| 处理 Treatment (t/hm <sup>2</sup> ) | 土壤深度 Soil depth (cm) | 仙岛公园 Xiandao Park         | 沙井 Shajing               |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------|
| SOC 储量 Storage of SOC             | 0~20                 | 62.47±13.77 <sup>Aa</sup> | 32.77±6.4 <sup>Ab</sup>  |
|                                   | 20~40                | 58.26±13.97 <sup>Aa</sup> | 27.93±8.99 <sup>Bb</sup> |
|                                   | 40~60                | 60.30±13.55 <sup>Aa</sup> | 31.70±5.35 <sup>Bb</sup> |
| TN 储量 Storage of TN               | 0~20                 | 2.66±0.17 <sup>Aa</sup>   | 1.81±0.57 <sup>Ab</sup>  |
|                                   | 20~40                | 2.86±0.05 <sup>Aa</sup>   | 1.66±0.63 <sup>Ab</sup>  |
|                                   | 40~60                | 2.72±0.25 <sup>Aa</sup>   | 1.65±0.32 <sup>Ab</sup>  |

注: 不同大写字母表示不同地点在同一土层差异显著( $P<0.05$ ), 不同小写字母表示同一地点不同土层差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different capital letters mean significant differences at 0.05 level among different locations in the same soil layer. Small letters mean significant differences at 0.05 level among the same location in different soil layers

表 2 仙岛公园和沙井 SOC、TN 储量与 C/N 的相关性

Tab.2 Correlation coefficients between storage of soil organic carbon, total nitrogen and C/N in Xiandao Park and Shajing

| 相关系数 Correlation      | 仙岛公园 Xiandao Park     |                     |                     | 沙井 Shajing            |                     |                     |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
|                       | SOC 储量 Storage of SOC | TN 储量 Storage of TN | C/N                 | SOC 储量 Storage of SOC | TN 储量 Storage of TN | C/N                 |
| SOC 储量 Storage of SOC | 1                     | 0.407               | 0.961 <sup>**</sup> | 1                     | 0.947 <sup>**</sup> | -0.425              |
| TN 储量 Storage of TN   | 0.407                 | 1                   | 0.141               | 0.947 <sup>**</sup>   | 1                   | -0.681 <sup>*</sup> |
| C/N                   | 0.961 <sup>**</sup>   | 0.141               | 1                   | -0.425                | -0.681 <sup>*</sup> | 1                   |

注: \*: 在 0.05 级别(双尾), 相关性显著; \*\*: 在 0.01 级别(双尾), 相关性显著

Note: \*: The correlation was significant at 0.05 level (double tail); \*\*: The correlation was significant at 0.01 level (double tail)

### 3.4 仙岛公园和沙井土壤 C/N 的变化

仙岛公园和沙井红树林土壤 C/N 值在 0~60 cm 土层的变化范围为 16.77~24.39。仙岛公园红树林土壤 C/N 值均大于沙井, 但差异不显著, 仙岛公园 C/N 最大值出现在 0~20 cm 红树林土层中, 沙井红树林土壤 C/N 最大值出现在 40~60 cm 土层(图 3)。

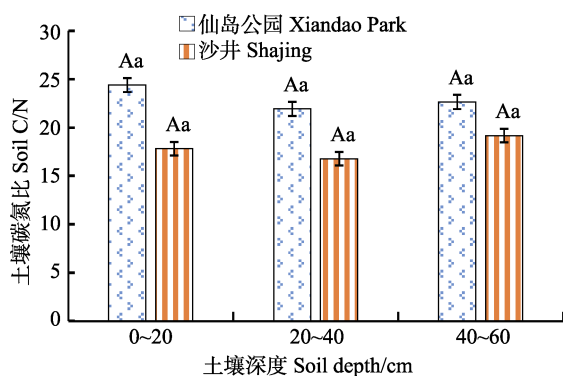


图 3 仙岛公园和沙井 C/N 值的变化

Fig.3 Soil C/N variation in Xiandao Park and Shajing

## 4 讨论

### 4.1 SOC 和 TN 的分布及碳氮相关性

仙岛公园红树林 SOC 和 TN 含量和储量均大于

沙井, 茅尾海红树林湿地是全国天然大蚝的主要繁殖场所之一, 被渔业区所包围, 距离居民区较近, 周边居民的生产生活对红树林产生了一定的影响, 尤其沙井是大蚝人工养殖区, 人为活动较多, 如制作蚝排和蚝桩、拾螺捡贝、挖泥丁和弹涂鱼以及船只出入踏踩红树林, 土壤扰动易造成营养物质的流失, 造成厌氧环境的改变, 导致土壤氮的矿化作用和加快有机碳的分解, 从而使土壤 SOC 和 TN 下降(陈志杰等, 2016; Hanke *et al*, 2013)。相比之下, 仙岛公园保护管理较好, 受人为活动影响较少。沙井红树林大多数为次生林, 较矮小, 挖掘、捕获活动对红树林根系有损害, 危及红树林幼苗和繁殖体库, 使其植物群落更新困难。仙岛公园的红树林长势较好, 树高和胸径明显高于沙井, Tian 等(2010)研究表明, 植物生物量对 SOC 积累起着重要作用, 植物与其土壤养分之间具有互相促进的关系, 高生物量区域的 SOC 和 TN 储量较高。

仙岛公园和沙井 SOC 含量均低于湛江和东寨港红树林(郭志华等, 2014; 许方宏等, 2012)。仙岛公园 SOC 含量高于雷州半岛红树林(杨娟等, 2012)和闽东红树林湿地, 沙井 SOC 平均含量与闽东红树林湿地 SOC 含量相近(廖小娟等, 2013)。除仙岛公园的 TN 储量外, 仙岛公园和沙井红树林 SOC 和 TN 含量和储量表现为表聚性现象, 即最高值出现在 0~20 cm 土

层,与海南红树林 SOC 储量的分布(辛琨等, 2014)及崇明东滩湿地 SOC 和 TN 含量的分布一致(陈怀璞等, 2017)。红树林湿地 SOC 来源有内源性和外源性 2 种输入,内源性主要来源于植物枯落物、根系和其分泌物以及动物残体和排泄物等,经过土壤中微生物的分解作用释放到土壤表层,使得土壤表层的 SOC 量高,加之红树林地处热带和亚热带地区,光照和降水充足,植被丰富,凋落物量大,增加了 SOC 的内源性输入;外源性输入主要来自潮汐、降雨和河水等携带的有机物。在受到来自人类活动影响小的情况下,红树林湿地 SOC 来源主要以内源性输入为主。红树林及其所处的动态环境,在沉积物、植被、间隙水、海水和大气之间存在多个界面的碳氮交换过程,同时受多种理化因子的影响,红树林沉积物有机碳存在很大的不确定性(Kauffman *et al*, 2011; Giri *et al*, 2011)。因此,不同地点、不同群落 SOC 和 TN 含量的变化会存在较大差异。闽江河口区湿地 SOC 含量最高值出现在 0~10 cm 土层(王维奇等, 2012)。海南岛红树林土壤 SOC 含量最高值出现在 20~40 cm(郭志华等, 2014)。海南东寨港秋茄红树林 SOC 含量最高值出现在 40~50 cm(詹绍芬等, 2015)。深圳红树林 SOC 含量最高值却出现在 70 cm 处(乔永民等, 2018)。

与一般陆地森林土壤分布规律不同,2 个研究地点 SOC 和 TN 垂直分布特征总体上表现为,随着土层深度的增加呈先减少后增加的趋势(沙井的 TN 除外),与广西钦州湾混交林红树林湿地 SOC 储量研究结果相近(周慧杰等, 2015)。有研究报道,土壤表层 SOC 和 TN 储量较高是因为植被地上枯落物的输入,深层土壤 SOC 和 TN 储量则主要受植物根系的影响(Yang *et al*, 2015)。红树林根系发达,在土壤 40~60 cm 处还存在大量的细根,细根为土壤提供丰富的碳氮,根系及其活动是土壤深层碳氮的重要来源之一(辛琨等, 2014)。同时,红树林湿地所处的水淹的厌氧环境造成土壤呼吸释放缓慢,有利于深层土壤中氮和有机碳的积累。仙岛公园红树林 SOC 储量(181.03 t/hm<sup>2</sup>)远高于广西主要森林 SOC 储量(124.7 mg/hm<sup>2</sup>)(杜虎等, 2016),高于我国森林 SOC 平均储量(107.8 t/hm<sup>2</sup>)(刘世荣等, 2011),远高于福州和海南滨海人工防护林(尾巨桉、木麻黄、纹荚相思) SOC 储量(葛露露等, 2018; 宿少锋等, 2018),显示了红树林湿地巨大的碳汇能力。

SOC 和 TN 受土壤理化特性、水文气候条件和湿地生物以及人类活动等多因素的影响(张剑等, 2017; 辛琨等, 2014)。讨论 SOC 和 TN 的影响因素需要考虑外界影响因子和土壤本身特性的综合性因素,本研究

未涉及红树林沉积物间隙水以及海水的 SOC 和 TN 的研究,还不能从多个碳交换界面去全面分析与 SOC 和 TN 的关系。

沙井红树林 SOC 与 TN 储量之间相关性极显著( $P<0.01$ ,  $R=0.947$ ),仙岛公园红树林 SOC 与 TN 储量之间相关系数为 0.407,与陈怀璞等(2017)和崔静等(2012)的研究结果相近。陈怀璞等(2017)研究显示,土壤 SOC 与 TN 储量间呈极显著正相关性。SOC 与 TN 之间存在一定的消长和耦合效应,增加氮素可促进植物的生长,从而提高有机碳的积累,而有机碳的分解也可以促进氮素在土壤中的释放(吴绽蕾等, 2015),碳固定能引起氮固定。

#### 4.2 土壤 C/N 变化及与 SOC 和 TN 储量的相关性

湿地沉积物中 C/N 值是确定其有机质来源的一个重要方法,当沉积物中 C/N>10 时,沉积物有机质以外源为主,C/N<10 时,以内源有机质为主,C/N≈10 时,外源与内源有机质达到平衡状态(Krishnamurthy *et al*, 1986)。本研究中,红树林湿地 C/N 值范围为 16.77~24.39,平均值为 20.45,依此判断为标准,仙岛公园和沙井红树林湿地有机质主要来源于陆地,与夏鹏等(2015)通过同位素示踪研究广西钦州湾红树林有机质来源的结果一致。

仙岛公园 C/N 值与 SOC 储量存在极显著相关性( $P<0.01$ ,  $R=0.961$ ),Wang 等(2014)和 Yang 等(2013)研究报道,湿地土壤较高的 C/N 值会导致土壤微生物活性降低,使活性碳库周转率降低,减少有机碳的氧化和流失,最终,加快 SOC 的积累。所以,较高的 C/N 值表明有机碳的积累多,仙岛公园和沙井红树林平均 C/N 值大于中国土壤平均 C/N 值(王绍强等, 2008),说明红树林湿地具有强大的固碳能力。

## 5 结论

仙岛公园沙井红树林的 SOC 储量分别为 181.03 和 92.4 t/hm<sup>2</sup>,二者存在显著性差异( $P<0.05$ ),其垂直分布特征均表现为随土层深度的增加呈先减少后增加的趋势。仙岛公园和沙井红树林 TN 储量分别为 8.23 和 5.12 t/hm<sup>2</sup>,仙岛公园红树林 TN 垂直特征同 SOC,沙井红树林 TN 随土层深度的增加呈减少的趋势。

沙井红树林的 SOC 与 TN 储量之间相关性极显著( $P<0.01$ ,  $R=0.947$ ),仙岛公园红树林 SOC 与 TN 储量之间相关系数为 0.407。2 个研究地点 C/N 值为 16.77~24.39,平均值为 20.45,说明有机质主要来源于陆地,仙岛公园红树林 C/N 值与 SOC 储量存在极显



著相关性( $P < 0.01$ ,  $R = 0.961$ ), C/N 值与 TN 相关性不显著, 沙井红树林 C/N 值与 TN 储量存在显著负相关( $P < 0.05$ )。

## 参 考 文 献

- Chang T, Wu ZQ, Huang LL, *et al.* Species composition and diversity of fish larvae and juveniles in the creek of mangrove of Maowei Gulf, Guangxi Province. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2014(4): 52–58 [常涛, 吴志强, 黄亮亮, 等. 广西茅尾海红树林潮沟仔稚鱼种类组成及其多样性研究. 海洋湖沼通报, 2014(4): 52–58]
- Chen GC, Ulumuddin YI, Pramudji S, *et al.* Rich soil carbon and nitrogen but low atmospheric greenhouse gas fluxes from North Sulawesi mangrove swamps in Indonesia. *Science of the Total Environment*, 2014, 487: 91–96
- Chen HP, Zhang TY, Ge ZM, *et al.* Distribution of soil carbon and nitrogen stocks in salt marsh wetland in Dongtan of Chongming. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(3): 242–251 [陈怀璞, 张天雨, 葛振鸣, 等. 崇明东滩盐沼湿地土壤碳氮储量分布特征. 生态与农村环境学报, 2017, 33(3): 242–251]
- Chen ZJ, Han SJ, Zhang JH. Effects of land use change on soil organic carbon fractions in mangrove wetland of Zhangjiangkou. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(9): 2379–2385 [陈志杰, 韩士杰, 张军辉. 土地利用变化对漳江口红树林土壤有机碳组分的影响. 生态学杂志, 2016, 35(9): 2379–2385]
- Cui J, Chen YM, Huang JJ, *et al.* Soil carbon sequestration characteristics of *Caragana microphylla* plantations and influencing factors in loess hilly semiarid region. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(9): 1197–1203 [崔静, 陈云明, 黄佳健, 等. 黄土丘陵半干旱区人工柠条林土壤固碳特征及其影响因素. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1197–1203]
- Ding SL, Zhang QJ, Dong J, *et al.* Microbial community structure and its relationship to heavy metals in Shenzhen and Hong Kong mangrove sediments. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(10): 3018–3030 [丁苏丽, 张祁灵, 董俊, 等. 深港红树林沉积物微生物群落多样性及其与重金属的关系. 生态学杂志, 2018, 37(10): 3018–3030]
- Du H, Zeng FP, Song TQ, *et al.* Spatial pattern of soil organic carbon of the main forest soils and its influencing factors in Guangxi, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2016, 40(4): 282–291 [杜虎, 曾馥平, 宋同清, 等. 广西主要森林土壤有机碳空间分布及其影响因素. 植物生态学报, 2016, 40(4): 282–291]
- Gao TL, Guan W, Mao J, *et al.* Carbon storage and influence factors of major mangrove communities in Fucheng, Leizhou Peninsula, Guangdong Province. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(6): 985–990 [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. 生态环境学报, 2017, 26(6): 985–990]
- Ge LL, Meng QQ, Lin Y, *et al.* Carbon storage and its allocation to different plantations in a coastal sandy area. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2018, 24(4): 723–728 [葛露露, 孟庆权, 林宇, 等. 滨海沙地不同树种人工林的碳储量及其分配格局. 应用与环境生物学报, 2018, 24(4): 723–728]
- Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, *et al.* Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 154–159
- Guo ZH, Zhang L, Guo YR, *et al.* Soil carbon sequestration and its relationship with soil pH in Qinglangang mangrove wetlands in Hainan Island. *Scientia Silvae Sinicae*, 2014, 50(10): 8–15 [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. 林业科学, 2014, 50(10): 8–15]
- Hanke A, Cerli C, Muhr J, *et al.* Redox control on carbon mineralization and dissolved organic matter along a chronosequence of paddy soils. *European Journal of Soil Science*, 2013, 64(4): 476–487
- Hu JL, Xin K, Li Z, *et al.* Carbon storage and sequestration function evaluation in Dongzhaigang mangrove reserve of Hainan. *Wetland Science*, 2015, 13(3): 338–343 [胡杰龙, 辛琨, 李真, 等. 海南东寨港红树林保护区碳储量及固碳功能价值评估. 湿地科学, 2015, 13(3): 338–343]
- Kauffman JB, Heider C, Cole TG, *et al.* Ecosystem carbon stocks of Micronesian mangrove forests. *Wetlands*, 2011, 31(2): 343–352
- Krishnamurthy RV, Bhattacharya SK, Kusumgar S. Palaeoclimatic changes deduced from  $^{13}C/^{12}C$  and C/N ratios of Karewa Lake sediments, India. *Nature*, 1986, 323(6084): 150–152
- Laanbroek H, Zhang QF, Leite M, *et al.* Effects of *Rhizophora mangle* leaf litter and seedlings on carbon and nitrogen cycling in salt marshes—potential consequences of climate-induced mangrove migration. *Plant and Soil*, 2018, 426(1–2): 383–400
- Liao XJ, He DJ, Wang R, *et al.* Distribution pattern of soil organic carbon contents in the coastal wetlands in Eastern Fujian. *Wetland Science*, 2013, 11(2): 192–197 [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. 湿地科学, 2013, 11(2): 192–197]
- Liu CQ, Tian HQ. Spatial and temporal patterns of nitrogen deposition in China: Synthesis of observational data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2007, 112 (D22): 229–238
- Liu SR, Wang H, Luan JW. A review of research progress and future perspective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5437–5448 [刘世荣, 王晖, 栾军伟. 中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展. 生态学报, 2011, 31(19): 5437–5448]
- Liu YQ, Ling BW, Xu PF. On the wetland ecosystem protection of Maowei Sea mangrove reserve in Qinzhou, Guangxi.

- Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(4): 97–99, 102 [刘永泉, 凌博闻, 徐鹏飞. 谈广西钦州茅尾海红树林保护区的湿地生态保护. 河北农业科学, 2009, 13(4): 97–99, 102]
- Luo SY, Wang JQ, Zhou M, *et al.* Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in the surface soils of mangrove wetland in Donghai Island, Zhanjiang. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(8): 1547–1555 [罗松英, 王嘉琦, 周敏, 等. 湛江东海岛红树林湿地表层土壤重金属空间分布特征及生态风险评价. 生态环境学报, 2018, 27(8): 1547–1555]
- Marchand C. Soil carbon stocks and burial rates along a mangrove forest chronosequence (French Guiana). *Forest Ecology and Management*, 2017, 384: 92–99
- Morimaru K, Mitsutoshi T, Yasuo L, *et al.* High salinity leads to accumulation of soil organic carbon in mangrove soil. *Chemosphere*, 2017, 177: 51–55
- Qiao YM, Tan JB, Ma SX, *et al.* The distribution pattern and sources analysis for nitrogen and phosphorus in core sediment of Shenzhen mangrove wetland. *Environmental Science and Technology*, 2018, 41(2): 34–40 [乔永民, 谭键滨, 马舒欣, 等. 深圳红树林湿地沉积物氮磷分布与来源分析. 环境科学与技术, 2018, 41(2): 34–40]
- Su SF, Xue Y, Yang ZY, *et al.* Carbon storage allocation pattern of *Casuarina equisetifolia* forest with different ages in Wenchang City of Hainan. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45(11): 46–52 [宿少锋, 薛杨, 杨众养, 等. 海南文昌不同林龄木麻黄人工林碳储量分配格局. 广东农业科学, 2018, 45(11): 46–52]
- Tian H, Chen G, Zhang C, *et al.* Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: A synthesis of observational data. *Biogeochemistry*, 2010, 98: 139–151
- Wang SQ, Yu GR. Ecological stoichiometry characteristics of ecosystem carbon, nitrogen and phosphorus elements. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3937–3947 [王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. 生态学报, 2008, 28(8): 3937–3947]
- Wang W, Sardans J, Zeng C, *et al.* Responses of soil nutrient concentrations and stoichiometry to different human land uses in a subtropical tidal wetland. *Geoderma*, 2014, 232–234: 459–470
- Wang WQ, Wang C, Tong C, *et al.* Soil organic carbon along a salinity gradient in *Phragmites australis* marsh in the Minjiang River estuary. *Wetland Science*, 2012, 10(2): 164–169 [王维奇, 王纯, 仝川, 等. 闽江河口区盐—淡水梯度下芦苇沼泽土壤有机碳特征. 湿地科学, 2012, 10(2): 164–169]
- Wu ZL, Wang DQ, Li YJ, *et al.* The contribution of *Scirpus mariqueter* to sediment carbon storage of Chongming East Tidal Flat wetland in Yangtze River Estuary. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, 35(11): 3639–3646 [吴绽蕾, 王东启, 李杨杰, 等. 长江口崇明东滩海三棱藨草对沉积物有机碳库的贡献研究. 环境科学学报, 2015, 35(11): 3639–3646]
- Xia P, Meng XW, Ping AP, *et al.* Historical retrospection on mangrove development using stable carbon isotopes and pollen analysis, and its response to climate change and human activity. *Haiyang Xuebao*, 2015, 37(3): 77–85 [夏鹏, 孟宪伟, 平爱平, 等. 广西钦州湾百年来红树林演变的有机碳同位素和孢粉示踪及其影响因素. 海洋学报, 2015, 37(3): 77–85]
- Xiao Y, Xie GD, An K. The function and economic value of soil conservation of ecosystems in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2367–2376 [肖玉, 谢高地, 安凯. 青藏高原生态系统土壤保持功能及其价值. 生态学报, 2003, 23(11): 2367–2378]
- Xin K, Yan K, Li Z, *et al.* Distribution of soil organic carbon in mangrove wetlands of Hainan Island and its influencing factors. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(5): 1078–1086 [辛琨, 颜葵, 李真, 等. 海南岛红树林湿地土壤有机碳分布规律及影响因素研究. 土壤学报, 2014, 51(5): 1078–1086]
- Xu FH, Zhang JP, Zhang QM, *et al.* Carbon storage of three natural mangrove forests in Gaoqiao, Zhanjiang. *Value Engineering*, 2012, 31(15): 5–6 [许方宏, 张进平, 张倩媚, 等. 广东湛江高桥三个天然红树林的土壤碳库. 价值工程, 2012, 31(15): 5–6]
- Xu YH, Cui ZG, Qu KM, *et al.* Purification efficiency of mariculture wastewater in constructed wetlands with two salt-tolerant plants. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(3): 80–88 [许永辉, 崔正国, 曲克明, 等. 不同耐盐植物人工湿地净化养殖外排水效果. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 80–88]
- Yang J, Jay G, Liu BL, *et al.* Edge effects of mangrove boundaries and their impact on organic carbon pool along the coast of Leizhou Peninsula. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34(5): 161–168 [杨娟, Jay G, 刘宝林, 等. 雷州半岛红树林边缘效应及其对海岸有机碳库的影响. 海洋学报, 2012, 34(5): 161–168]
- Yang SL, Xu KH, Milliman JD, *et al.* Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes. *Scientific Reports*, 2015, 5: 12581
- Yang W, Zhao H, Chen XL, *et al.* Consequences of short-term *C4* plant *Spartina alterniflora* invasions for soil organic carbon dynamics in a coastal wetland of Eastern China. *Ecological Engineering*, 2013, 61(12): 50–57
- Zhan SF, Huang B, Chen YJ, *et al.* Study of soil organic carbon in different mangrove communities. *Journal of Tropical Biology*, 2015, 6(4): 397–402 [詹绍芬, 黄勃, 陈玉军, 等. 不同红树林群落土壤环境有机碳比较. 热带生物学报, 2015, 6(4): 397–402]
- Zhang J, Wang LP, Xie JP, *et al.* Distribution and influencing factors of soil organic carbon in Dunhuang Yangguan wetland. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(9): 2455–2464 [张剑, 王利平, 谢建平, 等. 敦煌阳关湿地土壤有机碳分布特征及其影响因素. 生态学杂志, 2017, 36(9): 2455–2464]
- Zhang X, Xu XF, Dai YY, *et al.* Phytoplankton community

characteristics and variation at artificial reefs of Tianjin offshore. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(6): 1–10 [张雪, 徐晓甫, 戴媛媛, 等. 天津近岸人工鱼礁海域浮游植物群落及其变化特征. *渔业科学进展*, 2018, 39(6): 1–10]

Zhou HJ, Mo LP, Liu YD, *et al.* Correlation analysis between

soil organic carbon density and soil physical and chemical properties of mangrove wetland in Qinzhou Bay of Guangxi. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(17): 120–123, 240 [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. *安徽农业科学*, 2015, 43(17): 120–123, 240]

(编辑 马瑾艳)

## Spatial Distribution of Soil Carbon and Nitrogen Stocks in Mangrove Wetland of Xiandao Park and Shajing in Guangxi

TAO Yuhua<sup>①</sup>, HUANG Xing, WANG Xueping, ZHONG Qiuping, KANG Zhenjun

(*Beibu Gulf University, Guangxi Key Laboratory of Marine Disaster in the Beibu Gulf, and Key Laboratory of Coastal Science and Engineering, Beibu Gulf, Qinzhou 535011*)

**Abstract** The contents and storage patterns of soil organic carbon (SOC) and total nitrogen (TN), spatial distribution characteristics of SOC and TN, C/N ratios, and correlation between SOC and TN in Xiandao Park and Shajing (Guangxi) mangrove wetlands were assessed. The average SOC and TN contents of the Xiandao Park mangrove wetlands were 24.5 and 1.06 g/kg, respectively, and those of the Shajing mangrove wetlands were 11.9 and 0.71 g/kg, respectively. SOC storage capacities of the Xiandao Park and Shajing mangrove wetlands were 181.03 and 92.4 t/hm<sup>2</sup>, respectively, and were significantly different ( $P < 0.05$ ). TN storage capacities of Xiandao Park and Shajing mangrove wetlands were 8.23 and 5.12 t/hm<sup>2</sup>, respectively. The highest-to-lowest vertical distribution of SOC storage at both sites and TN storage at Xiandao Park was 20~40 cm > 40~60 cm > 0~20 cm, while TN storage at Shajing decreased with increasing soil depth. A significant correlation was observed between SOC and TN contents at Shajing ( $P < 0.01$ ); the correlation coefficient was 0.947. C/N ratio at both sites ranged from 16.77 to 24.39, indicating that the organic matter came primarily from the land. A significant correlation between soil C/N and SOC storage was evident at Xiandao Park ( $P < 0.01$ ), and a significant negative correlation between C/N and TN storage was evident at Shajing ( $P < 0.05$ ). The SOC storage of the Xiandao Park mangrove wetlands was higher than that of Chinese forests, indicating that mangrove soil has a higher carbon sequestration capacity.

**Key words** Xiandao Park; Shajing; Mangrove; Storage of SOC and TN; Spatial distribution

① Corresponding author: TAO Yuhua, E-mail: arlenetao12@aliyun.com