

DOI: 10.5846/stxb201710111818

杜钦, 李丽凤. 无瓣海桑和白骨壤植株根系时空分布特征. 生态学报, 2018, 38(17): - .

Du Q, Li L F. Temporal-spatial distribution features in the root system of individual *Sonneratia apetala* and *Avicennia marina* plants. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): - .

无瓣海桑和白骨壤植株根系时空分布特征

杜 钦^{1,*}, 李丽凤²

1 桂林理工大学旅游与风景园林学院, 桂林 541004

2 桂林电子科技大学海洋信息工程学院, 北海 536000

摘要: 之前研究虽然对红树林植物有过诸多研究, 却一直缺少对其根系分布特征的关注。无瓣海桑和白骨壤是我国红树林造林中较具代表性的两种植物, 通过对 10 龄无瓣海桑纯林、10 龄白骨壤纯林、6 龄无瓣海桑纯林和 6 龄白骨壤纯林的调查分析发现: 1) 无瓣海桑和白骨壤植株根系水平分布的半径和地下根系垂直深度均随树龄的增加而增加, 其中 10 龄无瓣海桑和白骨壤植株的水平分布半径分别为 30.6 m 和 3.85 m, 6 龄无瓣海桑和白骨壤植株的水平分布半径为 9.47 m 和 2.23 m; 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤植株的地下根系分布深度分别为 60 cm 和 40 cm; 2) 无瓣海桑和白骨壤植株地表呼吸根系密度、高度、基径的分布范围会随其树龄的增加而增加, 但其根系密度、高度和基径总体表现为由树冠向外逐渐减小; 3) 无瓣海桑和白骨壤植株地下根系主要分别于 0—20 cm 表层, 地下根系密度随树龄的增加而增多, 具体如 10 龄无瓣海桑和白骨壤根系分布深度为 60 cm, 其中 76.3% 和 77.6% 根系分布于 0—20 cm 深度; 6 龄无瓣海桑和白骨壤根系分布深度为 40 cm, 其中 91.9% 和 91.6% 根系集中于 0—20 cm 土层。这些结果能为进一步理解红树林的促淤保滩功能提供新启示。

关键词: 人工红树林; 呼吸根; 根系分布; 北部湾

Temporal-spatial distribution features in the root system of individual *Sonneratia apetala* and *Avicennia marina* plants

DU Qin^{1,*}, LI Lifeng²

1 College of Tourism & Landscape Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China

2 Institute of Marine Information Engineering, Guilin University Of Electronic Technology, Beihai 536000, China

Abstract: The root system distribution of mangroves can help mangrove plants adapt to the muddy conditions of the intertidal zone and provide the ecosystem services of trapping sediments and erosion prevention. In past decades, much research has been undertaken on mangroves; however, few studies have focused on mangrove root distribution. *Sonneratia apetala* and *Avicennia marina* were the main species used for mangrove restoration in China. Until now there was still a lack of information on their root distribution and it is still difficult to address the following questions: 1) What are characteristics of root distribution in *S. apetala* and *A. marina* at the individual plant level? 2) How does distribution of these characteristics vary between *S. apetala* and *A. marina* with increasing tree age at the individual plant level? 3) What are the implications, based on these root distribution features in *S. apetala* and *A. marina* that can provide a further understanding of sediment-trapping functions? In this study, we used a chronosequence design (i.e., planting of different age mangroves) in Qinzhou and Guangxi, China. Guangxi had the largest area of mangrove plantations across China and Qinzhou had the largest area plantations of *S. apetala* within Guangxi. We selected four kinds of monoculture forests: 10-year-old *S. apetala* community (10Sa), 10-year-old *A. marina* community (10Am), 6-year-old *S. apetala* community (6Sa), and 6-year-old

基金项目: 国家自然科学基金地区项目(41561018); 桂林理工大学科研启动基金

收稿日期: 2017-10-11; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dqin2000@163.com

A. marina community (6Am). We used horizontal plane and trench methods to examine aerial roots and underground roots in each community. Our results showed that the range of root horizontal distribution and vertical depth in soil increased with increasing tree age. The average value of horizontal radius was 30.6 m for 10Sa, 3.85 m for 10Am, 9.74 m for 6Sa, and 2.23 m for 6Am, respectively. There were significant differences in the radius value between 10Sa and 10Am, as well as between 6Sa and 6Am ($P < 0.01$). The distribution diameter range of aerial roots of 10Sa, 10Am, 6Sa, and 6Am was 11.29, 4.40, 5.60, and 3.88 times that of the crown width. The vertical root distribution depth was 40 cm for both 6-year-old *S. apetala* and *A. marina* and 60 cm for both 10-year-old *S. apetala* and *A. marina*, respectively. There were no significant differences ($P > 0.05$) in vertical depth between *S. apetala* and *A. marina*. The density, height, and basal diameter of pneumatophores decreased from inside the crown to outside the crown, whereas these increased with tree age regardless of tree species and planting age. There was no significant difference in pneumatophore density ($P > 0.05$) under the crown between *S. apetala* and *A. marina*. There was no significant difference ($P > 0.05$) in height or basal diameter of pneumatophores within double distance of crown size between *S. apetala* and *A. marina*. Additionally, the majority of underground roots for all ages communities were distributed on the top soil (0–20cm in depth) regardless of tree species and planting age, where 76.3% root for 10Sa, 77.6% root for 10Am, 91.9% root for 6Sa, 91.6% root for 6Am were distributed in this top soil, respectively. These results advance our information of the root system of *S. apetala* and *A. marina*, and provide new implications to our understanding of sediment-trapping functions of mangrove plants.

Key Words: mangrove plantation; pneumatophore; root distribution; Beibu Gulf

生长于海陆交错带的红树林有着特殊的根系。这种根系是红树林适应潮滩泥泞松软环境,发挥促淤固滩功能的重要武器。虽然我们知道红树林多为浅根植物,水平根系由滩涂平行向外延伸,垂直根系一般生长在土壤浅层^[1-2],但我们仍然对红树林根系结构分布缺乏更深刻的认识,如根系水平与垂直分布幅度、根系密度等等,特别是对一些红树林恢复中常用的红树林植物。

无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和白骨壤(*Avicennia marina*)是红树林造林中较具有代表性的两种植物。无瓣海桑因其生长快树高冠大而被认为是保护海岸线的理想树种^[3]。于20世纪80年代由孟加拉国引入我国海南岛,在引种获得成功,逐渐扩大到我国华南沿海^[4]。至今,已成为主要的红树林造林树种^[4]。与之同时,我国本土红树林植物白骨壤,因其适生范围广,适应性强,一直也是红树林造林的主要树种^[5-6]。

虽然前人从个体生态学、群落生态学、生态系统生态学等方面对两种植物进行了诸多研究^[6-10],但鲜有研究系统地关注其根系系统,特别是基于个体植株的角度,对其根系时空分布进行研究。因而,至今仍然难以回答以下问题:1)在个体植株水平上,常用造林树种无瓣海桑和白骨壤的根系分布有何异同?其根系随林龄的变化而又会发生怎样的变化?2)二者根系的时空分布能为理解红树林促淤保滩功能提供哪些启示?本研究将选择不同林龄的无瓣海桑和白骨壤植株,从植株根系结构分布角度对上述问题进行探讨。研究不仅能丰富无瓣海桑和白骨壤根系的基础资料,延伸我们对植株根系的认识,而且能为进一步理解红树林促淤保滩功能提供新启示。

1 材料与方法

1.1 研究区域

广西拥有全国最大面积的人工红树林^[6],无瓣海桑至2002年引入广西后,钦州已成为最大的无瓣海桑人工林种植区^[4]。研究区域设置于广西钦州市犀牛角镇。2006年和2010年地方政府在犀牛角进行红树林人工纯林的造林,分别于当年种植1年生无瓣海桑和白骨壤幼苗。至2016年群落生长健康良好,在潮高约160 cm至320 cm的潮间带(依据国家海洋局发布的北部湾龙门港潮汐表判定潮高),已形成10龄无瓣海桑纯林、10龄白骨壤纯林、6龄无瓣海桑纯林和6龄白骨壤纯林(图1,表1)。

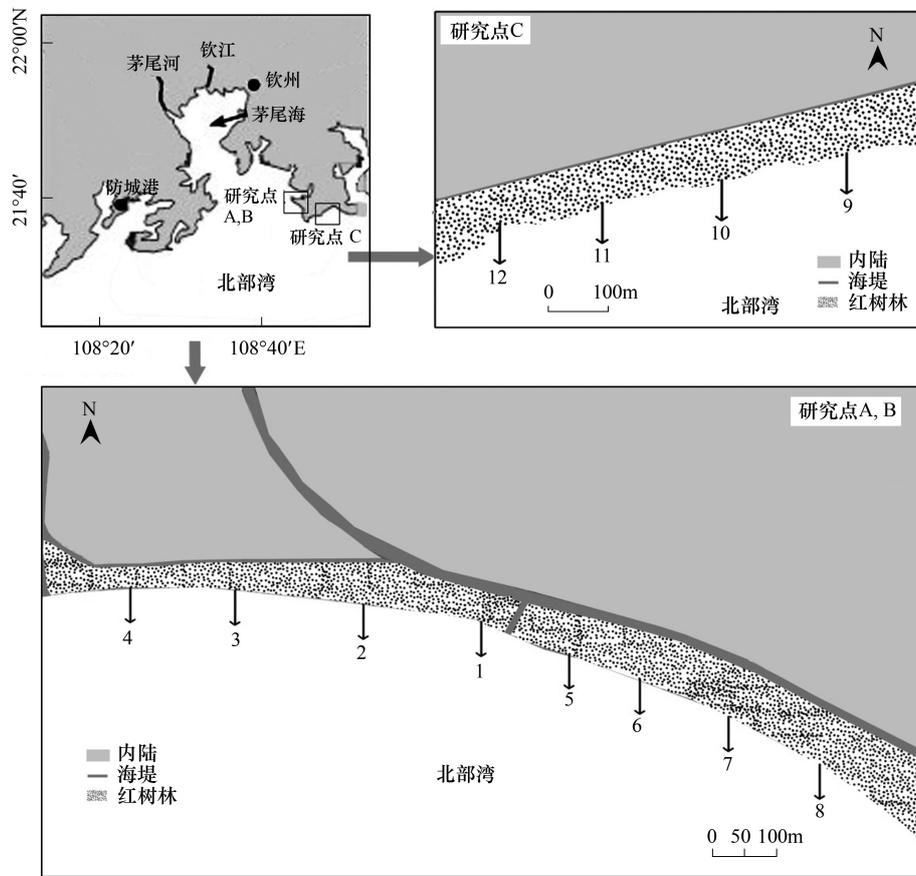


图1 研究区域

Fig.1 Study area

1:10 龄无瓣海桑群落;2:10 龄白骨壤群落;3:6 龄无瓣海桑群落;4:6 龄白骨壤群落;5:10 龄无瓣海桑群落;6:10 龄白骨壤群落;7:6 龄无瓣海桑群落;8:6 龄白骨壤群落;9:6 龄白骨壤群落;10:6 龄无瓣海桑群落;11:10 龄白骨壤群落;12:10 龄无瓣海桑群落

表 1 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤纯林群落基本特征(±后为标准误)

Table 1 Community properties on 10-year-old and 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

群落 Community	造林时间 Plantation year	造林密度 Planting density	基径 Basal diameter/cm	树高 Height/m	冠幅 Crown width/m	盖度 Coverage/%
10 龄无瓣海桑 10-year-old <i>Sonneratia apetala</i>	2006	3 m×3 m	19.00±2.10	8.68±0.27	5.42±0.58	80
10 龄白骨壤 10-year-old <i>Avicennia marina</i>	2006	3 m×3 m	8.77±1.23	3.28±0.79	1.75±0.23	85
6 龄无瓣海桑 6-year-old <i>Sonneratia apetala</i>	2010	3 m×3 m	8.97±0.56	3.96±0.53	3.38±0.42	65
6 龄白骨壤 6-year-old <i>Avicennia marina</i>	2010	3 m×3 m	4.56±0.51	2.04±0.31	1.15±0.17	70

1.2 样地的设置与数据采集

2016 年沿海岸线,选择生长良好长势均匀的群落,分别设置 3 处监测点(研究点 A,B,C)。每一监测点均包含有 10 龄无瓣海桑纯林、10 龄白骨壤纯林、6 龄无瓣海桑纯林和 6 龄白骨壤纯林共 4 种群落类型。每一群落类型内,沿潮滩梯度(潮高约 160—320 cm 潮滩)由海堤向外随机设置 3 条样带(长约 60—80 m×宽约 10 m),每一样带上由高潮位向低潮位随机选择 5 株长势均匀的监测样木,进行根系调查。每一监测点内共计有 60 株样木(3 样带×5 样木/样线×4 群落),3 处监测点共计 180 株监测样木。

无瓣海桑和白骨壤植株地表水平根系呈由中心向外辐射状分布,即以树干为中心向四周扩展延伸。在无瓣海桑和白骨壤纯林群落内,不同植株的水平根系表现为:在向外辐射延伸中常会交叉重叠,但无平行重叠分布。利用这些特征,结合间隔性的浅层刨泥探根,能对初看密集无序的地表根系进行来源识别和分布范围识别。在样木根系水平分布范围测量调查过程中,将皮尺(长为 50 m)的起始端固定于目标样木树干处,依据地表根系向外辐射的走向特征,手持皮尺,以起始端为出发点,逐渐向外确定水平根系的分布半径范围。具体来说,每一样木下,选择东西南北方向,以树干为中心原点,随机测量不同方向地表根系水平分布幅度的半径。同时,各设置 4 条调查样线,每条样线上分别设置 6 处调查点,即树冠中缘、树冠边缘、约 2 倍冠幅处、约 3 倍冠幅处、约 5 倍冠幅处和 7 倍冠幅处,采用 1×1 m 地表水平网格法(由 100 个 10 cm×10 cm 网格组成)^[11],避开地表根系的交叉重叠处,逐一记录网格中根系的数量,采用木直尺和游标卡尺,分别测量其高度、基径(贴滩面),对各样木地表根系分布特征进行统计调查。

采用土钻法了解树冠范围内地下根系的垂直分布情况^[11]。对每一监测样木,在树冠下,沿东西南北四个方向,选择 4 条水平根系,依 4 水平根系分别设置 4 条取样线,每条取样线上由内向外随机间隔选择 5 个取样点。采用直径为 10 cm 的土钻,钻取土-根系复合土柱体,每一取样点的取样深度为 80 cm。土-根系土柱体获取后,按 0—20、20—40、40—60、60—80 cm 对土柱进行分层,将分层后的土柱分成大致相等两段,采用土柱截面法计算截面上的根系数量,记录每一层次根系数量,统计根系垂直分布的深度^[11]。

1.3 数据处理

采用非参数检验的 Wilcoxon 法,对同龄无瓣海桑和白骨壤的水平根系分布半径、垂直根系深度、地表根系密度、基径、高度、同层地下根系数量进行显著性检验($\alpha=0.05$ 或 $\alpha=0.01$)。所有数据处理和图表绘制均在 SPSS 19.0 和 Excel 2016 中完成。

2 结果

2.1 根系分布特征

无瓣海桑与白骨壤在根系水平结构分布上存在明显的不同(表 2)。首先,10 龄无瓣海桑的根系水平分布半径可达约 30.6 m,10 龄白骨壤则只有约 3.85 m;6 龄无瓣海桑的根系水平分布半径也可达到约 9.47 m,而同龄白骨壤则只有约 2.23 m。其次与其树冠冠幅相比,10 龄和 6 龄无瓣海桑的根系水平根幅分别是其冠幅的 11.29 倍和 5.60 倍,而 10 龄和 6 龄白骨壤的则只有 4.40 倍和 3.88 倍。

表 2 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤根系基本分布特征(±后为标准误)

Table 2 Root distributions of 10-year-old and 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

群落 Community	水平根系分布半径 Range radius of aerial root/m	地下根系垂直深度 Depth of underground root /m	根系水平根幅 (直径)/冠幅 Range of aerial root/ Crown width	地下根系垂直 深度/树高 Depth of underground root/ Height of trees
10 龄无瓣海桑 10-year-old <i>Sonneratiaapetala</i>	30.62±1.37a	0.6a	11.29	0.07
10 龄白骨壤 10-year-old <i>Avicennia marina</i>	3.85±0.32b	0.6a	4.40	0.18
6 龄无瓣海桑 6-year-old <i>Sonneratiaapetala</i>	9.47±3.32a	0.4a	5.60	0.10
6 龄白骨壤 6-year-old <i>Avicennia marina</i>	2.23±0.24b	0.4a	3.88	0.20

相同小写字母间表示同龄无瓣海桑和白骨壤间不存在显著性差异($P>0.05$)

相比之下,无瓣海桑和白骨壤在根系的垂直结构上却十分相似。首先,10 龄无瓣海桑和白骨壤的根系垂直深度均约为 0.6 m,6 龄无瓣海桑和白骨壤仅深约 0.4 m;同龄无瓣海桑和白骨壤地下根系的垂直分布深度不存在显著性差异($P>0.05$)。然后,与其树高相比,无瓣海桑和白骨壤的根系垂直深度分布更显有限。10 龄

无瓣海桑和白骨壤的地下根系垂直分布深度仅仅是其树高的 0.07 倍和 0.18 倍,6 龄无瓣海桑和白骨壤则分布是 0.10 倍和 0.20 倍。

从时间尺度上看,无瓣海桑和白骨壤的根系水平分布半径和垂直根系分布深度均随树龄的增加而增加。具体如 6 龄的无瓣海桑的水平根系半径仅约有 9.47 m,而 10 龄的无瓣海桑则达到约 30.6 m,10 龄是 6 龄的 3.23 倍。另外,无瓣海桑和白骨壤的垂直根系分布深度也随树龄增加而加深。6 龄无瓣海桑和白骨壤的垂直根系仅有 0.4 m 深,生长到 10 龄,其深度达 0.6 m,加深了 1.5 倍。

2.2 地表根系时空分布特征

2.2.1 地表根系密度

无瓣海桑和白骨壤地表根系的密度均由树冠向外逐渐减小(图 2)。在树冠内,地表根系的密度最高,向外依次减少。具体如 10 龄无瓣海桑和白骨壤,无瓣海桑的地表呼吸根的密度在树冠中缘和外缘分别约为 117 条/ m^2 和 103 条/ m^2 ,至 5 倍和 7 倍冠幅处,则分别下降到 43 条/ m^2 和 41 条/ m^2 ;白骨壤在树冠中缘和外缘的地表呼吸根密度分别约为 109 条/ m^2 和 105 条/ m^2 ,至分布的 3 倍和 5 倍冠幅处,则依次下降为 22 条/ m^2 和 0 条/ m^2 。

另一方面,同龄无瓣海桑和白骨壤的地表呼吸根密度在树冠中缘和外缘均不存在显著性的差异($P > 0.05$),但随着向外扩散,呼吸根密度间的差异也随之显著。最后,从时间尺度分析,无瓣海桑和白骨壤的地表根系密度均随树龄的增加而增加。主要体现在两个方面:第一,无论是在树冠内或是树冠外,由 6 龄至 10 龄,地表根系密度均有所增加。如白骨壤由 6 龄至 10 龄,在树冠外缘、2 倍冠幅、3 倍冠幅处的地表根系密度,分别由 32,12,7 条/ m^2 上升到 105,69,22 条/ m^2 。第二,随树龄的增加,地表根系密度由树冠内向树冠外也在增加。如在 2 倍、3 倍、5 倍和 7 倍冠幅处,6 龄无瓣海桑的地表根系密度由 27,25,13,0 条/ m^2 ,至 10 龄依次变化为 78,45,43,21 条/ m^2 。

2.2.2 地表根系高度

无瓣海桑和白骨壤的地表根系高度也呈由树冠向外逐渐减小的变化趋势。在树冠下,地表呼吸根系的高度最高,向外逐渐减小(图 3)。如 10 龄无瓣海桑地表呼吸根系的高度在树冠中缘和外缘下分别约为 11.8 cm 和 11.4 cm,向外至 2 倍冠幅、3 倍冠幅、5 倍冠幅和 7 倍冠幅处,则依次下降为 10.1、7.3、6.6 cm 和 4.4 cm。

从时间尺度上分析,随树龄的增长,无瓣海桑和白骨壤的呼吸根系高度也有所增高。如 6 龄白骨壤在树冠中缘、外缘、2 倍冠幅和 3 倍冠幅的平均呼吸根高度分别约为 7.9、5.9、3.3、1.6 cm,至 10 龄分别为 10.8、10.2、9.2 cm 和 5.1 cm。此外,呼吸根的高度由林冠下向外,也随树龄的增加而增高。如 6 龄无瓣海桑在 2 倍、3 倍和 5 倍冠幅处呼吸根高度分别约为 3.7、3.2 cm 和 3.2 cm,至 10 龄,则分别为 10.1、7.3 cm 和 6.6 cm。

2.2.3 地表根系基径

与密度和高度相似,无瓣海桑和白骨壤地表呼吸根系的基径也由树冠内向树冠外逐渐减小(图 4)。即在树冠下,无瓣海桑和白骨壤的地表根系的基径最粗,如 10 龄和 6 龄无瓣海桑在树冠中缘和外缘的基径分别是 0.93 cm 和 0.77 cm,0.61 cm 和 0.45 cm;由树冠不断向外,逐渐减小,如 10 龄和 6 龄的无瓣海桑其地表根系基径至

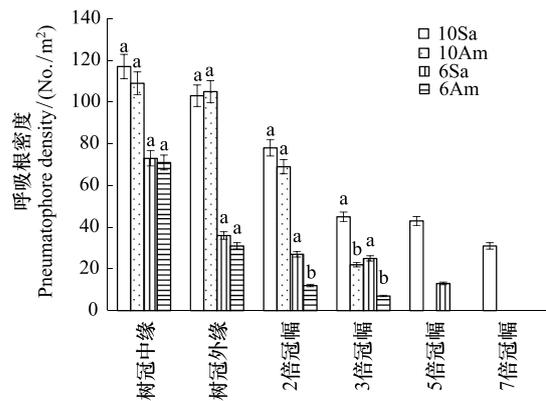


图 2 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤呼吸根系密度的分布与差异
Fig.2 Pneumatophore density among 10-year-old and 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

相同小写字母间表示同龄无瓣海桑和白骨壤间不存在显著性差异($P > 0.05$), 10Sa: 10 龄无瓣海桑群落, 10-year-old *Sonneratia apetala* community; 10Am: 10 龄白骨壤群落, 10-year-old *Avicennia marina* community; 6Sa: 6 龄无瓣海桑群落, 6-year-old *Sonneratia apetala* community; 6Am: 6 龄白骨壤群落, 6-year-old *Avicennia marina* community

2 倍、3 倍和 5 倍冠幅处,分别减小为 0.65、0.57、0.52 cm 和 0.43、0.39、0.29 cm。最后,从时间尺度上看,地表根系的基径也随树龄的增加而逐渐增加,这也相同于地表根系密度和高度的变化趋势。

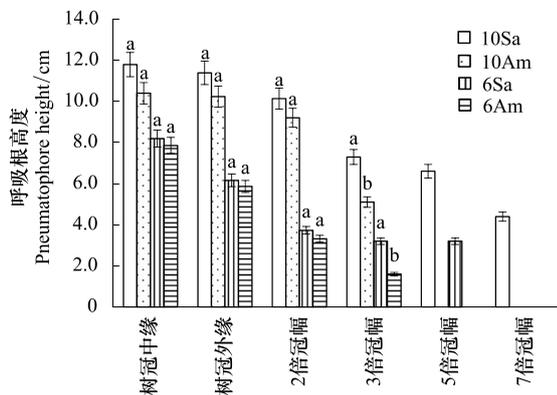


图3 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤地表呼吸根系高度的对比与变化

Fig.3 Pneumatophore height among 10-year-old and 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

相同小写字母间表示同龄无瓣海桑和白骨壤间不存在显著性差异 ($P>0.05$)

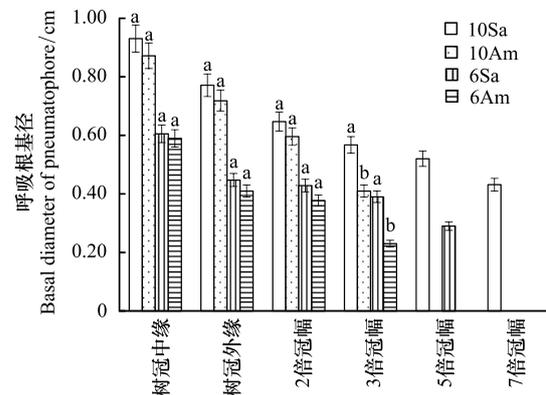


图4 10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤地表呼吸根系基径的对比与变化

Fig.4 Basal diameter of pneumatophore among 10-year-old and 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

相同小写字母间表示同龄无瓣海桑和白骨壤间不存在显著性差异 ($P>0.05$)

2.3 地下根系时空分布特征

从地下根系的分布层次看,10 龄和 6 龄无瓣海桑和白骨壤的地下根系分布范围为 0.6 cm 和 0.4 cm,且无瓣海桑和白骨壤的地下根系主要集中分布在 0—20 cm 表层土壤(图 5)。具体表现为 10 龄无瓣海桑和白骨壤,其 76.3%和 77.6%的根系分布在 0—20 cm 的表层土壤,而 40—60 cm 深层土壤,它们的根系分布率则只有 1.76%和 1.66%(图 5a);6 龄无瓣海桑和白骨壤也呈类似的分布,其 91.9%和 91.6%的根系分布在 0—20 cm 土壤层次,20—40 cm 土壤层次,根系仅占 8.1%和 8.4%(图 5b)。

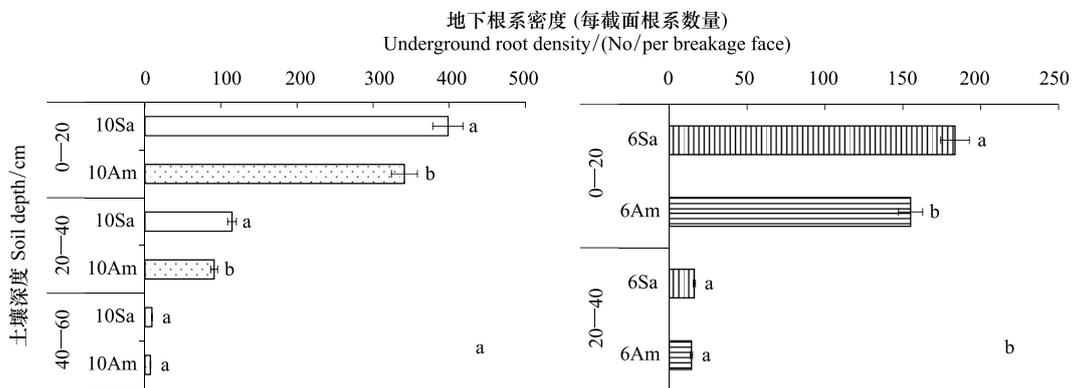


图5 10 龄(a)和(b)6 龄无瓣海桑和白骨壤地下根系分布与地下根系密度的对比

Fig.5 Underground root density between 10-year-old *S. apetala* and *A. marina*, 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*. (a) 10-year-old *S. apetala* and *A. marina*; (b) 6-year-old *S. apetala* and *A. marina*

相同小写字母间表示同龄无瓣海桑和白骨壤间不存在显著性差异 ($P>0.05$)

从同龄无瓣海桑和白骨壤的差异来看,在 0—20 cm,10 龄和 6 龄无瓣海桑的地下根系数量均显著性的高于 ($P<0.05$) 同龄白骨壤;在 20—40 cm,10 龄无瓣海桑的地下根系数量也显著性的高于 ($P<0.05$) 10 龄的白骨壤,而 6 龄无瓣海桑和白骨壤间的地下根系数量则无显著性差异 ($P>0.05$);在 40—60 cm,10 龄无瓣海桑和

白骨壤的地下根系数量也不存在显著性差异($P>0.05$)。

最后,从时间尺度上看,无瓣海桑和白骨壤地下根系的数量随树龄的增加而增多,主要体现在根系数量和根系分布的深度上。如与 6 龄相比,10 龄无瓣海桑和白骨壤的地下根系分布不仅由 0—40 cm 延伸到了 0—60 cm 土壤层次,而且各层次内,根系的数量均有所增加。

3 讨论

3.1 无瓣海桑和白骨壤根系时空分布特征的差异

在个体植株水平上,研究发现无瓣海桑和白骨壤在根系水平分布半径和地表根系时空分布上均存在明显差异。如 10 龄和 6 龄无瓣海桑的根系水平分布半径是同龄白骨壤的 7.95 倍和 4.25 倍,且二者之间存在极显著差异($P<0.01$) (表 2)。无瓣海桑的地表根系的密度、高度、基径在 3 倍冠幅后,与白骨壤差异也越明显(图 2—4)。具体如:10 龄无瓣海桑在 3 倍冠幅处地表根系密度显著的高于 10 龄白骨壤($P<0.05$),至 5 倍和 7 倍冠幅处,10 龄白骨壤已无地表根系分布。6 龄无瓣海桑在 2 倍和 3 倍冠幅处,地表根系密度也是显著的高于同龄的白骨壤($P<0.05$),至 5 倍冠幅处,6 龄白骨壤已无地表根系;在树冠下和 2 倍冠幅处,同龄无瓣海桑和白骨壤的呼吸根高度不存在显著性差异($P>0.05$);在 3 倍冠幅处,10 龄和 6 龄无瓣海桑均显著性($P<0.05$)的高于同龄白骨壤;至 5 倍和 7 倍冠幅处,白骨壤已无呼吸根分布;同龄无瓣海桑和白骨壤间的地表根系基径在树冠中缘、外缘和 2 倍冠幅下不存在显著性差异($P>0.05$),但在 3 倍冠幅处,无瓣海桑的地表根系基径显著性的高于($P<0.05$)同龄的白骨壤。

事实上,这些差异主要与无瓣海桑属于乔木,而白骨壤属于小乔木或灌木有关。但必须指出的是,这些差异仅反映在植株个体水平上,若将尺度扩展到群落水平上,即无瓣海桑纯林群落与白骨壤纯林群落内地表根系时空分布上有何差异,我们仍不清楚,有待下一步研究。

3.2 地表根系与促淤保滩功能

越来越多的研究表明^[12-13],红树林的地表根系能在潮滩形成密集的地表障碍物,这些地表根系的存在,能削弱潮水移动的能量,减缓或防止滩面的冲刷。具体来说,这些密集的地表根系,不仅能减少或抑制滩面沉积物的悬浮与再搬运,而且能阻碍捕捉潮水中悬浮的沉积物,促进新沉积物在滩面的沉积。进一步的研究还发现,红树林下滩面沉积物淤积的厚度和滩面高程的变化与地表根系的密度、高度呈明显的正相关^[14-15]。结合我们研究的结果,在植株个体水平上,无瓣海桑植株应具有比白骨壤植株更强的促淤保滩功能,因为无瓣海桑比白骨壤具有更广的地表水平根幅,至 3 倍冠幅后,也具有更高的地表根系密度和高度。但在群落尺度上,与白骨壤纯林群落相比,无瓣海桑纯林群落是否仍能拥有更强的促淤保滩功能,仍有待更深入地研究。

参考文献 (References):

- [1] 范航清. 红树林: 海岸环保卫士. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000.
- [2] 林鹏. 红树林. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [3] 郑德璋, 廖宝文, 郑松发. 红树林主要树种造林与经营技术研究. 北京: 科学出版社, 1999.
- [4] Ren H, Lu H F, Shen W J, Huang C, Guo Q F, Li Z A, Jian S G. *Sonneratia apetala* Buch. Ham in the mangrove ecosystems of China: An invasive species or restoration species? *Ecological Engineering*, 2009, 35(8): 1243-1248.
- [5] Ren H, Wu X M, Ning T Z, Huang G, Wang J, Jian S G, Lu H F. Wetland changes and mangrove restoration planning in Shenzhen Bay, Southern China. *Landscape and Ecological Engineering*, 2011, 7(2): 241-250.
- [6] Chen L Z, Wang W Q, Zhang Y H, Lin G H. Recent progresses in mangrove conservation, restoration and research in China. *Journal of Plant Ecology*, 2009, 2(2): 45-54.
- [7] 唐以杰, 方展强, 何清, 吴映明, 陆棣, 李燕妮, 谭莉君, 杨学彬, 陈思敏. 无瓣海桑与乡土红树植物混交对林地大型底栖动物的影响. *生态学报*, 2015, 35(22): 7355-7366.
- [8] 陈权, 马克明. 红树林生物入侵研究概况与趋势. *植物生态学报*, 2015, 39(3): 283-299.
- [9] 田广红, 陈蕾伊, 彭少麟, 杨雄邦, 陈俊勤, 陈沐荣, 李静, 曾艳, 雷振胜. 外来红树植物无瓣海桑的入侵生态特征. *生态环境学报*,

2010, 19(12): 3014-3020.

- [10] 彭友贵, 徐正春, 刘敏超. 外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响. 生态学报, 2012, 32(7): 2259-2270.
- [11] Böhm W. Methods of Studying Root Systems. Springer-Verlag, 1979.
- [12] Krauss K W, Lovelock C E, McKee K L, Lopez-Hoffman L, Ewe S M L, Sousa W P. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: A review. Aquatic Botany, 2008, 89(2): 105-127.
- [13] Krauss K W, McKee K L, Lovelock C E, Cahoon D R, Saintilan N, Reef R, Chen L. How mangrove forests adjust to rising sea level. New Phytologist, 2014, 202(1): 19-34.
- [14] Kumara M P, Jayatissa L P, Krauss K W, Phillips D H, Huxham M. High mangrove density enhances surface accretion, surface elevation change, and tree survival in coastal areas susceptible to sea-level rise. Oecologia, 2010, 164(2): 545-553.
- [15] Young B M, Harvey L E. A spatial analysis of the relationship between mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) physiognomy and sediment accretion in the Hauraki Plains, New Zealand. Estuarine Coastal and Shelf Science, 1996, 42(2): 231-246.