

浙江不同河口滩涂秋茄树幼苗生长适应性试验

杨升, 卢翔, 刘星, 陈秋夏, 王金旺, 郭晋敏

(浙江省亚热带作物研究所, 浙江 温州 325005)

摘要: 2019年5-6月, 采用浙江龙港种质和福建泉州种质的1年生秋茄树 *Kandelia obovata* 容器苗和胚轴在浙江省沿海的宁波钱塘江河口、台州椒江河口和温州瓯江河口滩涂进行种植试验, 2020年4月, 调查了幼苗生长及土壤化学性质, 对比分析秋茄树幼苗生长指标、叶片参数和生物积累量的差异。结果表明, 瓯江河口土壤含盐量、有机质、水解氮、有效磷、速效钾与钱塘江河口和椒江河口土壤间存在显著差异 ($P<0.05$), 但均满足秋茄树正常生长要求; 在三个试验地中, 龙港秋茄树种质的保存率均显著高于泉州种质 ($P<0.05$); 在钱塘江口, 龙港秋茄树种质容器苗和胚轴苗的保存率分别为72.92%和82.78%, 而泉州种质仅有33.47%和15.28%, 且龙港种质容器苗的分枝数显著高于泉州容器苗 ($P<0.05$), 但泉州种质胚轴苗的高生长显著大于龙港种质 ($P<0.05$); 在三个试验地中, 龙港秋茄树种质容器苗的叶片数和叶面积均显著高于泉州种质 ($P<0.05$), 胚轴苗则相反, 而泉州秋茄树种质的叶片长和叶片宽在瓯江河口最大, 椒江河口最小, 龙港种质在三个试验地间均无明显差异; 秋茄树幼苗的根、茎、叶干质量和生物积累量均表现出瓯江河口>钱塘江河口>椒江河口, 龙港秋茄树容器苗各生物量指标均高于泉州种质, 而胚轴苗正好相反。因此, 在宁波和台州河口滩涂开展红树林营建适合选择龙港秋茄树种质容器苗, 而在温州适合选择龙港秋茄树种质胚轴苗。

关键词: 秋茄树; 河口滩涂; 生长适应性; 种质; 种苗类型; 浙江

中图分类号: S728.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2021)02-0060-07

Experiment of *Kandelia obovata* Seedlings in Different Estuaries in Zhejiang

YANG Sheng, LU Xiang, LIU Xing, CHEN Qiu-xia, WANG Jin-wang, GUO Jin-min

(Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, China)

Abstract: In May and June 2019, 1-year container seedlings and hypocotyl of *Kandelia obovata* which were from Quanzhou city, Fujian Province and Longgang city, Zhejiang Province were planted on estuaries of the Qiantang River in Ningbo, Jiaojiang River in Taizhou and Oujiang River in Wenzhou. In April 2020, the seedling growth and soil chemical properties were investigated, and the differences of growth indexes, leaf parameters and biomass of *K.obovata* seedlings were analyzed. The results showed that the content of soil salt, organic matter, hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium in the Oujiang river estuary had significantly difference with that in the Qiantang river estuary and Jiaojiang river estuary, but *K. obovata* could grow well in tested estuaries. In the three experimental sites, the preservation rate of *K.obovata* germplasm from Longgang was significantly higher than that from Quanzhou *K.obovata* germplasm ($P<0.05$). The preservation rate of container seedlings and hypocotyl of Longgang germplasm in the Qiantang river estuary was 72.92% and 82.78%, respectively, while that of Quanzhou was only 33.47% and 15.28%. The branching number of container seedlings of Longgang germplasm was significantly higher than that of Quanzhou germplasm in the Qiantang river estuary, but the height growth of hypocotyl seedlings was the opposite. Compared with Quanzhou germplasm, container seedlings of

收稿日期: 2020-10-13; 修回日期: 2021-02-01

基金项目: 浙江省农业(林木)新品种选育重大科技专项(2016C02056-9); 国家科技部基础资源调查专项(2017FY1)

作者简介: 杨升, 助理研究员, 博士, 从事滨海生态治理研究工作; E-mail: yangsheng0072001@sina.com。通信作者: 陈秋夏, 研究员, 博士, 从事滨海林业生态研究工作; E-mail: yzscqx@163.com。

the Longgang exhibit higher increases in leaf number and leaf area in the three experimental sites, the hypocotyl seedlings were reverse. The leaf length and leaf width of the Quanzhou germplasm were the largest in the Oujiang River, and the smallest in the Jiaojiang River, while the Longgang germplasm had no significant difference in the three experimental sites. The sequence of root, stem, leaf dry weight and bioaccumulation of *K. obovata* from high to low was: Oujiang River > Qiantang River > Jiaojiang River. The biomass indexes of *K. obovata* container seedlings from Longgang were all higher than those from Quanzhou germplasm, but the hypocotyl seedlings were the opposite. Therefore, the container seedlings of Longgang *K. obovata* germplasm should be selected for mangrove construction in Ningbo and Taizhou estuarine tidal flat, while hypocotyl seedlings of *K. obovata* germplasm are preferred in Wenzhou.

Key words: *Kandelia obovata*; estuarine tidal flat; growth adaptability; germplasm; seedling type; Zhejiang province

秋茄树 *Kandelia obovata* 为红树科 Rhizophoraceae 秋茄树属 *Kandelia* 常绿灌木或小乔木, 是我国最耐寒的真红树植物, 从海南一直到福建的福鼎均有自然分布, 并通过人工引种, 在浙江乐清等地成功繁衍, 成为秋茄树分布的北界 (28°20' N)^[1]。国外研究者认为环境温度、盐沼泽、沉积物、岸线、水体盐度、潮间带、海流的冷暖和流向都是影响红树林生长与分布的环境因子^[2-4], 国内学者对秋茄树的生长环境因子, 如盐度、温度、高程等进行了大量的适应性和机理研究^[5-7]。早在上世纪五六十年代, 浙江省在瓯江、乐清湾、象山港和舟山群岛以秋茄树为造林树种, 营造了约 800 hm², 但由于缺乏抗寒良种, 造林地选择和管护技术不到位等原因, 至今仅在苍南沿浦湾和乐清西门岛保存有数株秋茄^[8]。近年来, 随着浙江省沿海防护林体系工程建设、滨海湿地保护行动的全面实施, 以及海洋生态补偿工程的推进, 红树林在浙江省得到蓬勃发展。

温度主导红树林纬向分布^[9], 郑俊鸣等^[10]认为秋茄树天然分布北界最冷月的平均气温和水温分别为 9.8℃和 10.9℃, 人工引种北界为 9.3℃和 10.6℃。但是 2008 年的寒害调查研究显示, 在持续 0℃下, 秋茄树未发生叶片枯黄和落叶等寒害的特征^[11]。陈秋夏等选育的耐寒秋茄树良种“龙港”, 于 2017 年通过浙江省省级良种认定, 成为我国首个秋茄树良种种质, 可以在冬季极端低温 -4.5℃以上、海水盐度 20‰以下的江河出海口或沿海滩涂港湾地区的中、高潮滩涂种植^[12]。

本研究选取了来源于浙江龙港和福建泉州的秋茄树种质在浙江省沿海的钱塘江河口 (宁波慈溪市)、椒江河口 (台州椒江区) 和瓯江河口 (温州龙湾区) 三个不同纬度河口滩涂种植进行对比试验, 观察分析其早期幼苗生长情况, 为浙江省的红树林建设提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于浙江省沿海的钱塘江河口 (宁波慈溪市)、椒江河口 (台州椒江区) 和瓯江河口 (温州龙湾区) (图 1), 气候环境基本情况见表 1, 其中年平均气温和最冷月平均气温为近 10 年的平均值。

于 2019 年 5 月和 6 月在三个河口滩涂地上分别种植了福建泉州和浙江龙港秋茄树胚轴各 3 000 棵、1 年生容器苗各 500 棵, 福建泉州秋茄树苗来源于泉州湾湿地公园, 浙江龙港秋茄树苗来源于龙港红树林湾湿地公园。将采集的胚轴 (泉州采集于 4 月 22 日, 龙港采集于 5 月 16 日) 浸种杀菌后, 选用大小基本一致, 无病虫害的

秋茄树胚轴扦插种植, 种植密度为 1.0 m × 0.4 m。容器苗选用大小基本一致, 无病虫害的 1 年生实生苗, 去除营养钵种植, 种植密度为 1.0 m × 1.0 m。泉州容器苗采用 10 cm × 10 cm 塑料营养钵培育, 而龙港容器苗采用 12 cm × 14 cm 无纺布营养钵培育, 栽培基质均为当地滩涂淤泥。试验地原有植被物种以互花米草 *Spartina*



图 1 试验地位置示意图

Figure 1 Location of sample plots

alterniflora 为主, 伴生有少量芦苇 *Phragmites australis*。

表 1 试验地基本情况
Table 1 Basic information of sample plots

| 试验地 | 纬度 | 经度 | 土壤类型 | 高程/m | 年平均气温/℃ | 最冷月平均气温/℃ |
|-------|-------------|--------------|-------|-------------|---------|-----------|
| 钱塘江河口 | 30°19'18" N | 121°23'54" E | 潮滩淤泥土 | 2.41 ~ 2.63 | 16.2 | 4.3 |
| 椒江河口 | 28°42'13" N | 121°24'12" E | 潮滩淤泥土 | 2.55 ~ 2.91 | 16.9 | 6.0 |
| 瓯江河口 | 27°55'32" N | 120°52'32" E | 潮滩淤泥土 | 2.24 ~ 2.60 | 17.5 | 7.2 |

1.2 研究方法

于 2020 年 4 月, 在每个试验地的福建泉州和浙江龙港秋茄树种质的容器苗与胚轴苗造林地各设立 3 个 5 m × 5 m 的样方, 调查每个样方秋茄树的保存率 (保存率=保存数量/种植数量), 并测量记录每个样方内幼苗的生长高度 (胚轴高度除外, 容器苗生长高度=测量高度-种植前高度)、分枝数 (主干上的分枝) 和叶片数。在每个试验地采集土壤样品 3 份, 采样土层深度为 15 ~ 30 cm, 调查土壤的化学性质指标 (含盐量、pH、有机质、水解氮、有效磷和速效钾)。在每个样方内随机采集容器苗 3 株、胚轴苗 5 株, 带回实验室测定叶片指标 (完全功能叶的叶长、叶宽和叶面积) 与生物量指标 (根干质量、茎干质量、叶干质量和生物积累量)。

1.3 样品处理与测定

将采集的植株按照根、茎、叶和胚轴分开, 先用清水清洗, 再用去离子水清洗干净后, 吸干表层水分。叶片先用 LA-S 植物叶面积分析仪系统测量完全功能叶的叶片的参数, 主要包括叶片长度、叶片宽度和叶面积, 并计算单株平均叶片长、平均叶片宽和总叶面积。然后, 植物鲜样于 105℃ 杀青 30 min 后, 再于 70℃ 烘干至恒质量, 使用天平 (精度 0.01 g) 称量, 分别记录根、茎、叶和胚轴的干质量, 生物量积累量=根干质量+茎干质量+叶片干质量。考虑到胚轴是种植时的原有质量, 因此, 不选为本研究分析指标。

取回的土壤样品经过风干和粉碎后, 检测其化学性质。参照《土壤理化分析》^[13], 含盐量采用称重法测定, pH 值采用 1:2.5 (土:水) 浸提, pH 计测定, 有机质采用光度法测定, 水解氮采用扩散法测定, 有效磷采用钼锑抗比色法测定, 速效钾采用火焰光度法测定。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 16.0 统计分析软件进行数据整理和图表绘制, 选用 LSD 法进行差异显著性分析 ($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤化学性质

由表 2 可以看出, 瓯江河口土壤的含盐量、有机质、水解氮和速效钾均显著高于钱塘江河口和椒江河口 ($P<0.05$), 其中, 瓯江河口土壤的含盐量达到 16.45%, 是钱塘江河口和椒江河口的近 2 倍, 但是其有效磷显著低于钱塘江河口和椒江河口 ($P<0.05$), 只有 13.17 mg·kg⁻¹, 而 pH 值在三个河口间无显著性差异, 属于中性。椒江河口土壤有机质和水解氮含量明显高于钱塘江河口 ($P<0.05$), 而土壤含盐量、有效磷和速效钾含量在两个试验地间未达到显著水平, 其中, 二个河口的土壤含盐量分别为 8.08% 和 8.60%。

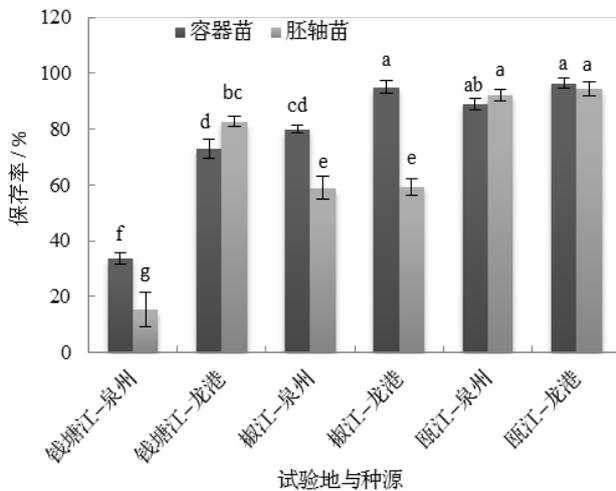
表 2 不同河口滩涂土壤化学性质的比较
Table 2 Soil chemical properties of different estuarines

| 试验地 | 含盐量/% | pH 值 | 有机质/(g·kg ⁻¹) | 水解氮/(mg·kg ⁻¹) | 有效磷/(mg·kg ⁻¹) | 速效钾/(mg·kg ⁻¹) |
|-------|-------------|------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 钱塘江河口 | 8.60±0.81b | 7.65±0.07a | 10.44±0.28c | 16.92±0.58c | 19.53±2.71ab | 335.09±11.85b |
| 椒江河口 | 8.08±0.56b | 7.65±0.14a | 15.48±0.80b | 28.23±0.23b | 22.01±0.87a | 390.67±5.93b |
| 瓯江河口 | 16.45±0.44a | 7.80±0.13a | 19.49±1.55a | 31.50±1.01a | 13.17±2.96b | 733.63±33.65a |

注: 表中数据为“平均值±标准误”, 同一列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

2.2 不同纬度秋茄树生长指标对比分析

2.2.1 保存率 由图2可知,秋茄树胚轴苗的保存率在钱塘江河口表现出龙港种质显著高于泉州种质($P<0.05$),分别为82.78%和15.28%,而在椒江河口和甌江河口两个种质间的保存率差异不显著;秋茄树胚轴苗在椒江河口的保存率分别为59.00%和59.33%,在甌江河口的保存率分别为92.22%和94.44%。秋茄树1年生容器苗在钱塘江河口和椒江河口均呈现出龙港种质显著高于泉州种质($P<0.05$),而在甌江河口两个种质间差异不显著。对比三个试验地,泉州秋茄树容器苗的保存率表现出钱塘江河口<椒江河口<甌江河口,其中,钱塘江河口的保存率仅有33.47%,而龙港种质在钱塘江河口的保存率为72.33%,在椒江河口和甌江河口的保存率分别为95.11%和96.33%。对比不同种苗类型(胚轴苗和容器苗),在钱塘江河口,泉州容器苗的保存率显著高于胚轴苗($P<0.05$),但龙港种质则正好相反,而两个种质的保存率在椒江河口均表现出容器苗高于胚轴苗($P<0.05$),在甌江河口则无显著性差异。



注:图中数据为“平均值±标准误”,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

图2 各试验地不同种质、不同种苗类型秋茄树幼苗存活率比较

Figure 2 Survival rate of different *K. obovata* seedling types with different provenances in different sample plots

2.2.2 生长高度 秋茄树胚轴苗的生长高度明显高于1年生容器苗,胚轴苗的生长高度为24.17~41.23 cm,而容器苗的生长高度为6.92~12.53 cm(图3)。在钱塘江河口,两个种质秋茄树胚轴的生长高度间无显著差异,而在椒江河口和甌江河口,泉州种质的生长高度显著高于龙港种质($P<0.05$),分别高8.00 cm和9.66 cm。在3个试验地点,容器苗生长高度在两个种质间均差异不显著。泉州容器苗在钱塘江河口、椒江河口和甌江河口3个试验地的生长高度呈上升趋势,但差异不明显,分别为9.17、10.30和11.43 cm,而龙港种质在甌江河口的生长高为12.53 cm,显著高于钱塘江河口(5.88 cm)和椒江河口(6.92 cm)($P<0.05$)。

2.2.3 分枝数量 从图4可知,秋茄树泉州种质胚轴苗的分枝数在钱塘江河口和椒江河口均显著高于容器苗

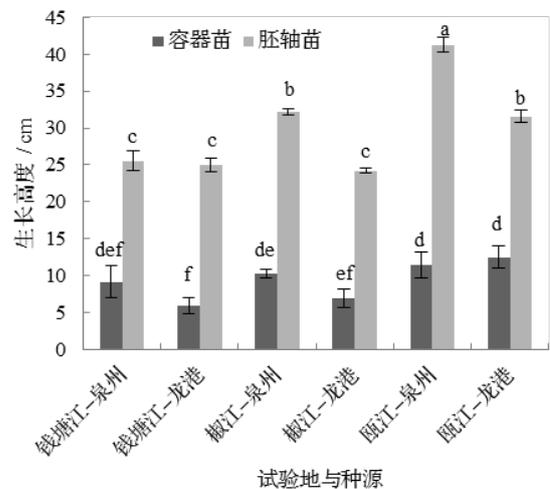


图3 各试验地不同种质、不同种苗类型秋茄树幼苗生长高度比较

Figure 3 Height growth of different *K. obovata* seedling types with different provenances in different sample plots

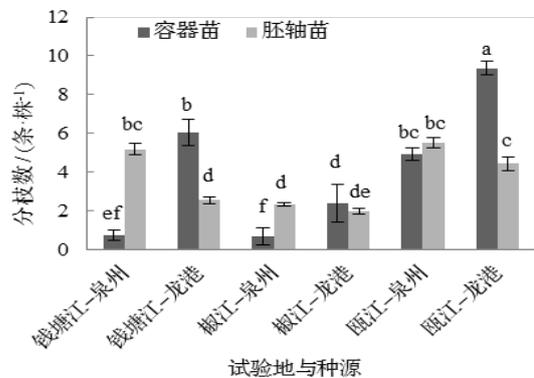


图4 各试验地不同种质、不同种苗类型秋茄树幼苗分枝数比较

Figure 4 Branching number of different *K. obovata* seedling types with different provenances in different sample plots

($P<0.05$), 在瓯江河口两者间无显著差异, 而龙港种质在钱塘江河口和瓯江河口为容器苗显著高于胚轴苗 ($P<0.05$), 在椒江河口两者间无明显差异。在钱塘江河口, 泉州种质胚轴苗的分枝数为 5.19 条·株⁻¹, 而龙港种质为 2.56 条·株⁻¹, 两者间差异显著 ($P<0.05$), 而在椒江河口和瓯江河口, 两个种质间无明显差异, 分枝数分别为 2.33、2.00 条·株⁻¹和 5.53、4.44 条·株⁻¹, 并且瓯江河口显著高于椒江河口 ($P<0.05$)。秋茄树容器苗的分枝数在三个试验地均表现出龙港种质显著高于泉州种质 ($P<0.05$), 龙港种质在瓯江河口的分枝数达到 9.37 条·株⁻¹, 而泉州种质在钱塘江河口和椒江河口的分枝数分别仅有 0.77 条·株⁻¹和 0.71 条·株⁻¹。

2.3 不同纬度秋茄树幼苗叶片参数比较

由表 3 可知, 相同种质秋茄树容器苗的叶片数和叶面积均表现出瓯江河口显著高于钱塘江河口和椒江河口 ($P<0.05$), 而龙港秋茄树仅叶片数在钱塘江河口和椒江河口间差异明显 ($P<0.05$), 其它指标均差异不显著, 但是胚轴苗的叶片数和叶面积均呈现出瓯江河口>钱塘江河口>椒江河口, 其中, 椒江河口泉州种质分别仅有瓯江河口的 27.97%和 16.32%, 椒江河口龙港种质分别仅有瓯江河口的 37.29%和 20.22%。泉州种质叶片长和叶片宽在瓯江河口最大, 钱塘江河口次之, 椒江河口最小, 而龙港种质在三个试验地间均无明显差异。

表 3 各试验地不同种质、不同种苗类型秋茄树幼苗叶片参数比较
Table 3 Leaf traits of different *K. obovata* seedling types with different provenances in different sample plots

| 种苗类型 | 试验地和种质 | 叶片数/(片·株 ⁻¹) | 叶片长/mm | 叶片宽/mm | 叶面积/cm ² |
|------|--------|--------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 容器苗 | 钱塘江-泉州 | 9.67 ± 1.35f | 80.39 ± 8.48a | 36.29 ± 3.17a | 251.86 ± 36.35d |
| | 钱塘江-龙港 | 36.85 ± 3.96c | 66.71 ± 2.86abc | 27.46 ± 1.31bc | 487.13 ± 35.52c |
| | 椒江-泉州 | 10.69 ± 1.39f | 72.49 ± 9.78abc | 30.54 ± 3.16abc | 209.90 ± 53.91de |
| | 椒江-龙港 | 18.54 ± 3.70e | 68.30 ± 2.41abc | 30.87 ± 1.31abc | 448.96 ± 21.17c |
| | 瓯江-泉州 | 34.00 ± 1.25cd | 62.44 ± 2.77bcd | 26.80 ± 0.61c | 478.15 ± 38.32c |
| | 瓯江-龙港 | 78.40 ± 3.57a | 76.85 ± 9.52ab | 33.08 ± 3.81ab | 629.02 ± 25.64b |
| 胚轴苗 | 钱塘江-泉州 | 29.56 ± 1.29d | 66.52 ± 4.93abc | 29.23 ± 2.21bc | 274.96 ± 19.74d |
| | 钱塘江-龙港 | 17.94 ± 0.24e | 63.58 ± 3.10bcd | 27.24 ± 1.87bc | 205.31 ± 35.25d |
| | 椒江-泉州 | 12.83 ± 0.50ef | 51.13 ± 3.13d | 25.52 ± 2.11c | 135.89 ± 10.69e |
| | 椒江-龙港 | 11.08 ± 0.30f | 64.73 ± 3.96bc | 30.86 ± 1.61abc | 121.11 ± 10.34e |
| | 瓯江-泉州 | 45.87 ± 1.68b | 69.91 ± 3.20abc | 29.87 ± 0.79bc | 832.38 ± 35.80a |
| | 瓯江-龙港 | 29.71 ± 0.83d | 61.09 ± 0.85cd | 27.59 ± 0.51bc | 599.02 ± 39.66b |

由表 3 还可看出, 在同一个试验地, 容器苗的叶片数和叶面积均表现出龙港种质显著高于泉州种质 ($P<0.05$), 其叶片数和叶面积最高分别达到 78.40 片·株⁻¹和 629.02 cm², 最少为 9.67 片·株⁻¹和 209.90 cm²。叶片长在钱塘江河口和椒江河口呈现出泉州种质容器苗高于龙港种质, 而在瓯江河口是低于龙港种质, 在钱塘江河口泉州种质秋茄树容器苗叶片宽显著高于龙港种质 ($P<0.05$), 但瓯江河口正好相反, 椒江河口则差异不明显。胚轴苗在三个试验地均呈现出泉州种质秋茄树叶片数和叶面积高于龙港种质, 但是在钱塘江河口和椒江河口差异不显著, 在瓯江河口, 泉州种质的叶片数和叶面积分别达到 45.87 片·株⁻¹和 832.38 cm²。在钱塘江河口和瓯江河口, 泉州种质秋茄胚轴苗的叶片长和叶片宽略高于龙港种质, 在椒江河口则低于龙港种质。

由表 3 还可以看出, 在三个试验地, 秋茄树幼苗叶片数泉州种质都表现为胚轴苗高于容器苗, 而龙港种质是胚轴苗低于容器苗, 并且在钱塘江河口和瓯江河口之间差异达到显著水平 ($P<0.05$)。叶片长和叶片宽在钱塘江河口和椒江河口是容器苗高于胚轴苗, 而在瓯江河口, 泉州种质表现出容器苗小于胚轴苗, 而龙港种质为容器苗大于胚轴苗。在钱塘江河口和椒江河口龙港种质秋茄容器苗的叶面积分别是胚轴苗的 2.37 倍和 3.71 倍, 在瓯江河口是泉州胚轴苗叶面积显著高于容器苗 ($P<0.05$)。

2.4 不同纬度秋茄树幼苗生物量指标差异

由 4 可知, 秋茄树幼苗容器苗的根、茎、叶干质量和生物积累量在瓯江河口显著高于钱塘江河口和椒江河口 ($P<0.05$), 而钱塘江河口和椒江河口间差异不显著, 而三个试验地的龙港种质秋茄树容器苗生物量指标均高于泉州种质, 并且叶片干质量和生物积累量差异均达到显著水平 ($P<0.05$), 其中, 瓯江河口试验地龙港和泉州种质秋茄树苗的生物积累量分别为 35.99 g 和 28.66 g, 根干质量仅在瓯江河口试验地差异显著 ($P<0.05$),

龙港种质根干质量达到 11.52 g, 茎干质量则正好相反。秋茄树胚轴苗的根、茎、叶干质量和生物积累量在三个试验地间表现出瓯江河口>钱塘江河口>椒江河口, 并且在瓯江河口和钱塘江河口泉州种质均显著高于龙港种质 ($P<0.05$), 其中生物积累量分别为龙港种质的 1.51 和 1.80 倍, 而在椒江河口试验地二个种质间无显著差异。

由表 4 中还可以看出, 在钱塘江河口, 对比秋茄树容器苗和胚轴苗, 泉州种质容器苗的生物量指标显著低于胚轴苗 ($P<0.05$), 生物量积累量低了 9.14 g; 龙港种质则容器苗显著高于胚轴苗 ($P<0.05$), 生物积累量高了 10.04 g。在椒江河口, 泉州种质和龙港种质秋茄树容器苗的根干质量、茎干质量、叶干质量和生物积累量均高于胚轴苗。在瓯江河口, 泉州种质容器苗的生物量指标均显著低于胚轴苗 ($P<0.05$), 龙港种质容器苗的根干质量和生物积累量均显著高于胚轴苗 ($P<0.05$), 而茎干质量和叶干质量在容器苗与胚轴苗之间差异不明显。

表 4 各试验地不同种质、不同种苗类型秋茄树幼苗生物量比较
Table 4 Biomass of different *K. obovata* seedling types with different provenances in different sample plots

| 种苗类型 | 试验地和种质 | 根干质量/g | 茎干质量/g | 叶片干质量/g | 生物积累量/g |
|------|--------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| 容器苗 | 钱塘江-泉州 | 4.56 ± 0.58e | 4.67 ± 0.80d | 4.11 ± 0.59ef | 13.34 ± 1.95e |
| | 钱塘江-龙港 | 6.44 ± 1.65cde | 6.67 ± 0.37c | 9.42 ± 1.29c | 22.53 ± 1.70d |
| | 椒江-泉州 | 5.13 ± 1.24de | 4.18 ± 0.29d | 3.84 ± 0.99ef | 13.15 ± 1.88e |
| | 椒江-龙港 | 5.94 ± 0.57cde | 6.17 ± 0.12c | 9.20 ± 0.51c | 21.15 ± 0.98d |
| | 瓯江-泉州 | 7.27 ± 1.19cd | 11.87 ± 0.45b | 9.52 ± 0.41c | 28.66 ± 1.91c |
| | 瓯江-龙港 | 11.52 ± 0.96b | 11.94 ± 1.04b | 12.54 ± 0.52b | 35.99 ± 2.35b |
| 胚轴苗 | 钱塘江-泉州 | 8.32 ± 0.48c | 7.01 ± 0.32c | 7.15 ± 0.42d | 22.48 ± 0.71d |
| | 钱塘江-龙港 | 4.18 ± 0.37e | 3.57 ± 0.26de | 4.74 ± 0.45e | 12.49 ± 0.42e |
| | 椒江-泉州 | 1.27 ± 0.23f | 3.45 ± 0.30de | 2.52 ± 0.16f | 7.25 ± 0.61f |
| | 椒江-龙港 | 0.82 ± 0.14f | 2.59 ± 0.12e | 2.57 ± 0.23f | 5.98 ± 0.42f |
| | 瓯江-泉州 | 14.14 ± 1.26a | 14.99 ± 0.56a | 18.16 ± 0.82a | 47.29 ± 1.82a |
| | 瓯江-龙港 | 7.92 ± 0.79c | 10.74 ± 0.61b | 12.68 ± 0.99b | 31.34 ± 2.16c |

3 讨论与结论

3.1 讨论

张宜辉等^[14]研究认为地质土壤理化因子(有机质含量在 2.45% ~ 3.94%; 全氮含量在 0.20% ~ 0.34%; 全磷含量在 0.03% ~ 0.04%)不是造成秋茄树幼苗生长差异的主要原因。在施肥试验中, 增施复合肥也未显著增加秋茄树的生长量^[15], 而在土壤类型研究中显示秋茄树在潮滩淤泥土的生长显著高于沙泥土^[16]。同时, 秋茄树在浙江的宜林高程为 1.66 m 以上, 平均每月潮水浸淹 2 d 以上^[6,17]。根据全国第二次土壤普查养分分级标准^[18], 三个试验地土壤养分属于中等, 并且土壤类型均属于潮滩淤泥土, 高程范围为 2.24 ~ 2.91 m, 由此推测土壤养分和高程对三个试验地河口滩涂秋茄树生长影响不大。秋茄树自然分布区滩涂土壤含盐量为 8% ~ 15%, 土壤盐度在 8.35% ~ 25.32% 范围, 秋茄树生长正常, 保存率高^[16,19]。但高盐度环境会对秋茄树的生长产生一定的抑制, 在盐度 10% ~ 30% 处理下, 随着盐度的升高, 生长逐渐减慢^[7], 而且低温也会抑制秋茄树的生长^[6,20]。本研究三个试验地的土壤盐度在 8.08% ~ 16.45%, 其中瓯江河口试验地的土壤含盐量显著高于钱塘江河口和椒江河口, 年平均气温和最低月平均气温则从南向北逐渐降低, 而秋茄树容器苗和胚轴苗在瓯江河口的生长表现明显优于钱塘江河口和椒江河口。因此, 推测温度对秋茄树生长的抑制大于土壤盐度。

陈鹭真等^[11]对 2008 年的寒害调查研究认为, 因为长期适应了冬季较低的气温, 秋茄树表现出具有较强的抗寒能力。秋茄树造林试验结果表明, 经过 -3.2℃ 的极端低温, 秋茄树能够在苍南安全越冬, 并且种源对比试验发现, 与其它种源比较, 苍南种源秋茄树地径粗, 分枝多, 叶片大而厚, 树势壮^[21-22]。前期研究发现龙港秋茄树种质在温州及浙江台州玉环以南造林区试, 生长旺盛, 存活率可达 82%, 并且可耐 -4.5℃ 极端低温^[12]。本研究中, 龙港秋茄树种质幼苗的保存率显著高于泉州种质, 龙港秋茄树胚轴苗保存率均超过 59.00%, 最高达到 94.44%。在钱塘江口龙港种质容器苗和胚轴苗的保存率分别为 72.92% 和 82.78%, 而泉州种质分别仅有 33.47%

和 15.28%。在三个试验地龙港种质容器苗的生长表现均优于泉州种质，但胚轴苗的生长表现低于泉州种质，这可能与泉州种质胚轴成熟早，胚轴苗生长期比龙港种质长 1 个月有关。郑坚等^[21]以广东雷州半岛秋茄树在温州龙湾试验发现在高、中滩位胚轴苗的保存率和生长势都超过容器苗。但是在台州蛇蟠岛以福建秋茄树种质为材料，发现容器苗的保存率、新梢长度、苗高、地径和分枝数均显著大于胚轴苗^[23]。本试验发现，泉州种质秋茄树容器苗在钱塘江河口和椒江河口的保存率高于胚轴苗，而龙港种质在钱塘江河口则是胚轴苗高于容器苗。泉州种质秋茄树容器苗的分枝数、叶片数、叶面积和生物积累量在三个试验地均表现出小于胚轴苗，而在钱塘江河口和椒江河口呈现龙港种质容器苗的分枝数、叶片数、叶面积和积累量大于胚轴苗，在瓯江河口则是小于胚轴苗。因此，认为在秋茄树继续北移过程中，应该优先选择北缘的秋茄树种质，并且以容器苗为佳，但是还需要继续观测。

3.2 结论

在不同纬度的钱塘江河口、椒江河口和瓯江河口滩涂通过对秋茄树不同种质和种苗类型种植对比试验，发现三个河口滩涂土壤环境均适合秋茄树的生长，并且龙港种质秋茄树的保存率和生长表现在钱塘江河口和椒江河口高于泉州种质，在瓯江河口两者差异不明显。龙港种质容器苗在钱塘江河口和椒江河口的生长表现优于胚轴苗，而在瓯江河口比胚轴苗差。因此，龙港秋茄树种质更加适应宁波和台州地区河口滩涂环境，在红树林营建工程中应优先选择龙港秋茄树种质容器苗，泉州秋茄树种质和龙港秋茄树种质均适应温州地区河口滩涂环境，但建议在红树林营建工程中优先选择龙港种质胚轴苗。

参考文献：

- [1] 王文卿, 王瑁. 中国红树林[M]. 北京: 科学出版社, 2007, 86.
- [2] OSLAND M J, HARTMANN A M, DAY R H, et al. Microclimate influences mangrove freeze damage: implications for range expansion in response to changing macroclimate[J]. *Estuar Coast*, 2019, 42: 1084–1096.
- [3] GLENN A, COLDREN C, EDWARD P. Mangrove seedling freeze tolerance depends on salt marsh presence, species, salinity, and age[J]. *Hydrobiologia*, 2017, 803: 159–171.
- [4] PETROSIAN H, KAR AD, ASHRAFI S, et al. Investigating environmental factors for locating mangrove Ex-situ conservation zones using GIS spatial techniques and the logistic regression algorithm in mangrove forests in Iran[J]. *Pol J Environ Stud*, 2016, 25 (5): 2097–2106.
- [5] 邓瑞娟. 不同种源秋茄幼苗对自然和人工降温的生理响应研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2018.
- [6] 金川. 浙江人工红树林对关键环境因子的生态响应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [7] 廖宝文. 三种红树植物对潮水淹没与水体盐度适应能力的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010.
- [8] 陈秋夏, 杨升, 王金旺, 等. 浙江红树林发展历程及探讨 [J]. *浙江农业科学*, 2019, 60 (7): 1177–1181.
- [9] 张乔民, 隋淑珍, 张叶春, 等. 红树林宜林海洋环境指标研究[J]. *生态学报*, 2001, 21 (9): 1427–1437.
- [10] 郑俊鸣, 舒志君, 方笑, 等. 红树林造林修复技术探讨[J]. *防护林科技*, 2016 (1): 99–103.
- [11] 陈莺真, 王文卿, 张宜辉, 等. 2008 年南方低温对我国红树植物的破坏作用[J]. *植物生态学报*, 2010, 34 (2): 186–194.
- [12] 陈秋夏, 郑坚, 周文培, 等. 秋茄新品种‘龙港’ [J]. *园艺学报*, 2019, 46 (S2): 2927–2928.
- [13] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 81–87, 132–136, 169–177, 201–206.
- [14] 张宜辉, 王文卿, 吴秋城, 等. 福建漳江口红树林区秋茄幼苗生长动态[J]. *生态学报*, 2006, 26 (6): 1648–1656.
- [15] 池伟, 仇建标, 陈少波, 等. 几种肥料在秋茄胚轴生长发育过程中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (2): 679–680.
- [16] 李巧姿. 沿海滩涂生态因子对秋茄生长的影响分析[J]. *福建林业科技*, 2000, 27 (4): 31–34.
- [17] 仇建标, 黄丽, 陈少波, 等. 强潮差海域秋茄生长的宜林临界线[J]. *应用生态学报*, 2010, 21 (5): 1252–1257.
- [18] 全国第二次土壤普查养分分级标准[EB/OL].[2020-09-01]. <http://www.doc88.com/p-739755213760.html>.
- [19] 李建清, 徐何方, 叶丽珍, 等. 秋茄红树林北移引种造林技术[J]. *浙江林业科技*, 2001, 21 (6): 51–53.
- [20] 林捷. 秋茄幼苗对低温胁迫的生理响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [21] 郑坚, 陈秋夏, 王金旺, 等. 不同种源、种苗类型秋茄造林效果的比较[J]. *浙江农业科学*, 2016, 58 (8): 1221–1222, 1355.
- [22] 许加意. 浙南地区秋茄红树林营建技术探讨[J]. *浙江林业科技*, 2009, 29 (6): 57–60.
- [23] 高云振, 储家森, 丁志旺, 等. 蛇蟠岛海涂湿地红树林引种试验[J]. *防护林科技*, 2011 (6): 14–15, 37.