

⑨  
48-53

# 广西英罗湾红树植物幼苗生长关系的研究\* A Study on Growth Relationship of Some Mangrove Seedlings in Yingluo Bay, Guangxi

梁士楚  
Liang Shichu

8796

(广西红树林研究中心 北海 536000)  
(Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, 536000)

**A 摘要** 对广西英罗湾红树林内的木榄、秋茄、红海榄、白骨壤和桐花树 5 种红树植物幼苗的株高、胚轴长度、茎高、基径、节数、叶数、根高、根长、叶面积等形态因子的数量特征及生物量进行了较为系统的研究。根据实测的数据,采用一元线性回归、多元线性回归和幂函数回归拟合了幼苗主要形态因子和生物量的回归模型。

**关键词** 红树植物 幼苗 生长关系 模型 广西 红树林 热带

**Abstract** This paper deals with the morphological character and biomass of *Bruguiera gymnorhiza*, *Kandelia candel*, *Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina* and *Aegiceras corniculatum*. According to the data of the practical investigation and measurement, 54 regressive models between the morphological factors and biomass of the seedlings are set up using linear regression, multiple linear regression and geometric regression.

**Key words** mangrove, seedlings, growth relationship, regressive model

红树林是热带、亚热带海岸潮间带特有的木本植物群落,它是海湾河口地区重要的生物资源,具有重要的经济价值和生态效益。由于红树林遭到严重破坏,红树林面积不断减少,如何保护和恢复红树林迫在眉睫。在自然状态下,红树植物幼苗的成活率低,红树林的自然更新缓慢。因此,掌握红树植物幼苗的生长规律具有重要的意义。

## 1 材料与方 法

研究材料采自广西英罗湾红树林保护区(21°28'N, 109°43'E)<sup>[1]</sup>,种类有木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)、秋茄(*Kandelia candel*)、红海榄(*Rhizophora stylosa*)、白骨壤(*Avicennia*

1995-06-19 收稿。

\* 国家自然科学基金资助项目。

*marina*) 和桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 5种, 它们的生境条件如表1所示。每种幼苗选取25株具有代表性的个体进行外部形态数量特征和生物量的测定, 计测指标包括株高(H)、胚轴长度(VL)、茎高(SH)、基径(D)、节数(NN)、叶数(LN)、根高(RH)、根长(RL)、叶面积(LA)以及根、胚轴、茎、枝和叶等器官的鲜重。其中, 叶面积是用重量回归法<sup>[2,3]</sup>计出。每种幼苗分器官随机取样, 置于干燥箱中, 80℃恒温烘至恒重, 求其干物率, 然后将各株器官的鲜重换算成干重, 各器官生物量干重(根  $W_r$ 、胚轴  $W_v$ 、茎  $W_s$ 、枝  $W_b$  和叶  $W_l$ ) 之和即为全株生物量干重 ( $W_t$ )。生物量以干重计测。

通过相关分析, 确定各种红树植物幼苗主要生长因子间的相关性, 利用一元线性回归、多元线性回归和幂函数回归建立它们之间的数学模型。

表1 英罗湾几种红树植物幼苗的生境条件

生境条件	木榄	秋茄	红海榄	白骨壤	桐花树
滩位	内滩	内滩	内滩	外滩	内滩
群落类型	木榄群落	秋茄群落	红海榄群落	白骨壤群落	桐花树群落
土壤类型	中壤土	轻粘土	轻粘土	轻壤土	轻粘土
pH值	5.2	6.8	4.8	4.5	6.8
有机质(%)	7.28	5.16	13.35	2.78	6.14
含盐量(‰)	28.01	17.80	35.03	7.98	16.43

## 2 结果与讨论

### 2.1 叶面积回归模型

根据样叶的叶面积对其鲜重(WFI)作散点图, 它们之间呈显著的线性关系, 因此采用一元线性回归方程进行拟合, 得到英罗湾红树植物幼苗的叶面积与其鲜重的回归模型为\*:

木 榄:  $LA = 34.9557 + 13.9036WFI$ ,  $r = 0.9685$ ,  $s = 4.4031$ ,  $RE = 0.046$ ;

秋 茄:  $LA = 28.8439 + 15.8143WFI$ ,  $r = 0.9135$ ,  $s = 2.9632$ ,  $RE = 0.049$ ;

红海榄:  $LA = 46.0422 + 14.8886WFI$ ,  $r = 0.9377$ ,  $s = 4.9579$ ,  $RE = 0.043$ ;

白骨壤:  $LA = 3.3445 + 40.7643WFI$ ,  $r = 0.9802$ ,  $s = 1.2507$ ,  $RE = 0.036$ ;

桐花树:  $LA = 6.0442 + 42.7363WFI$ ,  $r = 0.9250$ ,  $s = 2.5209$ ,  $RE = 0.058$ 。

### 2.2 形态因子数量特征及其相关性

英罗湾5种红树植物幼苗形态的主要数量指标的测定结果(平均值)如表2所示。红树植物的果实成熟后仍留在母树上, 种子在母树上的果实内萌发胚轴, 但不萌芽而发育成胎生苗。其中, 木榄、秋茄和红海榄是显胎生植物, 萌发的胚轴伸出果实外, 各长15~25 cm、20~35 cm和25~50 cm<sup>[4,5]</sup>。胎生苗成熟自然掉落时, 其胚轴仅下部固着于土壤中, 而且在幼苗生长过程中, 胚轴始终与茎形成明显的区别, 故在幼苗器官划分上仍称其为胚轴。而桐花树和白骨壤是隐胎生植物, 萌发的胚轴不露出果实外, 但桐花树在幼苗生长过程中, 其胚轴高出地面且与茎的区别较明显, 白骨壤则没有这种现象产生。英罗湾红树林中, 这5种红树植物的幼苗具分枝的个体较少或没有, 这与其生长特性和生境条件密切相关。由于不同种类红树植物幼苗生物生态学特性的差异, 木榄、秋茄和红海榄幼苗的株高、基径、根高、根长

\*  $r$ —相关系数,  $s$ —剩余标准差,  $RE$ —相对误差, 下同。

等形态数量指标均高于桐花树和白骨壤幼苗。秋茄幼苗因叶数较少，故其叶面积比白骨壤和桐花树幼苗小。

表2 英罗湾几种红树植物幼苗的形态特征及生物量

项	目	木榄	秋茄	红海榄	白骨壤	桐花树
形态特征	株高 (cm)	46.0	53.6	63.2	20.0	24.7
	胚轴长度 (cm)	18.0	21.9	28.5	—	10.1
	茎高 (cm)	33.4	37.0	40.4	20.0	18.6
	基径 (cm)	0.800	0.579	0.754	0.527	0.477
	节数 (节)	12	11	11	7	—
	叶数 (片)	11	6	9	9	10
	根高 (cm)	4.5	4.4	4.1	2.2	3.7
	根长 (cm)	20.7	17.2	20.1	12.1	9.3
	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	325.36	172.68	349.39	217.51	276.38
生物量 (g)	根	2.163	1.631	2.085	0.332	0.332
	胚轴	7.032	4.532	9.984	—	0.669
	茎	4.157	2.204	3.861	0.697	0.817
	枝	0.338	—	0.109	0.004	—
	叶	4.908	2.283	5.488	1.313	1.765
	全株	18.600	10.751	21.519	2.346	3.584

对英罗湾5种红树植物幼苗的株高、胚轴长度、基径、根高、根长、叶面积等因子进行相关分析，结果（相关矩阵略）表明，最重要的特征是除胚轴长度外，其它的生长因子均与根长呈显著的正相关，但与根高的相关性不显著。同时，根长和根高之间不存在显著的相关性。这与红树植物胎生苗的自然固着性质和潮滩生境条件等密切相关。红树植物胎生苗的自然固着主要有二种方式，一是胎生苗脱离母树时，在重力的作用下，直接插入母树树冠下的土壤中；二是胎生苗随海水漂动，其固着呈随机性质，如遇根际、凹穴等截留，胚轴根端长根后才能固着。胎生苗的固着深度与土壤软质程度相关，英罗湾红树林中胎生苗的固着深度多在10 cm以下。由于土壤中富含孔隙水，孔隙水中溶有少量的游离氧，并难以与空气进行气体交换；土壤滋生大量硫酸盐还原细菌，其产生的硫化氢气体与孔隙水中氧气反应，进一步降低了含氧量；底栖动物亦消耗了部分氧气，故潮滩土壤缺氧，土壤较深处易产生缺氧毒害，不利于根生长。因此，红树植物幼苗根的生长高度是受胎生苗的固着深度和土壤理化性质的制约，自然生长的红树植物幼苗在土壤表层形成放射状根系。根越长，可使幼苗获得更充足的源物质，从而有利于幼苗茎、叶等地上器官的生长，呈现植物地上、地下相关生长的性质。胚轴长度与其它的生长因子间的相关性不显著，说明了胚轴在幼苗的生长发育过程中，胚轴的生长相对缓慢，主要起固着和支持的作用，长度大小主要取决于其在胎生苗成熟时的伸长长度。

对有确定相关关系的生长因子建立它们的数学关系模型，可定量地了解红树植物幼苗相关生长的性质，并可进行统计和预测，这对难于测定的数量指标是一种较好的间接方法。英

罗湾红树植物幼苗主要形态因子间的数学模型如下:

(1) 株高的基径、根长、叶面积多元线性回归模型

木 榄:  $H = -0.7642 + 36.3958D + 0.4484RL + 2.5691LA$ ,  $r = 0.9306$ ,  
 $s = 5.6926$ ,  $RE = 0.098$ ;

秋 茄:  $H = -12.4274 + 10.1773D + 0.6661RL + 0.2821LA$ ,  $r = 0.9327$ ,  
 $s = 5.7842$ ,  $RE = 0.096$ ;

红海榄:  $H = 54.2603 - 45.2285D + 0.4985RL + 0.0945LA$ ,  $r = 0.8787$ ,  
 $s = 7.1829$ ,  $RE = 0.087$ ;

白骨壤:  $H = 8.0715 - 17.1294D + 0.1667RL + 0.0873LA$ ,  $r = 0.9791$ ,  
 $s = 2.1830$ ,  $RE = 0.085$ ;

桐花树:  $H = 17.5197 - 43.1471D + 0.8004RL + 0.0733LA$ ,  $r = 0.9384$ ,  
 $s = 3.2920$ ,  $RE = 0.098$ .

(2) 根长的基径、株高幂函数回归模型

木 榄:  $RL = 10.5211 (D^2H)^{0.1983}$ ,  $r = 0.6357$ ,  $s = 3.7954$ ,  $RE = 0.161$ ;

秋 茄:  $RL = 6.6945 (D^2H)^{0.3221}$ ,  $r = 0.7229$ ,  $s = 3.2699$ ,  $RE = 0.147$ ;

红海榄:  $RL = 4.5739 (D^2H)^{0.4030}$ ,  $r = 0.7240$ ,  $s = 5.4722$ ,  $RE = 0.226$ ;

白骨壤:  $RL = 8.3897 (D^2H)^{0.2123}$ ,  $r = 0.7355$ ,  $s = 1.9261$ ,  $RE = 0.149$ ;

桐花树:  $RL = 4.2712 (D^2H)^{0.4372}$ ,  $r = 0.8054$ ,  $s = 2.3703$ ,  $RE = 0.207$ .

(3) 叶面积的基径、株高幂函数回归模型

木 榄:  $LA = 30.2823 (D^2H)^{0.6784}$ ,  $r = 0.9868$ ,  $s = 45.9337$ ,  $RE = 0.070$ ;

秋 茄:  $LA = 69.1035 (D^2H)^{0.3169}$ ,  $r = 0.8954$ ,  $s = 16.9703$ ,  $RE = 0.076$ ;

红海榄:  $LA = 18.3768 (D^2H)^{0.8006}$ ,  $r = 0.9854$ ,  $s = 36.2906$ ,  $RE = 0.075$ ;

白骨壤:  $LA = 71.4477 (D^2H)^{0.6119}$ ,  $r = 0.9618$ ,  $s = 17.0245$ ,  $RE = 0.082$ ;

桐花树:  $LA = 86.9439 (D^2H)^{0.8407}$ ,  $r = 0.9738$ ,  $s = 40.0755$ ,  $RE = 0.085$ .

### 2.3 生物量回归模型

英罗湾5种红树植物幼苗生物量的测定结果(平均值)如表2所示。木榄、秋茄和红海榄幼苗根、茎、叶以及全株的生物量均明显高于桐花树和白骨壤幼苗,这是不同种类红树植物幼苗生物学特性差异的结果。在生物量结构中,木榄、秋茄和红海榄幼苗是以胚轴的生物量最大,而桐花树和白骨壤幼苗是以叶的生物量最大。不同器官生物量的大小顺序为:木榄,胚轴>叶>茎>根>枝;秋茄,胚轴>叶>茎>根;红海榄,胚轴>叶>茎>根>枝;白骨壤,叶>茎>根>枝;桐花树,叶>茎>胚轴>根。

红树植物幼苗生物量研究的另一个重要目的是建立各种生物量预测模型,为立地条件类似的红树植物幼苗生物量估测提供依据。红树植物幼苗生物量是相对较难测定的数量指标,以基径、株高等易于测定的参数来估算其生物量是一种较好的间接方法。生物量常用非线性模型拟合,其中用幂函数  $W = a \cdot (D^2H)^b$  较为普遍,因为该模型较好地反映了生物量(W)随基径(D)、株高(H)的变化趋势<sup>[3,6]</sup>。鉴此,对英罗湾的红树植物幼苗生物量建立了如下的幂函数回归模型。

木 榄:  $W_r = 1.0307 (D^2H)^{0.2200}$ ,  $r = 0.8704$ ,  $s = 0.2680$ ,  $RE = 0.076$ ;

$W_v = 4.4234 (D^2H)^{0.1298}$ ,  $r = 0.3858$ ,  $s = 1.9248$ ,  $RE = 0.237$ ;

$$\begin{aligned}
 & W_s = 0.2426 (D^2H)^{0.8065}, r = 0.9876, s = 0.4039, RE = 0.087; \\
 & W_l = 0.2773 (D^2H)^{0.8141}, r = 0.9882, s = 0.6455, RE = 0.085; \\
 & W_t = 3.8066 (D^2H)^{0.4627}, r = 0.9686, s = 1.6577, RE = 0.079; \\
 \text{秋 茄: } & W_r = 0.4369 (D^2H)^{0.4454}, r = 0.7819, s = 0.4153, RE = 0.128; \\
 & W_v = 3.4842 (D^2H)^{0.0872}, r = 0.2848, s = 0.8592, RE = 0.147; \\
 & W_s = 0.3098 (D^2H)^{0.6646}, r = 0.9371, s = 0.3815, RE = 0.094; \\
 & W_l = 0.7806 (D^2H)^{0.3843}, r = 0.8964, s = 0.2793, RE = 0.091; \\
 & W_t = 4.1949 (D^2H)^{0.3259}, r = 0.9104, s = 0.9958, RE = 0.079; \\
 \text{红海榄: } & W_r = 0.4816 (D^2H)^{0.4021}, r = 0.7956, s = 0.4830, RE = 0.126; \\
 & W_v = 10.4791 (D^2H)^{-0.0231}, r = 0.0604, s = 2.5466, RE = 0.230; \\
 & W_s = 0.1411 (D^2H)^{0.8959}, r = 0.9847, s = 0.5434, RE = 0.078; \\
 & W_l = 0.1479 (D^2H)^{0.9748}, r = 0.9836, s = 0.8015, RE = 0.095; \\
 & W_t = 4.9231 (D^2H)^{0.4090}, r = 0.9189, s = 2.5416, RE = 0.096; \\
 \text{白骨壤: } & W_r = 0.1884 (D^2H)^{0.3276}, r = 0.8592, s = 0.0439, RE = 0.107; \\
 & W_s = 0.1881 (D^2H)^{0.6975}, r = 0.9728, s = 0.1775, RE = 0.095; \\
 & W_l = 0.4202 (D^2H)^{0.6248}, r = 0.9608, s = 0.1030, RE = 0.085; \\
 & W_t = 0.7920 (D^2H)^{0.5978}, r = 0.9791, s = 0.2038, RE = 0.064; \\
 \text{桐花树: } & W_r = 0.2393 (D^2H)^{0.1902}, r = 0.6956, s = 0.0626, RE = 0.101; \\
 & W_v = 0.4851 (D^2H)^{0.1543}, r = 0.2970, s = 0.3722, RE = 0.372; \\
 & W_s = 0.3364 (D^2H)^{0.4993}, r = 0.9603, s = 0.0968, RE = 0.085; \\
 & W_l = 0.5360 (D^2H)^{0.6584}, r = 0.9736, s = 0.2645, RE = 0.088; \\
 & W_t = 1.5365 (D^2H)^{0.4821}, r = 0.9732, s = 0.3671, RE = 0.065.
 \end{aligned}$$

上述模型中,  $r$ ,  $s$  和  $RE$  参数说明了除胚轴外, 其它器官生物量的回归模型均具有估测价值。根据相关分析, 胚轴的生物量与基径、株高以及叶面积等形态因子间的相关性都不显著, 说明了在幼苗的生长发育过程中, 胚轴生长相对缓慢, 生物量的大小主要取决于其在胎生苗成熟时的重量。

根据相关生长的原理, 对英罗湾红树植物幼苗的生物量还可以建立一些数学关系模型, 定量地了解红树植物幼苗生物量与形态因子间或各器官间的相关性质, 由此亦可达到统计和预测的目的, 如下列的幼苗全株生物量模型等等。

(1) 全株生物量的株高、基径、根长、叶面积多元线性回归模型

$$\begin{aligned}
 \text{木 榄: } & W_t = -4.0485 + 0.1162H + 17.1271D + 0.0324RL + 0.0090LA, \\
 & r = 0.9740, s = 1.7259; RE = 0.076;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{秋 茄: } & W_t = 0.5800 + 0.0671H + 5.9714D + 0.1228RL + 0.0058LA, \\
 & r = 0.9418, s = 0.8572; RE = 0.061;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{红海榄: } & W_t = 4.6689 + 0.1318H - 1.3042D + 0.1005RL + 0.0214LA, \\
 & r = 0.9435, s = 2.2999; RE = 0.092;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{白骨壤: } & W_t = -0.3952 - 2.7094H + 2.0723D - 0.0241RL - 0.0114LA, \\
 & r = 0.9949, s = 0.1586; RE = 0.056;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{桐花树: } & W_t = 0.4608 - 6.0673H + 1.3517D + 0.0246RL + 0.0087LA,
 \end{aligned}$$

$$r=0.9916, s=0.2073; RE=0.044.$$

## (2) 全株生物量的根、茎、叶生物量多元线性回归模型

木 榄:  $W_t=5.1346+1.6080W_r+1.4735W_s+0.7868W_l$ ,  $r=0.9618$ ,  
 $s=2.0402$ ,  $RE=0.110$ ;

秋 茄:  $W_t=4.3148+0.7764W_r+1.2066W_s+1.0531W_l$ ,  $r=0.9317$ ,  
 $s=0.9037$ ,  $RE=0.067$ ;

红海榄:  $W_t=10.4090+1.3113W_r+0.0189W_s+1.5129W_l$ ,  $r=0.9248$ ,  
 $s=2.5756$ ,  $RE=0.107$ ;

白骨壤:  $W_t=-0.0030+0.9102W_r+0.9916W_s+1.0526W_l$ ,  $r=0.9999$ ,  
 $s=0.0166$ ,  $RE=0.005$ ;

桐花树:  $W_t=0.8296+0.1320W_r+0.4515W_s+1.3265W_l$ ,  $r=0.9895$ ,  
 $s=0.2256$ ,  $RE=0.058$ .

## 3 结语

(1) 不同种类的红树植物幼苗生物生态学特性的差异, 加上生境条件的不同, 致使各种红树植物幼苗的形态数量特征及生物量产生差异。

(2) 在红树植物幼苗的生长过程中, 胚轴的长度和生物量主要取决于其在胎生苗成熟时的伸长长度和重量, 而与其它器官的相关性不显著。根的生长高度受胎生苗的固着深度和土壤的理化性质的制约, 与其它器官的相关性亦不明显。根长和株高、基径和叶面积之间呈现相关生长的性质。

(3) 在红树植物幼苗的研究中, 基径和株高是相对容易测定的因子, 利用这些因子的数量指标, 用数理统计理论拟合回归方程来估算其它因子的数量特征是一种较好的间接方法, 基径和株高能反应出其它形态因子和生物量的变化趋势。根据优化模型的原则, 拟合了英罗湾5种红树植物幼苗形态因子和生物量的54个回归模型, 这些模型除胚轴外均达到1%显著水平, 具有较高相关性, 此外, 除根长外相对误差多在0.036~0.110幅度变动, 说明了估测值和实测值之间的差异较小, 因此这些模型具有实用价值。根长的基径、株高幂函数回归模型的相对误差为0.147~0.226, 说明根长与基径和株高之间的相关性相对较小。

## 参考文献

- 1 梁士楚, 范航清. 广西英罗湾红海榄群落植物种群的分布格局. 广西科学院学报(红树林论文专辑), 1993, 9(2): 88~93.
- 2 高智慧, 蒋国洪, 邢爱金等. 浙北平原水杉人工林生物量的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(1): 64~71.
- 3 黄全, 李意德, 赖巨章等. 黎母山热带山地雨林生物量研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15(3): 197~205.
- 4 N. A. Siddiqi, M. R. Islam, M. A. S. Khan et. al.. Mangrove Nurseries in Bangladesh. Mangrove Ecosystems Occasional Papers, 1993, (1): 1~10.
- 5 Richard Lear, Tom Turner. Mangroves of Australia. University of Queensland Press, 1977, 19~79.
- 6 周世强, 黄金燕. 四川红杉人工林分生物量和生产力的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 15(1): 9~16.

(责任编辑: 莫鼎新 唐铃弟)