

红树植物半人工小群落的生态学研究*

——不间伐的灌木环境对乔木种群的 适宜度及群落改造决策

郑松发 郑德璋 廖宝文 李 云 郑馨仁 王恭礼

摘要 采用种群保存及生长指标综合指数,以间伐灌木后引进的乔木种群作为对照标准,以直接引进的乔木种群作为主要研究对象,进行不作间伐的灌木环境对于乔木种群的适宜度对比分析;再运用灰色局势决策理论和方法,以乔木种群优势和良好的林相、尽快发挥防风消浪效果、改造后所形成的半人工小群落合理的乔灌比例和最大的生产力、合理的乔木种群结构、群落的可持续性更新和长期发挥效益等方面进行多目标综合决策,从中选出了改造我国普遍存在的次生桐花树+角果木灌木群落的较好乔木树种和确定较佳的改造方式。结果表明:不作任何间伐的灌木环境对三个乔木种群的适宜度大小依次为:红海榄>木榄>海莲;相对于直接引进方式而言,块状间伐灌木后引进乔木种群的改造方式可明显提高乔木种群的保存和生长发育效果;以直接引进乔木种群的方式改造桐花树+角果木灌木群落,按乔木种群的优劣次序可排列为:红海榄 红树 木榄 海莲。

关键词 红树乔木种群 灌木环境 适宜度 群落改造 灰色局势决策

前文^[1]已系统地研究了海莲[*Bruguiera sex angula* (Lour) Poir]、木榄[*B. gymnorrhiza* (L.) Lamk]、红海榄(*Rhizophora stylosa* Griff)、红树(*R. apiculata* Blum)四个乔木种群以直接的方式,即对引入部位不作任何清理的方式,被人工引进一个次生桐花树(*Aegiceras corniculatum* Blanco)+角果木[*Ceriops tagal* (Perr.) C. B. Rob.]灌木群落后对于原群落及其种群的扰动强度、扰动机制和两个灌木种群受扰动后表现出来的某些生态学特性,解决了利用这些乔木种群对此类灌木实行有目的且有效的人为调控问题。然而,还有下列3个问题必须解决:(1)不作任何间伐的灌木群落环境对乔木种群的适宜度如何?(2)进行次生灌木群落改造时是否有必要伐除部分灌木后再引进乔木种群?(3)从提高群落的防护效益和增加产量的目标出发,采用直接引进方式改造此类灌木群落需采用哪种乔木最佳?这些问题的探讨在红树林研究领域内尚未见报道。它们的解决,无疑对于了解各引入的乔木种群在高密度灌木(2 a 以上的灌木密度约 29 株/m²,若包括 2 a 以下将达 75 株/m²)环境的选择压力下所表现出来的生物、生态学特性,科学地进行此类次生灌木群落的改造和乔木群落的恢复,节约人力和物力,有着十分重要的指导意义和实际应用价值。

1 材料和方法

(1)在建立的四个小群落(群落概况及地点见参考文献[1]中设立面积为 800 m²的样地各一个。对引入的各乔木种群进行每木调查,测定其树高、地径(以胚轴顶端发芽处为测量部位)、

1997—02—17 收稿。

郑松发副研究员,郑德璋、廖宝文、李云(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520);郑馨仁、王恭礼(海南省东寨港国家级红树林保护区)。

* 本文为“八五”国家科技专题“红树林主要树种造林和经营技术研究”和 1992~1995 年国家自然科学基金项目“红树林植被恢复的人为调控研究”的重要内容之一;海南岛东寨港保护区陈焕雄、陈光禄、黄仲琪大力协助野外调查,谨此一并致谢!

冠幅,计算保存率。各样地中分别有木榄 349 株,红海榄 335 株,红树 330 株,海莲 236 株。

(2) 根据测得的树高、地径和冠幅,分别计算平均值,再在各小群落中分别找到最接近这 3 个平均值的样树 2 株,将其伐倒,分枝杆和叶子称重,再分别抽取一定量的样品,在 85 °C 的烘箱中烘至恒重,以估计各小群落乔木种群地上部分生物量。

(3) 灌木种群生物量及其有关指标的测量方法见参考文献[1]。

(4) 在同一灌木群落的另一处改造试验林中,调查块状和带状疏伐灌木后引进的 3 个乔木种群——木榄、红海榄和海莲,共调查 27 块和 27 带(块和带大小分别为 6 m × 8 m 和 2 m × 30 m) 1 080 株,每个种群 9 块和 9 带共 360 株,调查内容包括树高、地径和保存率。

(5) 考虑到调查时直接引进的乔木种群与块状及带状间伐灌木后引进的相同乔木种群的年龄不同(前者 8 a, 后者 3 a),为提高结果的可靠性,在进行灌木环境对于引进种群的适宜度分析时均采用单位时间变化率指标,同时,根据现有资料进行分析判断结果的可靠性论证。

2 数据分析、结果及讨论

2.1 适宜度分析

2.1.1 分析原理及对分析结果的判断 运用环境科学中的环境质量综合指数公式^[5]计算乔木种群保存及生长指标综合指数,以衡量不作任何清理的灌木环境对于各乔木种群的适宜度,公式如下: $P = \sum W_{1i} p_i + \sum W_{2i} p_i$ 式中: $p_i = C_{i1} / C_{i2}$, 为某乔木种群在直接引进时的第 i 个指标测量值与某乔木种群在某种方式下伐除灌木后引进的第 i 个指标测量值之比; \sum_1 是对诸 $p_i > 1$ 求和, \sum_2 是对一切 p_i 求和; 而 $W_{1i} = p_i / \sum_1 p_i (p_i > 1)$, $W_{2i} = p_i / \sum_2 p_i (一切 p_i)$ 。当某一直接引进的乔木种群的一切指标均不超过在某种方式下消除部分灌木不利影响情况下的相应指标时, P 值一定不超过 1; 当指标中只要有一个超过时, P 值也一定超过 1。 P 值越大,说明不作任何清理的灌木环境对该种群越适宜。这种比较的结果反过来也可判断利用某一乔木种群进行次生灌木群落改造时是否有必要伐除灌木和采用那种方式来伐除灌木。综合指数公式,以多指标衡量一种生境条件对于目标种群的适宜度,显然比林业上单独用调查林分的立木平均高与标准林分的立木平均高衡量,前者环境条件的优劣更能反映客观情况。各乔木种群在 3 种不同引进条件下的指标见表 1。

表 1 各乔木种群在两种不同引进条件下的保存和生长状况

指 标	直接引进			块状伐除灌木后引进			带状伐除灌木后引进		
	木榄	红海榄	海莲	木榄	红海榄	海莲	木榄	红海榄	海莲
高度平均生长量(cm/a)	16.76	22.12	14.32	23.26	25.16	19.97	21.54	24.96	16.71
地径平均生长量(cm/a)	0.57	0.37	0.47	0.62	0.68	0.64	0.50	0.66	0.43
年均死亡率倒数 ^①	61.5	50.0	19.5	100.0	50.0	25.0	100.0	17.7	42.9

① 年均死亡率的倒数越小,年均死亡率越大。把年均死亡率转换为年均死亡率的倒数是为了避免指标之间的冲突。

将表 1 数据代入以上公式,结果见表 2。据此可作出如下判断:不作任何间伐的灌木环境对三个乔木种群的适宜度依次为:红海榄 > 木榄 > 海莲;相对于带状疏伐灌木的引进条件而言,各乔木种群在直接引进条件下的指标综合指数均大于 1,故可认为带状间伐灌木的效应不明显,相反,块状间伐灌木的效应就比较明显。

2.1.2 分析判断结果的可靠性论证 根据树干解析资料,海莲基部直径在 15 年龄以前,树高

表 2 相对于其它两种引进条件, 各乔木种群在直接引进条件下的指标综合指数

相对于块状间伐灌木的引进条件			相对于带状间伐灌木的引进条件		
木 榄	红海榄	海 莲	木 榄	红海榄	海 莲
0.77	0.85	0.75	2.04	4.95	1.98

在 25 年龄以前的 5 a 定期平均生长量是逐步上升的^[2], 木榄胸径至 20 年龄的每 2 a 定期平均生长量也是逐步上升的, 而树高的 2 a 定期平均生长量则呈现平稳状态^[3]; 对块状间伐引进乔木 4 a 观察资料的统计结果, 也显示出 3 个乔木树种每 2 a 的定期平均生长量呈缓慢上升势头或较为平稳的状态(见表 3)。

表 3 块状间伐灌木后引进的乔木每 2 a 定期平均生长量

年龄(a)	木 榄		红 海 榄		海 莲	
	树高(cm/a)	地径(cm/a)	树高(cm/a)	地径(cm/a)	树高(cm/a)	地径(cm/a)
2	12.5	0.5	14.1	0.3	15.0	0.6
4	13.5	0.5	14.2	0.7	12.0	0.5

块状间伐灌木后引进的各乔木树种近 3 a 来的保存率, 与引进两年后的保存率基本是趋于稳定的(见表 4)。虽然在观测适宜度判断指标时直接引进乔木和间伐后引进乔木所形成的半人工小群落的年龄不同, 但由于各乔木树种的上述特性, 使得计算表 1 中的年平均指标值对年龄大者稍微有利。尽管如此, 前者相对于块状间伐灌木的引进条件的指标综合指数也没有超过 1, 因此, 对上述两种方式的间伐效应的判断应该是可靠的。

表 4 块状间伐灌木后引进的乔木

最近 3 a 的保存率 (单位: %)

树 种	最近 3 a 的保存率 (单位: %)		
	1994- 11	1995- 11	1996- 11
木 榄	97	97	97
红海榄	95	94	94
海 莲	93	88	87

直接引进的乔木种群, 由于它们均与具有相同年龄差异, 间接引进的相应种群作比较, 加上采用单位时间变化率分析指标, 可在一定程度上减少因年龄差异而产生的误差, 因而可断定它们计算值的相对大小不会受大的影响。再者, 与此有关的另一研究已证明了 3 个乔木树种的耐荫性序列为: 木榄 > 红海榄 > 海莲^[4], 毫无疑问, 不作任何间伐的桐花树+ 角果木灌木环境对前两者比对后者更适宜。然而, 为什么红海榄的耐荫性比木榄弱, 但适宜度又排在木榄的前面呢? 这是因为红海榄的高生长速率较快, 能在较短的时间内高于灌木而弥补了自身的不足。

必须指出, 适宜度分析更多考虑的是各种群本身在两种不同的环境条件下所表现的保存和生长发育特性, 这从综合指数公式中的 $p_i = C_i / C_{oi}$ 便可得知。适宜度大的乔木种群不一定各项指标均比别的乔木种群大, 因而不一定能够满足人们对它的各项要求, 故不能完全作为桐花树+ 角果木灌木群落改造的决策依据。

2.2 群落改造决策

2.2.1 目标和对策 从提高群落的防护效益和增加产量出发, 直接引进方式改造桐花树+ 角果木灌木群落以下列为目标: (1) 引入的乔木种群保存率最大, 以保持一定的种群优势和良好的林相; (2) 改造后形成的群落高度最高, 以保证有最大的防风消浪效果; (3) 群落生物量达到最大, 以便有适当的乔灌比例和最大的生产力; (4) 乔木种群结构最优, 以保证有适宜的种内和种间竞争状态; (5) 乔木种群每年定植的后代数量适中, 以保证群落的可持续性更新和长期发

挥效益。显然,这是一个多目标决策问题。相比之下,前3个目标比后两个目标显得更重要,一方面是因为从生态学角度考虑,乔木树种能否在灌木树种中定居和生长良好是群落改造成功的关键,另一方面是因为可以获得更多的实际利益。

对上述目标,采取如下对策:直接引入木榄乔木种群(b_1);直接引入红海榄乔木种群(b_2);直接引入红树乔木种群(b_3);直接引入海莲乔木种群(b_4)。根据调查资料,计算得表5。

表5中用偏态比绝对值作为第四个目标的目标值,是因为它可以衡量种群对于正态分布的偏离程度。众所周知,凡是同龄、同一自然发育体系生长发育正常的林分,林木株数频率按大小分配,应该都呈正态或近似正态分布。当灌木种群对某一引入的乔木种群或乔木种群内部竞争激烈时,其个体的生长发育便受到抑制而出现细小的个体占大多数,这时分布曲线便由近似正态分布变为顶峰左偏的曲线,即成为左偏种群。与此相反,这一种群高大的个体占大多数,即成为右偏种群,至少成为正态或近似正态分布种群^[4]。根据3倍标准差法则,若偏态比 $RP=0$,则为典型的正态分布;若 $0 < RP + 3$ 或 $-3 < RP < 0$,则基本上属于正态的范畴,但分布曲线有不同程度的偏离,可见,偏态比绝对值越小,乔木种群结构越趋于合理。

表5 不同对策下改造桐花树+角果木灌木群落的目标值

对 策	乔木保存率 (%)	乔木高度 (cm)	小群落地上部分总 生物量(kg/800 m ²)	乔木高度偏态 比绝对值	乔木后代定植率 (株/64m ² ·a)
b_1	87	134.06	1 130.18	2.21	14
b_2	84	176.99	1 650.95	1.72	49
b_3	83	153.90	1 351.01	0.15	22
b_4	59	114.57	1 005.81	1.60	115

2.2.2 效果测度的选择及单目标决策矩阵 前3个目标值越大越好,故选择上项效果测度^[4,5],其计算公式如下:

$$r_{ij}^{(p)} = u_{ij}^{(p)} / \max_i \max_j u_{ij}^{(p)} \quad (1)$$

第4个目标值越小越好,故选择下项效果测度^[4,5],其计算公式如下:

$$r_{ij}^{(p)} = \min_i \min_j u_{ij}^{(p)} / u_{ij}^{(p)} \quad (2)$$

第五个目标值只要求适中即可,即每年在64 m²内有50株的幼苗定植就足以保证改造的群落长期持续下去(这个密度已超过初始引入密度32株/64 m²),故选择中心效果测度^[4,5],其计算公式为:

$$r_{ij}^{(p)} = \min\{u_{ij}^{(p)}, u_0\} / \max\{u_{ij}^{(p)}, u_0\} \quad (3)$$

上面各式中, $u_{ij}^{(p)}$ 为第 p 个目标下第 i 个事件第 j 个对策的白化值($i=1$,即把对桐花树+角果木灌木群落的改造看成一个事件, $j=1,2,3,4$,即把直接引入4个乔木种群看成4个对策, $p=1,2,3,4,5$); $\max_i \max_j u_{ij}^{(p)}$ 为第 p 个目标下第 i 个事件所有对策取得的白化值集中的最大者; $\min_i \min_j u_{ij}^{(p)}$ 为第 p 个目标下第 i 个事件所有对策取得的白化值集中的最小者; $u_0=50$,为第五个目标下白化值集中白化值的平均值; $\min\{u_{ij}^{(p)}, u_0\}$ 为两者取最小值; $\max\{u_{ij}^{(p)}, u_0\}$ 为两者取最大值。由上面各式计算而组成的单目标决策矩阵见表6。

表6中的 S_{ij} 为局势标记。它标明某目标下事件与对策二元组合对应的效果测度。从该表得知,在采用直接引进乔木树种方式改造桐花树+角果木灌木群落时,如果单纯为了追求保存率,则最好采用木榄;如果单纯为了追求高生长,则最好采用红海榄;总之,只要在表中挑出效

表 6 桐花树+ 角果木灌木群落改造的单目标决策矩阵 $D^{[p]}$

$D^{[1]} = [r_{11}^{(1)}/S_{11}$	$r_{12}^{(1)}/S_{12}$	$r_{13}^{(1)}/S_{13}$	$r_{14}^{(1)}/S_{14}] = [$	$1.00/S_{11}$	$0.97/S_{12}$	$0.95/S_{13}$	$0.68/S_{14}]$
$D^{[2]} = [r_{11}^{(2)}/S_{11}$	$r_{12}^{(2)}/S_{12}$	$r_{13}^{(2)}/S_{13}$	$r_{14}^{(2)}/S_{14}] = [$	$0.76/S_{11}$	$1.00/S_{12}$	$0.87/S_{13}$	$0.65/S_{14}]$
$D^{[3]} = [r_{11}^{(3)}/S_{11}$	$r_{12}^{(3)}/S_{12}$	$r_{13}^{(3)}/S_{13}$	$r_{14}^{(3)}/S_{14}] = [$	$0.68/S_{11}$	$1.00/S_{12}$	$0.82/S_{13}$	$0.61/S_{14}]$
$D^{[4]} = [r_{11}^{(4)}/S_{11}$	$r_{12}^{(4)}/S_{12}$	$r_{13}^{(4)}/S_{13}$	$r_{14}^{(4)}/S_{14}] = [$	$0.07/S_{11}$	$0.09/S_{12}$	$1.00/S_{13}$	$0.09/S_{14}]$
$D^{[5]} = [r_{11}^{(5)}/S_{11}$	$r_{12}^{(5)}/S_{12}$	$r_{13}^{(5)}/S_{13}$	$r_{14}^{(5)}/S_{14}] = [$	$0.28/S_{11}$	$0.98/S_{12}$	$0.44/S_{13}$	$0.43/S_{14}]$

果测度最大的对应树种就能实现某一目标。然而,我们并不是单纯为了追求某一目标。

2.2.3 多目标最优局势的选择 为了实现多目标的最优决策,必须把表 4 中 5 个目标的效果测度转变为综合效果测度^[5,6]。用如下公式进行计算:

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = 1/N \left(\sum_{p=1}^n r_{ij}^{(p)} \right) \quad (4)$$

但基于上述理由,前 3 个目标和后两个目标分别给予不同的权重 W_p ,故式(4)可变为:

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \sum_{p=1}^n W_p r_{ij}^{(p)} \quad (5)$$

取 $W_{1,2,3} = 0.22$, $W_{4,5} = 0.17$,根据式(5)计算得如下 5 个目标的综合决策矩阵 $D^{[\Sigma]}$:

$$\begin{aligned} D^{[\Sigma]} &= [r_{11}^{[\Sigma]}/S_{11} \quad r_{12}^{[\Sigma]}/S_{12} \quad r_{13}^{[\Sigma]}/S_{13} \quad r_{14}^{[\Sigma]}/S_{14}] \\ &= [0.596/S_{11} \quad 0.835/S_{12} \quad 0.826/S_{13} \quad 0.515/S_{14}] \end{aligned}$$

从 $D^{[\Sigma]}$ 可知,采用直接引进乔木树种方式改造桐花树+ 角果木灌木群落的局势优劣排列依次为: $S_{12} \quad S_{13} \quad S_{11} \quad S_{14}$,即红海榄优于红树,红树优于木榄,木榄优于海莲。这是从保存率、高生长、群落总生物量、乔木种群结构、乔木后代定植率 5 个目标综合考虑后得出的。

3 结论与建议

(1) 从各乔木种群本身在不作任何间伐的桐花树+ 角果木灌木环境条件下所表现的保存和生长发育特性考虑,它们对于该群落环境适宜度的相对大小为:红海榄 > 木榄 > 海莲。因此,选择直接引进乔木种群的方式改造此类灌木群落,采用红海榄和木榄取得成功的把握较大。

(2) 从乔木种群优势和良好的林相、尽快发挥防风消浪效果、合理的乔灌比例和最大的生产力、合理的乔木种群结构、群落的可持续性更新和长期发挥效益等多目标综合考虑,用直接引进乔木的方式改造桐花树+ 角果木群落,红海榄优于红树,红树优于木榄,木榄优于海莲。

(3) 虽然直接引进乔木种群的方式改造灌木群落,可以节省人力和物力,但块状间伐灌木后引进乔木种群的方式可明显提高它们的定居、生长发育效果和提早发挥效益,因此,在实施灌木群落改造时,可根据本单位的具体情况进行权衡。

(4) 切忌采用带状间伐灌木后引进乔木的改造方式,以免浪费不必要的人力和物力。

参 考 文 献

- 1 郑松发,郑德璋,廖宝文,等.红树植物半人工小群落的生态学研究——直接引进的乔木种群对原灌木群落及其种群的扰动效应.林业科学研究,1996,9(3):246~254.
- 2 林鹏,郑文教.中国红树植物秋茄、海莲的生长量研究.植物学报,1986,28(2):224~228.
- 3 廖宝文,郑德璋,郑松发.木榄生长过程的分析.广东林业科技,1991,(3):28~30.
- 4 郑松发,郑德璋,廖宝文,等.三种红树林乔木树种在灌木群落中定居和竞争的研究.林业科学,1997,33(Sp.1):47~

56.

5 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武昌: 华中工学院出版社, 1987. 165 ~ 179.

6 曹军, 胡万义. 灰色系统理论与方法. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1993. 136 ~ 146.

Ecological Study on the Small Mangrove Communities Established by Partial Artificial Method

—The Suitability of the Entire Environment of Shrub Community to the
Arbor Populations and the Strategy on Community Rehabilitation

Zheng Songfa Zheng Dezhang

Liao Baowen Li Yun Zheng Xinren Wang Gongli

Abstract By means of the composite indexes of population survival and growth, and by using arbor populations introduced into a secondary *Aegiceras corniculatum* + *Ceriops tagal* shrub community thinned in a certain extent as a contrast and those introduced directly as the main objects of the study in Dongzhai National Mangrove Reserve, Hainan Province, the paper conducted the comparison and analysis on the suitability of the entire environment of the shrub community (not thinned) to the arbor populations; and by the theory and method of gray strategic decision, the better arbor species and method for rehabilitating the secondary *A. corniculatum* + *C. tagal* shrub communities existing commonly in south China were determined from the overall considerations on the dominance of the arbor populations and a good community appearance, to bring the effect of preventing wind and controlling wave as soon as possible, the reasonable proportion between arbors and shrubs and utmost productivity, rational arbor population structure, the sustainable regeneration of the rehabilitated community and long term ecological effect. The results showed that the suitability of the entire environment of the shrub community to the arbor populations was as the following: *Rhizophora stylosa* > *Bruguiera gymnorhiza* > *B. sexangula*; and that the method of introducing arbors into the shrub community thinned in square way can increase their survival rate and growth compared with that of introducing the arbors directly; and the arbor species to be used in rehabilitating the secondary *A. corniculatum* + *C. tagal* shrub community by the method of introducing directly can be queued in order as the following in terms of what was good and what was bad: *Rhizophora stylosa* *R. apiculata* *B. gymnorhiza* *B. sexangula*.

Key words mangrove arbor populations shrub environment suitability community rehabilitation gray strategic decision

Zheng Songfa, Associate Professor, Zheng Dezhang, Liao Baowen, Li Yun (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520); Zheng Xinren, Wang Gongli (Mangrove Reserve of Dongzhai Harbor, Hainan Province).