

# 红树植物对缺氧生境适应能力的数量化研究\*

郑松发 郑德璋 廖宝文

(中国林业科学研究院热带林业研究所)

**摘要** 通过测量海南清澜港5种主要红树植物对缺氧生境的适应性器官有关指标,利用灰色聚类分析法,综合分析它们的适应能力,指出分布位置与适应能力有密切关系,阐明了浸水高度是促使这些器官形成和发育的重要因素。

**关键词** 红树植物;适应能力;灰色聚类

红树植物生境是一个缺氧的沼泽化生境。本文研究的5种红树植物:杯萼海桑(*Sonneratia alba*)、海桑(*S. caseolaris*)、红树(*Rhizophora apiculata*)、木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)、海莲(*B. sexangula*)就是生长于这样的生境中。它们分布于海南清澜港不同的泥滩带上。由于它们赖以生存的土壤为盐渍沼泽淤泥,并周期性地受海水淹没,所以表现为高水分和无一定结构,致使其中的氧气十分缺乏。在这种特殊生境的长期作用下,形成了许多对氧气不足的适应性器官,这些器官便成了探索它们对于这一生境适应能力强弱的重要依据。

虽然在国内外文献中偶尔见到有关红树植物适应性方面的描述,但专门地从器官入手,运用灰色聚类分析法,研究上述红树植物对氧气不足的适应能力,迄今未见报道。本项研究,将为解决上述红树植物的适地适树问题提供科学的依据。

## 1 研究方法

### 1.1 样地的设置与调查

在以5种红树植物为优势种的天然林分中选择有代表性的地段,用机械抽样的方法,分别设置5个样地(共25个样地),每样地面积为40 m<sup>2</sup>,调查株数、树高、胸径、浸水高度、树干皮孔密度。再在每个样地中设置2 m × 2 m的样方,计数呼吸根条数,并收获全部呼吸根称重,以此推算整个样地的呼吸根条数和重量。对每个样方抽取样品2份(共50份),带回备用。

### 1.2 样品指标的测量

对带回的呼吸根样品分别称重,然后将每个样方中的两份样品之一浸泡于水中3天后称重,并用溢流法测量其体积。对另一份样品计算皮孔数,测量皮厚度。

本文于1989年12月18日收到。

\*本研究是广东省林业厅科技处资助项目。黄全副研究员对本文提出了宝贵意见,特此致谢。

### 1.3 原始资料的处理

为了便于对不同树种的比较,消除因个体大小不同的影响,用于分析的7个指标均采用相对值。由下列公式计算而得:

$$\text{树干皮孔密度} = \frac{\text{计数面积内的皮孔数(个)}}{\text{计数面积}(20 \text{ cm}^2)}$$

$$\text{呼吸根相对皮孔数} = \frac{\text{样品皮孔数(个)}}{\text{样品重量(kg)}}$$

$$\text{呼吸根相对皮厚} = \frac{\text{呼吸根皮厚(cm)}}{\text{呼吸根直径(cm)}}$$

$$\text{呼吸根内部相对贮气空间} = \frac{\text{样品浸水后重(g)} - \text{样品浸水前重(g)}}{\text{样品体积}(\text{cm}^3)}$$

$$\text{平均单株呼吸根相对条数} = \frac{\text{平均单株呼吸根条数(条)}}{\text{平均单株材积}(\text{dm}^3)}$$

$$\text{平均单株呼吸根相对重量} = \frac{\text{平均单株呼吸根重(g)}}{\text{平均单株材积}(\text{dm}^3)}$$

$$\text{平均单株呼吸根相对体积} = \frac{\text{平均单株呼吸根体积}(\text{dm}^3)}{\text{平均单株材积}(\text{dm}^3)}$$

其中:单株材积用二元近似求积法计算,即

$$v = 0.000\ 032\ d_{1.3}^2(h+3)$$

式中单位:  $v$ — $\text{m}^3$ ;  $d_{1.3}$ — $\text{cm}$ ;  $h$ — $\text{m}$ 。

## 2 结果和分析

各树种对缺氧生境适应能力的各指标计算值见表1。

从表1的结果是难以对某个树种的适应能力强弱作出判断的。因此,必须对所有树种的各个测量指标进行综合衡量和分析,并考虑某个指标对适应能力所作出的贡献。一般来说,指标的值越大,对于适应能力所作出的贡献将越大。

### 2.1 综合分析——灰色聚类分析模型的建立

2.1.1 灰色聚类矩阵 以5个树种、7个指标排列组成。设I、II、III、IV、V分别代表杯萼海桑、海桑、红树、木榄、海莲5个树种;设1\*、2\*、3\*、4\*、5\*、6\*、7\*分别代表树干皮孔密度、呼吸根相对皮孔数、呼吸根相对皮厚、呼吸根内部相对贮气空间、平均单株呼吸根相对条数、平均单株呼吸根相对重量、平均单株呼吸根相对体积7个指标;设 $d_{ik}$ 为某个指标的白化值(即表1中的各个平均值); $i \in \{I, II, \dots, V\}$ ,  $k \in \{1^*, 2^*, \dots, 7^*\}$ ;可构成下面的灰色聚类矩阵D:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1^* & 2^* & 3^* & 4^* & 5^* & 6^* & 7^* \end{matrix} \\ \begin{matrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} & d_{17} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} & d_{27} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} & d_{37} \\ d_{41} & d_{42} & d_{43} & d_{44} & d_{45} & d_{46} & d_{47} \\ d_{51} & d_{52} & d_{53} & d_{54} & d_{55} & d_{56} & d_{57} \end{matrix} & \begin{matrix} I \\ II \\ III \\ IV \\ V \end{matrix} \end{matrix}$$

2.1.2 灰色聚类的白化函数 假设将5个树种对于缺氧生境的适应能力划分为5个级别,其适应能力按级别依次减弱。将矩阵D中各个指标的白化值经公式 $d'_{ik} = d_{ik} / (\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_{ik})$ 均值化处理后按下列规定等级

标准的公式进行划分,便得到第 $k$ 个指标第 $j$ 个级别的适应能力的灰数 $\otimes_{kj}$  ( $k = 1^*, 2^*, \dots$ ,

表1 各树种对于缺氧生境适应能力的各个指标计算值

项 目	树干皮 孔密度 (个/20 cm <sup>2</sup> )	呼吸根相 对皮孔数 (个/kg)	呼 吸 根 相对皮厚	呼 吸 根 内部相对 贮气空间	平均单株 呼 吸 根 相对条数 (条/dm <sup>3</sup> )	平均单株 呼 吸 根 相对重量 (g/dm <sup>3</sup> )	平均单株 呼 吸 根 相对体积	
杯萼海桑	I	10	4 109	0.27	0.13	43	256.6	0.24
	II	30	4 338	0.26	0.12	159	554.8	0.63
	III	19	5 137	0.35	0.07	105	384.0	0.53
	IV	20	6 182	0.19	0.07	64	318.0	0.49
	V	17	4 359	0.26	0.13	46	183.5	0.20
	平 均	19	4 825	0.27	0.10	83	339.4	0.42
海 桑	I	10	14 871	0.23	0.14	19	107.7	0.14
	II	8	19 119	0.23	0.14	19	92.5	0.10
	III	8	24 060	0.28	0.06	9	26.4	0.04
	IV	4	24 225	0.26	0.20	5	15.7	0.10
	V	6	7 450	0.27	0.11	13	43.2	0.06
	平 均	7	17 951	0.25	0.13	13	57.1	0.07
红 树	I	0	313	0.26	0.15	2	2 038.4	2.75
	II	0	429	0.25	0.13	2	2 500.0	3.16
	III	0	118	0.25	0.13	1	2 070.4	2.80
	IV	0	262	0.33	0.13	2	1 543.6	1.93
	V	0	202	0.32	0.11	1	1 167.0	1.44
	平 均	0	265	0.28	0.13	2	1 863.9	2.42
木 榄	I	5	80	0.13	0.10	4	598.4	0.57
	II	4	111	0.13	0.09	2	459.5	0.49
	III	1	129	0.08	0.14	7	745.6	0.57
	IV	2	55	0.13	0.06	8	597.3	0.57
	V	2	36	0.13	0.06	3	486.9	0.45
	平 均	3	82	0.12	0.09	5	584.7	0.52
海 莲	I	3	100	0.12	0.11	4	295.1	0.27
	II	4	50	0.11	0.11	3	373.9	0.29
	III	5	83	0.10	0.12	2	186.3	0.15
	IV	3	38	0.11	0.12	3	290.1	0.23
	V	3	62	0.12	0.08	7	897.5	0.82
	平 均	4	67	0.11	0.11	4	405.0	0.35

7<sup>#</sup>,  $j=1, 2, 3, 4, 5$ ):

$$\otimes_{k1} \in [\bar{d}'_k + \frac{1}{2} |d'_{k \max} - \bar{d}'_k|, \infty) \quad (1)$$

$$\otimes_{k2} \in [\bar{d}'_k + \frac{1}{4} |d'_{k \max} - \bar{d}'_k| - \varepsilon, \bar{d}'_k + \frac{1}{4} |d'_{k \max} - \bar{d}'_k| + \varepsilon] \quad (2)$$

$$\otimes_{k3} \in [\bar{d}'_k - \varepsilon, \bar{d}'_k + \varepsilon] \quad (3)$$

$$\otimes_{k4} \in [\bar{d}'_k - \frac{1}{4} |\bar{d}'_k - d'_{k \min}| - \varepsilon, \bar{d}'_k - \frac{1}{4} |\bar{d}'_k - d'_{k \min}| + \varepsilon] \quad (4)$$

$$\otimes_{k5} \in (0, \bar{d}'_k - \frac{1}{2} |\bar{d}'_k - d'_{k \min}|] \quad (5)$$

第(2)、(3)、(4)式中的 $\varepsilon$ 表示任意小的正数, 如第(3)式表示灰数 $\otimes_{k3}$ 在第 $k$ 个指标的平均值左右, 此平均值是 $\otimes_{k3}$ 的白化值,  $\varepsilon$ 在此只是起表明灰数是一个区间的作用。这样规定各个指标的各级适应能力灰数 $\otimes_{kj}$ 的统一划分标准是重要的, 只有在统一划分标准的前提下, 对各个指标的衡量才是合理的。否则, 将对分析结论产生不利的影

分的等级标准,便可绘出图1的白化函数图形,图中 $f_{ki}$ 表示第 $k$ 个指标第 $j$ 个级别的白化函

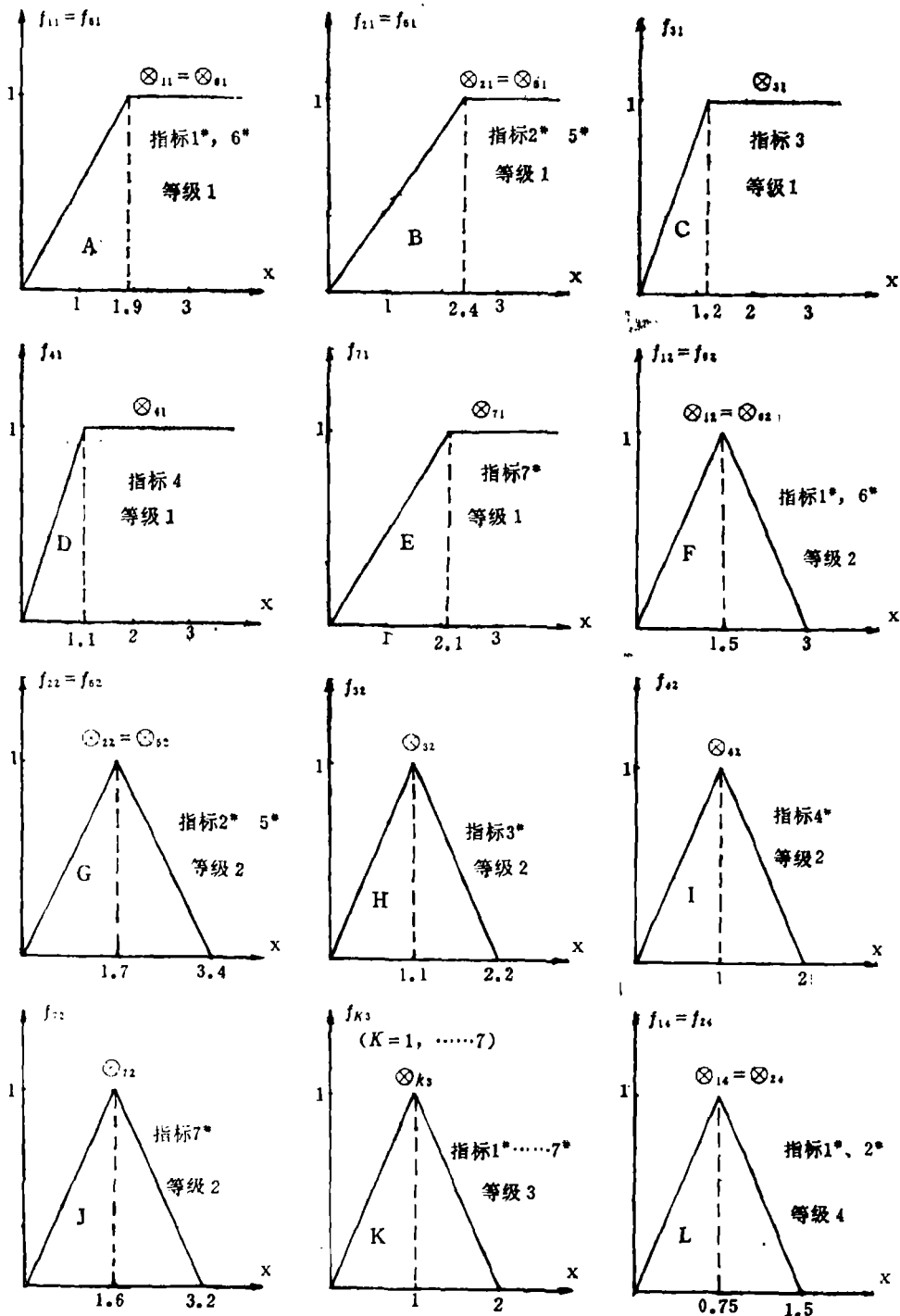
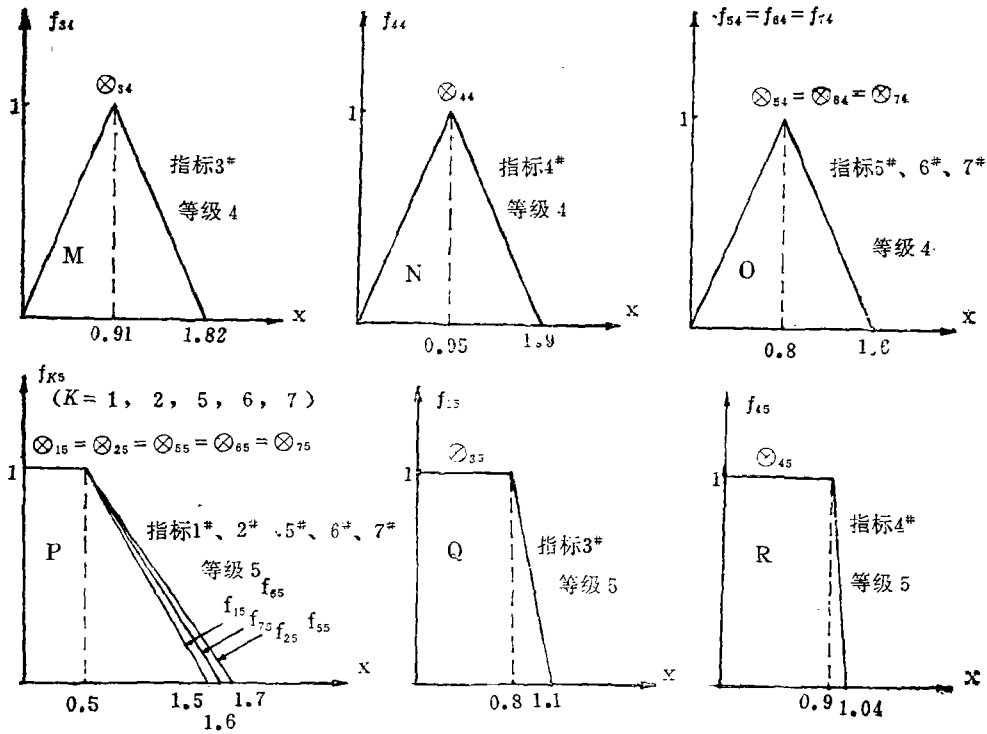


图1 所研究树种各个指标在各级聚类水平上对缺氧生境适应能力所作贡献的白化函数图形(图P至R的X轴数值1.5、1.6、1.7、1.1、1.04是根据等级2的各个相应图形中在 $f_{k2}$ 值达到最大时确定的)



续图 1

数。可是直接从图形确定白化函数值有人为误差，因此可根据图形建立直线方程，再计算出分析所需的精确值。

2.1.3 综合衡量某个树种对缺氧生境适应能力强弱的灰色聚类系数及其判别式

$$\delta_{ij} = \sum_{K=1}^{7} f_{Ki}(d'_{iK}) \eta_{Kj}$$

式中： $\delta_{ij}$ 为第  $i$  树种第  $j$  级划分的灰色聚类系数，由此系数可构成各个树种的灰色聚类向量  $\delta_i = (\delta_{ij})$ ； $f_{ki}(d'_{ik})$  为  $d'_{ik}$  所确定的白化函数值， $\eta_{ki} = \lambda_{ki} / \sum_{K=1}^{7} \lambda_{ki}$  为标定聚类权， $\lambda_{ki}$  为灰数  $\otimes_{ki}$  的白化值，由上面规定等级标准的公式计算而得。

根据各树种的灰色聚类向量，得到判别各树种适应能力属于那个等级的判别式：

$$\delta_j = \max(\delta_{ij})$$

2.2 灰色聚类分析结果及其比较

将表 1 中各树种指标的平均值代入上述模型，分析结果见表 2。

从表 2 的结果可作出如下判别： $\delta_{11}$ 、 $\delta_{21}$ 、 $\delta_{31}$  的值在各自的向量中最大，因而属第一级，即杯萼海桑、海桑、红树对缺氧生境的适应能力最强，可划分为适应能力强的树种类型； $\delta_{45}$ 、 $\delta_{55}$  的值在各自的向量中也最大，不过位置在最后，属第五级，即木榄、海莲的适应能力最弱，可划分为适应能力弱的树种类型。前面 3 个树种与后面 2 个树种相比，中间相差 3 个级

表2 各树种对缺氧生境适应能力的灰色聚类分析结果

树 种	灰 色 聚 类 向 量 $\delta_i$	$\delta_j = \max(\delta_{ij})$
杯萼海桑	$\delta_1 = (\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{14}, \delta_{15})$ = (0.655, 0.397, 0.159, 0.508, 0.508)	0.655
海 桑	$\delta_2 = (\delta_{21}, \delta_{22}, \delta_{23}, \delta_{24}, \delta_{25})$ = (0.504, 0.371, 0.479, 0.443, 0.182)	0.504
红 树	$\delta_3 = (\delta_{31}, \delta_{32}, \delta_{33}, \delta_{34}, \delta_{35})$ = (0.496, 0.201, 0.233, 0.231, 0.238)	0.496
木 榄	$\delta_4 = (\delta_{41}, \delta_{42}, \delta_{43}, \delta_{44}, \delta_{45})$ = (0.238, 0.364, 0.527, 0.606, 0.931)	0.931
海 莲	$\delta_5 = (\delta_{51}, \delta_{52}, \delta_{53}, \delta_{54}, \delta_{55})$ = (0.263, 0.355, 0.487, 0.579, 0.846)	0.846

别,说明它们两者之间的这种适应能力有较大的差异。前3个树种或后2个树种,  $\delta_i$  值相差不大,即同一类型的树种适应能力相当。

从表2的结果中可反映出:适应能力强树种各个指标值并不都大于适应能力弱的树种。前3个树种的灰色聚类向量  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$  中的  $\delta_{ij}$  值说明了它们的某些指标的值比后面2个树种的相应指标的值还要小,使得  $\delta_{ij}$  值呈现不规则分布的程度,而另一些指标的值则比后面2个树种相应指标的值要大得多,使得它们能落入1级聚类水平。否则,  $\delta_{ij}$  值在向量中的不规则分布是不会出现的,因某个树种各指标的值如果在总体上都较大时,在标定聚类权  $\eta_{ki}$  确定之后,  $f_{ki}$  值随着级别  $j$  的增大将越来越小,  $\delta_{ij}$  值也会逐步有规律地变小。后面两个树种的  $\delta_{ij}$  值呈有规律地增大,就是因为它们各个指标的值从总的来说都比较小。这样的判断能在表1中得到证实。

从表2还可以看出:在同一级别的不同树种中,对缺氧生境的适应能力相差不大,但它们之间的微小差异能从  $\delta_{11}$ 、 $\delta_{21}$ 、 $\delta_{31}$ 、 $\delta_{41}$ 、 $\delta_{51}$  的值的大小得到反映。按照该值的大小,排列如下:杯萼海桑>海桑>红树>木榄>海莲。如果用各树种的平均浸水高度反映其天然分布位置时,上面的排列几乎与浸水高度的排列相一致(表3)。

表3 各树种的平均浸水高度

树 种	杯萼海桑	海 桑	红 树	木 榄	海 莲
平均浸水高度(m)	1.07	1.02	1.03	0.37	0.28

表3前面的3个树种的浸水高度相近,后面2个树种亦相近,但两者之间有很大差别,说明划分为两个类型是正确的。

浸水高度的差别,通常能反映天然分布位置的差别(图2)。一般来说,某红树植物分布越接近海滩前缘,浸水高度将越高,涨潮时潮水将首先到达,而退潮时潮水最迟退去,因而浸水时间越长,呼吸根露出的时间将越短,这就要求它必须有更强的适应能力,才能在这样的位置上生存下去。

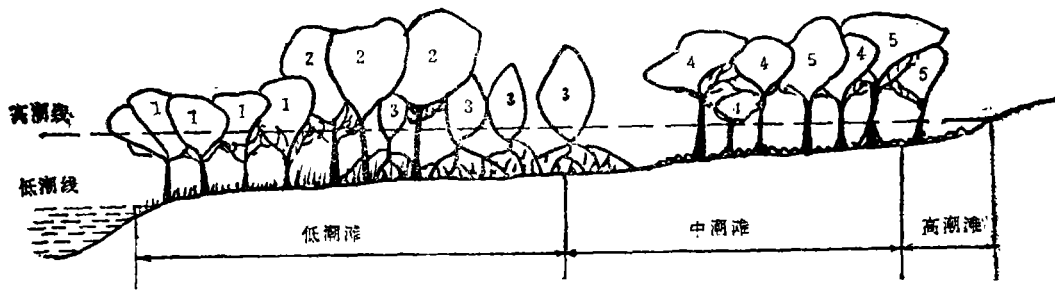


图2 海南清澜港 5 种红树植物天然分布位置示意  
1. 杯萼海桑；2. 海桑；3. 红树；4. 木榄；5. 海莲

### 3 结论和建议

(1) 利用灰色聚类法能够把红树植物对缺氧生境的适应能力分为两个类型：①适应性强的类型；②适应性弱的类型。在分析过程中，对各个指标的各级适应能力的灰数  $\otimes_{ki}$  的划分应规定统一的划分标准。

(2) 杯萼海桑、海桑、红树、木榄、海莲 5 个树种的分布位置与各自对缺氧生境的适应能力大小有密切关系，按  $\delta_{11}$ 、 $\delta_{21}$ 、 $\delta_{31}$ 、 $\delta_{41}$ 、 $\delta_{51}$  值，可把它们的这种适应能力的相对强弱作如下排列：杯萼海桑 > 海桑 > 红树 > 木榄 > 海莲。适应能力越强，分布位置越靠近前缘。这是它们成带作用的重要原因之一。

(3) 不同浸水高度是红树植物分布位置差别的一个重要反映。它不但影响了生境不同位置的氧气供给时间，而且影响了红树植物某些适应性器官的形成与发育。

(4) 在营造人工红树林时，要考虑林地可能的浸水高度，以便选择与此相适应的红树植物。

#### 参 考 文 献

- [1] 邓聚龙, 1987, 灰色系统基本方法, 华中工学院出版社。

## *Quantifying Study on the Adaptive Ability of Mangrove to Their Oxygen Deficiency Habitat*

Zheng Songfa    Zheng Dezhang    Liao Baowen

(The Research Institute of Tropical Forestry CAF)

**Abstract** In this paper, the adaptive ability of five major mangrove plants grown in Qinglan Harbour, Hainan Province are analysed comprehensively by grey clustering analysis method through measuring their relative indexes of adaptive organs. It has been pointed out that the distribution positions of these five species are closely related with their ability and expounded that inundated height of mangrove plants is an important factor which impels them to produce and develop their adaptive organs to the oxygen deficiency.

**Key words** mangrove plants; adaptive ability; grey clustering method