

潮滩红树植物抗低温适应的生态学研究^{*}

杨盛昌 林 鹏

(厦门大学生物系, 厦门 361005)

摘 要 采用电导法定量测定了中国东南沿海红树植物叶片的抗寒力变化。结果表明: (1) 海南琼山东寨港主要红树种类冬季抗寒力(半致死温度)介于 -2.3°C - 6.8°C 之间,其中红树科植物抗寒力较强,多数种类属于低温敏感性相对较弱的L类型;海桑科和楝科红树种类抗寒力较弱,属于低温敏感性较强的H类型。(2)随纬度升高(个别地点除外),秋茄(*Kandelia candel*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)和紅海欖(*Rhizophora stylosa*)抗寒力增强,呈现种群分化趋势。(3)同一地点,秋茄和桐花树抗寒力有明显季节变化:夏季最低,秋冬两季高于春季。(4)同一群落内,生长于中潮区滩面的秋茄抗寒力强于高潮区,但桐花树抗寒力在各个滩面相差不大。(5)秋茄和桐花树树冠上不同部位叶片的抗寒力不同,由表及里,由上至下,呈降低趋势。红树叶片抗寒力的种群分化、季节变化和部位差异是其趋异适应的结果,有益于红树植物的生存和繁育。

关键词 红树林 抗寒力 半致死温度 生态适应

ECOLOGICAL STUDIES ON THE RESISTANCE AND ADAPTATION TO COLD OF SOME TIDAL MANGROVE SPECIES IN CHINA

Yang Shengchang and Lin Peng

(Biology Department, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract Leaf cold resistance abilities of mangrove species along the eastern coast of China had been measured by conductivity method. The results show: (1) The cold resistance abilities (LT50) of 16 mangrove species at Dongzhai Estuary, Qiongzhus Bay, Hainan province were from -2.3°C to 6.8°C . The species from Rhizophoraceae had higher cold resistance abilities than that from Sonneratiaceae and Meliaceae, so most of them could be classified into low cold sensitivity type (L type), and the late ones into high cold sensitivity type (H type). (2) As the latitude increased, the cold resistance abilities of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* also increased, and reflected the trend of population differentiation (except one location). (3) At the same location, *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* had the lowest cold resistance abilities in summer, and higher cold resistance abilities in autumn and winter than those in spring. (4) Among the same mangrove community, *Kandelia candel* plants growing in the middle tidal zone had higher cold resistance ability than those in the high tidal zone, but no this difference was found in *Aegiceras corniculatum*. (5) *Kandelia candel* and

*本文于1996-04-08收稿,1996-07-19收到修改稿。

国家教委博士学科点基金资助项目。本文实验过程中,曾得到厦门大学环科中心卢昌义教授和生物系娄士林教授的大力协助;数据处理过程中,物理系张学军博士热心提供了计算机程序,谨此表示衷心感谢。

Aegiceras corniculatum leaves had different cold resistance abilities according to their locations on the community crown. The cold resistance ability of leaves decreased from upper surface to lower layer, and from surface to inner part. The population differentiation, season changes, and leaf location variation of mangrove cold resistance abilities were due to the ecological adaptation to various habitats which were beneficial for the survival and regeneration of mangroves.

Key words Cold resistance ability, Half lethal low temperature, Mangrove, Ecological adaptation

红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落。大多数红树种类对低温敏感,因此,降温、不定期的寒冷或霜冻对其生长和分布有着重要影响。中国红树林自然分布于东南沿海各省,包括海南、广东、广西、福建和台湾等5省,从南到北,随纬度上升,温度下降,红树林组成种类逐渐减少,群落结构趋于简单。目前,国内外有关红树林低温生理生态学的研究尚不多,其中林鹏等(1994)报道了零上低温对红树林幼苗叶片电解质渗出率的影响;Yang和Lin(1995)研究了低温及低温处理时间对秋茄叶片伤害的综合影响,提出以电导法测定红树植物抗寒力;McMillan(1971)指出低温严重影响了红树林幼苗在海岸滩涂地上的自然定着和存活;Markley等(1981)的研究结果表明了红树林种群抗低温适应的纬度分化。本文对中国主要红树植物的抗寒力以及某些种类抗寒力变化规律进行了研究,期望能初步阐明红树植物分布与低温的关系以及红树植物对低温的适应变化,为红树林的引种驯化、防寒栽培提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品的采集

本项研究中样品主要采自海南省琼山县东寨港红树林保护区($19^{\circ}54'N$, $110^{\circ}24'E$)以及广西壮族自治区合浦县英罗湾($21^{\circ}40'N$, $109^{\circ}05'E$)、广东省汕头市达豪($23^{\circ}23'N$, $106^{\circ}56'E$)、福建省云霄市竹塔乡($23^{\circ}59'N$, $117^{\circ}40'E$)、龙海市浮宫乡($24^{\circ}27'N$, $117^{\circ}55'E$)和厦门市海沧镇($24^{\circ}31'N$, $117^{\circ}57'E$)等沿海红树林分布区。各地气候和红树林分布状况见林鹏(1981)的论述。

1989年2月中旬采集海南琼山红树林样品用于不同种类抗寒力的比较。2月下旬采集了广西合浦、广东汕头、福建云霄和龙海的红树植物样品用于不同纬度的红树植物抗寒力比较。红树植物抗寒力季节变化的样品采于1988年7月和10月,1989年1月和4月,地点为九龙江口的厦门市海沧镇。不同潮区红树植物及树冠不同部位叶片抗寒力差异比较的样品采于1989年7月,地点为龙海县浮宫乡。

以上实验样品中,叶片均为各红树种类树冠枝条上从顶端数下的第二至三片(对)成熟叶片,胚轴均为母树上成熟的,摇动即可脱落的胚轴。采集下来的叶片和胚轴用湿纱布包裹,带回实验室内立即进行抗寒力测定。

1.2 方法

植物叶片抗寒力测定采用电导法(Yang & Lin, 1995),主要步骤如下:

取植物成熟叶片,自来水冲洗干净后,用直径6.5mm的打孔器制取叶圆片。经蒸馏水

漂洗 3 次,用滤纸吸干叶圆片表面的水分,分装入带刻度的具塞试管,每管 5 片。将装有试验材料的试管置于盛有乙二醇溶液的低温浴槽(KF-2型,辽阳器械厂),分别进行 -2, -4, -6, -8, -10, -12 和 -14°C 的各级低温处理 1 小时。

处理完毕,取出试管并置于 4°C 冰箱中解冻 30min,化冻后每试管加入 8ml 蒸馏水,在室温下放置 4 小时,振荡,用 DS-2 型数字电导率仪(厦门第二分析仪器厂)测得 1 次电导率值 C_i 然后将试管置沸水浴 10min,取出后于室温放置 24 小时,振荡后测得第二次电导率值 C_t ,按公式 $Y = (C_i - C_w) / (C_t - C_w) \times 100\%$ 计算试样的电解质透出率,式中 Y 为试样的电解质透出率(%), C_i , C_t 和 C_w 分别为试样第一次、第二次及蒸馏水的电导率值(cm/s)。每处理重复 3~4 次。

采用修改的 Logistic 方程 $Y = A + B / (1 + e^{-DT})$ 对不同温度和试样电解质透出率之间的关系进行拟合,以曲线拐点温度作为试样的半致死温度来反映植物抗寒能力。式中 Y 为试样电解质透出率(%), T 为处理温度(°C), A , B , C , D 均为常数,通过计算机模拟算得, e 为自然指数的底数。

秋茄胚轴抗寒力测定方法:用塑料袋包裹胚轴并置于盛有乙二醇溶液的低温浴槽进行各级低温处理 1 小时;取出材料并置于 4°C 冰箱中解冻 30min,盆栽胚轴 1 个月后观察幼苗存活情况。盆栽基质为粒径在 2.0~3.4mm 之间的河砂,盆栽期间,培养液采用 Hogland 全营养液,室内光照强度 3000lux,每日光照时间 12 小时。每级低温处理选用成熟胚轴 3 根。

2 结果与讨论

2.1 同一地区不同红树种类间抗寒力的比较

中国红树林种类分布较多的地区是海南省,本文选用海南琼山东寨港的主要红树种类进行抗寒力比较试验,结果见表 1。

表 1 冬季海南琼山东寨港主要红树种类叶片抗寒力及其在其它地区的分布

Table 1 Leaf cold resistance ability of some mangrove species at Dongzhai Harbour of Qiongzhou, Hainan Province in winter and their distribution in the other areas of China

种类 Species	抗寒力 Cold resistance ability	低温敏感类型** Cold sensitivity type	其它地区分布 Distribution in***			
			广西 Guangxi	广东 Guangdong	福建 Fujian	台湾 Taiwan
红树科 Rhizophoraceae						
红树 <i>Rhizophora apiculata</i>	-5.8 ± 0.6	M				
红海榄 <i>R. stylosa</i>	-5.4 ± 4.7	M	+	+		
木榄 <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	-6.7 ± 3.4	L	+	+	+	+
海莲 <i>B. sexangula</i>	-6.2 ± 1.3	L				
尖瓣海莲 <i>B. sexangula</i> var. <i>rhynchopetala</i>	-4.3 ± 3.5	M				
角果木 <i>Ceriops tagal</i>	-6.0 ± 2.4	L	+	+		
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	-6.4 ± 2.4	L	+	+	+	+
紫金牛科 Myrsinaceae						
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	-6.1 ± 0.3	L	+	+	+	+

续表 1

种类 Species	抗寒力 Cold resistance ability	低温敏感类型** Cold sensitivity type	其它地区分布 Distribution in***			
			广西 Guangxi	广东 Guangdong	福建 Fujian	台湾 Taiwan
梧桐科 Sterculiaceae						
银叶树 <i>Heritiera littoralis</i>	- 6.8 ± 1.9	L				
夹竹桃科 Apocynaceae						
海芒果 <i>Cerbera manghas</i>	- 4.2 ± 1.3	M	+	+	+	
使君子科 Combretaceae						
榄李 <i>Lumnitzera racemosa</i>	- 3.8 ± 3.0	H	+			
红榄李 <i>L. littorea</i>	- 3.3 ± 2.6	H				
楝科 Meliaceae						
木果楝 <i>Xylocarpus granatum</i>	- 2.8 ± 2.6	H				
海桑科 Sonneratiaceae						
大叶海桑 <i>Sonneratia ovata</i>	- 3.0 ± 2.6	H				
杯萼海桑 <i>S. alba</i>	- 2.3 ± 2.9	H				
海桑 <i>S. caseolaris</i>	- 2.3 ± 3.2	H				

* 抗寒力以半致死温度表示, 数值为 5% 显著水平的置信限, $df=5$ Cold resistance ability was expressed in half lethal temperature (LT50, °C). Values were confidence limit at 5% significance level

** H 类型表示低温敏感性强, 半致死温度大于 - 4°C; M 类型表示低温敏感性中等, 半致死温度介于 - 4°C 和 - 6°C 之间; L 类型表示低温敏感性弱, 半致死温度小于 - 6°C. H type meant high cold sensitivity, LT50 > - 4°C; M type meant middle cold sensitivity, - 6°C < LT50 < - 4°C; L type meant low cold sensitivity, LT50 < - 6°C

从表 1 可知, 海南琼山东寨港主要红树种类的冬季抗寒力介于 - 2.3~ 6.8°C, 不同科或同一科不同种类的红树植物抗寒力是不同的, 其中红树科的各个种类, 紫金牛科的桐花树和梧桐科的银叶树 (*Heritiera littoralis*) 等较为抗寒, 而海桑科的各个种类, 使君子科的榄李 (*Lumnitzera racemosa*) 和红榄李 (*L. littorea*), 夹竹桃科的海芒果 (*Cerbera manghas*) 和楝科的大果楝 (*Xylocarpus granatum*) 等抗寒力较低。根据叶片抗寒力大小, 可以将红树林种类分为 3 个低温敏感型类型: 1) L 类型: 本类型对低温敏感性较弱, 即抗寒力相对较强, 叶片半致死温度低于 - 6°C, 主要种类有木榄 (*Bruguiera gymnorhiza*)、海莲 (*B. sexangula*)、角果木 (*Ceriops tagal*)、桐花树、秋茄和银叶树等。2) M 类型: 本类型对低温敏感性中等, 即抗寒力中等的居间类型, 叶片半致死温度介于 - 6°C 至 - 4°C 之间, 主要种类有红树 (*Rhizophora apiculata*)、红海榄、尖瓣海莲 (*B. sexangula* var. *rhynchoptala*) 和海芒果等。3) H 类型: 本类型对低温敏感性强, 即抗寒力较弱的类型, 叶片半致死温度高于 - 4°C, 主要种类有大叶海桑 (*Sonneratia ovata*)、海桑 (*S. caseolaris*)、杯萼海桑 (*S. alba*)、榄李、红榄李和木果楝等。比较 3 个低温敏感性类型的种类与其在国内的自然分布状况 (表 1), 可以看到, L 类型多为广布种, 北界纬度高; H 类型多为窄布种; 北界纬度低; M 类型则介于上述两者之间。

低温敏感性类型的划分可以为红树植物的北移引种栽培提供一个选种依据, 即: L 类型可望北移引种成功, H 类型北移成功的可能性很小, M 类型北移时必须进行抗寒锻炼后试种。笔者曾将海南的木榄、海莲、红树、角果木和木果楝引种至福建厦门, 结果表明: 室内盆栽的红树植物幼苗在自然越冬过程中, 木果楝 (H 类型) 最先死亡, 其次为红树 (M 类

型),越冬后全部死亡,角果木(L类型)的越冬成活率为50%左右,海莲和木榄(均为L类型)的成活率都在90%以上。说明上述红树植物低温敏感性类型的划分上具有一定的实用价值

2.2 不同纬度分布的同种红树植物抗寒力差异

不同纬度分布的同种红树植物叶片抗寒力的测定结果见表2从表2可以看到,同一种红树植物分布在不同纬度地区时,其抗寒力出现分化,秋茄、桐花树和木榄抗寒力呈现相同趋势,即生长在低纬度的种群抗寒力低,生长在高纬度的种群抗寒力高。这里仅有福建云霄的红树种类例外,云霄秋茄和桐花树的抗寒力低于纬度较低的广东汕头的同一种类,但仍高于较低纬度的广西合浦种群。这可能是由于汕头红树林残存不多,且呈散分布不成林,孤立生长的植株接受的光辐射强,同时经受的风浪冲击较大,因此,植株多矮小粗壮,对逆境的抗性相应较强。

表2 不同纬度的三种红树植物叶片抗寒力(LT50, °C)的变化

Table 2 Changes in leaf cold resistance ability(LT50, °C) of three mangrove species from different latitude areas

样地 Sampling site (纬度 Latitude)	海南琼山 Qiongshan, Hainan (17°54')	广西合浦 Hepu, Guangxi (21°23')	广东汕头 Shantou, Guangdong (23°23')	福建云霄 Yunxiao, Fujian (23°59')	福建龙海 Longhai, Fujian (24°27')
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	- 6.4 ± 2.4	- 7.1 ± 0.9	- 8.5 ± 1.1	- 7.6 ± 2.1	- 9.1 ± 1.5
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	- 6.1 ± 0.3	- 6.2 ± 2.9	- 8.2 ± 0.5	- 7.5 ± 2.1	- 8.8 ± 3.8
红海榄 <i>Rhizophora stylosa</i>	- 6.7 ± 3.4	- 7.3 ± 4.2		- 7.5 ± 2.1	

* 注释同表1 Same explanatory note as Table 1

采取不同纬度地区的秋茄胚轴进行抗寒力测定,结果见表3可以发现,低纬度地区采集的秋茄胚轴抗寒力低于高纬度地区胚轴,与叶片抗寒力呈现相同的趋势。表3中也反映出汕头秋茄抗寒力高于云霄秋茄的现象:汕头秋茄胚轴经-7°C处理1h后尚有20%存活,而云霄经-7°C处理1h后全部死亡。

表3 不同纬度的秋茄胚轴经低温处理后成活率(%)的变化

Table 3 Changes of survival rate(%) of *Kandelia candel* hypocotyls from different latitude areas after low temperature treatments

样地 Sampling site	处理温度 Treatment temperature(°C)						
		- 1	- 3	- 5	- 7	- 9	- 11
海南琼山 Qiongshan, Hainan(17°54')		100	100	0	0	0	0
广西合浦 Hepu, Guangxi(21°23')		100	100	80	0	0	0
广东汕头 Shantou, Guangdong(23°23')		100	100	100	20	0	0
福建云霄 Yunxiao, Fujian(23°59')		100	100	100	0	0	0
福建龙海 Longhai, Fujian(24°27')		100	100	100	40	0	0

Markley 等 (1982) 曾指出: 热带起源的亮叶白骨壤 假红树 (*Languncularia racemosa*) 和大红树 (*R. mangle*) 种群比温带起源的种群耐寒性差, 植物叶片和幼苗的低温伤害与其纬度来源有关; 红树植物种群的抗寒力已经分化, 具有不同的遗传特性。红树植物抗寒性的纬度分化在本文研究中也得以证明, 可以认为它是由红树植物趋异适应环境变化形成的。这也进一步启示, 红树植物对低温适应有一定的范围, 为了引种驯化, 可以进行低温锻炼。

2.3 红树植物抗寒力的季节变化

1988年7月(夏季)、10月(秋季)和1989年1月(冬季)、4月(春季)测定了九龙江口厦门海沧两种红树植物秋茄和桐花树叶片的抗寒力, 结果见图1

从图1可知, 秋茄和桐花树叶片抗寒力以夏季最低, 半致死温度分别为 -6.0°C 和 -6.1°C ; 秋季, 叶片抗寒力均上升, 半致死温度分别为 -8.6°C 和 -8.3°C ; 冬季, 叶片抗寒力比秋季略有升高, 半致死温度均为 -9.0°C ; 越冬后的春季, 两种红树植物叶片抗寒力均下降, 半致死温度分别为 -7.2°C 和 -7.4°C 。

红树植物抗寒力的季节性变化可以反映在气温的季节性变化上, 即气温较高, 且未呈现降低之前的夏季, 植物抗寒力较低; 而随着气温降低, 植物抗寒力增加, 在气温回升之前达到最高; 一旦气温开始回升, 抗寒力则开始下降。这与一般的陆生木本植物的抗寒性变化规律相同 (Levitt, 1980; Read & Hill, 1988; Weiser, 1970)

比较秋茄和桐花树叶片的抗寒力可以发现, 两者在各季节均相近。这说明龙海秋茄和桐花树抗寒力在遗传上较接近。不过, 从红树种类的自然分布来看, 秋茄能生长到更高纬度的福建福鼎, 而桐花树却不能。这可能与秋茄和桐花树种群的抗寒力分化程度不同有关。另外, 我们也知道, 一个红树种能否在高纬度地区分布, 除受低温因子限制外, 雨量、地形、地质、土壤因素也有很大关系, 潮汐与洋流也起着一定作用 (Hutchings & Saenger, 1987; Tomlinson, 1986; Walsh, 1974)。桐花树可能正是受其中部分因素的影响较大而限制了分布。

2.4 不同潮滩的红树植物抗寒力的变化

九龙江口龙海县浮宫乡霞郭村不同滩面上秋茄和桐花树叶片抗寒力的比较见表4可以发现: 不同滩面的秋茄叶片抗寒力不同, 其中向海外滩, 即中潮区滩面的秋茄叶片最抗寒, 中滩(高潮区下部)和向陆内滩(高潮区上部)的秋茄叶片抗寒性相差不大, 均低于外滩。而不同滩面的桐花树叶片抗寒性变化不大, 半致死温度均为 -6.9°C 。

外滩秋茄叶片抗寒性强, 可能是由于植株稀疏矮小, 加以水面反射, 光辐射较强, 导致叶片表面结构致密, 革质化程度高; 另外, 植株常受风浪冲击而较粗壮, 也相应提高了抗

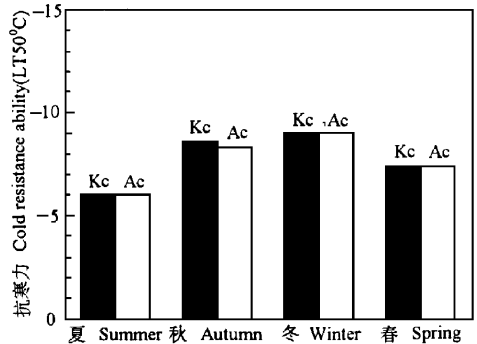


图1 九龙江口厦门海沧秋茄 (Kc) 和桐花树 (Ac) 叶片抗寒力 (LT50, °C) 的季节性变化

Fig. 1 Seasonal changes of leaf cold resistance ability (LT50, °C) of *Kandelia candel* (Kc) and *Aegiceras corniculatum* (Ac) at Haicang, Xiamen City of Jiulong River Estuary

性。中滩植株抗寒性较弱,可能与群落比较致密,且相互遮荫,单位叶片受光较弱,光合产物少,加以受风浪影响小,叶片较薄,茎细长等因素有关。此外,中滩土壤盐度为 18.98‰,高于外滩 14.23‰,高盐分对拒盐植物秋茄生长的负作用较大,也可能导致植物抗寒力降低。内滩秋茄因群落较致密并受到堤岸保护,土壤盐度为 20.03‰,与中滩秋茄所处环境相似,因此二者抗寒性相差不大。群落中桐花树比较稀疏,不同滩面上均零星分布,受光面相似,植株形态和叶片结构相近;桐花树又是泌盐植物,在一定范围内受土壤盐分的影响较小,因而不同滩面的植物抗寒力相差不大。有关土壤盐分对红树植物抗寒力的影响尚有待于进一步的研究

表 4 九龙江口龙海浮宫不同潮滩的秋茄和桐花树叶片抗寒力(LT50,℃)的比较

Table 4 Comparison of leaf cold resistance ability(LT50,℃) of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* from different tidal zones in Fugong, Longhai County of Julong River Estuary

潮区	Tidal zone	高潮区 High tidal zone		
		向陆侧 Seashore side	向海侧 Seawater side	中潮区 Middle tidal zone
秋茄		- 5.9± 1.8	- 5.8± 3.2	- 6.5± 2.9
<i>Kandelia candel</i>				
桐花树		- 6.9± 3.2	- 6.9± 2.9	- 6.9± 1.7
<i>Aegiceras corniculatum</i>				

* 注释同表 1 Same explanatory note as table 1

不同潮滩红树植物抗寒力的差异对红树植物生存、繁殖和更新都是有益的。在一个群落中,生长在外缘靠近海水一边的红树植物由于具有较高的抗寒性,使得本身可以抵抗恶劣环境而生存;另一方面,可以为林内植物创造一个良好的生态环境,使得林内植物减少了因抵抗恶劣环境而消耗的能量和物质,促进了林内植物的生长,因此使整个种群和群落得以生存和发展。

2.5 树冠不同部位叶片的抗寒力比较

秋茄和桐花树树冠不同部位的叶片抗寒力比较见表 5 可以看出,不同部位的树冠叶片抗寒力不同,两种植物都有共同趋势,即树冠上层叶片抗寒力强于荫蔽的下层叶片,树冠外层叶片强于内部叶片,从上至下,由外及里,叶片抗寒力逐渐降低,树冠叶片越荫蔽则越不抗寒。造成这种状况的原因可能与树冠叶片接受的光辐射多少以及光合作用强弱有关:上层叶片接受的光辐射多,革质化程度高,同时光合作用强,光合产物累积较多,因此抗寒力较强;内部叶片接受的光辐射少,革质化程度低,同时光合作用弱,光合产物累积少,因此抗寒力较弱。

树冠上表层叶片的高抗寒力有助于其适应树冠上层变化大且较为恶劣的环境而树冠下层叶和内部叶片由于所处环境相对较好和稳定,较低的抗寒力也可以维持其存活并因能减少消耗而有利于生长。树冠不同部位叶片抗寒力的分化是植物叶片抗寒性与生长相互调节,以及对不同微生境趋异适应的结果。

表5 九龙江口龙海浮宫中潮区秋茄和桐花树树冠不同部位叶片抗寒力(LT50, °C)的比较

Table 5 Comparison of leaf cold resistance ability (LT50, °C) from different crown location of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* growing at middle tidal zone in Fugong, Longhai County of Jiulong River Estuary

种 类 Species	树冠部位 Crown location			
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer	内部 Inner part
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	- 7.5 ± 0.7	- 6.8 ± 3.8	- 6.2 ± 4.4	- 5.1 ± 2.4
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	- 6.9 ± 2.5	- 6.8 ± 2.8	- 6.2 ± 3.0	- 5.2 ± 2.5

* 注释同表1 Same explanatory note as Table 1

参 考 文 献

- 林 鹏, 1981 中国东南部海岸红树林的类群及其分布, 生态学报, 1(3) 283~ 290
- 林 鹏, 沈瑞池, 卢昌义, 1994 六种红树植物的抗寒特性研究, 厦门大学学报(自然科学版), 33(2) 249~ 252
- Hutchings, P. & Saenger, P., 1987 *Ecology of Mangroves*, University of Queensland Press, 34~ 36.
- Larcher, W. & Bauer, H., 1981 Ecological significance of resistance to low temperature. In *Encyclopedia of plant physiology, New Series, Vol. 12A, Physiological Plant Ecology I responses to the physical environment* (eds. by Larcher, O. L. et al.), Springer-Verlag, 403~ 426.
- Levitt, J., 1980 Responses of plants to environmental stresses, *Chilling, freezing and high temperatures stresses*, Academic Press, 1~ 497.
- Markley, J. L., McMillan, C. & Thompson, J. R. G. A., 1981 Latitudinal differentiation in response to chilling temperatures among population of three mangroves *Aicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, and *Rhizophora mangle* from the western tropical Atlantic and Pacific Panama. *Can. J. Bot.*, 60 2704~ 2715.
- McMillan, C., 1971 Environmental factors affecting establishment of the black mangrove on the central Texas coast. *Ecology*, 52 927~ 930.
- Read, J. & Hill, R. S., 1988 Comparative responses to temperature of the major canopy species of Tasmania cool temperate rainforest and their ecological significance, I. Foliar frost resistance. *Aust. J. Bot.*, 36 131~ 143.
- Tomlinson, P. B., 1986 *The Botany of Mangroves*, Cambridge University Press, 40~ 61.
- Walsh, G. E., 1974 Mangroves A review. In Reimhold, R. J., Queen, W. H. eds., *Ecology of Halophytes*, Academic Press, 51~ 174.
- Weiser, C. J., 1970 Cold resistance and injury in woody plants, *Science*, 169: 1269~ 1278.
- Yang, S. C. & Lin, P., 1995 A mathematical model of low temperature and exposure time interactions on *Kandelia candel* leaf cold-sensitivity, *Chinese J. Bot.*, 7 164~ 168.