

红树植物秋茄和桐花树抗寒力的越冬变化^{*}

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福建省九龙江口红树植物秋茄和桐花树抗寒力的越冬变化, 探讨了抗寒力与水分、叶绿素、可溶性蛋白质含量及过氧化物酶活性的相关性。结果表明, 1988 年 9 月至 1989 年 4 月越冬期间, 秋茄和桐花树抗寒力随气温下降而增强, 分别于 1 月和 12 月达到最大, 低温处理 1 h, 半致死温度为 -9.3°C 和 -9.0°C ; 其后, 抗寒力随气温回升而迅速下降。冬季秋茄和桐花树抗寒力的提高与束缚水含量增加或自由水含量减少密切相关, 并伴随可溶性蛋白质含量的增加和过氧化物酶活性的增强。束缚水与自由水、叶绿素 a 与 b 含量的比值变化可以反映红树植物抗寒力变化; 两种比值越高, 抗寒力越强。

关键词 抗寒力 半致死温度 红树植物 越冬

Cold-resistance ability of two mangrove species *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* during their overwintering period. Yang Shengchang and Lin Peng (Xiamen University, Xiamen 361005). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 1997, 8(6): 561~565.

In this paper, the leaf cold-resistance ability of two mangrove species *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* growing on Jiulongjiang Estuary of Fujian Province was measured by conductivity method, and the relationship of this ability with the contents of leaf water, chlorophyll and soluble protein and the activity of peroxidase during overwintering period was studied. The results show that the cold-resistance ability of these two mangrove species from September 1988 to April 1989 is increased with decreasing of air temperature, and reached their maximums in January and December, respectively. Their half lethal temperature is respectively -9.3 and -9.0°C . After winter, the cold-resistance ability is decreased dramatically with the rise of air temperature. The increase of the cold-resistance ability is related with the increase of bound water or the decrease of free water content in leaf. Both the soluble protein content and the peroxidase activity have a similar variation trend to the cold-resistance ability. The ratio of leaf bound-water to free-water and the ratio of leaf chlorophyll a to chlorophyll b may reflect the cold-resistance ability of these two mangrove species; the higher the both are, the stronger the cold-resistance ability is.

Key words Cold-resistance ability, Half lethal temperature, Mangrove, Overwintering.

1 引 言

红树林是一种热带、亚热带海岸潮间带的木本植被类型。Walsh 认为它主要生长在在最冷月平均气温高于 20°C , 月平均气温的季节变化不超过 10°C 的地区^[13], Tomlison 则指出其自然分布的南北限分别为澳大利亚的 Westonport 海湾及 Corner 岛 ($38^{\circ}45' \text{N}$) 和日本九州本岛南部 (约 31°N)^[12]。在我国, 红树林主要分布于东南

沿海地区, 其中福建的红树林位于较高的纬度, 北端福鼎的红树林 ($27^{\circ}20' \text{N}$) 已接近于北半球红树林自然分布的北限, 因此, 低温对福建红树林的生长和分布影响尤为明显。目前, 有关红树林低温生理生态学研究的报道不多, 许多方面尚属空白^[6, 8, 10, 13, 15]。为此, 本文以福建九龙江口两种红树植物秋茄 (*Kandelia candel*) 和桐

^{*} 国家教委博士学科点基金资助项目 (9538402), 1996 年 1 月 22 日收稿, 5 月 7 日接受。

花树 (*Aegiceras corniculatum*) 为材料, 采用电导法测定了其叶片抗寒力的越冬变化, 并探讨了抗寒力与叶片水分、叶绿素、可溶性蛋白质含量和过氧化物酶活性的相关性, 为阐明红树植物的抗低温适应机制以及红树林的保护和扩大栽培提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 材料

测试样品主要采自福建省龙海县浮宫乡草埔头村(20°24' N, 117°55' E)的红树林群落。1988年9月至1989年4月越冬期间, 每月下旬定点采集秋茄和桐花树树冠层的成熟、完整叶片各50片, 其中20片用湿纱布包裹, 30片置入放有冰块的冰壶中, 带回实验室后前者用于抗寒力测定, 后者用于相关的生理生化指标测定。

2.2 方法

抗寒力测定采用速冻材料的电导率测定法^[15]。材料为直径6.5 mm的叶圆片, 各级低温处理1 h。叶片束缚水和自由水含量测定采用阿贝折射仪法^[2]。叶样用量约0.8 g。叶绿素含量测定采用改进的Arnon比色法^[9]。叶样用量约0.1 g, 浸泡24~48 h。可溶性蛋白质含量测定采用Folin酚试剂法^[11]。吸取10 μl蛋白质提取液进行测定。过氧化物酶活性测定采用愈创木酚法^[2]。吸取秋茄叶片酶液20 μl或桐花树叶片酶液400 μl进行测定。

3 结果

3.1 越冬期间红树植物抗寒力的月变化

1988年9月~1989年4月越冬期间, 测定了福建九龙江口秋茄和桐花树叶片的抗寒力的月变化。从图1可知, 2种红树植物秋茄和桐花树叶片的抗寒力9月份都较低, 半致死温度分别为-7.1和-6.7℃。其后, 随着月平均气温的下降, 抗寒力逐渐增强, 至冬季(12月~2月)达到最大值, 其中秋茄1月份抗寒力最高, 半致死温度为-9.3℃; 桐花树12月份最高, 为-9.0℃。

整个冬季2种红树植物抗寒力变化不大, 到了春季(3月)则随气温回升而迅速下降, 秋茄和桐花树的半致死温度分别为-6.8和-7.7℃, 与其各自最大抗寒力相比分别相差2.5和1.3℃。至4月份, 两者抗寒力趋于相近。

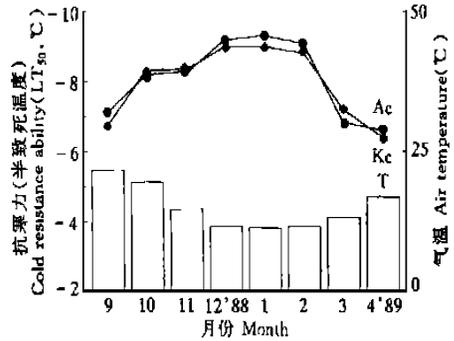


图1 秋茄(Kc)和桐花树(Ac)叶片抗寒力(半致死温度, °C)及气温(°C)的月变化(1988.9~1989.4)

Fig. 1 Monthly changes in leaf cold resistance ability (LT₅₀) of *Kandelia andel* (Kc) and *Aegiceras corniculatum* (Ac), and air temperature.

3.2 水分状况与植物抗寒力的关系

植物抗寒力测定过程中, 同期测定了植物叶片水分状况的月变化。从图2可见, 越冬过程中, 秋茄和桐花树叶片的总含水量变化不明显, 平均值分别为67.40%和62.86%, 变异系数分别为6.60%和6.32%。束缚水含量变化总趋势是冬季之前逐渐上升, 至冬季(12月~2月)达到最高点, 而后逐渐下降。自由水含量的变化与束缚水相反, 冬季之前下降, 冬季达到最低, 而后上升。束缚水与自由水含量比值的波动趋势与束缚水含量相似, 但幅度大。

经统计分析求得越冬过程中2种红树植物叶片抗寒力(半致死温度)与其水分状况变化的相关系数(表1)。从表1可知, 红树植物抗寒力与其水分总量关系不密切, 但与束缚水含量、自由水含量以及束缚水与自由水含量比值分别呈正比、反比和正比的相关关系, 经检验, 相关系数均达极显

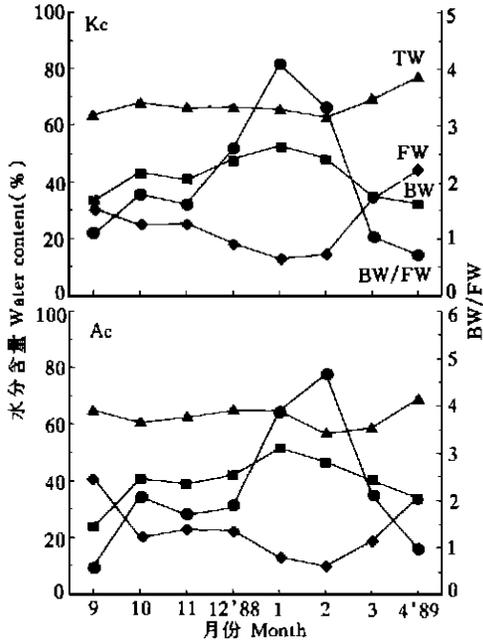


图2 秋茄(Kc)和桐花树(Ac)叶片总含水量(TW)、束缚水含量(BW)和自由水含量(FW)的月变化(1988.9~1989.4)

Fig. 2 Monthly changes in content of total water (TW), bound water (BW) and free water (FW) for *Kandelia candel* (Kc) and *Aegiceracorniculatum* (Ac) leaf.

表1 越冬期间秋茄和桐花树叶片抗寒力(半致死温度)与其水分状况变化的相关系数(df=6)

Table 1 Correlation coefficient between leaf cold resistance ability (LT₅₀) and water status of *Kandelia candel* and *Aegiceracorniculatum* during overwintering period from September, 1988 to April, 1989 (df=6)

植物种 Species	总含水量 TW	束缚水含量 BW	自由水含量 FW	BW/FW
Kc	0.6117	0.9518 **	-0.9700 **	0.9632 **
Ac	0.4661	0.8459 **	-0.8356 **	0.8143 **

* P<0.05, ** P<0.01.

TW, BW and FW means the content of total water, bound water and free water respectively.

Kc: 秋茄 *Kandelia candel*, Ac: 桐花树 *Aegiceracorniculatum*. 下同 The same below.

著或显著水平.

3.3 叶绿素状况与红树植物抗寒力的关系

从图3可看到,秋茄叶片叶绿素总量变化规律不明显,波动大;叶绿素b含量变动起伏多;而叶绿素a含量变动相对平缓.桐花树叶片叶绿素总量、a含量、b含量均以1月份最高,分别为1.24、0.48和0.76mg·g⁻¹FW;此前叶绿素a含量缓慢

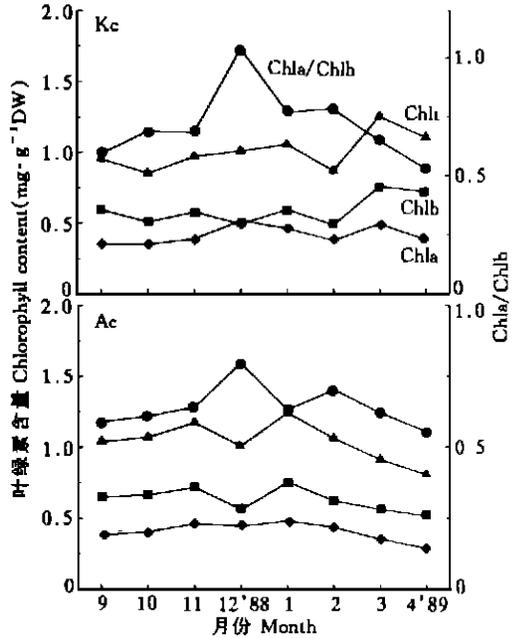


图3 秋茄(Kc)和桐花树(Ac)叶片叶绿素总量(Chlt)、叶绿素a含量(Chla)和叶绿素b含量(Chlb)的月变化(1988.9~1989.4)

Fig. 3 Monthly changes in content of total chlorophyll (Chlt), chlorophyll a (Chla) and chlorophyll b (Chlb) for *Kandelia candel* (Kc) and *Aegiceracorniculatum* (Ac) leaf.

上升,而叶绿素总量和b含量在12月份都有一较低值;1月份之后三者均下降.虽然秋茄和桐花树叶片各种叶绿素含量变化不一致,差别较大,但叶绿素a与b的含量比值变化较相似,12月份的该值最大,在此之前上升,在此之后则下降.

经统计分析求得越冬过程中2种红树植物叶片抗寒力(半致死温度)与其叶绿素状况变化的相关系数(表2).从表2可以表2 越冬期间秋茄和桐花树叶片抗寒力(半致死温度)与其叶绿素状况变化的相关系数(df=6)

Table 2 Correlation coefficient between leaf cold resistance ability (LT₅₀) and chlorophyll status of *Kandelia candel* and *Aegiceracorniculatum* during overwintering period from September, 1988 to April, 1989 (df=6)

植物种 Species	叶绿素总量 Chlt	a含量 Chla	b含量 Chlb	Chla/Chlb
Kc	0.5036	-0.2436	0.7975 *	-0.8038 *
Ac	0.6704	-0.8709 **	-0.4386	-0.7828 *

* P<0.05; ** P<0.01.

Chlt, Chla and Chlb means the content of total chlorophyll, chlorophyll a and chlorophyll b, respectively.

看出,红树植物抗寒力与其叶绿素总含量关系不大,但秋茄叶片的叶绿素 b 和桐花树叶片的叶绿素 a 含量分别与其抗寒力相关达显著和极显著水平;两种植物叶片的叶绿素 a 与 b 含量比值与抗寒性关系密切,相关达显著水平。

3.4 可溶性蛋白质含量与植物抗寒力的关系

从图 4 可以发现,12 月份的秋茄和桐花树叶片可溶性蛋白质含量分别比 10 月份增高 17.5%和 7.47%;2 月份秋茄叶片可溶性蛋白质含量继续增高,桐花树则呈降低趋势;4 月份秋茄叶片可溶性蛋白质含量出现下降,与 10 月份维持在相同水平,桐花树则继续下降。比较红树植物抗寒力和叶片可溶性蛋白质含量之间的关系(图 1、4)可以发现冬季之前抗寒力上升时,可溶性蛋白质含量也增高;冬季之后,抗寒力下降之际,可溶性蛋白质含量也降低,两者变化趋势相似。

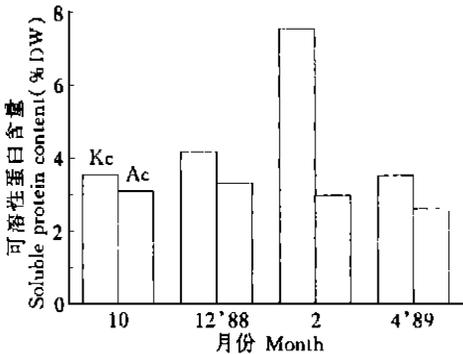


图 4 秋茄(Kc)和桐花树(Ac)叶片可溶性蛋白质含量的月变化(1988.9~1989.4)

Fig. 4 Monthly changes in leaf soluble protein content of *Kandelia candel*(Kc) and *Aegiceras corniculatum* (Ac).

3.5 过氧化物酶活性与植物抗寒力关系

从图 5 可知,秋茄和桐花树叶片过氧化物酶活性均以 12 月份最高;其后,均呈降低趋势。秋茄叶片过氧化物酶活性的变化幅度明显大于桐花树。与红树植物抗寒力的越冬变化相比较(图 1、5),可明显看

到冬季抗寒力增大时,过氧化物酶活性也提高;冬后抗寒力降低,过氧化物酶活性也下降,两者变化趋势相似。

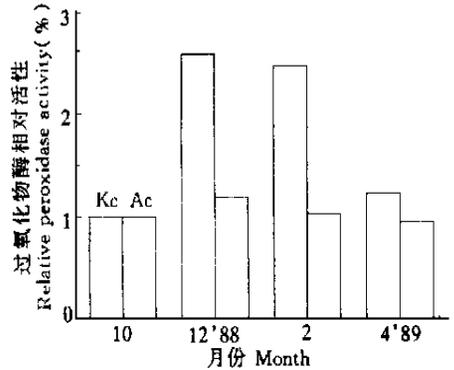


图 5 秋茄(Kc)和桐花树(Ac)叶片过氧化物酶活性相对月变化(1988.9~1989.4)

Fig. 5 Relative monthly changes in leaf peroxidase activity of *Kandelia andel* (Kc) and *Aegiceras corniculatum* (Ac).

4 讨论

红树植物抗寒力越冬性变化的结果表明,红树植物可以通过对低温的适应锻炼来提高抗寒力,与一些温带或寒温带木本植物越冬过程中抗寒力变化相似^[9, 11, 14]。这里,可以把红树植物越冬过程中抗寒力的变化分成 3 个进期:抗寒锻炼期(冬季之前),红树植物抗寒力逐渐增强;抗寒维持期(冬季),抗寒力变化不大,均维持较高水平;抗寒衰退期(冬末春初),抗寒力迅速下降。抗寒锻炼期与抗寒衰退期相比较,前者抗寒力上升缓慢,变幅小,后者抗寒力下降快,变幅大。因此,发生在春季植物抗寒衰退期的倒春寒对植物造成的危害要比秋季寒潮来得严重,在红树植物引种栽培和大面积扩种时特别要注意倒春寒低温危害。

秋茄和桐花树的抗寒力在各个时期均相差不大,但前者能自然分布到更高纬度的福鼎地区,而后者却不能,这说明秋茄的抗寒锻炼潜力强于桐花树。

前人的研究表明,陆生常绿树种自然

抗性增强与树木总含水量的降低有关^[4,9,14]。本研究却表明秋茄和桐花树抗寒力与叶片总含水量的变化无密切关系,原因可能是由于红树植物生长在受潮汐水影响的特殊生境而导致叶片总含水量变化不明显。何景等^[4]曾提出以束缚水与总含水量的比值来衡量三叶橡胶的抗寒能力,本研究表明束缚水、自由水以及束缚水与自由水含量比值均能反映秋茄和桐花树的抗寒力变化,其原因在于自由水含量高,植物代谢旺盛,因此对低温敏感,抗寒力低;而束缚水含量高时,细胞内亲水性胶体加强,各种代谢活动减缓,相应提高了植物抗寒力。

叶绿素在植物体内处于不断的形成和分解之中,一般认为冬季气温低,加速了叶绿素的破坏过程,也抑止了其合成,因此叶绿素含量以冬季最低^[7]。本研究表明,越冬过程中秋茄和桐花树叶片叶绿素总量虽出现波动,但冬季红树植物叶片的叶绿素总量与秋季相差不大,这可能与九龙江口红树植物地处亚热带,冬季温度还没下降到足以导致叶绿素含量发生剧烈变化的程度有关。何洁等^[3]发现,低温处理 3 d 的小麦剑叶叶绿素 a 与 b 含量比值上升,为对照的 121%。本研究中,秋茄和桐花树叶片的叶绿素 a 与 b 含量比值随冬季气温降低而升高,两者结果一致,叶绿素 a 与 b 含量比值的变化可以反映红树植物抗寒力的越冬变化,此项研究结果尚未见过报道。

Weiser 指出木本植物在抗寒锻炼过程中可溶性蛋白质含量和过氧化物酶活性有增高趋势^[14]。我们对河口海岸红树植物的研究结果与此一致。红树植物叶片可溶性蛋白质含量的增加可能是由于某些高分子

蛋白降解所致,至于是否有抗寒新蛋白质的合成尚需进一步研究。过氧化物酶是呼吸作用的末端氧化酶,其活性增高有利于增强红树植物的呼吸作用以生成更多可溶性物质,并释放更多能量来适应冬季低温。

参考文献

- 1 上海植物生理学会. 1985. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社. 210~213.
- 2 华东师范大学生物系植物生理教研组. 1980. 植物生理学实验指导. 北京: 人民教育出版社. 5~7, 143~144.
- 3 何洁、刘鸿先、王以柔等. 1987. 低温对水稻剑叶光合作用的影响. 植物学报, 29(6): 620~626.
- 4 何景、林鹏、杨汉金. 1980. 三叶橡胶抗寒性的生态生理指标. 植物学报, 22(1): 41~48.
- 5 陈福明、陈伟顺. 1984. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 林业科技通讯, (2): 4~8.
- 6 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.
- 7 杨思河、姚建华. 1984. 不同林分林木叶绿素含量及对叶绿素指标应用的想法. 林业科技通讯, (6): 7~10.
- 8 Hutchings P., Saenger, P. 1987. Ecology of Mangroves. University of Queensland Press. St. Lucia, 34~36.
- 9 Kedrowski P. A. 1980. Changes in cold hardiness of introduced and native interior Alaskan evergreens in relation to water and lipid content during spring dehardening. *Physiol. Plant*, 48: 438~442.
- 10 Markley, J. L., McMillan, C., Thompson JR. G. A. 1981. Latitudinal differentiation in response to chilling temperatures among population of three mangroves *Aicenia germinans*, *Laguncularia racemosa* and *Rhizophora mangle* from the western tropical Atlantic and Pacific Panama. *Can. J. Bot.*, 60: 2704~2715.
- 11 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.
- 12 Tomlinson, P. B. 1986. The Botany of Mangroves. Cambridge University Press. Cambridge. 40~61.
- 13 Walsh, G. E. 1974. Mangroves: A review. In: Reimold, R. J., Queen, W. H. eds. Ecology of Halophytes. Academic Press New York, 51~174.
- 14 Weiser C. J. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. *Science* 169: 1269~1278.
- 15 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.