

2008年南方低温对我国红树植物的破坏作用

陈鹭真¹ 王文卿¹ 张宜辉¹ 黄丽¹ 赵春磊¹ 杨盛昌¹ 杨志伟¹ 陈粤超²
徐华林³ 钟才荣⁴ 苏博⁵ 方柏州⁶ 陈乃明⁷ 曾传志⁸ 林光辉^{1*}

¹滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 厦门大学生命科学学院, 福建厦门 361005; ²广东湛江红树林国家级自然保护区管理局, 广东湛江 524088; ³广东内伶仃-福田国家级自然保护区管理局, 广东深圳 518040; ⁴海南东寨港国家级自然保护区管理局, 海南海口 571129; ⁵广西北仑河口国家级自然保护区管理局, 广西防城港 538021; ⁶福建漳江口国家级红树林湿地自然保护区管理局, 福建云霄 363300; ⁷广西钦州市林业科学研究所, 广西钦州 535000; ⁸海南清澜港自然保护区管理站, 海南文昌 571300

摘要 2008年初, 我国南方19个省经历了50年一遇的持续低温雨雪冰冻天气。极端气候对华南沿海各省的红树林区造成不同程度的危害。2008年3月, 在我国南方各省红树林区的10个代表性地点, 对这次寒害造成的红树植物伤害程度进行了系统的调查。结果表明: 冬季低温对红树林的影响极为显著, 特别是在低纬度的海南、广西和广东湛江, 由于极端低温正值夜间退潮, 对红树林的影响更为显著; 在纬度较高的福建, 本地红树种类秋茄(*Kandelia obovata*)、桐花树(*Aegiceras corniculatum*)和白骨壤(*Avicennia marina*)及引种的木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)等, 由于长期适应于冬季较低的气温或在种植前经过抗寒锻炼, 具有较强的抗寒能力。各地主要红树植物中, 广布种秋茄、桐花树和白骨壤最为耐寒, 其耐寒性均大于红树科的木榄、海莲(*Bruguiera sexangula*)和红梅榄(*Rhizophora stylosa*)。海桑(*Sonneratia caseolaris*)对温度的敏感性最强, 抗寒能力最低, 因此, 即使在其原产地海南也受到较为严重的寒害, 在纬度更高的引种地出现大面积受害甚至全部死亡, 而从孟加拉国引种的无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)却显示出一定的抗寒能力。同一地点的红树植物幼苗的抗寒能力低于大树。此次寒害也造成了苗圃场的种苗大量死亡, 成熟的植株提前落花落果, 这势必会影响后继一两年内红树林的自然更新和人工造林。因此, 在未来红树林造林或人工引种中, 一定要考虑到红树植物的抗寒能力。

关键词 寒害, 气候变化, 抗寒, 极端气温, 红树植物

Damage to mangroves from extreme cold in early 2008 in southern China

CHEN Lu-Zhen¹, WANG Wen-Qing¹, ZHANG Yi-Hui¹, HUANG Li¹, ZHAO Chun-Lei¹, YANG Sheng-Chang¹, YANG Zhi-Wei¹, CHEN Yue-Chao², XU Hua-Lin³, ZHONG Cai-Rong⁴, SU Bo⁵, FANG Bai-Zhou⁶, CHEN Nai-Ming⁷, ZENG Chuan-Zhi⁸, and LIN Guang-Hui^{1*}

¹Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems, School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China; ²The Administrative Bureau of Zhanjiang Mangrove National Nature Reserve, Zhanjiang, Guangdong 524088, China; ³The Administrative Bureau of Neilingding-Futian National Nature Reserve, Shenzhen, Guangdong 518040, China; ⁴The Administrative Bureau of Dongzhai Harbor National Nature Reserve, Haikou, Hainan 571129, China; ⁵The Administrative Bureau of Beilunhe Estuary National Nature Reserve, Fangchenggang, Guangxi 538021, China; ⁶The Administrative Bureau of Zhangjiang Estuary National Nature Reserve, Yunxiao, Fujian 363300, China; ⁷Qinzhou Institute of Forestry, Qinzhou, Guangxi 535000, China; and ⁸The Administrative Bureau of Qinglan Harbor Nature Reserve, Wenchang, Hainan 571300, China

Abstract

Aims Unusually low temperatures associated with heavy rain, snow and frost occurred in 19 provinces in southern China in January–February 2008. Our objectives were to evaluate the impact of the cold weather event on mangroves and to compare differences in cold tolerance between exotic and native mangrove species.

Methods In March 2008, we conducted an intensive survey of cold damage in ten mangrove nature reserves along the coastal areas of mainland China. Parameters such as scorch percentage, defoliation percentage and leaf F_v/F_m values (an indicator of leaf physiological health) were determined on selected seedlings and trees of the mangrove species at each site.

Important findings With low latitudes in Hainan, Guangxi and Zhanjiang of Guangdong, low air temperature coupled with the ebb tide at night, which caused serious damage to several mangrove species. However, native mangrove species in Fujian, such as *Kandelia obovata*, *Aegiceras corniculatum*, *Avicennia marina* and transplanted *Bruguiera gymnorrhiza*, which were adapted to low temperature events in winters, had higher cold resistance. Among all mangrove species surveyed, *K. obovata*, *Aegiceras corniculatum* and *Avicennia marina* were the most cold-resistant, followed by *B. gymnorrhiza*, *B. sexangula* and *Rhizophora stylosa*, which belong to the

收稿日期 Received: 2009-04-26 接受日期 Accepted: 2009-09-12

* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: lingh@xmu.edu.cn)

family Rhizophoraceae. *Sonneratia caseolaris* was the least cold-resistant mangrove species, having suffered serious damage or even complete loss in some locations. *S. apetala* introduced from Bangladesh showed much less damage than its counterpart *S. caseolaris*, indicating higher resistance to low temperature. Furthermore, mangrove seedlings were more sensitive than mature trees. The extreme cold event killed many mangrove seedlings in the nurseries and caused immature flowers and fruits to drop from trees, which would have an adverse effect on mangrove natural reproduction and reforestation projects. Thus, it is essential to consider cold resistance in future mangrove afforestation and restoration projects.

Key words chilling, climate change, cold resistance, extreme temperature, mangroves

红树林是处于热带、亚热带陆地与海洋过渡带的特殊湿地生态系统,是海岸带的生态关键区,具有维护生物多样性、防浪固岸、抵抗海啸和台风、降解污染、调节区域气候等重要生态功能,还能人类社会提供丰富的动植物资源,具有十分重要的经济和社会价值(林鹏和傅勤, 1995; 林鹏, 1997; 王文卿和王瑁, 2007)。

近100年来,全球气候变化最突出的特征是温度的显著上升。全球气温升高伴随着飓风、洪水、干旱、森林火灾以及其他极端气象事件发生的频率和强度增加(IPCC, 2007)。Gu等(2008)曾对美国东部2007年春季极端低温造成一些植物的伤害做过类似的调查研究,并警告:即使在因全球气候变化不断增温的条件下,植物也可能受到突发极端气温的严重伤害。2008年1月10日至2月6日,我国广东、海南、福建、湖南、湖北等19个南方省市自治区先后经历了历史上罕见的持续低温雨雪冰冻天气。这次极端气候事件50年一遇,部分地区达到百年一遇(殷志强, 2008)。极端气候给华南沿海各省红树林带来不同程度的寒害,出现不同程度的枯黄、落叶,甚至死亡的现象。例如,海南文昌红树林区的本地种海桑(*Sonneratia caseolaris*)、卵叶海桑(*S. ovata*)、海南海桑(*S. × hainanensis*)大量落叶;广西钦州20世纪80年代种植的红海榄(*Rhizophora stylosa*)和2002年种植的无瓣海桑(*S. apetala*)大量死亡;广东深圳20世纪90年代初引种的海桑全部落叶。

虽然本次寒害中红树林受灾面积已有报道(陈粤超等, 2008; 蒋礼珍和黄汝红, 2008; 中国林业科学研究院, 2008; 李玫等, 2009),但是这次寒害对各地红树植物在叶片形态和生理特性等方面的损坏程度还未有研究,也缺乏对不同红树林区应对极端低温的大规模调查。为了及时了解我国南方各省红树林的受灾情况,比较不同红树植物间应对极端低温的能力差异,2008年3月我们在南方各省

代表性红树林区对这次寒害造成的红树植物损坏程度进行了系统调查,并跟踪调查了随后一年海南文昌的红树林开花结果和种苗生产情况。本调查旨在比较不同地区、不同树种应对极端低温的形态和生理特征,对原生和引种的红树植物种类不同的低温响应进行比较。调查研究结果将对指导红树林生态恢复的树种选择和保护区的科学管理提供理论依据。

1 研究地点概况

研究地点包括我国东南沿海福建、广东、广西、海南等4省和自治区的10个红树林保护区,各地点气候条件及潮汐类型见表1。

2008年1月10日到2月20日的日均温和降水的距平值如图1所示(距平值为日均温和平均降水与当地同一时期10 a的平均值之差值)。调查地点的气象数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)和中国香港天文台(<http://gb.weather.gov.hk>)。其中,宁德的气象数据来自邻近的福州气象站,九龙江口的气象数据来自邻近的厦门气象站,深圳的气象数据来自邻近的香港气象站,湛江的数据来自邻近的阳江气象站。

2 研究方法

2.1 调查树种

各地所调查的红树植物种类,包括本地种和引种的外来种(表2)。除深圳的红树植物包括成年大树和2-3年生的幼苗外,其他各地点调查的红树植物均为成年大树。

2.2 调查方法

2.2.1 植株枯黄程度

在对各地红树林进行踏查的基础上,选择代表性群落,估测植株的枯黄程度(以枯黄叶片占整个植株叶片的百分比表示)。

表1 红树林寒害调查研究地点的主要环境特征

Table 1 Key environmental characteristics for the mangrove sites in present chilling investigation

调查地点 Investigation site	纬度 Latitude (N)	年均温 Mean annual temperature (°C)	最低月均温 Coldest month temperature (°C)	年均降雨 Mean annual rainfall (mm)	潮汐类型 Tide type
福建省 Fujian Province					
宁德 Ningde	26°41'	19.0	10.3	1 250	正规半日潮 Regular semi-diurnal tide
龙海 Longhai	24°26'	21.0	12.2	1 365	正规半日潮 Regular semi-diurnal tide
云霄 Yunxiao	23°54'	21.2	12.9	1 714	正规半日潮 Regular semi-diurnal tide
广东省 Guangdong Province					
深圳 Shenzhen	22°32'	22.5	14.1	1 927	不正规半日潮 Irregular semi-diurnal tide
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	21°34'	23.0	16.0	1 500	混合全日潮 Mix diurnal tide
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	21°00'	23.0	16.0	1 500	不正规半日潮 Irregular semi-diurnal tide
广西壮族自治区 Guangxi Zhuang Autonomous Region					
防城港 Fangchenggang	21°28'	22.5	14.1	2 220	正规全日潮 Regular diurnal tide
钦州 Qinzhou	21°43'	22.0	13.4	2 075	不正规全日潮 Irregular diurnal tide
海南省 Hainan Province					
海口 Haikou	19°54'	23.8	12.1	1 676	不正规全日潮 Irregular diurnal tide
文昌 Wenchang	19°34'	24.0	18.3	1 974	不正规全日潮 Irregular diurnal tide

2.2.2 枝条落叶百分比

随机选取3个植株, 每个植株随机选2–3个枝条作为平行样, 记录枝条上的所有叶痕和余留的叶片, 计算枝条的落叶百分数。

2.2.3 叶片健康指数(F_v/F_m)

选取步骤2.2.2采集的植株, 用叶绿素荧光仪(PAM-2100, Heinz Walz GMBH, Effeltrich, Germany)随机测定仍保留在枝条上的成熟叶片的 F_v/F_m 值。

2.2.4 苗圃幼苗受害情况和寒害前后苗圃育苗数量

调查各地苗圃中红树植物幼苗的寒害情况, 记录幼苗死亡率。调查各保护区在2008年前后苗圃的育苗数量。

2.2.5 海南文昌的红树植物开花结果调查

寒害后连续跟踪记录各种红树植物开花和结果数量, 并与正常年份开花结果数量比较, 计算开花结果的百分比。

2.3 数据分析

各地本地种和外来种的差异用独立样本 t 检验(independent sample t -test)分析, 不同地点的外来种和本地种的差异用多因子方差(multivariate analysis of variance)分析。深圳的幼苗和成年大树叶片健康指数的差异用双因子方差分析(分析两地共有物

种)。所有数据用SPSS 13.0软件进行统计, 用SigmaPlot 10.0做图。

3 结果

3.1 植株枯黄和叶片脱落程度

由表3可见, 本地种秋茄(*Kandelia obovata*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)在各调查地点均无叶片枯黄。白骨壤(*Avicennia marina*)在广东湛江和广西两个样地都有不同程度的叶片枯黄: 湛江雷州的白骨壤枯黄程度约为5%, 而广西防城港和钦州的白骨壤受害较为严重, 近30%的叶片枯黄。作为湛江的本地种, 大量木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)和红海榄大树叶片枯黄; 而在福建龙海引种的木榄和红海榄中, 5%的木榄和50%的红海榄叶片枯黄。作为海南的乡土植物, 海莲(*Bruguiera sexangula*)在海口和文昌两个位点都没有出现叶片枯黄的症状, 但在原产地以外的引种地海莲植株叶片枯黄严重。寒害之后, 深圳引种的海桑所有的叶片枯黄、脱落; 原产地海南文昌的海桑叶片枯黄程度也高达80%。

由孟加拉国引种到我国的无瓣海桑在纬度相对较高的福建龙海受害最轻, 而引种到海南海口和湛江的无瓣海桑约50%的叶片变黄, 广西防城港的叶片全部枯黄。

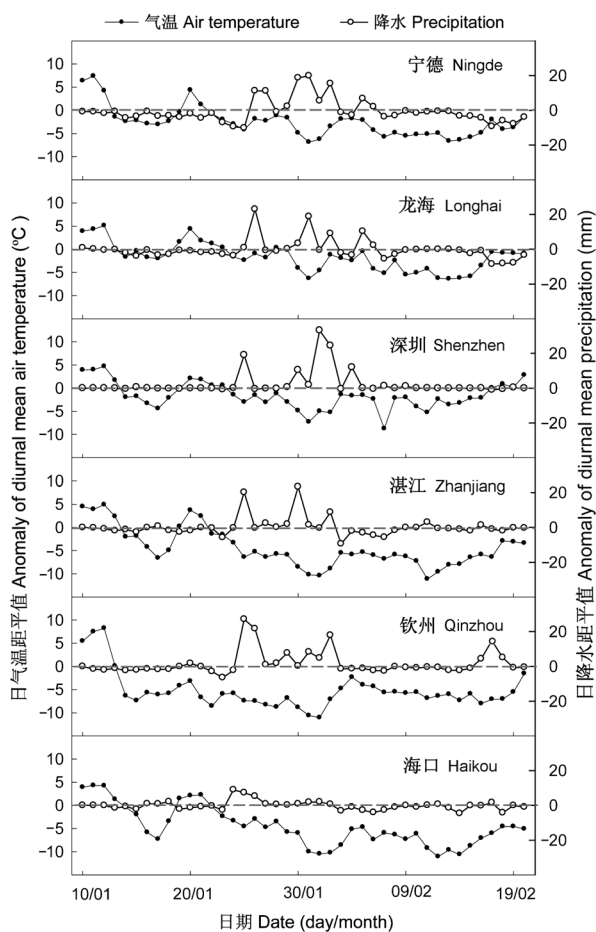


图1 各调查地点2008年初低温时的日平均气温和降水的距平值。
 Fig. 1 Anomaly of diurnal air temperature and precipitation at each investigation site during the cold event in early 2008.

表2 各调查地点所调查的主要红树植物种类
 Table 2 Mangrove species surveyed at each site

调查地点 Investigation site	秋茄 Ko	桐花树 Ac	白骨壤 Am	木榄 Bg	红海榄 Rs	海莲 Bs	海桑 Sc	无瓣海桑 Sa
宁德 Ningde	N	-	-	-	-	-	-	-
龙海 Longhai	N	N	N	E	E	E	-	E
云霄 Yunxiao	N	N	N	N	-	-	-	-
深圳 Shenzhen	N	N	N	N	-	E	E	E
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	N	N	N	N	N	-	-	E
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	N	N	N	-	N	E	-	E
防城港 Fangchenggang	N	N	N	N	-	-	-	E
钦州 Qinzhou	N	N	N	N	N	-	-	-
海口 Haikou	N	N	N	N	N	N	E	E
文昌 Wenchang	N	N	N	N	-	N	N	-

- , 没有此种植物; E, 外来种; N, 本地种; Ko, *Kandelia obovata*, 原名为 *Kandelia candel* (Sheue et al., 2003).
 -, no such species at the site; E, exotic species; N, native species; Ko, *Kandelia obovata*, formerly *Kandelia candel* (Sheue et al., 2003). Ac, *Aegiceras corniculatum*; Am, *Avicennia marina*; Bg, *Bruguiera gymnorrhiza*; Bs, *Bruguiera sexangula*; Rs, *Rhizophora stylosa*; Sa, *Sonneratia apetala*; Sc, *Sonneratia caseolaris*.

由表4可见, 寒害导致各调查地点的红树植物叶片的脱落情况与枯黄程度(表3)基本一致。各地的秋茄和桐花树植株均未出现落叶。除湛江高桥的木榄和红海榄、湛江雷州的白骨壤和红海榄以及广西防城港的白骨壤和木榄等本地种明显落叶外, 其他地区的本地种均无落叶现象。海南的乡土树种海莲在海南未落叶; 但北移之后, 落叶较为严重。同为海南乡土树种的海桑, 在原生地(海南文昌)出现54.2%的落叶, 而在引种地深圳红树林保护区内, 15年生的所有海桑植株全部落叶。无瓣海桑在各个引种地表现出不同程度的落叶: 广西两个样点(钦州、防城港)人工造林的无瓣海桑全部落叶; 湛江的无瓣海桑落叶的百分比超过50%; 而在纬度相对较高的龙海, 无瓣海桑落叶率仅为24.4%。各地引种的外来红树植物种类在寒害后落叶率显著高于本地种红树植物(表4)。

3.2 叶片生理生态特征对寒害的响应

F_v/F_m 值作为叶片健康指数的衡量指标。 F_v/F_m 值为0.8被认为是植物胁迫与非胁迫状况的临界值, 小于0.8被认为是植物处于胁迫状态。对于红树植物的大树, 虽然福建龙海的各种乡土红树植物的叶片没有出现枯黄和落叶, 但是叶片的叶绿素荧光 F_v/F_m 值均小于0.80, 却显著高于引种的木榄、海莲、红海榄和无瓣海桑(表5)。在深圳, 除木榄和海莲外, 其他红树植物叶片的 F_v/F_m 值均大于0.80, 而且本地种的叶片 F_v/F_m 值也显著高于外来种红树植物。但在

表3 各调查地点主要红树植物种类植株枯黄程度(%)

Table 3 Scorch percentage (%) for the mangrove trees at each site

调查地点 Investigation site	秋茄 Ko	桐花树 Ac	白骨壤 Am	木榄 Bg	红海榄 Rs	海莲 Bs	海桑 Sc	无瓣海桑 Sa
宁德 Ningde	0	-	-	-	-	-	-	-
龙海 Longhai	0	0	0	5	50	20	-	5
云霄 Yunxiao	0	0	0	0	-	-	-	-
深圳 Shenzhen	0	0	0	0	ND	97	100	20
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	0	0	0	35	45	-	-	50
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	0	0	5	ND	15	90	-	50
防城港 Fangchenggang	0	0	30	ND	-	-	-	100
钦州 Qinzhou	0	0	40	30	100	-	-	-
海口 Haikou	0	0	0	0	ND	0	75	40
文昌 Wenchang	0	0	0	0	ND	0	80	-

ND, 无数据; -, 没有此种植物。

ND, no data; -, no such species at the site; Ac, Am, Bg, Bs, Ko, Rs, Sa, Sc, see Table 2.

表4 各调查地点主要的本地种和引种红树植物的落叶程度(%)

Table 4 Defoliation percentage (%) for the mangrove trees at each site

调查地点 Investigation site	秋茄 Ko	桐花树 Ac	白骨壤 Am	木榄 Bg	红海榄 Rs	海莲 Bs	海桑 Sc	无瓣海桑 Sa	t 值 t-value
宁德 Ningde	0.0	-	-	-	-	-	-	-	-
龙海 Longhai	0.0	0.0	0.0	11.5	30.2	35.1	-	24.4	-5.467***
云霄 Yunxiao	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-
深圳 Shenzhen	0.0	0.0	0.0	0.0	ND	65.3	100	44.5	-7.434***
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	0.0	0.0	ND	25.0	19.2	-	-	52.2	-5.904***
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	0.0	0.0	24.1	-	64.0	-	-	56.9	-9.329***
防城港 Fangchenggang	0.0	0.0	ND	ND	-	-	-	100	-
钦州 Qinzhou	0.0	0.0	20	15	100	-	-	100	-
海口 Haikou	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.7	25.4	-10.137***
文昌 Wenchang	0.0	0.0	0.0	0.0	ND	0.0	54.2	-	-

***表示外来种和本地种红树植物的t值差异极显著($p < 0.001$); -, 没有此种植物; ND, 无数据。

The t-value is significant difference for the comparison between the exotic and native mangrove trees with *** for $p < 0.001$; -, no such species at the site; ND, no data. Ac, Am, Bg, Bs, Ko, Rs, Sa, Sc, see Table 2.

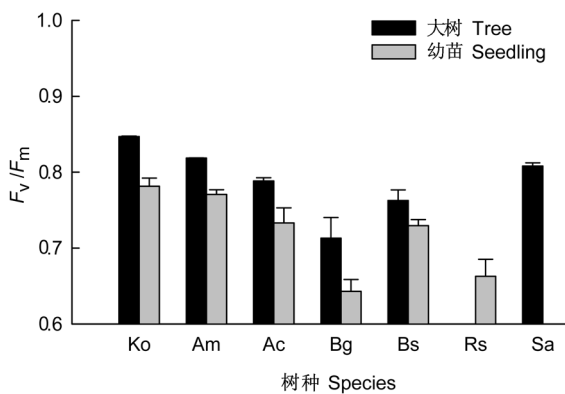


图2 深圳红树植物幼苗与大树叶片的健康指数(F_v/F_m)。Am, Ac, Bg, Bs, Ko, Rs, Sa, 同表2。

Fig. 2 Comparison in the F_v/F_m values between mangrove trees and seedlings in Shenzhen. Am, Ac, Bg, Bs, Ko, Rs, Sa, see Table 2.

湛江的两个样点上, 木榄和红海榄的 F_v/F_m 值低于0.80, 但外来种无瓣海桑具有较高的 F_v/F_m 值。在广西钦州, 除木榄外, 其他红树植物叶片的 F_v/F_m 值均高于0.80。在海南海口和文昌, 除桐花树外, 其他种类叶片的 F_v/F_m 值均高于0.80。高桥、雷州和海口的本地种和外来种叶片的 F_v/F_m 值差异不显著。 F_v/F_m 值在树种和样地间的差异极为显著(表6)。

深圳红树植物幼苗叶片表现出与大树相似的叶片健康指数(图2)。本地种木榄幼苗和大树叶片的 F_v/F_m 值最低, 引种的海莲的叶片 F_v/F_m 值约为0.75。总体而言, 幼苗的叶片 F_v/F_m 值显著低于大树($F_{1,5} = 39.664, p < 0.001$)。

3.3 苗圃内幼苗的受害程度

苗圃中的红树林幼苗在经历低温寒害之后, 出

表5 各调查地点主要红树植物的叶片健康指数(F_v / F_m)(平均值±标准误)

Table 5 F_v / F_m values for the leaves of mangrove trees at each investigation site (mean ± SE)

调查地点 Investigation site	秋茄 Ko	桐花树 Ac	白骨壤 Am	木榄 Bg	红海榄 Rs	海莲 Bs	海桑 Sc	无瓣海桑 Sa	t 值 t-value
宁德 Ningde	ND	-	-	-	-	-	-	-	-
龙海 Longhai	0.79 ± 0.01	0.73 ± 0.01	0.75 ± 0.01	0.66 ± 0.03	0.23 ± 0.02	0.56 ± 0.02	-	0.73 ± 0.01	3.127**
云霄 Yunxiao	ND	ND	ND	ND	-	-	-	-	-
深圳 Shenzhen	0.85 ± 0.00	0.79 ± 0.00	0.82 ± 0.00	0.71 ± 0.03	-	0.76 ± 0.01	ND	0.81 ± 0.00	2.282**
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	0.81 ± 0.01	ND	ND	0.73 ± 0.01	0.69 ± 0.02	-	-	0.80 ± 0.01	-2.102
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	0.84 ± 0.01	0.77 ± 0.01	0.81 ± 0.00	-	0.72 ± 0.01	ND	-	0.79 ± 0.01	2.243
防城港 Fangchenggang	ND	ND	ND	ND	-	-	-	ND	-
钦州 Qinzhou	0.83 ± 0.00	0.81 ± 0.00	0.82 ± 0.00	0.79 ± 0.00	ND	-	-	-	-
海口 Haikou	0.83 ± 0.01	0.77 ± 0.01	0.83 ± 0.00	0.82 ± 0.00	0.82 ± 0.00	0.80 ± 0.01	0.83 ± 0.01	0.80 ± 0.01	-0.644
文昌 Wenchang	ND	0.79 ± 0.01	0.83 ± 0.00	0.83 ± 0.01	ND	0.83 ± 0.01	0.82 ± 0.00	-	-

表注同表4。

Notes see Table 4.

表6 不同位点外来种与本地种的落叶百分比和大树叶片 F_v / F_m 值的多元方差分析(F值)

Table 6 Significance values (F value) of multivariate analysis-of-variance (MANOVA) for the comparisons in defoliation percentage and leaf F_v / F_m values of trees between the exotic and native species

	落叶百分比 Percentage of defoliation		大树的 F_v / F_m F_v / F_m values for trees	
	df	F	df	F
树种 Species	1	333.56***	1	7.530**
样地 Sample plot	5	15.864***	4	4.963**
树种×样地 Species×Sample plot	5	14.583***	4	3.516*

*, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$.

表7 各调查地点苗圃红树植物幼苗的死亡率(%)

Table 7 Mangrove seedling mortality (%) in selected nurseries at each study site

调查地点 Investigation site	秋茄 Ko	桐花树 Ac	白骨壤 Am	木榄 Bg	红海榄 Rs	海莲 Bs	海桑 Sc	无瓣海桑 Sa
宁德 Ningde	0	100	-	100	-	-	-	-
深圳 Shenzhen	0	0	0	70	95	95	100	100
湛江高桥 Gaoqiao in Zhanjiang	-	-	-	75	90	-	-	100
湛江雷州 Leizhou in Zhanjiang	-	-	20	50	-	-	-	100
防城港 Fangchenggang	0	-	-	90	100	-	-	-
钦州 Qinzhou	0	-	-	-	-	-	-	99
海口 Haikou	-	-	-	-	-	-	80	20
文昌 Wenchang	-	-	-	-	-	40	-	-

-, 没有此种植物。

-, no such species at the site. Ac, Am, Bg, Bs, Ko, Rs, Sa, Sc, see Table 2.

现不同程度的损失(表7)。其中, 受寒害影响最为严重的是速生外来种无瓣海桑的幼苗: 除海口外, 其余4个样地几乎所有育种的幼苗都死于寒害。深圳的苗圃中, 本地种桐花树和白骨壤幼苗没有受损, 但70%的木榄幼苗被冻死; 两种引种的海桑属植物的幼苗全部被冻死。湛江高桥和雷州两地栽培的大量

木榄和红海榄幼苗被冻死。海南海口的桐花树幼苗全部死亡; 20%的无瓣海桑幼苗死亡; 海桑幼苗仅保留了20%。在海南文昌, 苗圃的大部分幼苗已经在过冬前起苗, 仅余下部分海莲幼苗, 其中40%受害。在福建宁德, 寒害也导致红树林苗圃中桐花树和木榄幼苗死亡, 但秋茄的幼苗未受到寒害。

doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2010.02.010

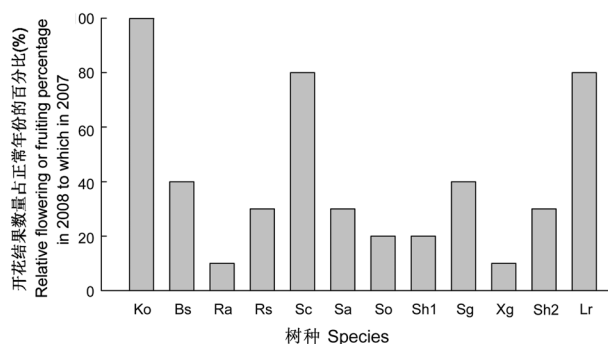


图3 寒害后(2008年)海南文昌清澜港自然保护区部分红树植物开花结果数量占正常年份(2007年)的百分数(%)。Bs, 海莲; Ko, 秋茄; Lr, 榄李; Ra, 红树; Rs, 红海榄; Sa, 杯萼海桑; Sc, 海桑; Sg, 拟海桑; Sh1, 海南海桑; Sh2, 瓶花木; So, 卵叶海桑; Xg, 木果楝。

Fig. 3 Relative flowering or fruiting percentages (%) of some mangrove species after the extreme cold event (2008) in comparison with those in a normal year (2007) in Qinglangang Mangrove Nature Reserve. Bs, *Bruguiera sexangula*; Ko, *Kandelia obovata*; Lr, *Lumnitzera racemosa*; Ra, *Rhizophora apiculata*; Rs, *R. stylosa*; Sa, *Sonneratia alba*; Sc, *Sonneratia caseolaris*; Sg, *S. × gulgai*; Sh1, *S. × hainanensis*; Sh2, *Scyphiphora hydrophyllacea*; So, *Sonneratia ovata*; Xg, *Xylocarpus granatum*.

3.4 寒害对红树植物开花结果的影响

寒害之后, 虽然大部分红树植物能够在气温回升后逐渐长出新叶, 但是, 寒害对大多数红树植物的开花结果产生了较大的影响。我们对我国天然红树植物种类最多的海南文昌清澜港省级保护区的红树植物进行的跟踪调查发现, 与正常年份相比, 除秋茄外, 2008年大部分种类的成熟繁殖体数量明显低于2007年(图3)。

4 讨论

4.1 地理和气候环境造成的不同受害程度

2008年1月中下旬, 我国长江中下游到南岭之间出现50年以来最严重的暴雪冻雨灾害。持续时间之长、面积之大、强度之大是极为罕见的。约两周时间(1月10–26日), 江南、华南及西北大部分地区过程最大降温幅度均达到10–18 °C, 部分地区超过18 °C。图1表明: 在华南沿海, 即我国主要的红树林分布区, 样点之间降温幅度有所差异: 广西沿海的钦州降温幅度最大, 高于深圳和湛江, 因此, 红树植物的寒害最为显著; 福建沿海和海南海口的降温幅度较小, 而文昌降温幅度最小, 红树植物受害也较

小; 可见, 红树植物的受害程度受降温的影响极为显著。降温过程伴随着降水的增加, 增大了低温对植物的伤害。除海口以外, 1月下旬各地的降水伴随气温的降低而显著增多(图1), 部分地区的降温距平值超过10 °C。降温对不同种类红树植物的生长和生理产生了不同的影响。低纬度地区常年气温较高、温差较小, 当大幅度的降温和降水同时发生, 特别是夜间低温正好处于退潮时期时, 对红树植物的寒害影响最为显著。海南文昌、海口, 广西防城港、钦州和广东湛江雷州、高桥等几个地点均属于此种情况。特别是湛江的乡土种红树植物木榄、红海榄和白骨壤, 以及海南的乡土种海桑都受到了严重的寒害, 叶片出现大量枯黄和落叶。而其他调查地点的乡土红树植物种类的叶片基本上未见枯黄或落叶现象(表3, 表4)。福建虽然是红树植物在中国分布的北缘, 最低月均温均低于13 °C, 但在此次低温过程中降温幅度相对较小(图1), 因此, 福建本地种红树植物受到的寒害较轻, 仅在引种植物中出现寒害特征(表3, 表4)。这可能与福建常年的最冷月低温较其他红树林区低, 红树植物在生长过程中长期适应外界环境后形成了较强的抗寒能力有关。此外, 福建龙海引种的红树植物, 在苗木(胚轴)引进时都进行了抗寒锻炼(卢昌义等, 1994), 这可能也是其受寒害较轻的原因之一。龙海引种的红海榄和木榄受寒害程度也不同: 红海榄部分植株出现叶片枯黄现象, 而木榄基本没有受到损坏; 与之直线距离不超过10 km的厦门集美实验地, 引种时未进行抗寒锻炼的红海榄大部分死亡, 木榄也表现出较严重的寒害特征。可见, 抗寒锻炼在植物北移引种中十分重要。

4.2 不同树种对寒害的响应能力不同

红树植物在天然分布上随着纬度增加种类不断减少(林鹏, 1997)。在中国红树林分布的北界——福建宁德, 仅有秋茄一个种分布。此次寒害后, 各地的秋茄均没有发生叶片枯黄和落叶等寒害的特征, 再次证明秋茄具有极强的耐寒能力。另一种广布红树植物桐花树虽然没有表现出明显的寒害特征, 但叶片健康指数多数情况下显著低于同一地点的秋茄(表5), 可见, 它可能受到一定的低温胁迫。福建龙海的秋茄和桐花树叶片健康指数低于0.8, 这可能是由于龙海地处亚热带, 冬季温度下降影响到植物的叶绿素合成, 使秋茄和桐花树等本地种红

树植物的叶片叶绿素含量显著降低(杨盛昌和林鹏, 1997)。对于白骨壤,除了雷州5%的植株出现叶片枯黄并伴随24.1%的枝条叶片脱落外,其他地点均未表现出明显的寒害特征,说明其抵抗极端低温的能力仅次于秋茄和桐花树。木榄、红海榄和海莲对于低温的响应比较类似:低温不仅使部分叶片枯黄脱落,而且降低了叶片健康指数。这3种红树植物中,木榄受害程度低于海莲和红海榄。海桑属于嗜热窄布种,在我国海南以外的地区没有海桑属(*Sonneratia*)红树植物的天然分布(林鹏, 1997)。生长在原产地海南文昌的海桑出现大量落叶,但保留叶片的健康指数均高于0.80;而深圳人工种植和天然更新的海桑,植株叶片全部枯黄脱落,树冠以下1 m的枝条全部干枯死亡。直至2008年10月,深圳的海桑仅有30%的植株长出新叶。由此可见,海桑的耐寒能力极低。这一现象与杨盛昌和林鹏(1998)的结果类似,即海桑科红树植物的耐寒力显著低于红树科植物。然而,在海南海口和广东深圳,由孟加拉国引种的外来红树植物——无瓣海桑的叶片枯黄和落叶程度都低于海桑,可见其耐寒性较海桑高。无瓣海桑在引种地的受害程度以福建龙海的样品最低(表3,表4)。这可能是因为无瓣海桑在引种到福建省后,经过长期的驯化,已经逐渐适应了当地的低温,诱导出较好的低温适应能力。当气温骤降时,较高纬度的无瓣海桑虽然叶片受到一定的胁迫,但其枯黄和脱落的程度并不严重。因此,综合比较不同地点不同红树植物大树的受害情况,调查的几种红树植物的抗寒能力从高到低依次为:秋茄>桐花树>白骨壤>木榄>无瓣海桑>红海榄>海莲>海桑。

苗圃中的幼苗在寒害过后受到不同程度的损伤(表7),除海口以外,几乎所有苗圃的无瓣海桑幼苗都全部死亡;而少量木榄、海莲和红海榄的幼苗在寒害后还能存活。可见,无瓣海桑幼苗的抗寒能力较几种红树科植物低。较之成年大树,各种植物的幼苗在寒害过后的叶片健康指数降低(图2),可见,幼苗期红树植物的耐寒能力低于成年大树。这几种幼苗的抗寒能力排序如下:秋茄>桐花树>白骨壤>木榄>红海榄>海莲>无瓣海桑>海桑。

4.3 红树林生态恢复的树种选择和管理

在红树林湿地生态恢复工程中,树种选择的重要指标之一就是植物的抗寒能力(莫竹承等, 1995;

李云等, 1997; 杨盛昌和林鹏, 1998)。从2008年初的极端低温对我国各地红树林带来的损坏程度可以看出:在极端气候,如低温频率增高时,用抗寒能力强的乡土树种进行大规模造林具有很大的优势。虽然木榄、红海榄和海莲等红树植物的抗寒能力低于秋茄和桐花树,其原生的群落在应对低温时仍然表现出显著的冻害特征,但其恢复能力依然高于引种的群落。作为大面积推广的造林树种,外来植物无瓣海桑强大的扩散潜力和速生能力一直是红树林自然保护区管理的关注焦点,其大树在此次寒害过程中表现出较强的抗寒适应力和寒害后的恢复能力,对此应引起足够的重视。

寒害过程中,各地红树林区培育的红树植物种苗亦受到严重的破坏。除海口以外,各地培育的无瓣海桑和海桑幼苗全部冻死。福建宁德培育的桐花树和木榄幼苗几乎全部冻死。广东深圳、湛江所培育的木榄、红海榄和白骨壤幼苗存活率也很低。在湛江高桥,30%的无瓣海桑由于人工覆盖了塑料薄膜而幸免于难(陈粤超等, 2008)。因此,低温之前对苗圃内红树植物幼苗的保温措施可以避免寒害。

寒害9个月后,我们对海南清澜港红树林保护区红树植物花果产量跟踪调查的结果(图3)表明:2008年初的极端低温显著降低了红树植物的繁殖生长,导致当年结果率的显著降低。而我国其他几个主要红树林区也出现了类似的情况(结果未列出),导致了2008年后红树植物种苗数量的大量减少。这次寒害造成的育苗损失和花果减产势必影响到今后1-2年内的红树林造林工程。

5 小结

综上所述,2008年初的极端低温对中国一些地区的红树植物造成了不同程度的伤害。本地种红树植物受到寒害的影响较小,引种的红树植物受影响较大。福建虽然处于中国红树林分布的北缘,但由于红树植物对冬季低温的长期适应和引种造林之前进行了抗寒锻炼,提高了引种植物的抗寒能力,大多数红树植物未受到极端低温的影响。不同红树植物种类具有不同的抗寒能力,除无瓣海桑外,各个种的大树抗寒能力均高于幼苗期。秋茄的抗寒能力最强,而海桑最弱。极端低温不仅导致红树植物的人工育苗大量冻死,也造成红树植物大量落花落果、降低繁殖体产量,并将严重影响到今后1-2年内

红树林幼苗的自然扩散以及红树林造林工程的实施。

致谢 国家自然科学基金(30671646和30700092)和厦门大学“闽江学者”启动基金。项目野外考察中得到了厦大学生命科学学院李小飞、黄冠闽、卢伟志等同学的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- Chen YC (陈粤超), Lin KY (林康英), Xu FH (许方宏) (2008). Investigation of the chilling damage on mangroves in Zhanjiang of Guangdong Province and the study on restoration techniques after damage. *Wetland Science and Management* (湿地科学与管理), 4(3), 49–50. (in Chinese)
- Chinese Academy of Forest (中国林业科学研究院) (2008). Expert's views from Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry on disaster of prevention and mitigation techniques (4th): chilling and freezing stress on mangroves and the recovery techniques and measures after disaster (科技救灾减灾热林所专家谈(四): 红树林受冻情况及灾后恢复技术要点与措施). http://www2.caf.ac.cn/news/xw_yx/0831110176KK355BCBD815D8-1C3A03.html. Cited March 4, 2008. (in Chinese)
- Gu L, Hanson PJ, Mac Post W, Kaiser DP, Yang B, Nemani R, Pallardy SG, Meyers T (2008). The 2007 Eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *BioScience*, 58, 253–262.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007). IPCC fourth assessment report. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL eds. *Climate Change in 2007: the Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 996.
- Jiang LZ (蒋礼珍), Huang RH (黄汝红) (2008). Investigation of the chilling damage on mangrove and study on the cold tolerance of *Sonneratia apetala*. *Journal of Meteorological Research and Application* (气象研究与应用), 29(3), 35–38. (in Chinese with English abstract)
- Li M (李玫), Liao BW (廖宝文), Guan W (管伟), Zheng SF (郑松发), Chen YJ (陈玉军) (2009). Survey on cold damage of mangroves in Guangdong Province. *Protection Forest Science and Technology* (防护林科技), 89(2), 29–31. (in Chinese with English abstract)
- Li Y (李云), Zheng DZ (郑德璋), Chen HX (陈焕雄), Liao BW (廖宝文), Zheng SF (郑松发), Chen XR (陈相如) (1997). Preliminary study on introduction of mangrove *Sonneratia apetala*. In: Wong YS (黄玉山), Tam NFY (谭凤仪) eds. *Mangrove Research of Guangdong, China* (广东红树林研究). South China University of Technology Press, Guangzhou. 487–493. (in Chinese)
- Lin P (林鹏) (1997). *Mangrove Ecosystem in China* (中国红树林生态系). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Lin P (林鹏), Fu Q (傅勤) (1995). *Environmental Ecology and Economic Utilization of Mangroves in China* (中国红树林环境生态及经济利用). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Lu CY (卢昌义), Lin P (林鹏), Wang GL (王恭礼), Lian YW (连玉武), Zheng FZ (郑逢中), Chen HX (陈焕雄) (1994). Studies on physiological and ecological adaptability of introduced mangrove plants. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报(自然科学版)), 33 (Suppl.), 50–55. (in Chinese with English Abstract)
- Mo ZC (莫竹承), Liang SC (梁士楚), Fan HQ (范航清) (1995). A preliminary study on planting techniques of Guangxi mangroves. In: Fan HQ (范航清), Liang SC (梁士楚) eds. *Research and Management on China Mangroves* (中国红树林研究与管理). Science Press, Beijing. 164–172. (in Chinese)
- Sheue CR, Liu HY, Yong JWH (2003). *Kandelia obovata* (Rhizophoraceae), a new mangrove species from Eastern Asia. *Taxon*, 52, 287–294.
- Wang WQ (王文卿), Wang M (王瑁) (2007). *The Mangroves of China* (中国红树林). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Yang SC (杨盛昌), Lin P (林鹏) (1997). Cold-resistance ability of two mangrove species *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* during their overwintering period. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 8, 561–565. (in Chinese with English Abstract)
- Yang SC (杨盛昌), Lin P (林鹏) (1998). Ecological studies on the resistance and adaptation to cold of some tidal mangrove species in China. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 22, 60–67. (in Chinese with English Abstract)
- Yin ZQ (殷志强) (2008). Influence on geological disasters of the extreme climate event of spring 2008 in China. *Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology* (防灾科技学院学报), 10(2), 20–24. (in Chinese with English Abstract)

责任编辑: 郭大立 责任编辑: 王 葳