

广西海岸红鳞蒲桃林主要树种的温度胁迫*

Extreme Temperature Stress on Dominant Trees of *Syzygium hancei* Forest Along Guangxi Coast

莫竹承¹, 姜恒^{1,2}, 张秀国³

MO Zhu-cheng¹, JIANG Heng^{1,2}, ZHANG Xiu-guo³

(1. 广西红树林研究中心, 广西北海 536000; 2. 桂林理工大学, 广西桂林 541004; 3. 北京航空航天大学北海学院, 广西北海 536000)

(1. Guangxi Mangrove Research Center, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Guilin University of Science and Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China; 3. Beijing University of Aeronautics Institute Beihai College, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要: 利用电导率和 Logistic 方程研究广西海岸红鳞蒲桃 (*Syzygium hancei*) 季雨林主要树种的抗热性和抗寒性, 按半致死温度高低判断这些树种的抗极端温度胁迫能力。结果红鳞蒲桃季雨林主要树种的高温胁迫半致死温度顺序为: 竹节树 (*Carallia brachiata*) 62.52°C > 紫荆木 (*Madhuca pasquieri*) 53.66°C > 膝柄木 (*Bhesa sinica*) 50.62°C > 豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*) 49.36°C > 红鳞蒲桃 48.62°C, 远低于广西海岸历史极端高温 38.2°C。红鳞蒲桃季雨林主要树种的低温胁迫半致死温度顺序为: 竹节树 -0.6°C > 紫荆木 -4.03°C > 膝柄木 -5.42°C > 豺皮樟 -5.7°C > 红鳞蒲桃 -6.93°C, 与广西海岸历史极端低温 -1.8°C 比较接近。低温胁迫是竹节树等季雨林种群生存与发展的重要制约因素。

关键词: 红鳞蒲桃 常绿季雨林 半致死温度 温度胁迫

中图法分类号: Q945.4 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2013)01-0048-04

Abstract: The hardy capacity to extreme cold and heat of dominant trees in *Syzygium hancei* monsoon forest along Guangxi coast was studied by means of the relative electrical conductivity method and Logistic equations. Semilethal temperature (LT_{50}) is the index to represent the temperature hardy capacity of these trees. The results show that heat LT_{50} is sequentially 62.52°C of *Carallia brachiata* > 53.66°C of *Madhuca pasquieri* > 50.62°C of *Bhesa sinica* > 49.36°C of *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia* > 48.62°C of *S. hancei*, all of which are much higher than the extreme heat temperature of 38.2°C on Guangxi coast. The cold LT_{50} is sequentially -0.6°C of *C. brachiata* > -4.03°C of *M. pasquieri* > -5.42°C of *B. sinica* > -5.7°C of *L. rotundifolia* var. *oblongifolia* > -6.93°C of *S. hancei*, all of which are subequal to the extreme cold temperature of -1.8°C on Guangxi coast. Accordingly cold stress is an important constraint to limit the growth and spread of population of *C. brachiata* and so on.

Key words: *Syzygium hancei*, monsoon forest, lethal temperature of 50% (LT_{50}), temperature stress

常绿季雨林是广西滨海地区的地带性植被类型, 因长期的人为干扰, 原生林已经利用殆尽, 次生林也

正濒临绝迹。红鳞蒲桃林是广西海岸最具代表性的季雨林类型, 现存面积 19.1hm², 呈小片状分布于企沙镇的簕山村、山新村和天堂坡, 光坡镇沙螺寮, 江平镇巫头村和东兴市竹山村^[1]。

季风所形成的旱湿季对广西滨海地区的常绿季雨林的生长发育、群落结构和演替动态等有着深刻的影响, 同时极端气温常常会导致热带性树种幼苗的死亡并改变着群落的树种组成。在广西海岸历史气温记录中, 极端高温达 38.2°C (东兴), 极端低温

收稿日期: 2012-09-28

收稿日期: 2012-11-26

作者简介: 莫竹承(1964-), 男, 副研究员, 主要从事红树林和滨海生态系统研究。

* 广西壮族自治区自然科学基金项目(2010GXNSFA013068); 广西北仑河口国家级自然保护区生物多样性生态恢复工程项目(KLFCGG20092037)资助。

-1.8℃(钦州)。因此探究红鳞蒲桃季雨林中优势树种对极端高温与极端低温的耐受能力,可以更好地了解季雨林群落在温度胁迫下的演替方向。

相对电导率法是利用植物组织相对电导率大小来表征与评判植物细胞因细胞膜受损而至细胞质外渗程度。高温或低温伤害可以导致细胞膜受损胞质外渗,因此可以通过测定电导率来判断温度胁迫对植物造成的损伤^[2]。植物生理学上把排除植物材料自身的电导后,50%的电解质外渗时的温度点称为“半致死温度”,它在“温度-相对电导率”型曲线表现为 Logistic 曲线的拐点所对应的温度^[3]。这一方法在研究马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.)^[4]、桉树 (*Eucalyptus* spp.)^[5]、四川大头茶 (*Gordonia acuminata* H. T. Chang)^[6] 等人工栽培植物的耐寒性,以及甘野菊 (*Denfranthema lavandulaefolium* var. *seticuspe*) 等数种野生地被物的高温半致死温度^[7] 均取得了可靠的结果。因此我们采用这种方法研究广西海岸巫头村红鳞蒲桃常绿季雨林中的主要树种竹节树 (*Carallia brachiata* (Lour.) Merr.), 豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* Hemsl. var. *oblongifolia* (Nees) Allen), 红鳞蒲桃 (*Syzygium hancei* Merr. et Perry), 紫荆木 (*Madhuca pasquieri* (Dubard) Lam.) 和膝柄木 (*Bhesa sinica* H. T. Chang) 的高温与低温半致死温度,以了解其对极端温度的适应能力。

1 材料与方 法

1.1 采样点的气候环境特征及主要树种

采样地点位于东兴市江平镇巫头村哈亭旁边的红鳞蒲桃常绿季雨林中,此处气候属于北热带季风

表 1 采样树种特征

Table 1 Character of sampling trees

树种 Species	科 Family	树高 H(m)	胸径 DBH(cm)	冠幅 Crown diameter(m)	自然分布 Natural distribution
竹节树 <i>C. brachiata</i>	红树科 Rhizophoraceae	8	35	2×3	产广东、广西及沿海岛屿,分布马达加斯加、斯里兰卡、印度、缅甸、泰国、越南、马来西亚至澳大利亚北部* Guangdong, Guangxi and coastal islands. Madagascar, Sri Lanka, India, Burma, Thailand, Vietnam, Malaysia to Northern Australia.
豺皮樟 <i>L. rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	樟科 Lauraceae	3.5	14	1.5×1	产广东、广西、湖南、江西、福建、台湾、浙江、越南* Guangdong, Guangxi, Hunan, Fujian, Taiwan, Zhejiang, Vietnam.
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	桃金娘科 Myrtaceae	12	47	2.6×3.8	产福建、广东、广西* Fujian, Guangdong, Guangxi
紫荆木 <i>M. pasquieri</i>	山榄科 Sapotaceae	6.5	30	3×4	分布于广东、广西、云南南部和越南北部* Southern Guangdong, Guangxi and Yunnan. Northern Vietnam.
膝柄木 <i>B. sinica</i>	卫矛科 Celastraceae	9	46	2×5	广西沿海 ^[10] Guangxi coast

* 数据来自中国植物志网络版。Data comes from “Flora Republicae Popularis Sinicae” network edition.

区,常年平均气温 22.3℃,极端高温 37.7℃,极端最低温 2.3℃^[8],最冷月(1月)平均气温 14.1℃;年平均降雨量 2765.0 mm,多集中在 5~10 月份;夏秋两季常有台风侵袭,平均每年 3 次;气候有日照长、气温高、冷期短、雨量分配不均等特点。土壤属风沙土类型,无层次结构有机质含量甚少,有效养分贫乏,肥力低下^[9]。

在哈亭的红鳞蒲桃群落中,乔木上层的高度为 9~12m,树种有红鳞蒲桃和膝柄木;乔木中层高度为 6~9m,树种有竹节树和紫荆木;乔木下层高度 3~6m,树种有豺皮樟等。各采样树种特征见表 1。

1.2 材料采集与测定

采集树冠中部健康的功能叶,叶片经自来水洗净后用去离子水将其冲洗 3 遍,再用吸水纸吸干叶表面的水份备用。

高温半致死温度测定:叶片除去叶柄及中脉后将其剪成 2~5 mm 碎片,每次称取 0.1 g 叶片装入盛有 20 ml 去离子水的试管中,分别在室温、30℃、35℃、40℃、45℃、50℃、55℃、60℃的水浴锅中震荡水浴 15 min,取出静置冷却至室温后测定电导率 E_1 ;然后全部放入沸水浴加热 15 min,静置冷却至室温后测定电导率 E_2 ,每一温度梯度重复 3 次。

低温半致死温度测定:植物叶片采回洗净后置于空调房内(室温 20~25℃)适应 12 h,然后除去叶柄中脉剪叶片成 2~5 mm 碎片,每树种碎叶分成 7 份,每份重量约 1 g 密封袋中抽真空扎紧。将工业酒精置于低温冰箱(-20℃)冰冻 24 h,与室温酒精按不同比例在保温杯内混合,分别得到 6℃、3℃、0℃、-3℃、-6℃、-9℃和-12℃共 7 个温度梯度的冷冻液,保温杯的保温性能良好,调配好温度的酒精冷冻

液温度升温 $<0.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。将装有样品的7个密封袋+重物分别沉入7个温度的冷冻液中浸泡1h后取出在室温下恢复2h。每一温度梯度称取0.1g叶片置于试管中,加20ml去离子水浸泡2h,测电导率 E_1 ;然后煮沸15min以杀死植物组织,冷却至室温后测电导率 E_2 ,重复3次。

室温下取20ml去离子水测定电导率 E_0 ,重复3次取其平均值。

相对电导率 E 的计算公式: $E = (E_1 - E_0) / (E_2 - E_0) \times 100\%$ 。

将不同处理温度与相对电导率之间关系进行非线性回归分析,用Logistic方程 $y = k / (1 + ae^{-bt})$ 拟合曲线, $x = \ln a / b$ 的方法求出拐点温度,作为半致死温度 LT_{50} [11]。式中 y 为相对电导率, t 是温度, k 是细胞伤害的饱和容量, a 和 b 是方程参数。

运用SPSS 19.0软件对实验数据进行Logistic方程回归分析,因为本实验的相对电导率消去了本底干扰, k 值为1。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下的相对电导率及半致死温度

由图1可以看出,随着温度的升高,5种树种叶片的相对电导率先缓慢增加,然后迅速增加,最后又缓慢增加,呈典型的“S”型曲线。其中红鳞蒲桃的相对电导率在 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 内上升最快,膝柄木在 $45\sim 55^{\circ}\text{C}$ 范围内上升最快,而另外3个树种的电导率在 $50\sim 55^{\circ}\text{C}$ 范围内上升最快。相对电导率快速上升表明细胞质膜受到的伤害较为严重。

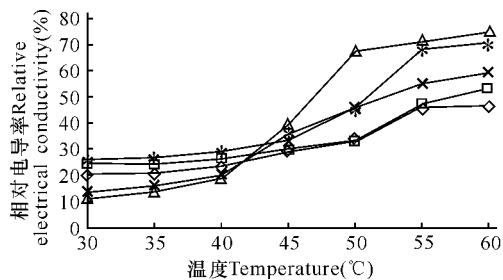


图1 高温电导率曲线

Fig. 1 Relative electrical conductivity curves in heat stress

—◇—: 竹节树, —□—: 豺皮樟, —△—: 红鳞蒲桃, —×—: 紫荆木, —*—: 膝柄木。
—◇—: *C. brachiata*, —□—: *L. rotundi folia* var. *oblongi folia*, —△—: *S. hancei*, —×—: *M. pasquieri*, —*—: *B. sinica*。

利用Logistic方程对相对电导率与温度之间的关系进行表达,求出 a 、 b 和相关系数 r ,显著性检验($k = 5, \alpha = 0.01, r = 0.8745$)表明,相关系数均达到极显著水平(表2)。对Logistic方程进行二级求导,得

到 $t = \ln a / b$,此时 t 的值就是曲线的拐点,即高温半致死温度。最终得到几种植物的半致死温度为:竹节树 62.52°C ,豺皮樟 49.36°C ,红鳞蒲桃 48.62°C ,紫荆木 53.66°C ,膝柄木 50.62°C ,根据半致死温度判断5种植物抗热性强弱的顺序为:竹节树 $>$ 紫荆木 $>$ 膝柄木 $>$ 豺皮樟 $>$ 红鳞蒲桃。

表2 高温胁迫下的回归方程系数及相关性

Table 2 Coefficient and correlation of Logistic regressive equation on relative electrical conductivity to heat temperature

植物名称 Species	方程系数 Coefficient(a)	方程系数 Coefficient(b)	相关系数 Corrcoef(r)
竹节树 <i>C. brachiata</i>	18.3073	0.046 5	0.970 5**
豺皮樟 <i>L. rotundi folia</i> var. <i>oblongi folia</i>	14.30487	0.053 9	0.928 4**
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	378.5696	0.122 1	0.970 8**
紫荆木 <i>M. pasquieri</i>	17.87137	0.052 8	0.965 0**
膝柄木 <i>B. sinica</i>	169.6606	0.101 4	0.981 8**

** $P < 0.01$ 。

2.2 低温胁迫下相对电导率及半致死温度

图2结果显示,在低温胁迫刚开始的时期相对电导率上升缓慢,然后在一定低温范围内表现为快速升高,但是随后又趋于缓慢,即相对电导率的降低可以描述为缓慢增加-快速增加-缓慢增加的趋势,呈S型曲线。紫荆木和竹节树在 0°C 以下低温时相对电导率呈现明显上升,前者至 -9°C 而后者在 -3°C 时增幅趋缓。其余3个树种在 $3\sim -3^{\circ}\text{C}$ 的相对电导率呈现较大升幅。

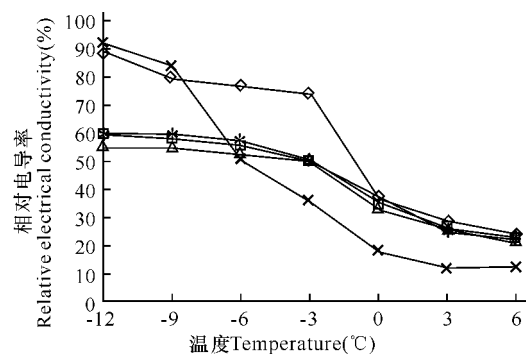


图2 低温电导率曲线

Fig. 2 Relative electrical conductivity curves in cold stress

—◇—: 竹节树, —□—: 豺皮樟, —△—: 红鳞蒲桃, —×—: 紫荆木, —*—: 膝柄木。
—◇—: *C. brachiata*, —□—: *L. rotundi folia* var. *oblongi folia*, —△—: *S. hancei*, —×—: *M. pasquieri*, —*—: *B. sinica*。

求出Logistic回归方程的系数 a 、 b 和相关系数 r ,显著性检验($k = 5, \alpha = 0.01, r = 0.8745$)表明,回归方程的相关系数均达到极显著水平(表3)。对Lo-

gistic 方程进行二级求导,得到 $t = \ln(a/b)$, 此时 t 的值就是曲线的拐点,即低温半致死温度。计算得到几种植物的半致死温度为:竹节树 -0.6°C , 豺皮樟 -5.7°C , 红鳞蒲桃 -6.93°C , 紫荆木 -4.03°C , 膝柄木 -5.42°C , 根据半致死温度判断抗寒性强弱的顺序为:红鳞蒲桃 > 豺皮樟 > 膝柄木 > 紫荆木 > 竹节树。

表 3 低温胁迫下的回归方程系数及相关性

Table 3 Coefficient and correlation of Logistic regressive equation on relative electrical conductivity to cold Temperature

植物名称 Species	方程系数 Coefficient(a)	方程系数 Coefficient(b)	相关系数 Corrcoef(r)
竹节树 <i>C. brachiata</i>	1.117283	-0.186 1	0.949 7**
豺皮樟 <i>L. rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	1.761737	-0.099 3	0.960 7**
红鳞蒲桃 <i>S. hancei</i>	1.906178	-0.093 1	0.942 1**
紫荆木 <i>M. pasquieri</i>	2.888392	-0.263 1	0.964 7**
膝柄木 <i>B. sinica</i>	1.758568	-0.104 1	0.953 8**

** $P < 0.01$.

3 讨论

植物在受到高温或低温胁迫,初期相对电导率比较缓慢地增长,当随着温度偏离正常值的升高或者降低,细胞膜受损导致细胞质外渗,从而表现为相对电导率的快速增长,最后缓慢增长达到趋于稳定的状态。本实验结果表现为温度与叶片相对电导率之间呈现“S”型曲线,符合 Logistic 方程,在拐点附近的温度对细胞膜的破坏效应最大^[12],此时温度为半致死温度。

根据半致死温度判断,本研究 5 个树种耐高温的顺序为:竹节树(62.52°C) > 紫荆木(53.66°C) > 膝柄木(50.62°C) > 豺皮樟(49.36°C) > 红鳞蒲桃(48.62°C);耐低温顺序为:红鳞蒲桃(-6.93°C) > 豺皮樟(-5.7°C) > 膝柄木(-5.42°C) > 紫荆木(-4.03°C) > 竹节树(-0.6°C)。亦即高温耐受力强的树种对低温的耐受力就差一些,这 5 个树种的低温半致死温度比红树植物秋茄和桐花树的半致死温度(分别为 -9.3°C 和 -9.0°C)^[13] 还要高,也比巨桉和邓恩桉的 -8.12°C 和 -7.79°C ^[5] 高。但是它们耐高温的能力并不比温带植物连线草 (*Glechoma hederacea* var. *longituba*, 61.16°C)、玉竹 (*Polygonatum odoratum*, 65.12°C) 等的高^[7],说明植物对适宜温度的选择与对极端温度的耐受能力无关联性。

本研究 5 个树种的高温半致死温度远高于巫头村极端高温 37.7°C 和广西海岸的极端高温 38.2°C , 广西科学 2013 年 2 月 第 20 卷第 1 期

高温胁迫不会影响它们在广西海岸的分布与生长。广西海岸的极端低温为 -1.8°C , 当地的极端低温为 2.3°C , 低温胁迫对竹节树等种类的分布与生长有一定的影响。但是,植物经过过低温驯化后,还可以耐受更低的温度,比如南方红豆杉 (*Taxus chinensis* (Pilg.) Rehd. var. *mairei* (Lemee et Lev.) W. C. Cheng et L. K. Fu) 的低温半致死温度在 11 月时为 -7.501°C , 在最冷的 1 月份则低至 -11.884°C ^[14]。所以,红鳞蒲桃季雨林 5 个主要树种的耐寒能力经过寒冷季节驯化也有可能提高。

参考文献:

- [1] 曾聪,李蕾鲜,范航清. 广西滨海红鳞蒲桃资源现状与群落特征[J]. 广西科学,2011,18(3):283-288.
- [2] Rajashekar C, Gusta L V, Burke M J. Frost damage in lardy herbaceous species[C]. In: Lyons J M, Graham D, Raison J K ed. Low temperature stress in crop plants-the role of membrane. New York: Academic Press, 1979: 255-874.
- [3] 朱根海,刘祖棋,朱培仁. 应用 Logistic 确定植物组织低温半致死温度的研究[J]. 南京农业大学学报,1986,9(3):12-16.
- [4] Sukumaran N P, Weiser C J. Method of determining cold hardness by electrical conductivity in potato[J]. Hort Science, 1972(7):467-468.
- [5] 刘建,项东云,陈健波. 应用 Logistic 方程确定三种桉树的低温半致死温度[J]. 广西林业科技,2009,38(2):75-78.
- [6] 梁莉,谈锋. 四川大头茶低温半致死温度与对低温的适应性[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,1997,22(4):463-465.
- [7] 何文华,董丽,孙震. 几种野生地被植物高温半致死温度的确定[J]. 西南园艺,2006,34(3):10-11.
- [8] 广西海洋开发保护管理委员会. 广西海岛资源综合调查报告[M]. 南宁:广西科学技术出版社,1996.
- [9] 宁世江,蒋运生,邓泽龙,等. 广西沿海西部山心、巫头和万尾岛植被类型初步研究[J]. 广西植物,1996,16(1):35-47.
- [10] 莫竹承,范航清,李蕾鲜,等. 濒危植物膝柄木生存现状及恢复对策[J]. 广西科学院学报,2008,24(2):134-137.
- [11] 贾遂民,陈辉,杨玉珍,等. 以电导法配合 Logistic 方程确定香椿种源间抗寒能力[J]. 河南科学,2010,28(1):45-48.
- [12] Lindén L. Measuring cold hardness in wood plants [M]. University of Helsinki Department of Applied Biology Publication, 2002:4-44.
- [13] 杨盛昌,林鹏. 红树植物秋茄和桐花树抗寒力的越冬变化[J]. 应用生态学报,1997,8(6):561-565.
- [14] 谢吉容,谈锋. 自然降温过程中南方红豆杉叶片水分、渗透调节物质的动态变化与低温半致死温度的关系[J]. 西南民族学院学报:自然科学版,2002,28(1):61-64.

(责任编辑:邓大玉)