

doi:10.7515/JEE201401005

# 广东湛江白骨壤红树人工林消波效应初步研究

田野<sup>1,2</sup>, 陈玉军<sup>1</sup>, 侯琳<sup>2</sup>, 廖宝文<sup>1</sup>, 周光益<sup>1</sup>,  
吴晓东<sup>3</sup>, 陈粤超<sup>3</sup>, 李玫<sup>1</sup>, 管伟<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 西北农林科技大学 林学院, 杨凌 712100;  
3. 广东湛江红树林国家级保护区管理局, 湛江 524088)

**摘要:** 以广东湛江红树林国家级自然保护区内白骨壤人工林 (*Avicennia marina*) 为研究对象, 通过对白骨壤人工林林内距离林缘 25 m、50 m、75 m、100 m 处的消波观测, 分析红树林消波效应。研究表明: 白骨壤人工林消波效果显著。波浪从林缘经过白骨壤 01 样地 (0~25 m)、02 样地 (25~50 m)、03 样地 (50~75 m)、04 样地 (75~100 m) 后的 1/10 波高减低率分别为 31.49%、35.23%、40.85%、38.88%, 可以看出消波率受林分结构指标林分生物量体积密度的影响; 波高减低率随水深的增加而增加; 而白骨壤人工林消波率随着波高的增加未呈现出规律变化。总体看来, 白骨壤消减程度是随着林分生物量体积密度的增加而增加的, 当植株较矮时, 受枝叶层影响消波效果会更明显; 波浪传播距离越长, 1/10 波周期越大。

**关键词:** 消波效应; 白骨壤; 红树林

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-9901(2014)01-0030-06

## A preliminary study on wave attenuation effect of artificial mangrove *Avicennia marina* in Zhanjiang, Guangdong Province

TIAN Ye<sup>1,2</sup>, CHEN Yu-jun<sup>1</sup>, HOU Lin<sup>2</sup>, LIAO Bao-wen<sup>1</sup>, ZHOU Guang-yi<sup>1</sup>,  
WU Xiao-dong<sup>3</sup>, CHEN Yue-chao<sup>3</sup>, LI Mei<sup>1</sup>, GUAN Wei<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China;  
2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;  
3. Zhanjiang Mangrove National Nature Reserve Administration, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** Wave attenuation effect of *Avicennia marina* was studied at Zhanjiang Mangrove National Nature Reserve in Guangdong Province. To research wave attenuation of mangrove, it has observed the distance of 25 m, 50 m, 75 m, 100 m through edge of forest. The results showed that *Avicennia marina* has better wave attenuation in practical observation, which has effect on density of mangrove forests of structure of forest stands. Passing through mangroves from plot 01 (0~25 m), plot 02 (25~50 m) to plot 03 (50~75 m), plot 04 (75~100 m), 1/10 wave height of *Avicennia marina* has reduced by 31.49%, 35.23%, 40.85%, 38.88%. *Avicennia marina* on wave attenuation has increased with increasing of water depth. As well as differentiatinal rate of wave attenuation with rise of wave height. To the sum, the extent of wave attenuation effect of mangrove depend on stand of volume density from the ground to the branches and leaves, stand of volume

收稿日期: 2014-01-07

基金项目: 中国林科院基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2012018); 广东省林业科技创新专项资金项目 (2013KJCX012-01); 国家林业科技支撑计划项目 (2009BADB2B0404)

通讯作者: 陈玉军, E-mail: yujunchen@hotmail.com

density increases with wave attenuation. 1/10 wave period increases with increasing the distance of wave propagation.

**Key words:** wave attenuation; *Avicennia marina*; mangrove

红树林是生长于热带、亚热带海岸和河口潮间带的木本植物群落, 红树林生态系是陆地到海洋过渡的生态系。由于所处的特殊生态环境, 红树林具有显著的防风、消浪、促淤护岸、净化海水、促进海洋水产生物繁盛等功能, 具有独特的滨海旅游价值(陈玉军等, 2006)。近些年, 由于台风等灾害的频繁发生, 对红树林防灾减灾功能的研究正在日益受到国际社会的重视(陈玉军等, 2012)。而红树林的防风、防浪功能作为红树林湿地生态系统评价指标体系的重要组成部分(陈玉军等, 2011a), 因此, 针对红树林消波效应的研究, 有助于为建立和完善海岸带防护林体系提供参考和依据, 提高对台风等自然灾害的抵抗与缓冲能力, 减少海岸社区的损失与危害。从2004年印度洋大海啸后, 人们对红树林重要性的认识进一步加深。国外对红树林消波效应的研究多集中在东南亚地区(Magi et al, 1996; Massel et al, 1999; Mazda et al, 2005; Quartel et al, 2007; Alongi, 2008; Narayan et al, 2010), 多以秋茄、海桑等红树植物为研究对象, 通过对植被特征指标, 距离指标与水文特征指标的观测分析, 进一步讨论波浪的消减情况。而国内对红树林消波效应研究较少, 主要集中在海南岛东寨港地区(陈玉军等, 2011a; 王旭等, 2012; 张莉等, 2013), 其中张乔民等是以海上风场参数理论上推算相应波浪场参数(张莉等, 2013)以及以林前林后为监测点(王旭等, 2012)对消波效应进行观测。本研究选取湛江雷州半岛东岸, 分布广泛的白骨壤人工林

(*Avicennia marina*)作为消波效应监测对象, 分析比较不同林分结构特征与各个因素对消波作用的影响, 进一步为红树林消波效应定量评价提供依据, 更好地完善红树林在沿海地区的生态价值(张乔民, 1997; 廖宝文, 2009; 廖宝文等, 2010; 陈玉军等, 2011b)。

## 1 研究地区与方法

### 1.1 研究区概况

本试验地点设在广东湛江国家级红树林自然保护区内(20°15′~21°55′N, 109°40′~110°55′E), 属于北热带与南亚热带过渡区的海洋气候类型。年均温度23°C, 最冷月均温度16.0°C, 极端最低温度2.8°C, 年降雨量约为1500 mm。表层海水年均温度23.7°C, 盐度29.7~32.0, 淤泥质土壤, 该区现有红树林面积7256.5 hm<sup>2</sup>, 其中以白骨壤、桐花树、红海榄、秋茄和木榄等为优势种。其中白骨壤, 作为乡土树种, 是中国分布面积最大的红树植物种类, 有良好的耐盐、耐淹水性等特征。选择白骨壤人工林(*Avicennia marina*)为消波效应监测对象(表1), 消波效应监测点位于雷州半岛东海岸芙蓉村旁, 白骨壤带均是南北走向, 东面临海(图1)。同时, 通过相同瞬时时间下的相对水深可以求得, 0~100 m白骨壤样地内滩面高程的变化以及边坡坡度0.0042, 100 m林内与裸滩光滑平滩边坡坡度较小, 对波浪的消减作用较小(图2)。波高、波周期计算时只考虑林内100 m均有一定水深情况的消波效应。

表1 不同样地的红树林林分结构特征  
Table 1 Structure of mangrove forest stands

样地编号	距林缘距离(m)	样地类型	地径(cm)	地表断面积(m <sup>2</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	郁闭度(%)	树高(m)	分叉数	冠幅(m)	密度(hm <sup>-2</sup> )	呼吸根密度(m <sup>-2</sup> )	呼吸根高度(cm)
01	0~25	白骨壤	1.81	4.43	45	0.93	5.04	0.42	16800	88	10.0
02	25~50	白骨壤	2.08	8.16	60	1.07	4.05	0.49	24000	206	7.5
03	50~75	白骨壤	2.03	8.16	90	0.99	5.75	0.43	25200	236	7.5
04	75~100	白骨壤	1.78	7.96	95	1.09	6.57	0.42	32000	218	7.5

### 1.2 研究方法

试验操作中，将波浪测定仪设置在与林带垂直方向距林带临海边缘 25 m、50 m、75 m、100 m 处的白骨壤人工林内，并在林带临海边缘设立波浪测定仪作为对照测量。在白骨壤试验林外距林缘 50 m 裸滩设立波浪测定仪，用于测定裸滩的

消波效应。本试验于 2013 年 4 月对样地的白骨壤及裸滩的消波效应进行全天候观测，取样间隔为 30 min，取样频率为 2 Hz，每个间隔的取样数为 1200 次。数据采集后分析每 30 min 内消波情况（1/3 波高、1/10 波高、平均波高）。试验区 4 月份最大潮差为 1.72 m，最小潮差为 1.19 m。

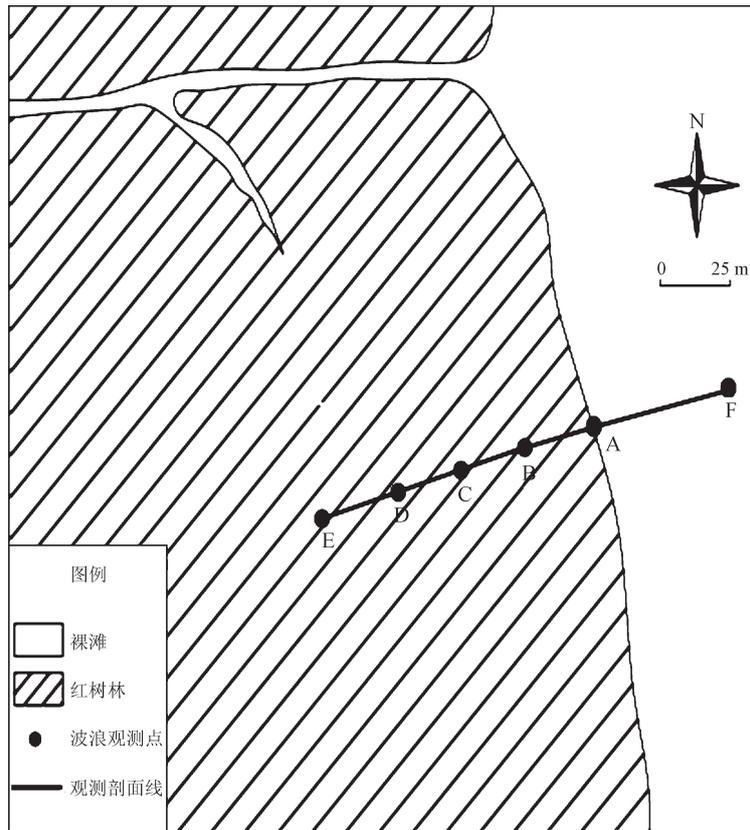


图 1 湛江雷州半岛东岸红树林消波效应观测布局图

Fig.1 Observation point location in Zhanjiang mangrove on east side of Leizhou Peninsula

注：图为白骨壤人工林波浪监测设置。观测点 A 至 E 总长 100 m，相邻观测点之间的距离为 25 m，A 至 F 相邻点距离为 50 m。红树林样地 01、02、03、04 分别位于 A-B、B-C、C-D、D-E 之间，且 A-F 是裸滩对照观测点。

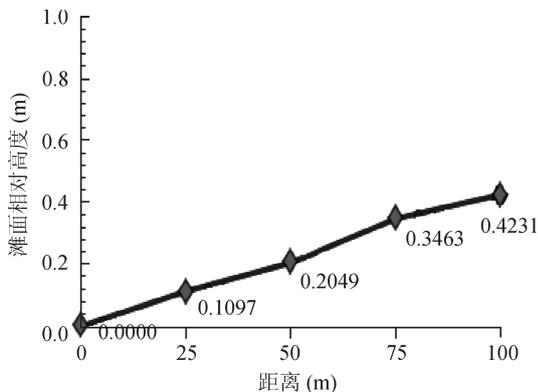


图 2 滩面相对高度变化图

Fig.2 Changes of beach face relative height

### 1.3 数据分析

1) 将在各个监测地点利用压力传感器测定的瞬间水深数据，通过一定的程序运算，转换成所需要的参数量：平均水深、1/3 波高、1/10 波高、平均波高等。

2) 将野外监测地点红树林样地调查数据换算成参数量：地上根高度、生物量体积密度等。

生物量体积密度:  $W=V/(SH) = V_0(1+g)/(SH)$  (见傅抱璞, 1962)，其含义是指林分被渍淹后所占的体积空间，是地表到树冠层体积密度。公式中  $V$  若代表林带内单株林木的地上生物量总体积，则

$V_0$  为单株材积,  $S$  为单株林木的平均营养面积,  $H$  为株高; 若令  $V$  代表长度为  $L$  段林带内的总地上生物量的体积, 则  $V_0$  为该段的蓄积量。  $S=LD$  为该段林带的总面积,  $D$  为带宽,  $H$  为平均高。

红树林消波率或波高减低率:  $R=(H_0-H_d)/H_0$

$H_d$  表示波浪在林内传递距离为  $d$  时的波高,  $H_0$  表示入射波在林缘的波高

3) 所测的数据通过 Microsoft Excel 2003 与 SPSS17.0 进行数据处理与方差分析。

4) 裸滩与白骨壤消波观测只考虑林缘波高大于 0.05 m 的数据, 全文对消波效应的影响是以只考虑林缘波高大于 0.05 m 且水深高于 0.4 m 情况下的参数为前提的, 保证数据筛选过程中林内 100 m 均有波高、水深, 以免出现误差。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同观测区域红树林消波效应

#### 2.1.1 白骨壤人工林消波效应

消波效应是以波高的消减程度为指标, 样地 01~04 波高分别是以以 0 m (林缘)、25 m、50 m、75 m 处的波高为起点, 以传感器所测的波高值为基础, 求得不同样地间的消波效应的。波浪经过 01 样地 25 m 后, 其 1/10 波高、1/3 波高及平均波高分别降低了 31.49%、32.79%、30.78%; 经过

02 样地 25 m 后, 其 1/10 波高、1/3 波高、平均波高分别降低了 35.23%、36.89%、34.66%; 波浪经过 03 样地 25 m 后, 1/10 波高、1/3 波高、平均波高分别降低了 40.85%、40.79%、40.02%; 波浪经过 04 样地 25 m 后, 其 1/10 波高、1/3 波高及平均波高分别减低了 38.88%、39.41% 和 40.37% (表 2)。其中 01~04 样地的林木地表断面积及呼吸根密度是样地 03> 样地 04> 样地 02> 样地 01; 样地生物量体积密度是样地 04> 样地 03> 样地 02> 样地 01。说明波浪经过样地的消波效应与不同林分结构下生物量体积密度变化是相关的。数据表明, 不同林分结构对波浪消减效应存在一定的差异性, 样地内白骨壤人工林的消波程度是随着林分的生物量体积密度的增加而增加的 (表 1)。这是由于林分生物量体积密度的增加, 使得林分空间疏透度逐渐减少, 使得树干与波浪发生相互作用, 并发生波态、流态的改变, 能量耗损, 实现消波效果。

#### 2.2 裸滩消波效应

由表 3 可知, 波浪经过裸滩 50 m 后, 平均波高减低率为 10.81%。这表明, 波浪经过裸滩受底质摩擦以及不同异质粒度的渗透作用。随着水深的增加, 滩面受到底质摩擦变小, 波高减低率逐渐降低。数据表明: 波浪经过潮滩时, 通过底质摩擦、渗透损失, 使得消波率降低, 能量损耗。

表 2 白骨壤人工林的消波效应 (波浪经过样地 25 m 后)

Table 2 The analysis of reduction factor of *A. marina* (Waves pass through a plot after 25 m)

样地类型	波高减低率					
	1/10 波高		1/3 波高		平均波高	
	平均值 (%)	标准误 <i>se</i> (%)	平均值 (%)	标准误 <i>se</i> (%)	平均值 (%)	标准误 <i>se</i> (%)
01 样地	31.49 c	1.07	32.79 b	1.25	30.78 b	1.23
02 样地	35.23 bc	0.97	36.89 ab	1.69	34.66 ab	1.00
03 样地	40.85 a	2.12	40.79 a	2.19	40.02 a	2.28
04 样地	38.88 ab	3.05	39.41 a	2.69	40.37 a	4.29

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $p<0.05$ )。

Note: Different small letters in the same column meant significant difference at 0.05 level among treatments.

表 3 不同类型波高在裸滩中消波效应

Table 3 The analysis of different types of wave height in mudflat

波高类型	波高减低率 (%)
1/10 波高	12.93 ± 0.416
1/3 波高	10.20 ± 0.500
平均波高	9.31 ± 0.409

### 2.3 水深对白骨壤人工林消波效应的影响

计算是将样地间看成统一林分并保持其他参

数不变。1/10 波高减低率是随着水深的增加而增加。波浪经过林缘到样地 02 后 (图 3), 当水深范围为 0.4~0.8 m 时, 平均 1/10 波高减低率为 83.09%; 当水深范围区间在 0.8~1.2 m 时, 平均 1/10 波高减低率为 84.90%; 当水深范围处于 1.4~1.8 m 时, 其波高减低率为 87.91%。相同水深范围情况下波浪经过林缘到样地 04 后 (图 3), 其平均波高减低率从 82.21%、83.19% 增加到 87.51%。数据表明: 波浪经过样地后, 受树干的阻力以及树干与波流

之间相互作用的影响，使得波浪传播发生变形，从而减低有效波高。水位的增加，白骨壤对波浪的主要阻力不仅受到树干的影响，更是受到树冠层的消减作用。而 1/10 波高减低率是随着水深的增加而增加，也说明了林分生物量体积密度越大，消波率越好，以及柔软枝叶对波浪的传播影响（吉红香等，2008）。

### 2.4 波高对白骨壤人工林消波效应的影响

计算是将样地间看成统一林分并保持其他参数不变。随着波高的增加，白骨壤消波率没有呈现出明显的变化。波浪由林缘经过白骨壤林内 50 m 后，随着波高的增加，消波率呈明显下降趋势，1/10 有效波高减低率从 46.90% 下降到 38.56%，消波率均小于 50%；而波浪从林缘经过林内 100 m 后，消波率随着波高的增加是先增加再减少，消波率处于 68.55% 到 72.62%（图 4）。分析表明：波浪由林缘经过 50 m 与 100 m 之间波高减低率随波高变化的差异性，可能是受地表到树冠层生物量体积密度的影响，且表现出波高越大，可能 50 m 与 100 m 波高减低率的差异性就越大。同时波高变化的差异性也受到树干、枝叶与波浪间发生相互作用的影响，波态、流向发生变化、波浪破碎，波高降低。

随着波高的增加，林缘、样地 02、样地 04 的 1/10 波周期变化趋势与大小是不同的。林缘波浪和样地 50 后的 1/10 波周期随着波高的增加而增加，而经过样地 100 后，1/10 波周期是随波高增加而降低的。总体来看（图 5），随着传播距离的增加，1/10 波周期逐渐变长；同时受不规则波的影响未呈

现出波周期的长短与波高、波高减低率的相互关系。

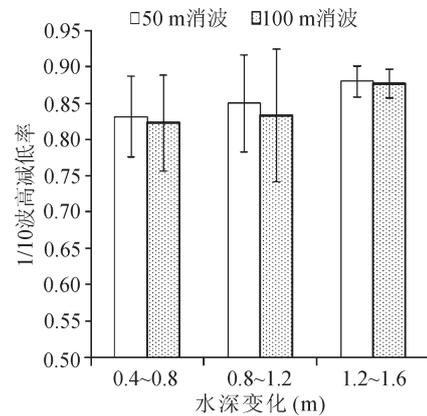


图3 水深区间与 1/10 波高减低率变化图

Fig.3 Interval water depth and changing of 1/10 wave attenuation

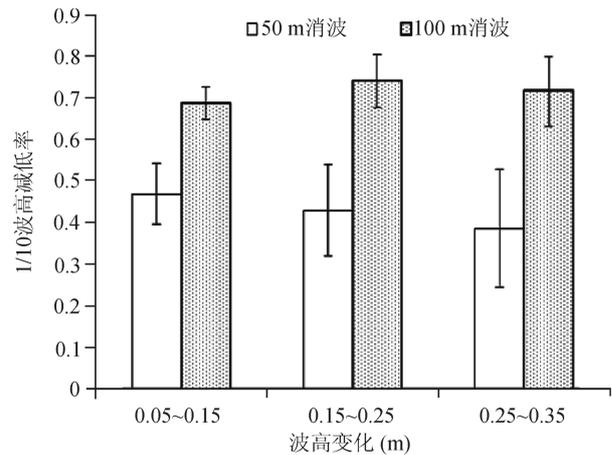


图4 1/10 波高对白骨壤人工林消波率的影响分析图

Fig.4 The analysis between wave height of *A. marina* and reduction factor of 1/10 wave height

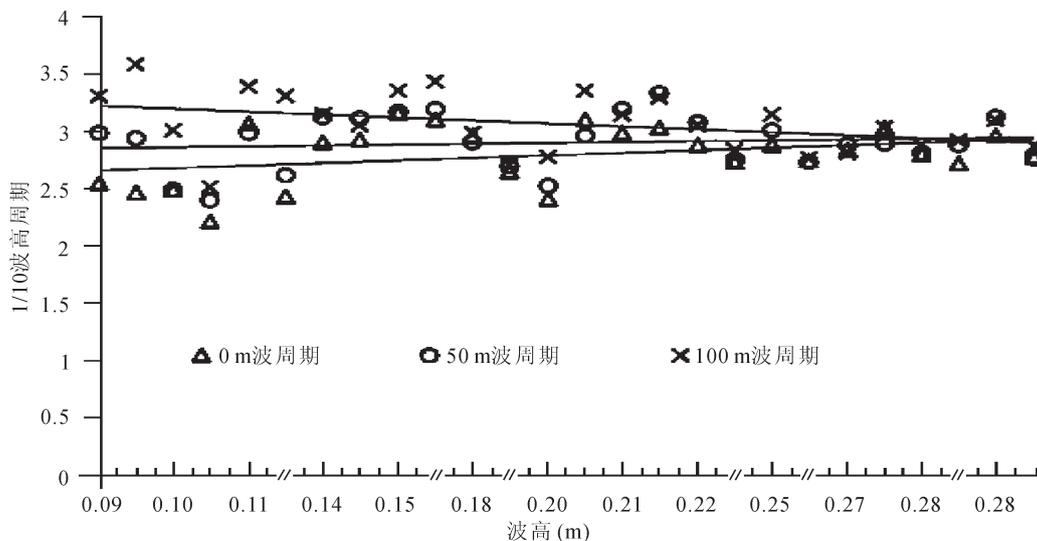


图5 1/10 波高对白骨壤人工林波周期的影响分析图

Fig.5 The analysis between wave height of *A. marina* and 1/10 wave period

### 3 讨论与结论

波浪从林缘经过样地 02 (图 3) 的 1/10 波高减低率是经过裸滩同等距离后的 4.82 倍。说明底质摩擦对波浪有一定的消减效应。波能损耗, 是通过底质对于水体的摩擦阻力引起的, 也伴随着不同底质沙泥粗糙度的渗透作用对能量消耗; 而处于林带内部的波浪消减程度更大。除底质摩擦阻力的影响外, 更主要的是林分生物量体积密度影响, 且林分生物量体积密度越大, 说明林分空间疏透度越小, 波浪受接触面越大, 水体发生折射、绕射、破碎, 有效的降低了波高与波能, 达到消波的效果。

1/10 波高减低率是随着水深的增加而增加。受树干的阻力以及树干与波流之间相互作用的影响, 使得波浪传播变形, 从而减低有效波高; 随着水深的增加, 波浪不仅受主要树干部分的影响, 更是受到枝叶层的摩擦作用, 通过相关数据 (图 3) 可以看出, 消波率随着林分生物量体积密度的增加而增加。主要是因为枝叶层多分枝、叶量大; 枝叶随波流摇摆, 水流紊动, 有效地吸收和减低了波能, 降低了波高 (吉红香等, 2006)。

白骨壤消波率随着波高的增加没有呈现出规律性的变化。波高越大, 林缘与林内 50 m、100 m 波高减低率差异性就越大。这是由于波浪受不同地表到树冠层生物量体积密度的影响, 使有效波高差异较大。而 1/10 波周期并没有呈现出与波高、波高减低率的明显趋势, 波浪从林缘传播到样地 02 与样地 04, 1/10 波周期是逐渐变大。这与一般情况下短期波的消波效果要好于长期波的结果是不同的 (吉红香等, 2008)。

#### 参考文献

陈玉军, 廖宝文, 黄勃, 等. 2011a. 秋茄 (*Kandelia obovata*) 和无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 红树人工林消波效应量化研究 [J]. *海洋与湖沼*, 42(6): 764–770. [Chen Y J, Liao B W, Huang B, et al. 2011a. Study on the quantitative attenuation effect artificial mangrove *Kandelia obovata* and *Sonneratia apetala* on waves [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 42(6): 764–770.]

陈玉军, 廖宝文, 黄勃, 等. 2011b. 红树林消波效应研究进展 [J]. *热带生物学报*, 2(4): 378–382. [Chen Y J, Liao B W, Huang B, et al. 2011b. Progresses in the study of wave attenuation effect of mangroves [J]. *Journal of*

*Tropical Organisms*, 2(4): 378–382.]

陈玉军, 廖宝文, 李玫, 等. 2012. 无瓣海桑和秋茄人工林的减风效应 [J]. *应用生态学报*, 23(4): 959–964. [Chen Y J, Liao B W, Li M, et al. 2012. Wind-attenuation effect of *Sonneratia apetala* and *Kandelia obovata* plantations [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(4): 959–964.]

陈玉军, 廖宝文, 郑松发, 等. 2006. 红树植物对不同海滩面高度的适应性研究 [J]. *生态科学*, 25(6): 496–500. [Chen Y J, Liao B W, Zheng S F, et al. 2006. Adaptability of several mangrove species on the mudflat with diverse altitudes [J]. *Ecologica Science*, 25(6): 496–500.]

傅抱璞. 1962. 论林带结构与防护效能 [J]. *南京大学学报 (自然科学版)*, (S1): 109–120. [Fu B P. 1962. On the structure of tree belt and protecting effect [J]. *Journal of NanJing University (Natural Sciences)*, (S1): 109–120.]

吉红香, 黄本胜, 邱秀云, 等. 2006. 植物护岸对波压力的影响试验研究 [J]. *广东水利水电*, (2): 75–78. [Ji H X, Huang B S, Qiu X Y, et al. 2006. Experimental research on plant protection effect on wave pressure [J]. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, (2): 75–78.]

吉红香, 黄本胜, 邱秀云, 等. 2008. 滩地植物对波浪变形及消浪效果影响试验研究 [J]. *广东水利水电*, (8): 15–19. [Ji H X, Huang B S, Qiu X Y, et al. 2008. Experimental study on the plants on the wave dissipation effect and deformation wave [J]. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, (8): 15–19.]

廖宝文, 李玫, 陈玉军, 等. 2010. 中国红树林恢复与重建技术 [M]. 北京: 科学出版社. [Liao B W, Li M, Chen Y J, et al. 2010. Techniques on restoration and reconstruction of mangrove ecosystem in China [M]. Beijing: Science Press.]

廖宝文. 2009. 海南东寨港红树林湿地生态系统研究 [M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 3. [Liao B W. 2009. Studies on Dongzhai Harbor mangrove wetland ecosystem on Hainan Island in China [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 3.]

王旭, 杨怀, 郭胜群, 等. 2012. 海桑–无瓣海桑红树林生态系统的防浪效应 [J]. *林业科学*, 48(8): 39–45. [Wang X, Yang H, Guo S Q, et al. 2012. Wave-prevention effects of *Sonneratia caseolaris* – *S. apetala* mangrove ecosystem [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 48(8): 39–45.]