

船舶兴波导致红树林生态系统退化的机理

唐飞龙, 叶勇, 卢昌义

(厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 通过分析波浪在林内和光滩上传播途径, 阐述了船舶引起的频繁巨浪造成红树植物死亡、林内动物种群和数量减少、滩涂断层及红树植物难以自然扩展等生态系统退化机理; 在此基础上提出消除和减少船舶兴波对红树林生态系统危害的有效对策。

关键词: 船舶兴波; 红树林; 生态系统; 退化机理

中图分类号: Q949.761.7; U674 文献标识码: A 文章编号: 1002-7351(2010)01-0033-04

Mechanisms on Mangrove Ecosystem Degradation from Waves by Boats

TANG Fei-long, YE Yong, LU Chang-yi

(State Key Laboratory of Offshore Marine Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

Abstract: In this paper, different paths of wave spreading in the bare mudflat and vegetated areas were analyzed, and damages from boat-generated waves to mangrove ecosystems were summarized as follows: the death of mangrove plants, decrease of benthic animal species and quantity, erosion of tidal flat, restriction of mangrove natural extension. Finally, some feasible strategies were proposed to eliminate and/or reduce hazards from boat-generated wave to mangrove ecosystems.

Key words: wave by boat; mangrove; ecosystem; degradation mechanism

大多数生态学家认为红树林在抵抗海啸、风暴潮和洪水冲击中发挥着“生物盾牌”的作用。但巨浪同时也可能给红树林带来很多危害, 如毁坏红树植被、侵蚀海岸线、冲刷林中沉积物等。而近些年来, 随着交通、旅游业的发展, 功率大、速度快的快艇穿梭于红树林区, 由此造成的巨浪已对红树林及其生境造成严重的破坏。

1 波浪与红树林生境相互作用关系

红树林是海岸生态防护的一道难得的天然屏障, 主要通过消浪、缓流和促淤等3大功能来实现防浪护岸作用。

1.1 波浪在光滩上的传播

当波向岸移动时, 波能的降低主要依赖于浅滩表面摩擦力, 其与滩涂面粗糙程度呈正比, 与移动中的波高成反比, 当浪高到一定值时, 这种消浪作用就显得很微弱^[1-2]。而且随着波高的减低, 波能相对聚集, 从而当波到达岸边时产生的冲击力就越大^[1]。杨建民^[3]也从水动力学方面进行解释, 当波浪自深水区进入水深渐减的浅水区, 或直接自浅水区向岸边传播时, 波浪要素不断变化, 当水深减少至一定数值时, 波系中大波波峰处的水质点不能维持平衡, 开始破碎。波浪在斜坡坡面上破碎时, 水体以射流状态冲击斜坡并形成波动水流, 在射流冲击斜坡的地点产生最大压力, 加大对岸坡的侵蚀程度, 并发现斜底消浪要好于平底。

1.2 波浪在红树林中的传播

当波浪进入红树林区时, 红树植物以其茂密的枝叶根系, 阻滞和衰减水流^[4]。波能在林中的衰减与不

收稿日期: 2009-06-24

基金项目: 国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200805072); 国家海洋局908项目(908-02-04-04); 教育部新世纪优秀人才计划资助

作者简介: 唐飞龙(1984-), 男, 安徽阜阳人, 厦门大学硕士研究生, 从事红树林生态学研究。

通讯作者: 叶勇, 男, 厦门大学教授, E-mail: yeyong@xmu.edu.cn。

同红树物种、种植密度及自身结构、水位高度、主波周期频率有很大关系^[1-2]。红树植物具有发达的根系,纵横交错的支柱根、呼吸根、板状根、气生根、表面根,形成一个稳固的网络支持系统,使植物体牢牢地扎根于滩涂上,并且盘根错节地形成严密的栅栏,增加了海滩面的摩擦力,能阻挡水流,减弱流速;远比光滩在降低波能方面发挥着更大的作用,而且随着水位的增加,这种作用越明显^[5]。红树植物庞大的树干及上部繁茂的枝叶将对进入林中的水流起到强有力的阻碍作用,进而减低波速、消散波能。研究发现不同物种的消波系数不同,如秋茄种远比不上海桑属;植株密度大,垂直结构复杂对减低波能方面有更大的贡献^[1]。柳其文^[6]测定,50 m 宽的白骨壤红树林带可使 1 m 高的波浪减至 0.3 m 以下,对减缓潮流流速起到了相当明显的作用,一般林内的水流速度仅有潮流流速的 10%。红树林对波浪的消减作用还取决于波浪自身的周期频率:大的和周期较小的波的消浪效果好于周期中间值的波浪,对大波的消浪效果要好于小波^[3]。而且当波浪的周期接近波浪与树林的共振周期时,树的摇摆和波浪的波动趋于同步,这时几乎没有消浪效果。这可能与波动的本质,即水体在做椭圆回旋运动有关,所以在选择消浪林时,应该对树木的自振频率做谨慎的选择,以防大浪来临时,因树木与波浪“同步摇摆”而失去消浪效果。

在同等波浪条件下(波高在 1.25~1.55 m 之间),红树林消浪效果是光滩的 5~7.5 倍^[2]。据张乔民等^[4]的研究,高 3 m、覆盖度 80%~90% 的红树林内,潮流流速仅为潮沟的 7.7%~14.3%;高 0.6~1.2 m、覆盖度 60% 的红树林内,潮流流速为潮沟的 20%~50%,为裸滩流速的 25%~33%。当红树林覆盖度大于 0.4、林带宽度在 100 m 以上时,其消波系数可达 85%,能把 10 级大风刮起的巨浪化为平波。沿海滩涂红树林防护林带宽度 100 m、高度 4~6 m、郁闭度达到 0.4,可消除海潮冲力的 80% 以上^[7]。红树植被覆盖区比光滩区有更好的消浪效果,在有红树植被区波高与波能减少率均较大^[1]。

2 船舶兴波

鉴于船舶兴波对堤岸安全和自然环境的干扰,近几年来,相当重视对溅浪的研究,特别是跨临界和超临界航速条件下船舶兴波和远场波浪的研究。浅水高速航行船舶在水底引起的压力分布与船舶兴波存在相应的变化特征:在高亚临界航速时,船舶周围及其尾波的压力场中存在散波和横波特征;随着水深佛鲁德数增加,压力场中的散波强度逐渐减小,横波强度逐渐增大,当船速接近临界航速时,在船头和船尾将出现两道巨大的与船舶航线基本垂直的横波,此时,船舶遭受的水动力和船舶水压场都发生急剧的变化;随着船速进一步增加至超临界航速时,压力场中的横波逐渐消失,散波逐渐加强,并在船头和船尾出现两道“V”形散波,该“V”形散波的夹角随着水深佛鲁德数的增加而减小^[8]。

船舶兴波的冲刷对河岸和潮滩形态有重大影响。在一个波浪周期内,波浪在岸坡上的运动主要包括 3 个阶段:①入射阶段,波浪在临界水深处破碎(波峰),水质点以射流形式冲击坡岸,同时水体上爬一定高度,在整个坡面形成具有较大流速的破波水流;②上爬阶段,波浪破碎后,立即在坡面形成上爬水流,沿坡面向上运动;③回落阶段,波浪上爬至最大高度,水流旋即沿坡面向下运动,形成回落水流,冲刷坡面^[9]。波浪破碎入射点处,造成坡岸散体颗粒运动的根本作用力是:平行于坡面的向上或向下的力,孔隙水对颗粒产生的向上浮托力。这 2 种力的产生具有瞬时性,作用力量值相对最大,在波浪破碎入射的瞬间就使入射点旁边的颗粒迅速向上或向下飞动,在入射点处冲成凹坑,入射点上方形成堆积,入射点下方的颗粒向下翻滚,尤其是较缓的散体岸坡,入射点上方的堆积会更加明显。

随着波浪累积频率 5% 的波高增加,其波浪侵蚀破坏的风险率提高,从波高 0.30 m 时的 0.01×10^{-3} 增加到波高 0.80 m 时的 2.89×10^{-3} ,其增加的比例非常大^[10]。

3 快艇引起的波浪对红树林生态系统的影响

船舶兴波对红树林生态系统的影响报道较少。但近些年来大量功率大、速度快的船舶穿梭于红树林区水道,由此产生的频繁巨浪造成红树林生态系统退化的现象引起了相当的关注。如东寨港红树林保护区近年兴起的红树林湿地旅游活动,导致河道内长年使用机动船,河道边的红树林已向后退了近 1 m,对红树林产生了威胁^[11]。又如在福建龙海九龙江口的南溪干流上,营运在龙海市白水镇至厦门市之间的客

运快艇功率达 191 kW, 时速 45 km, 每天往返 36 趟, 经过适宜种植红树林的南溪航道 10 km、九龙江口红树林保护区的航道 6 km; 在九龙江口的西溪干流上, 营运在龙海市石码镇至厦门市之间的客运快艇每天往返 92 趟, 通过红树林保护区的航道 7.5 km。由于客运快艇马力大、速度快、航次频繁, 造成的巨浪破坏力极大, 淤泥在巨浪不断的冲刷下流失, 已经成林的红树林遭到损毁, 红树林的宜林滩涂在不断地退缩, 新造红树林更是经不住客运快艇巨浪反复的冲刷^[12]。在澳大利亚也报道了快艇引起的巨浪与风浪对红树林生态系统有着相似甚至更大的危害作用^[13]。

3.1 对红树植物的影响

九龙江口红树林由于受到过往快艇引起的波浪冲击, 一些地段的红树林根部外露, 并大面积倒伏。快艇进入南溪到浮宫的拐弯地段时, 快艇速度变慢, 拐弯段的红树林却无倒伏现象; 而在靠近浮宫镇霞郭村一带红树林出现严重退化现象, 大部分树枝已枯死, 只有树冠最上层有叶子。在九龙江口营运段, 快艇航道离红树林目测距离仅 40~50 m, 快艇过后约 10 s, 产生的巨浪拍打着红树林, 其频次之高, 远远超过了自然的潮汐频率。船舶兴波导致靠海林缘红树植株倒伏、死亡的主要原因是侵蚀了植物根系固着所需的土壤。

3.2 对滩涂和海堤的影响

快艇高速行驶所带来的巨浪, 冲刷滩涂, 造成红树植物根系固着的土壤被冲走, 甚至出现了滩涂断层现象。如龙海市浮宫镇霞郭村原来密布着红树植物的滩涂现在被冲刷成断层, 而且一些靠江边居住的民房都因此向岸边倾斜, 有的砖柱倾斜得厉害, 村民不得不加垒一边的砖柱支撑加固。频繁的巨浪同时对海堤的稳固起到了威胁作用。海面快艇高速行驶引起的风浪冲击, 沿堤护岸冲刷十分严重, 随时可能出现堤身滑坡、崩塌等险情。

3.3 对底栖动物和鸟类的影响

Bishop^[13]比较了澳大利亚悉尼 50~30 m 宽、最大深度 15 m 的 Parramatta 河的河口白骨壤红树林区 (151°13' E, 33°52' S), 快艇不限速的区域和快艇限速 15 km·h⁻¹ 的区域底栖动物物种分布情况, 结果表明, 快艇限速 15 km·h⁻¹ 的白骨壤红树林区未受到明显的波浪影响, 属于无干扰区, 其物种种类和数量都远远多于快艇不限速区。这可能与波浪频繁冲刷林带减少了部分靠水林缘种类、干扰了底栖动物的生活习性如筑巢、产卵等有关, 或与水流带走了丰富的凋落物和富含营养物质的沉积物, 导致底栖动物食物缺乏有关。频繁的快艇穿过红树林区导致的巨浪还使得鸟类不敢在林缘停留、摄食, 产生巨大的噪声也会惊吓林内栖息的鸟类, 迫使其离开红树林, 进而导致林内昆虫群落结构的改变, 一些对红树植物有害的种类可能增加。

3.4 对红树林自然扩展的影响

波浪能量是控制红树植物沿海岸纵向分布格局的主要因素。红树林只能分布于受到良好掩护的港湾、河口湾、泻湖水域、海岸沙坝或岛屿的背风侧、珊瑚礁坪的后缘、与优势风向平行的岸线等, 而不能分布于受较强波浪作用的开阔海岸。主要因为强波浪不仅妨碍红树林生长的泥沙沉积, 而且直接阻碍红树林胎生胚轴着床定植和幼苗生长。海岸波能指数 $W < 7.0 \times 10^3$ 为适宜红树林生长的低波能海岸; $W > 10.5 \times 10^3$ 为不适宜红树林生长的高波能海岸; $7.0 \times 10^3 < W < 10.5 \times 10^3$ 为红树林生长零星或很差, 或仅能生长人工林或幼林的中波能海岸^[4]。

由于快艇引起的巨浪有着很高的波能且频繁的侵蚀着外围滩涂, 从而限制了红树林生境向外围自然演化的可能。潮水浸淹频率过高会导致红树林退化、死亡或难自然更新^[14]。快艇引起的波浪使得淹水频率增大, 导致胎生胚轴容易被水流带走, 难以插入土中生长, 且新生的幼苗在快艇带来的浑浊水流下对光的利用减弱, 导致幼苗的成活率降低。

3.5 对人工造林带来不便

随着人们对红树林生态的广泛关注, 人工造林已成为快速恢复红树林生态的一种常见措施, 但是成活率却一直不容乐观, 虽然这可能与温度、盐度、沉积物、潮汐浸淹等众多因素有关, 但波浪无疑是限制因素之一。因此造林地潮流速度不宜太大, 在快艇驶过红树林区段种植人工红树幼苗, 会大大降低幼苗成活

率^[14]。造林地应选择在海岸潮间带,遵循“从易到难”的原则,先栽植于风浪较平静的地带,再逐步发展到海水略深、风浪稍大的地带^[15]。

4 消除和减少船舶兴波危害的对策

快艇引起的波浪对红树林生境造成多方面的复杂的影响,已引起政府和民间的广泛关注。应根据具体的红树林区实际情况,采取相应的措施。主要对策如下:①选择消波系数大的物种种植于红树林区,且注意不同层之间的搭配混种,提高林内垂直结构的复杂性;种植密度相应增大,提高郁闭度;林带宽大,消浪效果会更明显。②对来往于红树林区段的快艇限速($15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下),根据当地的潮汐情况,调整航运时间,使得快艇产生的波浪在到达红树林区时已消减为零。③将影响严重的区段划为无干扰区,改变航道,从源头上控制;④可以模仿高速公路上建隔音板和防护设施,在海堤滩涂最外围建立防浪的栏板,以阻挡波浪侵袭。⑤研发新型船只,减少马达带来的巨浪。⑥增加经费投入,如交通航运部门可以从船票中提取一部分经费作为复种补种红树林的资金,用于保护区的生态恢复。⑦政府和民间团体加强合作交流,提高民众保护红树林的意识。

参考文献:

- [1] Mazdal Y, Magi M, Ikeda Y, et al. Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp [J]. Wetlands Ecology and Management, 2006, 14: 365– 378.
- [2] Quartel S, Kroon A, Augustinus PGEF, et al. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 29: 576– 584.
- [3] 杨建民. 海岸带边坡防浪林消浪理论与实验研究[J]. 海洋通报, 2008, 27(2): 16– 21.
- [4] 张乔民, 隋淑珍, 张叶春, 等. 红树林宜林海洋环境指标研究[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1427– 1437.
- [5] 李庆芳, 章家恩, 刘金苓, 等. 红树林生态系统服务功能研究综述[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 472– 475.
- [6] 柳其文. 福建漳江口红树林湿地保护及建设的探讨[J]. 林业勘察设计(福建), 2006(1): 131– 133.
- [7] 廖宝文, 仲崇禄. 我国沿海红树林发展设想[N]. 中国绿色时报, 2005– 06– 07.
- [8] 张志宏, 顾建农. 浅水高速船舶引起的波浪和压力场研究[J]. 船舶力学, 2006, 10(2): 15– 22.
- [9] 蔡晓禹, 凌天清, 唐伯明, 等. 波浪对散体岸坡冲刷破坏的机理[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(2): 73– 76.
- [10] 高延红, 张俊芝. 基于波浪冲刷的现有堤坝护坡破坏的风险分析[J]. 浙江工业大学学报, 2008, 36(2): 198– 203.
- [11] 王胤, 左平, 黄仲琪, 等. 海南东寨港红树林湿地面积变化及其驱动力分析[J]. 四川环境, 2006, 25(3): 44– 49.
- [12] 薛志勇. 福建九龙江口红树林造林遇到的问题[J]. 湿地科学与管理, 2006, 2(3): 54– 57.
- [13] Bishop J. A posteriori evaluation of strategies of management: the effectiveness of no-wash zones in minimizing the impacts of boat-wash on macrobenthic infauna [J]. Environmental Management, 2004, 34(1): 140– 149.
- [14] 林鹏, 张宜辉, 杨志伟. 厦门海岸红树林的保护与生态恢复[J]. 厦门大学学报:自然科学版, 2005, 44(增刊): 1– 6.
- [15] 叶功富, 范少辉, 刘荣成, 等. 泉州湾红树林湿地人工生态恢复的研究[J]. 湿地科学, 2005, 3(1): 8– 12.

(上接第 32 页)

参考文献:

- [1] 郇伦, 刘瑜, 张晶, 等. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 刘兴生. MAPGIS 在林业制图中的应用[J]. 吉林林业科技, 2002, 31(3): 44– 46.
- [3] 林岚岚. 地理信息系统在林业制图中的应用[J]. 林业勘察设计, 2006(3): 80– 81.