



基于风暴潮记录研究红树林淤积速率时间变化

刘涛, 褚冠宇, 徐慧鹏

引用本文:

刘涛, 褚冠宇, 徐慧鹏. 基于风暴潮记录研究红树林淤积速率时间变化[J]. 沉积学报, 2022, 40(5): 1346-1354.

LIU Tao, CHU GuanYu, XU HuiPeng. Using Storm Deposition in Mangrove for Dating and Sedimentary Dynamic Analysis[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2022, 40(5): 1346-1354.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

山东杨庄地区寒武系风暴沉积特征及沉积模式

Sedimentary Characteristics and Model of Cambrian Storm Deposits in the Yangzhuang Area, Shandong Province

沉积学报. 2022, 40(4): 1073-1082 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2021.022>

峡东地区震旦纪最早期风暴沉积记录及其地质意义

Early Sinian Storm Deposits in the Eastern Yangtze Gorges Area and their Geological Significance

沉积学报. 2020, 38(1): 182-195 <https://doi.org/10.14027/j.issn.1000-0550.2019.003>

海南岛东南部海岸砂丘风暴冲越沉积记录

A Coastal Dune Overwash Record of Typhoon Storm Events from South-eastern Hainan Island

沉积学报. 2017, 35(6): 1133-1143 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2017.06.005>

压实作用下广西典型红树林区沉积速率及海平面上升对红树林迁移效应的制衡

Sediment Compaction Rates in Mangrove Swamps of Guangxi and Its Mangrove Migration Response to Sea-level Rise

沉积学报. 2015, 33(3): 551-560 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2015.03.013>

台风风暴潮影响下潮滩沉积动力模拟初探——以江苏如东海岸为例

Simulation of Tidal Flat Sedimentation in Response to Typhoon-induced Storm Surges: A case study from Rudong Coast, Jiangsu, China

沉积学报. 2015, 33(1): 79-90 <https://doi.org/10.14027/j.cnki.cjxb.2015.01.008>

文章编号:1000-0550(2022)05-1346-09

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2021.042

基于风暴潮记录研究红树林淤积速率时间变化

刘涛¹, 褚冠宇², 徐慧鹏²

1. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001

2. 广西大学海洋学院, 南宁 530004

摘要 以广西北海市的金海湾红树林作为研究对象,研究了红树林沉积物的粒度和过剩²¹⁰Pb比活度特征,并结合当地风暴潮历史记录,识别红树林沉积中风暴沉积层并判定了其形成时间。结果表明:自1965年以来广西沿岸的5次强风暴潮在该红树林中留下了沉积记录;以这些风暴沉积层作为时间标志,可知1986—2008年,红树林前缘区的沉积速率为5.7 mm/a,内侧为7.3 mm/a;2008年以后,前缘区沉积速率降至2 mm/a,而内测沉积速率则增加至14~20 mm/a。2008年之后当地风暴潮频率增加可能是造成这一现象的主要原因。红树林前缘区风暴沉积粒度特征的分析表明,在强风暴潮期间,植株高大、树冠封闭度高的红树林对于波流能量的耗散程度要显著高于年龄较小、植株低矮的红树林。

关键词 红树林;风暴潮;沉积速率;粒度;波能耗散

第一作者简介 刘涛,男,1980年出生,副教授,海洋沉积学,E-mail: salanitana@sina.com

中图分类号 P343.5 **文献标志码** A

0 引言

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带,受周期性潮水浸淹,由红树植物为主体的常绿乔木或灌木组成的木本植物群落。红树林通常植株密集,故耗散潮水海啸的水动能作用明显,有助于防止海岸侵蚀并减少风暴潮和海啸等自然灾害造成的损失^[1-4]。红树林也可以在沉积过程中埋藏封存大量有机碳,是海岸带地区最重要的碳库之一^[5-8]。在全球气候变化背景下,无论是评估红树林湿地的保持能力还是估算其碳埋藏速率和通量,长期沉积速率都是最重要的指标之一。当前一般以²¹⁰Pb测年法来测定这一指标,但是由于生物扰动、过剩²¹⁰Pb输入通量不恒定等因素,²¹⁰Pb测年法在许多红树林湿地中并不适用,且依靠²¹⁰Pb定年法通常也难以获取沉积速率的时间变化信息。因此,研究红树林长期沉积速率的时间变化信息,进而分析沉积速率对于气候变化的响应特征,需要寻找其他研究方法。在一些受到热带气旋影响的地区,强风暴潮事件可以将正常海况下难以起动的粗颗粒沉积物输入红树林内,形成风暴滞留沉积层^[9-10]。如果能确定这些风

暴沉积层的形成时间,即可以将其作为时间标志,确定红树林长期沉积速率,分析沉积速率的年代际变化特征。此外,对红树林风暴沉积粒度特征的研究,还可用于分析红树林植株在风暴潮期间对于浪、流能量的耗散效率。本研究以广西北海市的金海湾红树林为研究对象,结合²¹⁰Pb法以及当地风暴潮历史记录,确定了红树林沉积层中各风暴沉积层的年代,进而厘定了其长期沉积速率和各时段沉积速率,分析了林内沉积速率时空变化的原因。此外,基于风暴沉积粒度特征的研究,探讨了红树林植株空间结构特征对于风暴潮期间波流耗散效率的影响。

1 研究区域与研究方法

本文的研究对象为位于区域为广西北海市南部的金海湾红树林(21°22'~21°30' N, 109°12'~109°21' E)(图1)。研究区属北热带季风性湿润气候,年平均气温22.4℃,平均降水量1667 mm,年平均湿度82%^[11]。潮汐为全日潮,平均潮差2.36 m,最大潮差5.36 m。大冠沙沿岸海浪主要受季风制约,以风浪为主,最大波高主要出现在5—10月风暴潮季节。冬半

收稿日期:2020-06-23;收修改稿日期:2021-02-03

基金项目:广西省自然科学基金(DD3100051017)[Foundation: Natural Science Foundation of Guangxi Province, No. DD310005 1017]

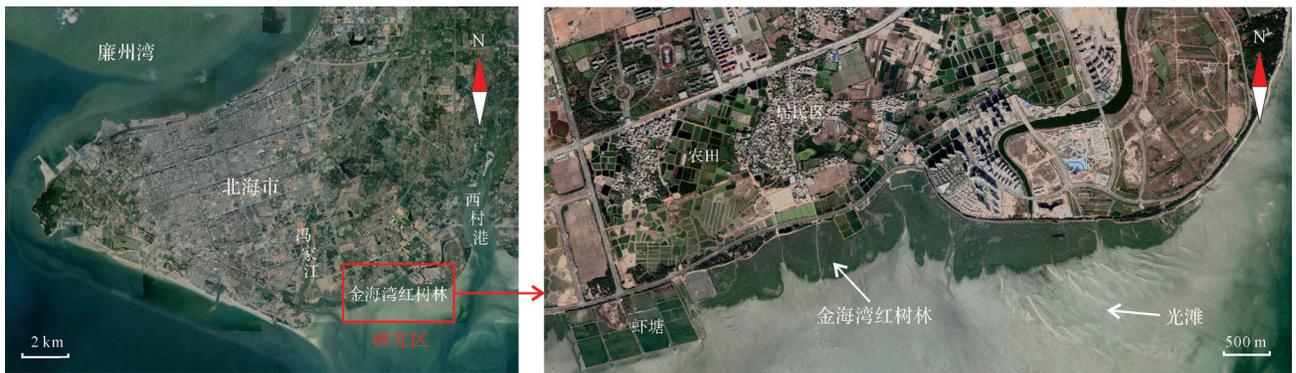


图1 研究区域的位置与地理环境

Fig.1 Location and geological setting of study area

年以偏北浪为主,各月平均波高0.3~0.5 m,最大波高为2 m;夏半年以偏南浪为主,各月平均波高0.2~0.3 m,最大波高为1.1 m。

该区域海岸平直开阔,夏季海水盐度为3.2‰~6.27‰,冬季海水盐度为24.9‰~27.6‰^[12]。红树林生长在宽阔沙坪的上部,沿海岸带呈长条带状分布,东西长度约4 000 m,在离岸方向上长度不超过100~400 m,主要树种为白骨壤(*Avicennia marina*),林内沉积物主要为泥质砂或者砂质泥。该地区林内土壤在部分岸段从内滩、中滩到外滩依次为淤泥质、泥沙质和沙质^[13],一些岸段则是以沙质土壤为主^[14],属硬底型红树林基质。

为研究红树林湿地的沉积速率和沉积物粒度特征,本文展示了6个沉积物柱状样的相关数据,于两处横切红树林带断面(图2b)用泥炭钻钻探取样,分别获得DGS3, JHW1、JHW2、JHW3和Z1、Z2钻孔。DGS3的取样时间为2014年,取样深度为50 cm; JHW1、JHW2和JHW3的取样时间为2017年,取样深

度为50 cm,为DGS3处向海前侧等距采样;Z1和Z2的取样时间为2019年5月,取样深度40 cm。JHW断面处的红树林年龄较老,植株高大(超过3~4 m),树冠分布高度2~4 m,枝叶繁茂,封闭度高,但是植株间距较大,地面呼吸根十分密集(图3a);Z断面处为2005年以来扩张生长的红树林,树龄不超过15年,植株低矮密集(1~2 m)(图3b),地表呼吸根短而稀疏。

沉积柱以间隔2 cm进行分样,进行粒度测定。其中砂质沉积物以筛析法测定,泥质沉积物以马尔文公司生产的Mastersizer-3000激光粒度仪测定。测试前首先以浓度为15%的稀盐酸浸泡样品去除钙质碎屑,后加入过氧化氢去除有机碎屑,再加入分散剂浸泡12 h后方可进行粒度分析测定^[15]。在获取粒度频率分布数据之后,以矩法计算粒度参数。另取DGS3与JHW1处样品干燥并研磨过50目标标准筛后,称取约5 g样品,装入柱状样品管中压实并用蜡密封管口,放置三周,使²²⁶Ra和²¹⁰Pb处于永久衰变平衡体

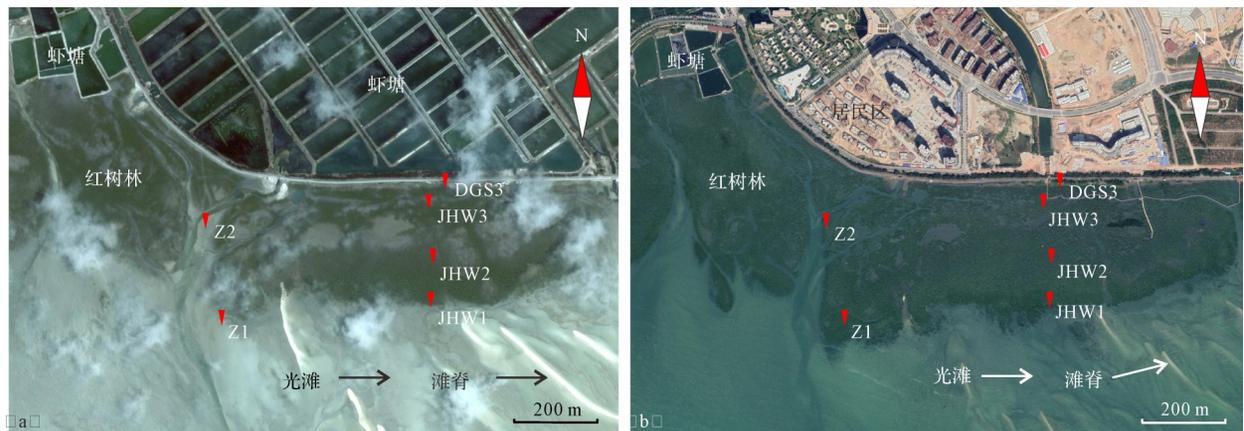


图2 不同年代红树林分布范围及沉积柱取样位置

(a)2005年红树林;(b)2017年红树林

Fig.2 Spatial distribution of mangroves and position of sediment cores in (a) 2005 and (b) 2017



图3 JHW1和Z1红树林群丛分结构

(a)JHW1处红树林植株高大稀疏,地面呼吸根密集;(b)Z1处的红树林植株低矮密集

Fig.3 Stand structures of mangroves at JHW1 and Z1

(a) old, tall mangrove plant at JHW1; (b) young, short mangroves (1-2 m) at Z1

系。利用ORTEC公司生产的高纯锗(HPGe) γ 能谱仪测定总 ^{210}Pb 和补偿 ^{210}Pb 的比活度,两者之差即为过剩 ^{210}Pb 比活度($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$)。 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 与时间的关系可以指数函数表示:

$$C(h) = C(0)e^{-\lambda t} \quad (1)$$

式中: $C(h)$ 为相应于时间 t 的深度 h 处的比活度, $C(0)$ 为表层沉积物的比活度, λ 为 ^{210}Pb 的衰变常数(0.03114 a^{-1})。

2 结果

2.1 基于沉积物过剩 ^{210}Pb 比活度计算的淤积速率

基于沉积物过剩 ^{210}Pb 比活度计算了沉积柱JHW1和DGS3的长期平均淤积速率,在这两个沉积柱中,过剩 ^{210}Pb 比活度随着深度呈明显的指数下降趋势,说明可用CF-CS模式(Constant Flux, Constant rate of Supply)计算其平均淤积速率^[16-17]。根据实测 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 数据和深度数据得到拟合曲线(图4):

$$\text{JHW1: } y = 241.7e^{-0.051x}, R^2 = 0.91$$

$$\text{DGS3: } y = 119.8e^{-0.020x}, R^2 = 0.92$$

为保证长期淤积速率准确性,JHW1中风暴沉积层数据(比活度 $\geq 200 \text{ Bq/kg}$)和DGS3中异常数据不采用。据(1)式计算结果表明,JHW1柱状样的14 cm及以下层位平均淤积速率为 6.1 mm/a ,DGS3的平均淤积速率为 15.6 mm/a 。该红树林内侧的淤积速率显著高于前缘区,这也是处于波能较强岸线红树林淤积速率空间分布的普遍特点,林内淤积速率主要取决于波浪扰动强度,而非纳潮量。前缘区由于波浪扰动作用较强,侵蚀事件频发,其长期淤积速率偏低;

而红树林内侧区域波浪扰动作用微弱,沉积作用连续稳定,其长期淤积速率较高。类似的例子还有越南Ba Lat河口红树林,其前缘区在平静天气时的短期沉积通量是内侧的数倍以上,而长期淤积速率却低于内侧^[18]。

2.2 风暴沉积层年代判定

分析各沉积柱的平均粒径深度剖面,可发现其中均存在数个显著高于正常水平的峰值,考虑到该区域几乎每年都要受到台风影响,风暴潮频发,这些粗颗粒沉积层应该是强风暴潮期间输入红树林的滞留沉积物。研究当地风暴潮历史记录^[19-22],可知近80年来当地共发生特大风暴潮5次(最高潮位超过400 cm),分别发生于1934年、1965年、1986年、2003年和2008年(表1)。其中1934年风暴潮较为久远,台风命名方式尚未完善,故引用文献记载描述。

JHW1沉积柱从上往下依次对照风暴潮记录进行定年,依据此定年结果(图5,JHW1)得,1934年至1986年的平均淤积速率为 5.4 mm/a ,其中1965年至1986年的淤积速率为 4.8 mm/a ,1934年至1965年的淤积速率为 5.8 mm/a ,与过剩 ^{210}Pb 法计算得到的JHW1中14 cm以下的长期淤积速率 6.1 mm/a 十分接近,表明风暴沉积层定年准确。其中1986年8609号台风在当地引发了特大风暴潮,最大潮位高达593 cm,为有历史记录来的最高水位,可判定出JHW1沉积柱中深度26 cm处风暴沉积层的形成年代为1965年,深度16 cm处风暴沉积层的形成年代为1986年,深度8 cm处的风暴沉积层应形成于2003年,深度4 cm处的风暴沉积层应形成于2008年

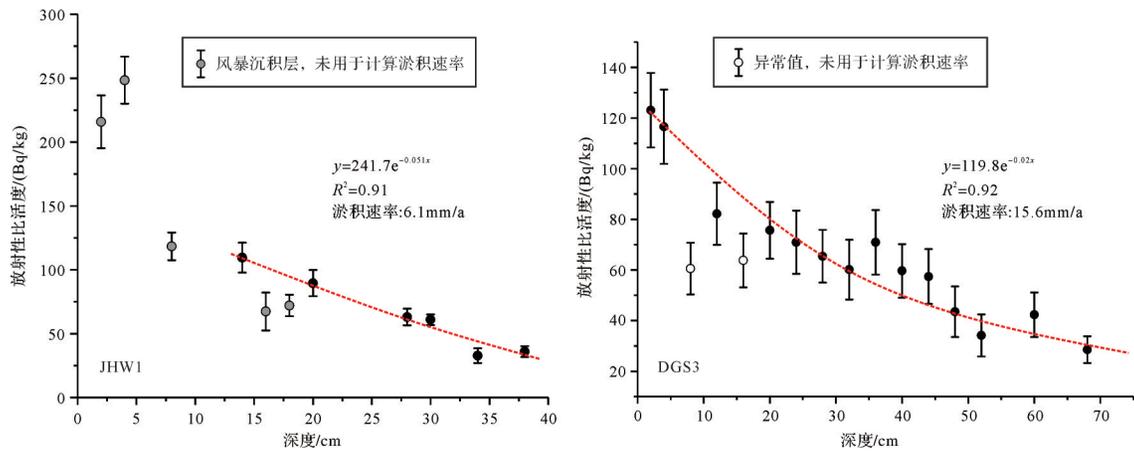


图4 基于过剩²¹⁰Pb比活度计算的淤积速率(偏离趋势线较远的少数数据不采用)

Fig.4 Accretion rate determined by excess ²¹⁰Pb radioactivity in sediment cores

表1 广西沿岸近80年来的5次强风暴潮(最高潮位>400 cm)

Table 1 Information of huge storm surges since 1930s on Guangxi coast

发生时间	台风名称及代号	最大增水/cm	最高潮位/cm	风暴潮灾情损失
1934年7月20日	—	—	494	农历六月十八日夜(7月20日),钦县大东风起,海水溢,青草坪、沙坡等地,顷刻水深丈余,屋围皆塌,漂流人畜无数,水干后基堤海坪,检尸过百具,不见尸者尚多,灾特重。其中青草坪350余人,除一人在外地,其余全部淹死。
1965年7月15—18日	6508号台风“Freda”	—	504	海水浸溢,浪冲击,合浦沿海堤围几乎被冲崩决口,淹没农田几万亩,盐场溶盐数万吨。
1986年7月21—22日	8609号台风“莎拉”	176	593	钦州地区被淹没农田164万亩,受灾人口达202.7万人,死37人伤300多人,各种损失折款为3.9亿元,
2003年8月24—25日	0312号台风“科罗旺”	179	433	防城港市内有4个区共30个乡镇受灾,受灾人口61.6万人,直接经济损失3.2亿元。
2008年9月23—25日	0814号台风“黑格比”	146	552	广西共有57个县(市、区)受灾,受灾人口达653.9万人,直接经济损失超过36亿元。

(图5)。鉴于该红树林内的淤积速率自前缘区向内侧增加趋势,而1986年风暴潮为近60年以来强度最高,合理推测1986年的风暴沉积层在JHW2中位于22 cm深度处,在JHW3中位于34 cm深度处。考虑到1986年之后最大的风暴潮发生于2008年,可确定2008年风暴沉积层在JHW2中位于14~16 cm处,在JHW3中位于16 cm处。2003年的风暴潮强度在4次大风暴潮中相对较弱,在JHW2中,2003年风暴沉积层缺失,推测已经在2008年风暴潮期间被侵蚀。在JHW3中,2003年的风暴沉积层尚可识别,位于22 cm深度处。

确定风暴沉积层的年代后,便可以其为时间标志计算各时段的淤积速率,结果如表2所示。自1986年至2017年,JHW1处的平均淤积速率为5.3 mm/a,JHW2处的平均淤积速率为7.1 mm/a;JHW3处的平均淤积速率为11.0 mm/a,与位于其向陆后侧的DGS3处淤积速率(15.6 mm/a)也具有可比性。值得注意的是,林内淤积速率有显著的年代际差异(表2),1986—2008年,JHW1和JHW2处的淤积速率均为5.7 mm/a,JHW3处的淤积速率为7.3 mm/a;而2008年以来,JHW1处的淤积速率仅为2.2 mm/a,JHW2处

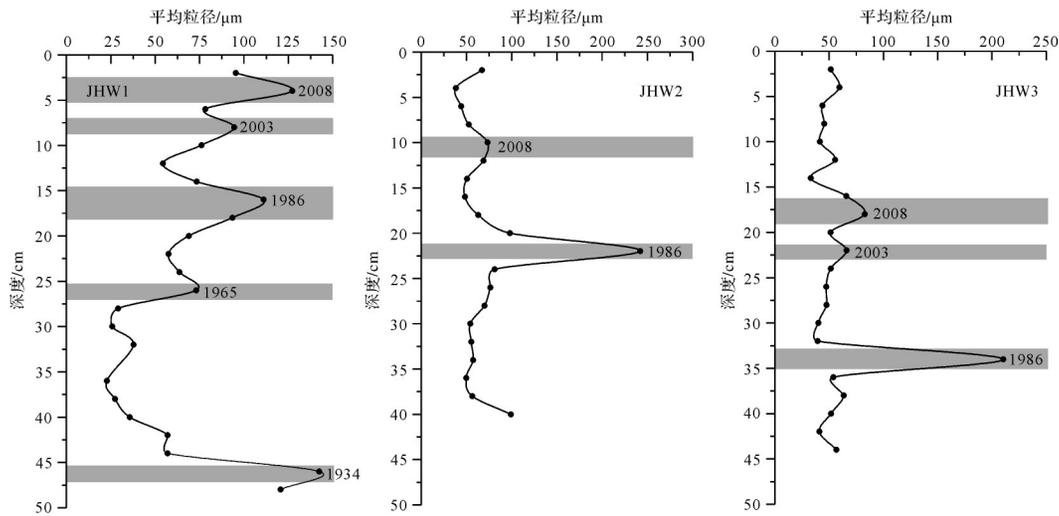


图5 沉积柱 JHW1、JHW2、JHW3 平均粒径深度的深度变化(阴影表示风暴沉积事件)
Fig.5 Depth profile of grain size in cores JHW1、JHW2、JHW3 (shaded areas indicate storm-deposited events)

的淤积速率为 10.0 mm/a, JHW3 处的淤积速率为 14.0 mm/a。由此得出,2008 年以来该处红树林前缘区淤积速率大幅降低,而内侧淤积速率则有显著增加。其西侧年轻红树林具有类似现象,自 2008 年以来,Z 断面前缘区(Z1 处)的淤积速率仅有 2.0 mm/a,而内侧(Z2 处)高达 22.0 mm/a(图6)。

2.3 风暴沉积的粒度特征及其反映的沉积动力信息

耗散波流能量,减轻风暴潮造成的灾害,是红树林的一个重要功能。鉴于 1986 年与 2008 年的两次风暴潮的强度相差不大,而该段时期内红树林的植株空间结构(树冠分布高度与大小,植株密度等)肯定有所变化,为了探讨红树林植株空间结构差异对

表 2 JHW 断面各处淤积速率(mm/a)

Table 2 Changes in accretion rates in cores JHW1, JHW2 and JHW3 inferred from ages of storm deposit layers (mm/a)

	1986—2017	1986—2008	2008—2017
JHW1	5.3	5.7	2.2
JHW2	7.1	5.7	10
JHW3	11.0	7.3	14

于风暴潮期间波流耗散效率的影响,对比分析了 1986 和 2008 年红树林内风暴潮沉积的粒径累积率曲线特征。如图 7 所示:1986 年 JHW1 处风暴沉积的平均粒径为 110 μm,而 JHW2 处和 JHW3 处的平均粒径为 220~250 μm,前缘区风暴沉积的平均粒径反

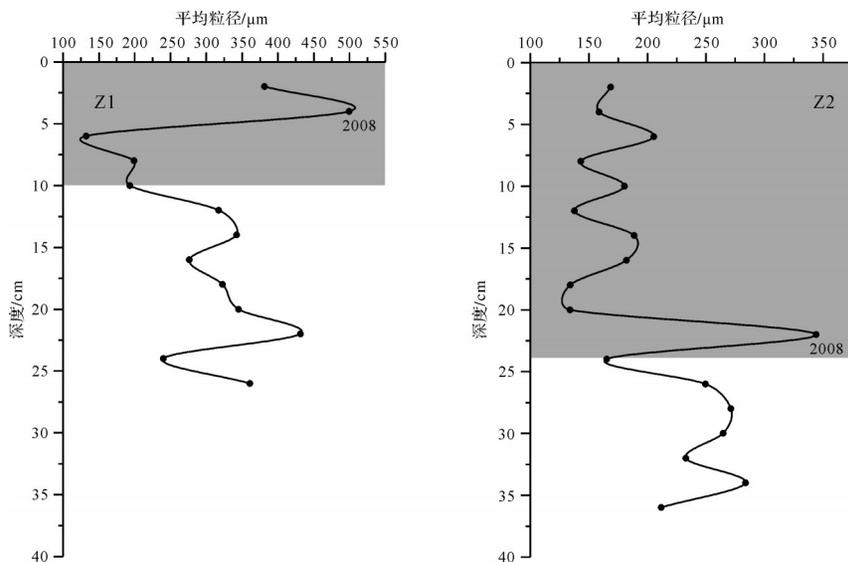


图6 沉积柱 Z1、Z2 平均粒径剖面(阴影表示红树林沉积)
Fig.6 Depth profile of grain sizes in core Z1 and Z2 (shaded areas indicate mangrove deposited layers)

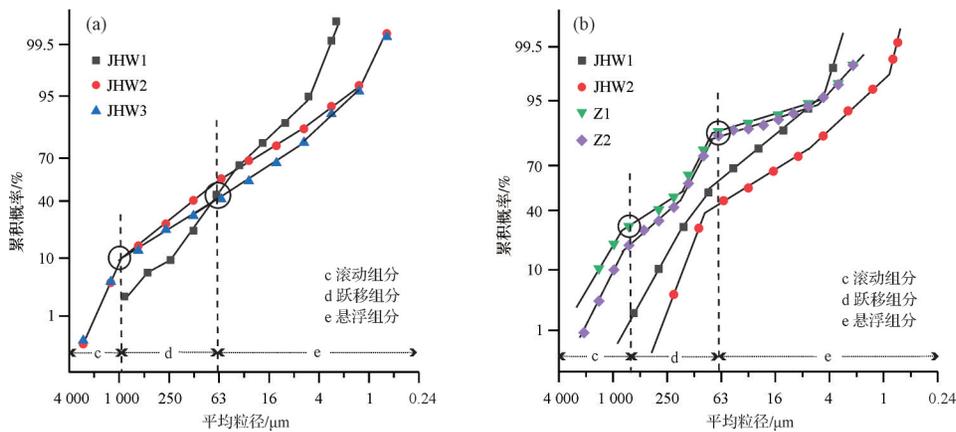


图7 不同年代风暴沉积的粒径累积概率曲线

(a)1986年;(b)2008年

Fig.7 Cumulative probability of storm deposits in (a) 1986 and (b) 2008

而较内侧偏细。红树林内侧风暴沉积中含有滚动组分,粒径范围为1 000~3 000 μm ,含量约10%,而前缘区风暴沉积中则没有滚动组分,这反映当时前缘区红树林植株年轻稀疏,地表呼吸根密度极低,难以拦截由外至内输入的滚动组分。在2008年,JHW1处风暴沉积平均粒径为125 μm ,与1986年相差不大;JHW2处风暴沉积的平均粒径则仅为80 μm ,较1986年显著减小,且粒径概率累积曲线中已经没有滚动组分。推测随着红树林的不断生长,地表呼吸根密度增加,红树林植株高度和树冠都不断增大,红树林对于风暴潮期间的波流能量耗散效率提高,粒径大于1 000 μm 的组分已经难以被输入红树林内。而在Z断面,红树林非常年轻,2008年风暴潮沉积的平均粒径高达350~500 μm ,其中滚动组分的含量为20%~30%,跃移组分的含量为50%~60%。对比表明,在植株矮小的年轻红树林中,风暴潮期间波流能量耗散率要显著低于植株高大的成熟红树林。

3 讨论

3.1 红树林淤积速率的时空变化

在潮控型红树林或者河口型红树林中,输入泥沙以悬浮颗粒为主,絮凝作用较强,前缘区通常因为由于纳潮量大且能首先接受絮凝泥沙沉降,淤积速率通常显著高于内侧^[23-27]。而浪控型红树林沉积物速率的空间变化特征与此相反,浪控红树林的淤积速率主要取决于波浪扰动作用的强弱,前缘区淤积速率通常显著低于内侧区域。金海湾红树林即是一处典型的浪控红树林,基于风暴沉积层定年,本项研

究发现2008年之后金海湾红树林前缘区的淤积速率仅为约2.0 mm/a,而内侧则高达10.0~20.0 mm/a,该处红树林淤积速率存在巨大的空间差异。在海平面上升速率较快的情形下,如果浪控红树林前缘区的高程和淤积速率都很低,则红树林前缘区会逐渐后退,林带宽度会变小(红树林后侧一般有海堤),会进一步导致林内淤积速率逐渐降低。有鉴于此,我们在评估海平面上升威胁下浪控红树林湿地的保持能力时,一定不能忽视对于红树林前缘区淤积速率的调查,也必须考虑林带宽度变化导致的红树林内淤积速率改变(通常是降低),否则非常有可能高估此类红树林湿地的保持能力。

2008年以来,金海湾红树林前缘区(JHW1处)的淤积速率仅为2.0 mm/a左右,较2008年之前(5.7 mm/a)显著下降,而红树林内部的淤积速率则较2008年之前显著上升,该处红树林淤积速率存在年代际变化。考虑到该处红树林淤积速率主要受波浪能量控制,极端气候变化是影响波浪能量的主要原因之一。有研究表明当地自2009—2012年的风暴潮发生频率为1.7次/年,而1990—2009年的风暴潮频率仅为0.7次/年^[28]。风暴潮事件更加频繁势必导致前缘区侵蚀事件增加,长期淤积速率因而显著下降。而在风暴潮事件中,林前光滩和红树林前缘区的沉积物通常会遭受侵蚀,并被潮流搬运输入红树林内侧沉积,风暴潮频率的增加从而导致内侧红树林淤积速率上升。由此,在评估此类红树林湿地保持能力时,也必须考虑红树林淤积速率对于气候变化的响应,在不同的气候情景下同一红树林湿地的保持能力可能会截然不同。

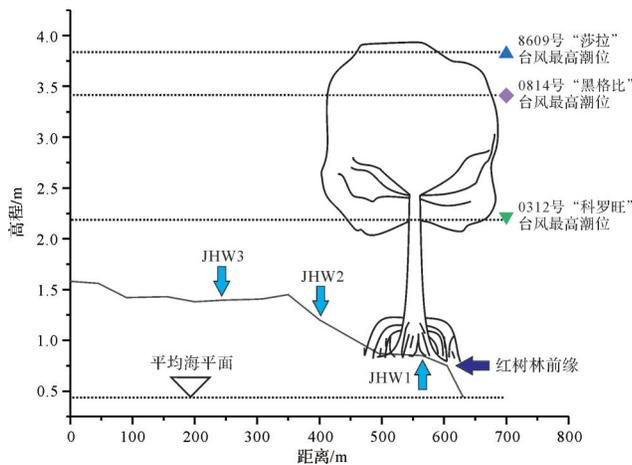


图8 JHW断面红树林树冠高度与历年风暴潮最高潮位
Fig.8 Elevation of mangrove tree crown and the maximum tidal height of huge storm surges at JHW transect

3.2 红树林植株空间结构对于风暴潮期间波流能量耗散效果的影响

红树林内不同位置、不同年代风暴沉积的粒度分析表明,植株高大,树冠封闭度高的红树林对于强风暴潮期间波流能量的耗散程度要显著高于年龄较小、植株密集低矮的红树林。造成这一结果的原因可能有两点,第一,强风暴潮期间红树林内水深很大,低矮红树林的树冠分布高度有限,无法耗散表层水体的波流能量,而通常表层水体的波流能量远高于下层水体。植株高大的红树林树冠体积大,分布高度高,可以大量耗散表层水体的波流能量(图8)。第二,低矮红树林植株虽然密集,但是其枝干刚度小,易于摇晃,吸收波浪能量的效率远不如枝干刚度大的老红树林。Massel *et al.*^[29]的对于澳大利亚的Cocoa Creek河口及日本的Natara河口红树林内波浪特征的现场观测,也得到了类似结果,即淹没时水面高度与树冠分布高度基本一致时,波浪能量耗散最大,而如果淹没时水面高度低于或者显著高于树冠分布范围,波浪耗散效果则大为降低。

4 结论

(1) 以风暴沉积层作为时间标志,可以有效研究红树林内淤积速率的年代际变化特征。研究表明:1986—2008年,金海湾红树林前缘区的淤积速率为5.7 mm/a,内侧为7.3 mm/a;2008年以后,前缘区淤积速率降至2 mm/a,而内测淤积速率则增加至10~20 mm/a。2008年之后当地风暴潮频率增加可能是造成这一现象的主要原因。

(2) 红树林内不同位置、年代沉积柱中的风暴沉积层粒度特征分析表明,成熟红树林枝干刚度高且能够有效耗散风暴潮高位表层水体波流能量。受此影响,植株高大、树冠封闭度高的红树林对于强风暴潮期间波流能量的耗散程度要显著高于年龄较小、植株低矮的红树林。

参考文献 (References)

- [1] Mazda Y, Magi M, Kogo M, et al. Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam [J]. *Mangroves and Salt Marshes*, 1997, 1(2): 127-135.
- [2] Dahdouh-Guebas F, Jayatissa L P, di Nitto D, et al. How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? [J]. *Current Biology*, 2005, 15(14): 1337-1338.
- [3] Kathiresan K, Rajendran N. Coastal mangrove forests mitigated tsunami [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2005, 65(3): 601-606.
- [4] Teh S Y, Koh H L, Liu P L F, et al. Analytical and numerical simulation of tsunami mitigation by mangroves in Penang, Malaysia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2009, 36(1): 38-46.
- [5] Chmura G L, Anisfeld S C, Cahoon D R, et al. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2003, 17(4): 1111.
- [6] Bouillon S, Borges A V, Castañeda-Moya E, et al. Mangrove production and carbon sinks: A revision of global budget estimates [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2008, 22(2): GB2013.
- [7] Donato D C, Kauffman J B, Murdiyarso D, et al. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics [J]. *Nature Geoscience*, 2011, 4(5): 293-297.
- [8] Atwood T B, Connolly R M, Almahsheer H, et al. Global patterns in mangrove soil carbon stocks and losses [J]. *Nature Climate Change*, 2017, 7(7): 523-528.
- [9] 许艳,王拓夫. 湛江红树林保护区现代沉积物粒度特征及其对风暴事件的响应 [J]. *台湾海峡*, 2011, 30(2): 269-274. [Xu Yan, Wang Tuofu. Characteristics of sediment particle size and their response to storm surge in the Zhanjiang Mangrove Nature Reserve [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, 30(2): 269-274.]
- [10] Fagherazzi S, Kirwan M L, Mudd S M, et al. Numerical models of salt marsh evolution: Ecological, geomorphic, and climatic factors [J]. *Reviews of Geophysics*, 2012, 50(1): RG1002.
- [11] 任兴伟. 广西大冠沙两种生长型白骨壤叶片衰老过程中的元素动态 [D]. 厦门: 厦门大学, 2009: 1-55. [Ren Xingwei. Element dynamics during leaf senescence of two growth forms of *Avicennia marina* forest at Daguansha in Guangxi

- province[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009: 1-55.]
- [12] 郭靖. 广西北部湾近岸海域氮生物地球化学过程及营养盐沉积记录[D]. 南宁: 广西大学, 2020: 1-137. [Guo Jing. Nitrogen biogeochemical processes and geochemical record of anthropogenic nutrient loading in coastal regions of Beibu Gulf, Guangxi province[D]. Nanning: Guangxi University, 2020: 1-137.]
- [13] 范航清. 广西海岸沙滩红树林的生态研究I: 海岸沙丘移动及其对白骨壤的危害[J]. 广西科学, 1996, 3(1): 44-48. [Fan Hangqing. Ecological studies on sandy mangroves along Guangxi coast I: The movement of coastal sand dune and its damages to *Avicennia marina* (forsk) vierh [J]. Guangxi Science, 1996, 3(1): 44-48.]
- [14] 范航清, 尹毅, 黄向东, 等. 广西沙生红树植物—土壤相互作用及群落演替的研究[J]. 广西科学院学报, 1993, 9(2): 1-7. [Fan Hangqing, Yin Yi, Huang Xiangdong, et al. Interaction of sandy mangrove plant—soil and succession of community in Guangxi[J]. Journal of the Guangxi Academy of Sciences, 1993, 9(2): 1-7.]
- [15] 刘涛, 刘莹, 乐远福. 红树林湿地沉积速率对于气候变化的响应[J]. 热带海洋学报, 2017, 36(2): 40-47. [Liu Tao, Liu Ying, Yue Yuanfu. Response of mangrove swamp sedimentation rate to climate change[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2017, 36(2): 40-47.]
- [16] 万国江. 现代沉积的 ^{210}Pb 计年[J]. 第四纪研究, 1997, 17(3): 230-239. [Wan Guojiang. ^{210}Pb dating for recent sedimentation [J]. Quaternary Sciences, 1997, 17(3): 230-239.]
- [17] 张敬, 牟德海, 杜金洲, 等. 过剩 ^{210}Pb 年代学的多种计算模式的比较研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(4): 370-374, 382. [Zhang Jing, Mou Dehai, Du Jinzhou, et al. Study on comparison of excess ^{210}Pb chronology of several models[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(4): 370-374, 382.]
- [18] van Maren D S, Hoekstra P. Seasonal variation of hydrodynamics and sediment dynamics in a shallow subtropical estuary: The Ba Lat River, Vietnam[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 60(3): 529-540.
- [19] 纪燕新. 北部湾广西沿海风暴潮灾害及防灾减灾研究[D]. 南宁: 广西大学, 2007: 1-87. [Ji Yanxin. Study on storm surges disasters of the Guangxi coastal areas in Beibu Gulf and its preventive countermeasurements[D]. Nanning: Guangxi University, 2007: 1-87.]
- [20] 曹基富, 吴德平, 郎喜白. 台风“科罗旺”风暴潮分析[J]. 海洋预报, 2006, 23(2): 63-66. [Cao Jifu, Wu De-ping, Lang Xibai. The storm surge analysis on typhoon “Krovanh”[J]. Marine Forecasts, 2006, 23(2): 63-66.]
- [21] 付翔, 董剑希, 马经广, 等. 0814号强台风“黑格比”风暴潮分析与数值模拟[J]. 海洋预报, 2009, 26(4): 68-75. [Fu Xiang, Dong Jianxi, Ma Jingguang, et al. Analysis and numerical simulation of the storm surge caused by typhoon “Hagupit”[J]. Marine Forecasts, 2009, 26(4): 68-75.]
- [22] 陈宪云, 陈波, 刘晖, 等. 广西沿海风暴潮灾害及防治对策[J]. 海洋湖沼通报, 2013(4): 17-24. [Chen Xianyun, Chen Bo, Liu Hui, et al. Guangxi coastal storm surge disasters and countermeasures [J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2013(4): 17-24.]
- [23] 张乔民, 温孝胜, 宋朝景, 等. 红树林潮滩沉积速率测量与研究[J]. 热带海洋, 1996, 15(4): 57-62. [Zhang Qiaomin, Wen Xiaosheng, Song Zhaojing, et al. The measurement and study on sedimentation rates in mangrove tidal flats [J]. Tropic Oceanology, 1996, 15(4): 57-62.]
- [24] MacKenzie R A, Foulk P B, Klump J V, et al. Sedimentation and belowground carbon accumulation rates in mangrove forests that differ in diversity and land use: A tale of two mangroves [J]. Wetlands Ecology and Management, 2016, 24(2): 245-261.
- [25] Anthony E J. Sediment dynamics and morphological stability of estuarine mangrove swamps in Sherbro Bay, West Africa [J]. Marine Geology, 2004, 208(2/3/4): 207-224.
- [26] Capo S, Sottolichio A, Brenon I, et al. Morphology, hydrography and sediment dynamics in a mangrove estuary: The Konkoure Estuary, Guinea [J]. Marine Geology, 2006, 230(3/4): 199-215.
- [27] Walsh J P, Nittrouer C A. Mangrove-bank sedimentation in a mesotidal environment with large sediment supply, Gulf of Papua [J]. Marine Geology, 2004, 208(2/3/4): 225-248.
- [28] 黎树式, 戴志军, 葛振鹏, 等. 北部湾北部生态环境灾害变化研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 43-47. [Li Shushi, Dai Zhijun, Ge Zhenpeng, et al. Research on the changes of the ecological environment disasters along the northern Beibu Gulf [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 43-47.]
- [29] Massel S R, Furukawa K, Brinkman R M. Surface wave propagation in mangrove forests [J]. Fluid Dynamics Research, 1999, 24(4): 219-249.

Using Storm Deposition in Mangrove for Dating and Sedimentary Dynamic Analysis

LIU Tao¹, CHU GuanYu², XU HuiPeng²

1. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use, Ministry of Education (Nanning Normal University), Nanning 530001, China

2. School of Marine Sciences, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract: The ages of storm deposit layers in sediment cores collected from the Jinhaiwan mangrove area in Guangxi, China, were determined from the accretion rate estimated by the ²¹⁰Pb method, together with records of storm surges. Temporal changes of accretion rate in the mangroves were studied using the storm deposit layers as time markers. Since 1986, the accretion rate was 5.7 mm/a at the margin and 7.3 mm/a inside the mangrove area. Since 2008, the accretion rate at the margin has only been 2 mm/a, but was 14-20 mm/a inside the mangrove area, attributable to the increased frequency of storm surges. The grain sizes of storm deposits in the mangrove area indicate that the dissipation rate of current/wave energy in mangrove area is greatly affected by the plant structure. The storm deposit at the margin of an area of old mangroves is significantly finer than at the young mangrove margin, indicating a higher dissipation rate of current/wave energy in the old mangrove. Old, tall mangrove plants with bigger crowns dissipate the current/wave energy more efficiently in the surface layer of the water column.

Key words: mangrove swamp; storm surge; accretion rate; grain size; wave dissipation