

杨林, 董玉祥, 黄德全. 2021. 海岸沙席对台风的形态响应特征. 热带地理, 41 (5): 968-974.

Yang Lin, Dong Yuxiang and Huang Dequan. 2021. Morphological Response of Coastal Sand Sheets to Typhoons. *Tropical Geography*, 41 (5): 968-974.

海岸沙席对台风的形态响应特征

杨林^{1,2}, 董玉祥^{2,3}, 黄德全²

(1. 韶关学院 旅游与地理学院, 广东 韶关 512005; 2. 中山大学 地理科学与规划学院, 广州 510275;

3. 广州新华学院 资源与城乡规划系, 广州 510520)

摘要: 采用RTK GPS测量技术与方法, 在2014—2017年对福建平潭岛典型海岸沙席进行了连续16次形态高精度测量, 分析了海岸沙席在台风作用下的形态变化及台风季后的形态恢复变化特征。结果表明: 1) 海岸沙席对台风的形态响应特征明显, 基本表现为海滩及沙席前缘高度降低 (最大侵蚀深度为0.92 m), 沙席中部高度变化相对较小 (≤ 0.15 m), 沙席后缘高度稍有升高 (最大堆积厚度为0.75 m)。2) 在台风季后, 海岸沙席形态恢复变化也较为一致, 主要表现为体积减少, 海滩及沙席前缘高度稍有升高 (最大堆积厚度为0.78 m), 沙席中部高度降低幅度极小 (≤ 0.10 m), 沙席后缘高度略有降低 (最大侵蚀深度为0.47 m)。3) 海岸线走向是影响区域海岸沙丘对台风响应的重要因素, 对于沙源不足、以离岸风为主的山岐宫海岸沙席, 台风在其海岸沙席形态演变中的塑造作用突出。

关键词: 海岸沙席; 台风; 形态变化; 海岸线走向; 平潭岛

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2021)05-0968-07

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003376

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



以波浪作用为主的海滩和以风力作用为主的海岸沙丘共同构成了一个复杂动力地貌系统, 该系统中存在着动力、形态与过程相互作用(Nordstrom et al., 1900; 吴正等, 1995)。台风(国外称为飓风或风暴)是研究波浪—海滩—沙丘相互作用的动力媒介(董玉祥等, 2014; 杨林等, 2017a)。受益于观测技术的更新运用, 海岸沙丘及其形态演变成成为海岸风沙地貌新近研究热点之一(Wang et al., 2007; Houser et al., 2009; Suanez et al., 2012; Castelle et al., 2015; Brenner et al., 2018; Wernette et al., 2020)。例如, 福建平潭岛海岸沙丘对2014年强台风“麦德姆”的形态响应特征以体积减小、沙丘高度降低为主(董玉祥等, 2016a); 海岸沙丘形态对2016年台风群响应虽明显, 但不同类型海岸沙丘形态响应中均未见累积效应(Yang et al., 2018); 海岸

横向沙丘形态在2014年台风“麦德姆”后的半年内其体积与高度即已超过台风登陆前, 丘顶高度最大月均恢复升高0.39 m, 沙丘迎风坡基本恢复到台风登陆前状态, 背风坡以堆积为主且高度超过台风之前(杨林等, 2018); 海岸爬坡沙丘形态在台风群后的近一年内以体积增加、沙丘高度增加为主, 特别是爬坡沙丘前缘部位有明显的变化规律(杨林等, 2020)。但上述成果仅是对海岸沙丘形态演变的初步观测结果, 且台风登陆路径具有偶然性、不可重复性, 以及缺乏长尺度的观测, 以致无法很好地建立海岸沙丘对台风的形态响应模式。为此, 本文选择深受台风影响和海岸沙丘分布典型的福建省平潭岛, 以分布较为广泛的海岸沙席为研究对象, 基于2014—2017年对海岸沙席连续16次形态观测数据, 综合分析海岸沙席对台风的形态响应特征,

收稿日期: 2020-10-12; 修回日期: 2020-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371030, 41871006); 韶关学院校级科研项目(SY2018KJ01); 韶关学院博士科研启动经费项目(2018)

作者简介: 杨林(1987—), 男, 江西赣州人, 博士, 讲师, 主要从事海岸风沙地貌研究, (E-mail) jxyl1988521@163.com;

通信作者: 董玉祥(1964—), 男, 河南西平人, 教授, 主要从事海岸风沙地貌和土地退化研究, (E-mail) cedsyx@mail.sysu.edu.cn。

以期明晰海岸沙席形态的台风响应模式,丰富中国海岸沙丘形态动力学研究内容,并为海岸带保护及管理决策等提供科学依据。

1 研究区域和台风概况

1.1 研究区域

平潭岛地处中国东南沿海,是福建第一大岛(图 1-a)。岛上风沙地面积大、形态典型,发育了海岸草(灌)丛沙丘、海岸横向前丘、海岸爬坡沙丘和海岸沙席等沙丘类型(张文开,1997)。其中,海岸沙席(沙坪或平沙地)即一个较宽广平坦或微波起伏的风沙堆积区域,是一种常见的沙丘形态(吴正等,1995),平潭岛南部山岐宫是典型分布之一(图 1-b)。山岐宫海岸沙席平面形态呈似半弧形,长约 1 000 m、最宽达 200 m,海岸沙席按其形态划分为沙席前缘、沙席中部及沙席后缘,海岸沙席后缘为人工种植の木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)防护林(杨林等,2017b)。该岛属亚热带海洋性季风气候,年均温约 19.5℃,年均降水量约 1 100 mm。年均风速高达 4.8 m/s,每年除 3—6 月以 SSW 风向为主外,其余各月的盛行风向均为 NNE 向。大风日数多、台风影响大。海岸沙丘类型与形态的典型性和受台风影响的代表性,加之受人为干扰相对较小,使得平潭岛成为中国研究海岸沙丘对台风响应的理想区域之一(董玉祥等,

2016b)。

1.2 台风概况

2014—2016 年登陆中国沿海的台风数量较多,但对福建平潭岛有较大影响的台风分别为 2014 年的“麦德姆”、2015 年的“苏迪罗”“杜鹃”、2016 年的“尼伯特”“莫兰蒂”“鲇鱼”,对应台风期间平潭岛气象站记录的极大风速分别为 24.9、36.30、21.5、21.1、22.0、35.5 m/s,主风向为北风。除台风“莫兰蒂”外,其余 5 个台风均先在台湾岛登陆(特别是台风“尼伯特”登陆时为超强台风,最大风力达到 16 级),随后在福建沿海二次登陆(表 1)。

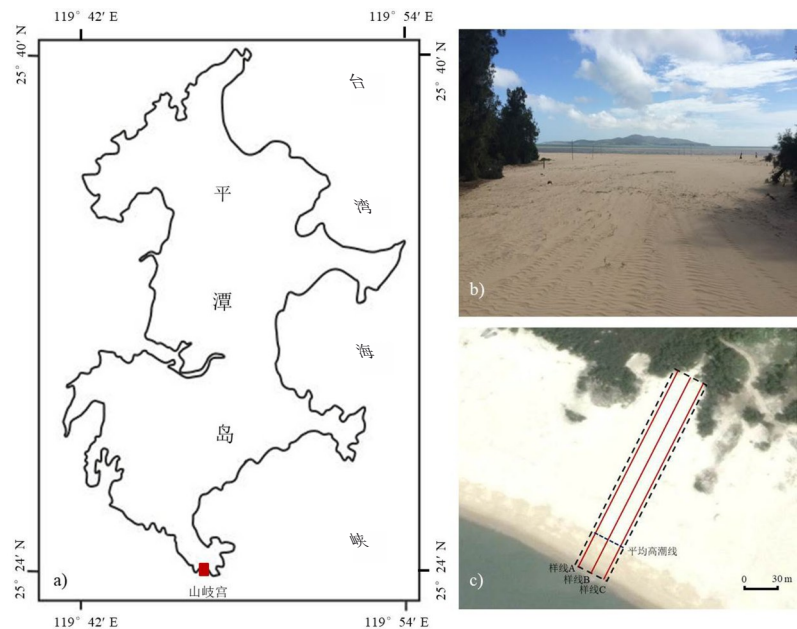


图1 平潭岛海岸沙席观测样区位置示意图及景观图

Fig.1 Overview of typhoons affecting Pingtan Island from 2014 to 2016

表1 2014—2016 年影响平潭岛的台风概况

Table 1 Overview of the three typhoons from 2014 to 2016 in Pingtan Island

年份	台风	台风生成时间、地点	登陆			
			登陆时间	登陆地点	强度	消亡时间
2014 年	麦德姆 (T201410)	7 月 18 日 T 02:00 在菲律宾以东的西北太平洋面上生成	7 月 23 日	台湾台东 福建福清	强台风 热带风暴	7 月 25 日
2015 年	苏迪罗 (T201510)	8 月 2 日 T 02:00 由热带风暴级加强为强热带风暴级	8 月 8 日	台湾花莲 福建莆田	强台风 台风	8 月 10 日
	杜鹃 (T201521)	9 月 23 日 T 02:00 在西北太平洋面上生成	9 月 28 日 9 月 29 日	台湾宜兰 福建莆田	强台风 台风	9 月 29 日
	尼伯特 (T201601)	7 月 3 日 T 08:00 在西北太平洋面上生成	7 月 8 日 7 月 9 日	台湾台东 福建石狮	超强台风 热带风暴	7 月 10 日
2016 年	莫兰蒂 (T201614)	9 月 3 日 T 08:00 在西北太平洋面上生成,之后向西偏北方向移动	9 月 15 日	厦门翔安	强台风	9 月 16 日
	鲇鱼(T201617)	9 月 23 日 T 08:00 在西北太平洋面上生成	9 月 27 日	台湾莲花 福建惠安	强台风 台风	9 月 29 日

2 研究方法

依据海岸沙席的形态特征选择典型区段设立一个约160 m×30 m的观测样区(图1-c)。该观测样区的海滩坡度相对较陡,海岸沙席高程向陆逐渐升高。样区内基于观测点位的均匀性设立了190个形态变化高精度测点,其中海岸沙席174个测点(海滩16个测点只作为参考点,不计算分析),并设立了3条观测样线(A、B、C)以表征海岸沙席形态断面的变化(由于3条样线观测结果变化几乎一致,受论文篇幅等限制,在结果分析部分选择样线B作为代表)。

采用多站差分RTK GPS技术进行观测样区形态变化测量(南方测绘,灵锐S86C),该测量精度可达到1~2 cm(黄德全等,2007)。应用RTK GPS精确导航功能,在2014-07-16—2017-07-28期间按所设测点进行16次重复定点测量。通过对比16次高精度形态观测数据,综合分析海岸沙席在台风作用下的形态变化及台风季后的形态恢复变化特征。

3 结果分析

3.1 台风季的海岸沙席形态变化

在2014年台风季前后(即台风“麦德姆”登陆前后),山岐宫海岸沙席观测样区体积减少了15.50 m³,样区内174个测点高度变化的平均值为0.07 m,高度最大变化值为0.36 m(表2)。样线A、B和C上测点高度变化的平均值分别为0.06、0.06、0.05 m,样线上测点高度最大降低0.32 m、最大升高0.20 m。同时,各样线上不同部位的高程变化趋势基本一致,沙席前缘高度降低,沙席中部高度变化较小,沙席后缘高度略有升高(图2、3)。值得注意的是,在观测样区外木麻黄防护林边缘发现明显的堆积现象(最大堆积高度达1.62 m)。

在2015年台风季前后(即台风“苏迪罗”“杜鹃”登陆前后),海岸沙席观测样区体积减少了140.10 m³,观测样区内测点高度变化的平均值为

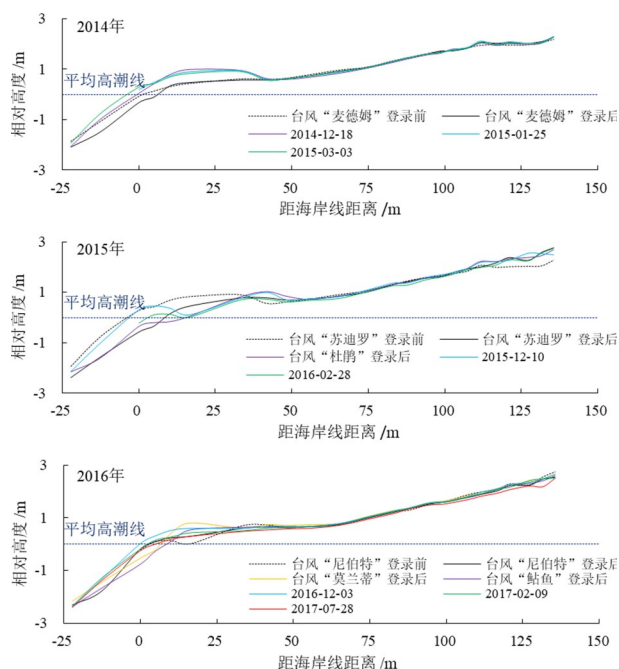


图2 平潭岛海岸沙席观测样线高度变化(样线B)

Fig.2 Height changes of coastal sand sheets along observation profiles in Pingtan Island (Profile B)

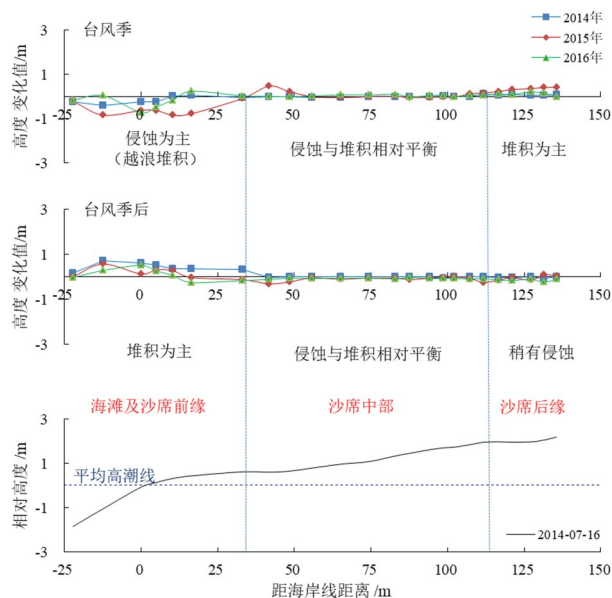


图3 平潭岛海岸沙席观测样线不同部位的相对变化(样线B)

Fig.3 The relative height changes of coastal sand sheets along observation profiles in Pingtan Island (Profile B)

表2 2014—2016年台风季平潭岛海岸沙席观测样区测点高度的变化

Table 2 Height changes among coastal sand sheets in the observation area in the typhoon season during 2014-2016 in Pingtan Island

年份(台风季)	变化范围/m	高度变化均值/m	测点降低数量/个	测点降低平均值/m	测点升高数量/个	测点升高平均值/m
2014	-0.36~0.22	0.07	99	-0.07	75	0.06
2015	-0.92~0.64	0.28	81	-0.32	93	0.25
2016	-0.81~0.75	0.15	98	-0.19	76	0.10

0.28 m,高度最大变化值为0.92 m(见表2)。样线A、B和C上测点高度变化的平均值分别为0.22、0.27、0.31 m,样线上测点高度最大降低0.92 m、

最大升高 0.64 m。同时各样线上, 沙席前缘高度明显降低, 沙席中部高度变化较小 (除在靠近前缘部分有明显堆积外), 沙席后缘高度稍有升高 (见图 2、3)。

在 2016 年台风季前后 (即台风“尼伯特”“莫兰蒂”“鲶鱼”登陆前后), 山岐宫海岸沙席观测样区体积增加了 35.90 m³, 样区内测点高度变化的平均值为 0.15 m, 高度最大变化值为 0.81 m (见表 2)。观测样区内 3 条样线 A、B 和 C 上测点的高度变化的平均值分别为 0.15、0.11、0.18 m, 样线上测点高度最大降低 0.81 m、最大升高 0.75 m。同时, 各样线上沙席前缘高度先降低后升高 (最大堆积厚度 0.75 m), 而沙席中部、后缘高度变化不大 (见图 2、3)。

3.2 台风季后的海岸沙席形态变化

在 2014 年台风季后, 山岐宫海岸沙席观测样区体积减少了 8.30 m³, 观测样区内 174 个测点高度变化的平均值为 0.12 m, 高度最大变化值为 0.61 m (表 3)。观测样区内 3 条样线 A、B 和 C 上测点的高度变化的平均值分别为 0.13、0.12、0.11 m, 样线上测点高度最大降低 0.11 m、最大升高 0.40 m。海岸沙席前缘高度升高明显, 而沙席中部和后缘高度降低幅度极小 (见图 2、3)。

表 3 2014—2016 年台风季后平潭岛海岸沙席观测样区测点高度的变化

Table 3 Height changes among coastal sand sheets in the observation area after the 2014-2016 typhoon season in Pingtan Island

年份(台风季后)	变化范围/m	高度变化均值/m	测点降低		测点升高	
			数量/个	平均值/m	数量/个	平均值/m
2014	-0.09~0.61	0.12	75	-0.03	99	0.19
2015	-0.47~0.78	0.14	125	-0.11	49	0.20
2016	-0.44~0.62	0.16	139	-0.11	35	0.27

在 2015 年台风季后, 山岐宫海岸沙席观测样区体积减少了 128.50 m³, 观测样区内测点高度变化的平均值为 0.14 m, 高度最大变化值为 0.78 m (见表 3)。观测样区内 3 条样线 A、B 和 C 上测点的高度变化的平均值分别为 0.21、0.12、0.19 m, 样线上测点高度最大降低 0.47 m、最大升高 0.78 m。海岸沙席前缘高度稍有升高, 而沙席中部降低幅度极小、沙席后缘高度稍有降低 (见图 2-3)。

在 2016 年台风季后, 山岐宫海岸沙席观测样区

体积减少了 190.90 m³, 观测样区内测点高度变化的平均值为 0.14 m, 高度最大变化值为 0.62 m (见表 3)。观测样区内 3 条样线 A、B 和 C 上测点的高度变化的平均值分别为 0.15、0.13、0.13 m, 样线上测点高度最大降低 0.43 m、最大升高 0.62 m。海岸沙席前缘高度升高明显, 而沙席中部降低幅度极小、沙席后缘高度稍有降低 (见图 2、3)。

对比 2014—2017 年观测周期的首末数据, 山岐宫海岸沙席观测样区体积减少了 28.20 m³, 其平均高潮线 (即海岸线) 向陆推移 4.0~5.0 m。观测样区内测点高度变化的平均值为 0.16 m, 高度最大变化值为 0.66 m。观测样区内 3 条样线 A、B 和 C 上测点的高度变化的平均值分别为 0.16、0.17、0.22 m, 样线上测点高度最大降低 0.57 m、最大升高 0.45 m。沙席前缘至沙席中部高度稍有降低, 而沙席后缘高度略有升高 (见图 2、3)。

4 讨论

4.1 台风季海岸沙席形态变化

在台风季, 海岸沙席对台风的形态响应特征明显, 基本表现为海滩及沙席前缘高度降低 (侵蚀为主)、沙席中部高度变化相对较小 (侵蚀与堆积相对平衡)、沙席后缘高度稍有升高 (堆积为主)。已有研究表明, 海岸沙丘形态对台风响应特征是台风强度、台风数量、海滩类型、沙丘原形态、植被盖度及周边环境共同作用的结果 (董玉祥等, 2016a; 杨林等, 2018; 2020)。受台风影响, 平潭岛上的风力极大, 其强烈的侵蚀与搬运能力致使海岸沙丘形态变化明显 (Wang et al., 2006; Angnuureng et al., 2017; 杨林等, 2020)。山岐宫海岸沙席附近的海滩虽较陡 (反射型), 但其海岸整体平坦且较为宽阔, 海岸沙席前缘在台风及其引起的台风风暴潮的共同侵蚀作用下高度降低, 当风暴潮浪高过大时沙席前缘容易形成越浪堆积 (Wang et al., 2007), 该结果与国内外海滩及沙丘前缘对台风 (风暴或飓风) 响应类似 (Claudino-Sales et al., 2008; 2010; Priestas et al., 2010; 童宵岭等, 2014; Pye et al., 2016; 杨林等, 2017b), 但因为不同台风及其引起的风暴潮大小有差异, 致使越浪侵蚀与堆积强度及其分布在沙席前缘部位置均有变化 (见图 2-3), 其强度与极大风速成正比 (如 2015 年台风“苏迪罗”登陆时, 平潭岛极大风速达到 36.30 m/s, 造成沙席

前缘侵蚀深度平均超 0.50 m, 越浪侵蚀与堆积的断面分布距离超过 40 m)。向岸风在向陆继续推进过程中因受逐步升高地势的影响使风速逐渐降低, 特别是受沙席后缘木麻黄防护林地的阻挡风速急剧下降, 风力作用也从沙席前缘以侵蚀为主, 逐渐转变为沙席中部的侵蚀和堆积相对平衡, 以致到沙席后缘以堆积为主 (杨林等, 2017b)。

4.2 台风季后海岸沙席形态恢复变化

在台风季后, 海岸沙席形态恢复变化也较为一致, 主要表现为体积减少, 沙席前缘的形态逐渐恢复升高 (堆积为主), 沙席中部的高度降低幅度极小 (侵蚀与堆积相对平衡), 沙席后缘略有降低 (稍有侵蚀) (见图 3)。该观测结果不同于已有研究发现, 台风季后平潭岛长江澳海岸横向沙丘、白犬山爬坡沙丘形态恢复变化特征以体积增加、沙丘高度增加为主 (杨林等, 2018; 2020)。究其原因, 丰富的海滩沙源和强劲的向岸风是台风过后沙丘形态恢复的 2 个决定性因素 (杨林等, 2020), 而季风区区域海岸盛行主风向相对固定, 所以海岸沙丘所在盛行向岸风还是离岸风主要受海岸线走向影响。平潭岛的盛行风 (NNE 向) 是长江澳海岸横向沙丘、白犬山爬坡沙丘的向岸风, 但却是山岐宫海岸沙席的离岸风, 加上木麻黄防护林的阻挡, 山岐宫海岸沙席离岸风速较小, 难以起沙。所以沙席前缘的形态恢复主要依靠波浪携带附近海岸海滩沙物质并在其频率较低的 SSW 风 (向岸风) 作用下逐渐恢复升高。由于海滩沙源供应不足, 向岸风较弱, 观测样区沉积物总体积变化虽不大, 但海滩及沙席前缘部位沙物质的总体积处于亏损状态, 以致台风及其风暴潮的侵蚀造成的海岸沙席前缘高度降低在台风季后难以恢复到台风登陆之前的状态, 在多个台风共同叠加影响下致使山岐宫沙席所处海岸线后退明显 (4.0~5.0 m)。综上所述, 海岸线走向是影响区域海岸沙丘对台风响应的重要因素, 对于沙源不足、以离岸风为主的山岐宫海岸沙席, 台风在其海岸沙席形态演变中的塑造作用突出。

5 结论

通过对 2014—2017 年台风季前后福建平潭岛山岐宫海岸沙席连续 16 次形态观测数据的分析与讨论, 得出以下结论:

1) 海岸沙席对台风的形态响应特征明显, 基

本表现为海滩及沙席前缘高度降低 (侵蚀为主)、沙席中部高度变化相对较小 (侵蚀与堆积相对平衡)、沙席后缘高度稍有升高 (堆积为主)。

2) 在台风季后, 海岸沙席形态恢复变化也较为一致, 主要表现为体积减少, 沙席前缘的形态逐渐恢复升高 (堆积为主), 沙席中部的高度降低幅度极小 (侵蚀与堆积相对平衡), 沙席后缘略有降低 (稍有侵蚀)。

3) 海岸线走向是影响区域海岸沙丘对台风响应的重要因素, 对于沙源不足, 以离岸风为主的山岐宫海岸沙席, 台风在其海岸沙席形态演变中的塑造作用突出。

参考文献 (References):

- Angnuureng D B, Almar R, Senechal N, Castelle B, Addo K A, Marieu V and Ranasinghe R. 2017. Shoreline Resilience to Individual Storms and Storm Clusters on a Meso-Macrotidal Barred Beach. *Geomorphology*, 290: 265-276.
- Brenner O T, Lentz E E, Hapke C J, Henderson R E, Wilson K E and Nelson T R. 2018. Characterizing Storm Response and Recovery Using the Beach Change Envelope: Fire Island, New York. *Geomorphology*, 300: 189-202.
- Castelle B, Marieu V, Bujan S, Splinter K D, Robinet A, Sénéchal N and Ferreira S. 2015. Impact of the Winter 2013-2014 Series of Severe Western Europe Storms on a Double-Barred Sandy Coast: Beach and Dune Erosion and Megacusp Embayments. *Geomorphology*, 238: 135-148.
- Claudino-Sales V, Wang P and Horwitz M H. 2008. Factors Controlling the Survival of Coastal Dunes during Multiple Hurricane Impacts in 2004 and 2005: Santa Rosa Barrier Island, Florida. *Geomorphology*, 95(3): 295-315.
- Claudino-Sales V, Wang P and Horwitz M H. 2010. Effect of Hurricane Ivan on Coastal Dunes of Santa Rosa Barrier Island, Florida: Characterized on the Basis of Pre-and Poststorm LIDAR Surveys. *Journal of Coastal Research*, 26 (3), 470-484.
- 董玉祥, 杜建会. 2014. 海岸风沙地貌台风响应研究的现状与趋势. 中国沙漠, 34 (3): 634-638. [Dong Yuxiang and Du Jianhui. 2014. Review on the Typhoon Effect on Coastal Aeolian Landform. *Journal of Desert Research*, 34(3): 634-638.]
- 董玉祥, 黄德全, 张雪琴. 2016a. 海岸沙丘形态对台风响应的初步观测. 地理研究, 35 (10): 1925-1934. [Dong Yuxiang, Huang Dequan and Zhang Xueqin. 2016a. Preliminary Observation of Morphological Responses to Typhoon of Coastal Dunes. *Geographical Research*, 35(10): 1925-1934.]
- 董玉祥, 黄德全, 张雪琴. 2016b. 海岸爬坡沙丘形态对台风响应——以 2014 年“麦德姆”台风为例. 中国沙漠, 36 (4): 865-

870. [Dong Yuxiang, Huang Dequan and Zhang Xueqin. 2016b. Observation of Morphological Responses of a Coastal Climbing Dune to Typhoon. *Journal of Desert Research*, 36(4): 865-870.]
- 黄德全, 董玉祥, 哈斯, 马骏. 2007. 多站差分 RTK GPS 技术在海岸风沙观测中的应用. 中山大学学报 (自然科学版), 46 (4): 121-124. [Huang Dequan, Dong Yuxiang, Hasi and Ma Jun. 2007. The Application of Multi-Station RTK GPS in the Measurement of Coastal Dune. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 46(4): 121-124.]
- Houser C and Hamilton S. 2009. Sensitivity of Post-Hurricane Beach and Dune Recovery to Event Frequency. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(5): 613-628.
- Nordstrom K F and Psuty N. 1990. *Coastal Dunes: Form and Process*. Chichester: Wiley, 1-339.
- Priestas A M and Fagherazzi S. 2010. Morphological Barrier Island Changes and Recovery of Dunes after Hurricane Dennis, St. George Island, Florida. *Geomorphology*, 114: 614-626.
- Pye K and Blott S J. 2016. Assessment of Beach and Dune Erosion and Accretion Using LiDAR: Impact of the Stormy 2013-14 Winter and Longer Term Trends on the Sefton Coast, UK. *Geomorphology*, 266: 146-167.
- Suarez S, Cariolet J M, Cancouët R, Ardhuin F and Delacourt C. 2012. Dune Recovery after Storm Erosion on a High-Energy Beach: Vougot Beach, Brittany (France). *Geomorphology*, 139: 16-33.
- 童宵岭, 时连强, 夏小明, 程林, 姜呈浩. 2014. 1211 号台风对浙江象山皇城海滩剖面的影响分析. 海洋工程, 32 (1): 84-90. [Tong Xiaoling, Shi Lianqian, Xia Xiaoming, Chen Lin and Jiang Chenghao. 2014. Response of Sedimentary and Geomorphic Characteristics to 1211 Typhoon on Zhejiang Hunagchegn Beach. *The Ocean Engineering*, 32(1): 84-90.]
- Wang P and Horwitz M H. 2007. Erosional and Depositional Characteristics of Regional Overwash Deposits Caused by Multiple Hurricanes. *Sedimentology*, 54(3): 545-564.
- Wang P, Kirby J H, Haber J D and Vallée M. 2006. Morphological and Sedimentological Impacts of Hurricane Ivan and Immediate Poststorm Beach Recovery along the Northwestern Florida Barrier-Island Coasts. *Journal of Coastal Research*, 22(6): 1382-1402.
- Wernette P, Houser, C, Lehner, J, Evans A and Weymer B. 2020. Investigating the Impact of Hurricane Harvey and Driving on Beach-Dune Morphology. *Geomorphology*, 358: 107-119.
- 吴正, 黄山, 胡守真. 1995. 华南海岸风沙地貌研究. 北京: 科学出版社. [Wu Zheng, Huang Shan and Hu Shouzheng. 1995. *Research on the Landforms of the Wind Drift Sand in South China Coast*. Beijing: Science Press.]
- Yang L, Dong Y and Huang D. 2018. Morphological Response of Coastal Dunes to a Group of Three Typhoons on Pingtan Island, China. *Aeolian Research*, 32: 210-217.
- 杨林, 董玉祥, 杜建会. 2017a. 海岸沙丘对风暴响应研究进展. 地球科学进展, 32 (7): 716-722. [Yang Lin, Dong Yuxiang and Du Jianhui. 2017a. Research Progress of Coastal Dunes Response to Storm. *Advances in Earth Science*, 32(7): 716-722.]
- 杨林, 董玉祥, 黄德全, 张雪琴, 杜建会. 2017b. 海岸沙席形态及近表层沉积物粒度对台风的响应. 地理科学, 37 (8): 1243-1250. [Yang Lin, Dong Yuxiang, Huang Dequan, Zhang Xueqin and Du Jianhui. 2017b. Morphology and Grain Size of the Near Surface Sediment over Coastal Sand Sheet Response to Typhoon. *Scientia Geographica Sinica*, 37(8): 1243-1250.]
- 杨林, 董玉祥, 黄德全, 黄尚武, 李家会. 2018. 台风“麦德姆”后海岸横向沙丘年内形态变化的观测. 中国沙漠, 38 (6): 1136-1143. [Yang Lin, Dong Yuxiang, Huang Dequan, Huang Shangwu and Li Jiahui. 2018. Morphological Change of Coastal Transverse Dune in Pingtan Island of China after Typhoon Matmo. *Journal of Desert Research*, 38(6): 1136-1143.]
- 杨林, 董玉祥, 黄德全. 2020. 台风群后海岸爬坡沙丘形态变化特征. 中国沙漠, 40 (2): 1-8. [Yang Lin, Dong Yuxiang and Huang Dequan. 2020. Morphological Change of Coastal Climbing Dunes in Pingtan Island of China after Typhoon Group. *Journal of Desert Research*, 40(2): 1-8.]
- 张文开. 1997. 海坛岛风成沙基本特征及其开发利用意义. 中国沙漠, 17 (2): 138-143. [Zhang Wenkai. 1997. The Main Characteristics and the Significance of the Exploitation, Utilization of Aeolian sands in Haitan island, Fujian Province. *Journal of Desert Research*, 17(2): 138-143.]

Morphological Response of Coastal Sand Sheets to Typhoons

Yang Lin^{1,2}, Dong Yuxiang^{2,3} and Huang Dequan²

(1. College of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China; 2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Department of Resources and Urban Planning, Guangzhou Xinhua University, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Typhoons, as essential influential factors for the formation and evolution of coastal dunes, are one of the most important aspects of surf zone-beach-dune interaction research. Pingtan Island is located on the eastern coast of Fujian Province, China, and preserves a typical type of coastal dunes on China's coastline. These dunes are well-known for their typical shape, volume, and limited human disturbance. Pingtan Island suffers frequent, unavoidable damage from typhoons, and was therefore selected as the study site for this research. Field investigations were conducted on the island before and after typhoon events, by using high-precision RTK GPS technology and surveying methods. The field site was visited 16 times between 2014 and 2017. We analyzed the morphological responses of coastal sand sheets to typhoons, and the related morphological changes. Finally, we summarized the morphological response patterns of coastal sand sheets to typhoons. This study is of great importance for comprehensively understanding the morphological evolution of coastal dunes, which is fundamental for effective coastal planning and management. The following results were obtained: (1) The typhoon imposed significant morphological changes on coastal sand sheets, which can be summarized as a decrease in the height of the beach and frontal coastal sand sheets (maximum erosional depth of 0.92 m), minor variations in the height of coastal sand sheets at middle sites (≤ 0.15 m), and a slight increase in the height of coastal sand sheets at the trailing edge (maximum accumulation thickness of 0.75 m). (2) After the typhoon season, the morphological changes in coastal sand sheets are more consistent, and they mainly manifest as a decrease in volume and a slight increase in the height of the beach and frontal coastal sand sheets (maximum accumulation thickness of 0.78 m). There was a very slight decrease in the height of the middle coastal sand sheets (≤ 0.10 m), and a slight decrease in height at trailing edge of the coastal sand sheets (maximum erosion depth of 0.47 m). (3) Coastline direction is an important factor that affects the response of regional coastal dunes to typhoons. At sites that lack sand resources and experience dominantly offshore wind, typhoons play a prominent role in frontal coastal sand sheet erosion, and can result in a receding coastline (up to 4.0-5.0 m).

Keywords: coastal sand sheet; typhoon; morphological change; trend of the coastline; Pingtan Island