

杨林.海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究现状与展望[J].中国沙漠,2022,42(1):108-113.

海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应 研究现状与展望

杨 林

(韶关学院 旅游与地理学院, 广东 韶关 512005)

摘要: 海岸沙丘形态变化及其动力学过程是认识和研究海岸风沙地貌的基础。中国海岸沙丘受季风和台风共同驱动,但梳理总结海岸沙丘形态对季风/台风的响应研究、海岸沙丘形态-动力学过程研究及其技术和方法等发现,现有研究对中国海岸沙丘受季风/台风协同驱动的特点认识不足,对季风和台风的影响分别进行研究,与海岸沙丘形成与演化过程并不相符,季风和台风在沙丘形态发育与演变过程中的主次作用亦未知。据此现状,提出了当前开展国内海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究紧迫性和亟需解决的问题。

关键词: 海岸沙丘; 形态-动力学; 季风; 台风

文章编号: 1000-694X(2022)01-108-06

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00124

中图分类号: P931.3

文献标志码: A

0 引言

海岸沙丘是沙质海岸带广泛发育的一种地貌类型,以向岸风强劲和沙源丰富的地段发育最完好,反映了陆地、海洋、大气三者之间的相互作用^[1-2]。海岸沙丘在国际上是最早引起关注的风沙地貌,而国内的海岸沙丘研究却被长期忽视^[3],直到20世纪80年代才开始起步并得以持续发展^[4-5],目前已在海岸沙丘的类型与分布^[6-7]、海岸沙丘形成与发育模式^[8-9]、海岸沙丘沉积特征及其环境^[10-14]、海岸风沙观测与模拟^[15-16]、海岸沙丘岩^[17-19]与老红砂^[20-22]、海岸风沙危害及防治^[23-24]等方面取得了大量研究成果,填补了该领域的空白,也与国际海岸沙丘研究差距逐步缩小。

海岸沙丘形成与演化的动力学过程主要受风况、沙源供应度以及干季与季风同步3个因素的控制^[2]。其中,风况是沙丘形成的动力条件,决定了海岸风沙地貌的形态特征、空间组合特征和演化过程,同时,沙丘表面的风沙运动则是控制沙丘形态演化和移动方式的基本动力过程^[25]。因此,海岸沙丘形态变化及其动力学过程是认识和研究海岸风沙地貌的基础。在21世纪,随着新技术、新手段的

应用,作为海岸风沙地貌研究重点的海岸沙丘形态-动力学也得到了迅速发展。中国海岸带不仅深受东亚季风影响,且每年台风(风暴)频繁登陆,致使中国海岸沙丘除了具有全球海岸沙丘的共性,还存在东亚季风/台风协同驱动下的海岸沙丘形成与演变的独特性^[26]。但已有海岸沙丘形态-动力学研究大多仅涉及单一风动力因子,与海岸沙丘形成与演化过程并不相符。因此,有必要就海岸沙丘形态对季风/台风的响应研究、海岸沙丘形态-动力学过程研究及其技术和方法等进行梳理总结,以期在今后开展海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究提供借鉴,完善中国海岸风沙地貌研究内容体系,提升海岸沙丘研究水平。

1 海岸沙丘形态对季风/台风响应研究

海岸沙丘形态变化是海岸风沙地貌研究的基本内容,目前已有学者对英国^[27]、波罗的海^[28]、地中海^[29]、南非^[30]、北美洲^[31]、南美洲^[32]、澳大利亚^[33]、中国^[34-35]等地海岸沙丘形态年度(季节)变化进行了观测研究,包括海岸前丘、新月形沙丘与抛物线沙丘等类型。相比国外,海岸沙丘形态季风响应是国内

收稿日期:2021-09-03; 改回日期:2021-09-20

资助项目:国家自然科学基金项目(42101008);韶关学院校级科研项目(SY2018KJ01)

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

海岸风沙地貌研究的特色。海岸沙丘形态对风暴响应研究是21世纪国际海岸风沙地貌研究重点之一^[36],为了追踪学科发展前沿,近年来国内海岸沙丘研究从其形成于海、陆、气交互作用的动力环境这一根本特征出发,突破之前基本按照内陆风沙地貌范式研究海岸沙丘的状况,将其与大气、波浪、海滩联系起来进行综合研究,开展了华南海岸沙丘的台风响应模式研究,分析了不同类型海岸沙丘形态对台风响应的差异及其机理^[37]。

1.1 海岸沙丘形态对季风响应研究

在季风区海岸,风向季节变化使向岸风与离岸风交替出现,导致海岸沙丘形态发生季节变化。海岸沙丘形态的季风响应主要在研究沙丘形态的周年变化中给予了充分关注^[34-35,38-41],如河北昌黎黄金海岸,风向季节变化较大,夏、秋季期间为常风向WSW风(离岸风),冬、春季期间为强风向NE、E风和ENE风(向岸风)。海岸横向沙脊的形态季节变化十分明显,横向沙脊脊顶和背风坡脚夏秋季东移(向海)、冬春季节西移(向陆),脊顶总体向西移动(向陆),脊顶年均最大移动距1.83 m,而背风坡脚只有0.16 m;脊顶高程夏秋季降低、冬春季升高,强风向的向岸风与常风向的离岸风之间的风速差异导致在强风向主导作用下沙丘及其顶部逐渐向陆西移^[34];新月形沙丘的移动与形态变化随季节具有往复前进方式向陆慢速移动中沙丘加积增长的特点,其往复前进的移动方式则为季风区域所特有,在向岸风与离岸风的相向、共同作用下,受强风向风力主导作用才引起海岸新月形沙丘一直处于加积状态,致使新月形沙丘高度升高、长度与宽度增加、断面面积与体积扩大^[39]。福建海岸风沙活动主要在冬季风较强时期,冬季风强度对其海岸沙丘形态发育影响明显^[42]。越南美奈(Mui Ne)海岸横向沙丘形态对季风响应表现为“振荡运动”,但在冬季风(NE)主导下,其海岸沙丘整体以年均0.6—2.5 m的速率逐渐向WSW移动^[43]。Tamura等^[43]也研究了日本鸟取(Tottori)海岸横向沙脊在过去500年的演化过程,发现其海岸沙丘形态发育过程主要受东亚季风控制。

1.2 海岸沙丘形态对台风响应研究

台风(国外称飓风或风暴)作为海岸沙丘形成演变的一个高能影响因子,能造成海岸沙丘形态的

急剧、快速变化,对此已取得普遍共识^[44-50]。如福建平潭岛海岸沙丘形态在强台风“麦德姆”(T201410)登陆后变化较大且主要以体积减小和沙丘高度降低为主,其观测样区沙丘体积平均减少0.59%,测点平均高度减低0.05 m,但海岸前丘、海岸爬坡沙丘、海岸横向沙丘等类型沙丘其不同部位对台风响应变化存在较大差异^[37]。海岸沙席对台风的形态响应也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)^[49]。Yang等^[50]基于2016年夏季台风“尼伯特”“莫兰蒂”“鲇鱼”组成的一个台风群(系列)登陆前后平潭岛海岸沙丘形态观测数据,发现海岸沙丘形态对台风群的响应虽明显,但不同类型海岸沙丘形态对台风群响应中均未见累积效应。海岸沙丘形态对台风响应机制是多要素相互作用的结果,其影响因素主要有台风参数(强度、持续时间、频率)、风暴潮(高度、方向)、沙丘原形态及其组合特征、植被、沙源供给、海岸线走向、海平面高度等^[47-52]。此外,Stockdon等^[53]修订完善了海滩-沙丘对风暴响应的4种模式:①冲刷模式(swash),风暴潮最大浪高没有达到海岸前丘坡脚,仅造成海滩侵蚀;②冲蚀模式(collison),风暴潮最大浪高在海岸前丘坡脚与丘顶高度之间,造成海岸前丘侵蚀;③越浪模式(overwash),风暴潮最大浪高超过海岸前丘顶部,导致风沙沉积物向陆搬移,形成越浪冲积扇;④漫滩模式(inundation),风暴潮水位高于海岸沙丘,淹没整个沙丘。

2 海岸沙丘形态-动力学过程研究

2.1 气流模式

沙丘形态变化并非对区域风况的简单响应,而是沙丘形态与近地层气流的复杂相互作用,沙丘地形会改变近地层气流发展,反之,近地层气流也影响沙丘动态变化及发育过程^[54]。海岸沙丘分布区域差异巨大、形态复杂多样^[7,55],沙丘表面气流存在速度和方向的脉动,进一步增加了海岸沙丘形态-动力过程研究的难度。已有海岸横向沙丘表面气流运动观测结果显示,横向沙丘表面气流基本上遵从迎风坡面气流加速与背风坡面减速的模式,但横向沙丘表面气流速度变化不仅与沙丘高度有关,还与沙丘表面的坡度及其变化有关^[15,56-57]。另

外,海岸抛物线沙丘近地表气流观测表明,至少有4种气流结构分布于抛物线沙丘的不同部位,包括沙脊部位的射流、迎风坡部位的封闭涡流、背风坡部位的封闭涡流和处于迎风侧面与背风侧面间的螺旋涡流^[58]。Hesp^[59]对澳大利亚海岸槽型风蚀坑气流进行观测,发现当气流平行于风蚀坑轴进入坑体时,气流在坑底和侧壁加速,风速廓线明显不符合对数分布,气流在积沙区背风坡分流并减速;在斜向入风条件下,气流在风蚀坑内发生明显偏转,形成大的漩涡流。近地层气流是研究海岸风沙地貌形成与演化的基础,但已有研究偏重于单个沙丘表面气流,对沙丘之间气流相互作用及沙丘形态影响重视不足。

2.2 风沙输移

海岸沙丘沙粒的起动风速主要取决于海滩沙粒粒径和水分含量,形成风沙流的初始风速明显高于内陆沙漠,相同风速下的输沙率也明显小于内陆沙漠地区^[60]。海岸沙丘表面不同部位输沙率变化明显,一般是从迎风坡脚向迎风坡上部逐渐增加,然后在沙丘脊顶部位沉积,但强风条件下输沙率在迎风坡下部急剧增加^[15]。海岸横向沙脊表面风沙流中的沙尘物质浓度或质量在0—40 cm高度内随高度递减并符合指数分布,在20—60 cm高度内符合幂函数分布,40—60 cm高度内输沙量与高度之间则为多项式函数关系,这主要与不同高度的沙尘粒径大小及其运动方式的差异有关^[61-62];海岸横向沙脊表面风沙流结构受风速与总输沙量的影响较大,随风速增大(或总输沙量的增加),风沙流下层输沙量相对减少,上层则相应增加^[63-65]。不同地区海岸沙丘风沙流输沙率有较大区域差异,除海岸植被、地表起伏程度、沙物质含水量等对其有影响外,更主要的是风速,特别是低频率的大风在一些地区海岸沙丘风沙输沙率中起着主导作用,故沿用依据平均风速状况计算输沙率会造成较大误差^[66-68]。

3 海岸沙丘形态-动力学研究方法

野外观测是风沙地貌形态-动力学研究的最基本方法,也是数值模拟研究的基础,海岸沙丘形态-动力研究最精确可靠的方法就是野外实地测量^[45]。随着现代技术的发展,高分辨率、可实时观测的仪器设备在海岸沙丘形态野外观测中逐渐得到应用,研究手段从传统的插竿、航片影像、全站仪发展更

新到激光雷达(LIDAR)、RTK GPS、三维激光扫描仪(TLS)、立体摄像和无人机影像等新技术^[45,69],为海岸沙丘形态获取高精度、高分辨率数据提供了新途径^[70-72]。与此同时,海岸沙丘近地层气流观测手段从早期的手持风速仪发展到风速廓线仪、二维超声风速仪和三维超声风速仪等^[25]。虽然地表气流方向与风向一样对海岸沙丘风沙运动、形态演化过程具有重要意义,但由于技术、安装等问题,目前主要还是通过飘带法、烟雾法等进行沙丘表面气流方向的定性观测^[73]。海岸沙丘表面风沙流观测仪器包括集沙仪和碰撞传感器,其中被动式集沙仪使用最为广泛^[74-76]。随着计算机技术的发展,数值模拟方法在观测研究的基础上取得了快速发展,包括XBeach海岸动力学数值模型^[77]、计算流体动力学(CFD)模型^[78]、元胞自动机动力学模型^[79]等,但模拟的时空尺度不能很好代表野外海岸沙丘地貌发育的真实尺度^[54],成为限制海岸风沙地貌学数值模型发展的瓶颈。

4 海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究展望

综上所述,海岸沙丘形态-动力学研究取得了显著研究进展,对认识海岸沙丘形成发育规律及海岸沙害治理提供了宝贵的科学材料和认知线索。然而,现有研究对中国海岸沙丘受季风/台风协同驱动的特点认识不足,对季风和台风的影响分别进行研究,与海岸沙丘形成与演化过程并不相符,季风和台风在其沙丘形态发育与演变过程中的主次作用亦未知。同时,由于海岸带高强度开发和造林改造,保留原始自然状态的海岸沙丘逐渐稀缺。笔者在2015—2019年对中国海岸带踏勘发现,目前仅在河北昌黎黄金海岸自然保护区和福建平潭等地存有自然状态的海岸沙丘。因此,为了立足国际学术研究前沿,亟需开展中国海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究,探讨季风/台风对海岸沙丘形态演变的协同驱动机制,确定季风和台风在海岸沙丘形态发育与演变过程中的作用特征,揭示中国海岸沙丘的形态发育和演化规律。

由此,建议近期在风向季节变化大、台风登陆频繁、海岸沙丘分布广泛的福建海岸选择典型区域,开展海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应研究。首先,研究该区域海岸风况的总体时空变化特征,包括季风与台风的风速风向特征(多年平均和

年内分布等规律性),风向和风速的配置和组合规律,干季与风季同步问题,及利用海岸沙丘近地表观测风速风向资料与气象台站观测资料,建立长时间序列的风速风向关系。其次,采用遥感影像解译和野外高频延时摄影等高精度实地测量相结合的方式,分析研究该区域海岸沙丘形态在不同季节和台风前后的时空变化特征,建立海岸沙丘三维数字高程模型(DEM)动态变化过程,探究海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应特征。同时,利用自动气象观测、全自动积沙仪和风蚀传感器等仪器设备,进行高频气流、环境参数、海岸风沙输移的高精度长期固定协同观测,获取长期季风参数和高精度的台风参数数据,掌握与气流同步的高频风沙传输特征,结合同时期的沙丘形态变化参数和波浪参数,建立之间的相互关系与模式。最后,结合海滩沙源、台风风暴潮、海滩-沙丘表面风沙过程等观测大样本、大数据,从海岸沙丘形成于海、陆、气交互作用的动力环境这一根本特征出发,将其与大气、波浪、海滩联系起来综合考虑。通过对海岸沙丘形态对季风/台风的协同响应综合、系统分析与总结,探明季风/台风对海岸沙丘形态演变的协同驱动机制,定量辨识季风和台风在不同类型海岸沙丘形态发育与演变过程中的作用主次,揭示海岸沙丘形态发育和演化规律,为海岸风沙危害防治提供理论支撑,弥补中国海岸沙丘形态-动力学研究之不足。

致谢:感谢中山大学董玉祥教授和两位审稿人提出的建设性意见。

参考文献:

- [1] Short A D, Hesp P A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia [J]. *Marine Geology*, 1982, 48 (3): 259-284.
- [2] 吴正,黄山,胡守真,等.华南海岸风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1995.
- [3] 董治宝,吕萍.70年来中国风沙地貌学的发展[J].*地理学报*, 2020, 75(3): 509-528.
- [4] 吴正,吴克刚.中国海岸风沙研究的进展和问题[J].*地理科学*, 1990, 10(3): 230-236, 291.
- [5] 董玉祥.中国的海岸风沙研究:进展与展望[J].*地理科学进展*, 2006, 25(2): 26-35.
- [6] 董玉祥.中国温带海岸沙丘分类系统初步探讨[J].*中国沙漠*, 2000, 20(2): 58-64.
- [7] 董玉祥.中国海岸风沙地貌的类型及其分布规律[J].*海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(4): 99-104.
- [8] 李志文,李保生,王丰年.海岸沙丘发育机制之研究现状述评[J].*中国沙漠*, 2011, 31(2): 357-366.
- [9] 董玉祥.波浪-海滩-沙丘相互作用模式研究述评[J].*中国沙漠*, 2010, 30(4): 796-800.
- [10] 龙黎,董玉祥,孙忠.海岸沙丘表面现代风成沙地球化学元素分异的典型研究[J].*沉积学报*, 2012, 30(4): 724-730.
- [11] 唐丽,董玉祥.华南海岸现代风成沙与海滩沙的粒度特征差异[J].*中国沙漠*, 2015, 35(1): 14-23.
- [12] 赖海成,李志忠,靳建辉,等.基于GPR图像的福建海坛岛北部海岸冲积扇沉积构造及其成因的初步研究[J].*沉积学报*, 2016, 34(4): 645-652.
- [13] 靳建辉,李志忠,胡凡根,等.全新世中晚期福建海岸沙丘记录的海岸环境与人类活动[J].*地理学报*, 2015, 70(5): 751-765.
- [14] 张文静,李志忠,靳建辉,等.海南岛东北海岸风沙沉积的光释光年代学意义[J].*沉积学报*, 2021, 39(4): 995-1003.
- [15] 董玉祥.海岸风沙运动观测与模拟的研究与进展[J].*干旱区资源与环境*, 2001, 15(2): 60-66.
- [16] 韩庆杰,屈建军,张克存,等.华南热带湿润海滩风蚀模数的风洞研究[J].*水土保持学报*, 2010(1): 37-40.
- [17] 王建华.华南海岸沙丘岩的特征及其与海滩岩的区别[J].*沉积学报*, 1997, 15(1): 104-111.
- [18] 刘妙容,王贵勇,李森,等.海南岛海岸沙丘岩的特征、成因及其环境意义[J].*中国沙漠*, 2009, 29(6): 1081-1085.
- [19] 王为,吴正.华南海岸沙丘岩形成与全新世环境变化的关系[J].*地理学报*, 2009, 64(9): 1126-1133.
- [20] 李志文,李保生,孙丽,等.中国东南沿海老红砂的研究现状与展望[J].*中国沙漠*, 2011, 31(1): 49-57.
- [21] 胡凡根,李志忠,靳建辉,等.福建东部海坛岛老红砂敏感粒度组分对东亚冬季风演变的响应[J].*中国沙漠*, 2013, 33(2): 443-452.
- [22] 靳建辉,李志忠,雷国良,等.华南老红砂沉积年代学及其环境意义:以福建青峰老红砂为例[J].*地理科学*, 2017, 37(2): 301-310.
- [23] 蔡克明.山东滨海的风沙灾害[J].*海洋科学*, 1982, 2: 68.
- [24] 陈欣树,陈俊仁.华南沿海风沙灾害与防治[J].*中国地质灾害与防治学报*, 1993, 4(3): 102-104.
- [25] 张正德,董治宝.风沙地貌形态动力学研究进展[J].*地球科学进展*, 2014, 29(6): 734-747.
- [26] 徐晓琳,李志忠,靳建辉,等.近2000年来福建南部海岸沙丘记录的风沙活动序列[J].*海洋科学*, 2017, 41(6): 79-91.
- [27] Bailey S D, Bristow C S. Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales [J]. *Geomorphology*, 2004, 59(1): 165-174.
- [28] Koprowski M, Winchester V, Zielski A. Tree reactions and dune movements: Slowinski National Park, Poland [J]. *Catena*, 2010, 81(1): 55-65.
- [29] Tsoar H, Blumberg D G. Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2002, 27(11): 1147-1161.
- [30] Knight J, Burningham H. Sand dunes and ventifacts on the coast

- of South Africa[J]. *Aeolian Research*, 2019, 37: 44–58.
- [31] Marin L, Forman S L, Valdez A, et al. Twentieth century dune migration at the Great Sand Dunes National Park and Preserve, Colorado, relation to drought variability [J]. *Geomorphology*, 2005, 70(1): 163–183.
- [32] Gay Jr S P. Observations regarding the movement of barchan sand dunes in the Nazca to Tanaca area of southern Peru [J]. *Geomorphology*, 1999, 27(3): 279–293.
- [33] Pye K. Morphological development of coastal dunes in a humid tropical environment, Cape Bedford and Cape Flattery, North Queensland [J]. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 1982, 64(3): 213–227.
- [34] 黄德全, 董玉祥, 哈斯, 等. 海岸横向沙脊的移动与形态变化 [J]. *地理研究*, 2011, 30(12): 2229–2238.
- [35] Dong Y, Huang D, Du J. Observations of coastal aeolian dune movements at Feicuidao, on the Changli Gold Coast in Hebei Province [J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2013, 5(3): 324–330.
- [36] 董玉祥, 杜建会. 海岸风沙地貌台风响应研究的现状与趋势 [J]. *中国沙漠*, 2014, 34(3): 634–638.
- [37] 董玉祥, 黄德全, 张雪琴. 海岸沙丘形态对台风响应的初步观测 [J]. *地理研究*, 2016, 35(10): 1925–1934.
- [38] 董玉祥, 黄德全. 河北昌黎翡翠岛海岸沙丘移动的初步观测 [J]. *中国沙漠*, 2013, 33(2): 486–492.
- [39] 董玉祥, 黄德全. 海岸新月形沙丘移动与形态变化的典型研究 [J]. *地理科学*, 2014, 34(7): 863–869.
- [40] 李志星, 李志忠, 靳建辉, 等. 2008–2018年河北昌黎海岸输沙势时空变化与沙丘形态演变 [J]. *中国沙漠*, 2020, 40(3): 94–105.
- [41] Tamura T, Ta T, Saito Y, et al. Seasonal control on coastal dune morphostratigraphy under a monsoon climate, Mui Ne dune-field, SE Vietnam [J]. *Geomorphology*, 2020, 370: 1–14.
- [42] 胡凡根, 李志忠, 靳建辉, 等. 基于释光测年的福建晋江海岸沙丘粒度记录的风沙活动 [J]. *地理学报*, 2013, 68(3): 343–356.
- [43] Tamura T, Kodama Y, Bateman M D, et al. Late Holocene aeolian sedimentation in the Tottori coastal dune field, Japan Sea, affected by the East Asian winter monsoon [J]. *Quaternary International*, 2016, 397(2): 147–158.
- [44] 董玉祥, 黄德全, 张雪琴. 海岸爬坡沙丘形态对台风响应: 以2014年“麦德姆”台风为例 [J]. *中国沙漠*, 2016, 36(4): 865–870.
- [45] 杨林, 董玉祥, 杜建会. 海岸沙丘对风暴响应研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2017, 32(7): 716–722.
- [46] 杨林, 董玉祥, 黄德全, 等. 海岸沙席形态及近表层沉积物粒度对台风的响应 [J]. *地理科学*, 2017, 37(8): 1243–1250.
- [47] 杨林, 董玉祥, 黄德全, 等. 台风“麦德姆”后海岸横向沙丘形态的年内变化 [J]. *中国沙漠*, 2018, 38(6): 1136–1143.
- [48] 杨林, 董玉祥, 黄德全. 台风群后海岸爬坡沙丘形态变化特征 [J]. *中国沙漠*, 2020, 40(2): 1–8.
- [49] 杨林, 董玉祥, 黄德全. 海岸沙席对台风的形态响应特征 [J]. *热带地理*, 2021, 41(5): 968–974.
- [50] Yang L, Dong Y, Huang D. Morphological response of coastal dunes to a group of three typhoons on Pingtan Island, China [J]. *Aeolian Research*, 2018, 32: 210–217.
- [51] Guisado-Pintado E, Jackson D W T. Multi-scale variability of storm Ophelia 2017: the importance of synchronised environmental variables in coastal impact [J]. *Science of The Total Environment*, 2018, 630: 287–301.
- [52] Houser C, Wernette P, Weymer B A. Scale-dependent behavior of the foredune: implications for barrier island response to storms and sea-level rise [J]. *Geomorphology*, 2018, 303: 362–374.
- [53] Stockdon H F, Sallenger A H, Holman R A, et al. A simple model for the spatially-variable coastal response to hurricanes [J]. *Marine Geology*, 2007, 238(1): 1–20.
- [54] 董治宝, 吕萍. 深空探测时代的风沙地貌学 [J]. *地球科学进展*, 2019, 34(10): 1001–1014.
- [55] Nordstrom K F, Psuty N. *Coastal Dunes: Form and Process* [M]. Chichester, UK: Wiley, 1990.
- [56] Mulligan K R. Velocity profiles measured on the windward slope of a transverse dune [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1988, 13(7): 573–582.
- [57] Walker I J, Shugar D H. Secondary flow deflection in the lee of transverse dunes with implications for dune morphodynamics and migration [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2013, 38(14): 1642–1654.
- [58] Ruz M H, Allard M. Sedimentary structures of cold-climate coastal dunes, Eastern Hudson Bay, Canada [J]. *Sedimentology*, 1995, 42(5): 725–734.
- [59] Hesp P A. Flow dynamics in a trough blowout [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 1996, 77(3): 305–330.
- [60] 陈方, 贺辉扬. 海岸沙丘沙运动特征若干问题的研究 [J]. *中国沙漠*, 1997, 17(4): 355–361.
- [61] 董玉祥, Hesp P A, Namikas S L, 等. 海岸横向沙脊表面风沙流结构的野外观测研究 [J]. *地理科学*, 2008, 28(4): 507–512.
- [62] 董玉祥, 马骏. 海岸横向沙脊表面风沙流结构的野外观测研究 [J]. *地理科学*, 2008, 28(4): 507–512.
- [63] 董玉祥, 马骏. 风速对海岸风沙流中不同粒径沙粒垂向分布的影响 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2008, 47(5): 98–103.
- [64] 董玉祥, 马骏. 输沙量对海岸沙丘表面风沙流中不同粒径沙粒垂向分布的影响 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2009(3): 102–108.
- [65] 董玉祥, 马骏. 风速对海岸沙丘表面风沙流结构影响的实证研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 2009, 23(9): 179–183.
- [66] Jackson N L, Nordstrom K F. Aeolian sediment transport and landforms in managed coastal systems: a review [J]. *Aeolian Research*, 2011, 3(2): 181–196.
- [67] Pye K, Blott S J. 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 [J]. *Geomorphology*, 2016, 266: 146–167.
- [68] Dong Y, Hesp P A, Huang D, et al. Flow dynamics and sedi-

- ment transport over a reversing barchan, Changli, China [J]. *Geomorphology*, 2017, 278: 121–127.
- [69] Labuz T A. A review of field methods to survey coastal dunes: experience based on research from South Baltic coast [J]. *Journal of Coastal Conservation*, 2016, 20(2): 175–190.
- [70] Le Mauff B, Juigner M, Ba A, et al. Coastal monitoring solutions of the geomorphological response of beach-dune systems using multi-temporal LiDAR datasets (Vendée coast, France) [J]. *Geomorphology*, 2018, 304: 121–140.
- [71] 张绍云, 董玉祥. 海岸沙地风蚀坑形态-动力学研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2019, 34(10): 1028–1037.
- [72] Guillot B, Musereau J, Dalaine B, et al. Coastal dunes mobility integration and characterization: developing of a flexible volume computing method [J]. *Journal of Geographic Information System*, 2018, 10(5): 503–520.
- [73] Hesp P A, Hilton M, Konlecher T. Flow and sediment transport dynamics in a slot and cauldron blowout and over a foredune, Mason Bay, Stewart Island (Rakiura), NZ [J]. *Geomorphology*, 2017, 295: 598–610.
- [74] Goossens D, Offer Z, London G. Wind tunnel and field calibration of five aeolian sand traps [J]. *Geomorphology*, 2000, 35(3): 233–252.
- [75] Van Pelt R S, Peters P, Visser S. Laboratory wind tunnel testing of three commonly used saltation impact sensors [J]. *Aeolian Research*, 2009, 1(2): 55–62.
- [76] Mendez M J, Funk R, Buschiazzo D E. Field wind erosion measurements with Big Spring Number Eight (BSNE) and Modified Wilson and Cook (MWAC) samplers [J]. *Geomorphology*, 2011, 129(2): 43–48.
- [77] Roelvink D, Costas S. Coupling nearshore and aeolian processes: XBeach and Duna process-based models [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2019, 115: 98–112.
- [78] Smyth T A G, Jackson D W T, Cooper A. Three dimensional airflow patterns within a coastal blowout during fresh breeze to hurricane force winds [J]. *Aeolian Research*, 2013, 9(2): 111–123.
- [79] Narteau C, Zhang D, Rozier O, et al. Setting the length and time scales of a cellular automaton dune model from the analysis of superimposed bed forms [J]. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2009, 114: 1–18.

Research status and prospect of the synergistic response of coastal dunes morphology to monsoon/typhoon

Yang Lin

(College of Tourism and Geography, Shaoguan University, Shaoguan 512005, Guangdong, China)

Abstract: The morphological changes and dynamic process of coastal dunes are the basis for understanding and studying coastal aeolian landforms. Coastal dunes in South China are driven by monsoon and typhoon. However, through combing and summarizing the response of coastal dunes to monsoons/typhoons, coastal dunes morphology-dynamic process research and its technology and methods, it is found that current research on the characteristics of coastal sand dunes in China driven by the monsoon/typhoon synergy is insufficient, and the effects of monsoon and typhoon are studied separately, which are not consistent with the formation and evolution of coastal dunes. The primary and secondary effects of monsoons and typhoons in the development and evolution of dunes are also unknown. The urgency and urgent problems to be solved in the current research on the coordinated response of the coastal sand dune morphology to the monsoon/typhoon are put forward.

Key words: coastal dunes; morphology-dynamic; monsoon; typhoon