

# 养护海滩底质变化对潮间带大型底栖动物群落的影响

罗时龙<sup>1</sup>, 靳瑞芳<sup>1</sup>, 彭子睿<sup>1</sup>, 吴祥恩<sup>1</sup>, 王昊寅<sup>1</sup>, 张金鹏<sup>2</sup>

(1.海南热带海洋学院 三亚 572022; 2.广州海洋地质调查局 广州 511458)

**摘要:**我国海滩养护事业近年来方兴未艾,从北方的温带到南方的热带海域均有养护海滩分布。养护海滩可以增强海岸防护功能,提供休闲娱乐场所,并能修复生境,促进生态恢复。文章总结了养护海滩底质变化对潮间带大型底栖动物的影响,针对我国养护海滩监测和评价现状提出我国养护海滩对生境和生物群落影响研究的设想和研究思路,为我国海滩养护监测和评价提出新的问题和解决方法,为科学养护海滩提供参考。

**关键词:**养护海滩;大型底栖动物群落;监测与评价;科学养护

中图分类号:P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2024)06-0162-07

## A Review of the Effects of Changes of Sediment and Topography of Nourished Beach on Intertidal Macrobenthic Fauna

LUO Shilong<sup>1</sup>, JIN Ruifang<sup>1</sup>, PENG Zirui<sup>1</sup>, WU Xiangen<sup>1</sup>,  
WANG Haoyin<sup>1</sup>, ZHANG Jinpeng<sup>2</sup>

(1.Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, China; 2.Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 511458, China)

**Abstract:** Currently, beach nourishment projects are undergoing rapid development. Nourished beaches are distributed from northern temperate zone to southern tropical zone along China's sandy coastline. Nourished beaches can strengthen the coastal protection, provide entertainment areas and restore the ecological habitats. The macrobenthic fauna and recovery level play an important role in assessing nourishment benefits. The paper introduces the state and gap of nourished beaches monitoring and assessment, and the methodology and results of international research. Furthermore, the paper presents the hypothesis and research area of the effects of nourished beaches on the macrobenthic fauna for Chinese researchers. The paper aims to provide theoretical guidance and technical support for scientific sand nourishment and beach protection, and promote the development of the interdisciplinary fields of marine geology and marine biology.

**Keywords:** Nourished beach, Macrobenthic fauna, Monitoring and assessment, Scientific nourishment

收稿日期:2023-09-05;修订日期:2024-06-19

基金项目:海南省自然科学基金(421MS052);海南热带海洋学院科研启动项目(RHDRC202106).

作者简介:罗时龙,博士,高级工程师,研究方向为海岸动力地貌、海滩生态养护和近海沉积物环境

## 0 引言

Dean 对海滩养护 (beach nourishment) 的定义是,向岸线侵蚀后退的海滩滩面补充大量优质沙的过程,又称为人工养护或海滩修复<sup>[1]</sup>。近年来在海滩养护的基础上,另一种滨面养护 (shoreface nourishment) 亦逐渐流行,滨面养护就是抛沙于滨外沙坝或滨面,或者更远离海岸的地方,一般水深 5~8 m,养护沙由自然的波浪、海流带到海岸,重塑受损的海滩。无论海滩养护还是滨面养护,形成的海滩都称之为养护海滩。养护海滩的目的包括:①增强海岸防护功能,保护沿岸自然资源和财产,减少损失;②提供休闲娱乐场所,增加海滩宽度,提高沙滩质量,吸引更多游客;③恢复生境,促进生态系统修复,使受损的海岸带生态系统逐渐恢复。由于养护海滩的功能齐全、效益明显,迅速成为海岸防护的新宠,被认为是环境友好的、可持续的、美学价值较高的、经济有效的技术手段。随着养护工程的增加,除了明显的海岸防护功能和休闲娱乐功能备受青睐,人们也开始关注其隐藏的生境修复功能,毕竟养护海滩短期内向岸滩大量抛沙,彻底改变了潮间带下垫面的属性,对沙滩栖息地和生物群落造成损害。养护海滩底质和地形变化导致的底栖生物群落变化,以及其恢复水平和影响因子逐渐成为海洋沉积学者和海洋生物学者研究的热点。

## 1 研究现状

### 1.1 研究方法

海滩养护过程通过不同的方式影响海岸带生态系统,直接的影响就是掩埋底栖生物,大量悬浮颗粒形成的沉积物流也会导致底栖生物窒息,更细颗粒的沉积物流还会导致初级生产力的下降,继而引起滤食生物、鱼类和涉水鸟类受损;间接的影响是栖息地环境的长久改变,引起沉积物特性以及有机质和泥质含量变化,另外还包括施工期间的噪声污染。Speybroeck 的研究结果认为要实现科学的、可持续的海滩养护需做到以下几点:①应尽量选择跟原沙特性接近的客沙;②尽量选择在鸟类和其他生物在海滩活动不活跃的时段施工;③选择合适的养护技术;④选择小规模养滩,避免大规模工程<sup>[2]</sup>。

Walker 指出,研究事件过程对生物群落结构长

期的影响,常见的方法有两类:一类为直接方法 (direct measures),即长期的重复观测,然后根据时间序列数据对比分析得出结论。虽然这种方法提供的数据较为可靠,但在实际工作中难以实行;因此,另一类间接方法 (indirection measures) 逐渐流行起来,即以对生物群落空间变化序列的观测来代替对时间变化序列的观测,以空间变异比拟时间变异,用易于观测到的现象推至难以观察到的过程<sup>[3]</sup>。

### 1.2 海滩养护监测与结果

在直接方法研究中,有学者做了短、中期的观测,也有学者进行了较长期的观测。由于监测时机、监测地点、研究方法以及选择的底栖生物种类和群落不同,这些研究结果相差较大。有的认为养护海滩生境变化对海滩底栖生物的影响是中短期的,养护后数天至一年内就能恢复;有些研究则认为养护的影响是长期的,甚至养护后几年底栖生物群落结构依旧没有恢复。

Harriague 研究认为,由于养护沙和原沙在矿物组成和粒度结构上高度一致,养护后 3 个月大型底栖生物群落结构已恢复到自然水平,短期的群落波动可能是季节性的变化,而非养护工程的影响<sup>[4]</sup>。Schlacher 的研究结果却大相径庭,结果表明海滩养护后 2 天潮上带和潮间带的无脊椎动物遭受灭顶之灾,而潮下带受影响较小;5 个月后潮上带动物数量仍是零,潮间带部分恢复,而潮下带基本达到自然水平<sup>[5]</sup>。由此建议海滩养护抛沙应该在潮下带,以减少对潮间带底栖生物的影响,或者改进现在的滩面养护技术(如减少抛沙厚度),或在连续的海滩养护上留下安全岛“Refuge Island”,以促进养护后物种的恢复。

Danovaro 则在潮下带大约 7 m 水深的地方,用放置 PVC 板的方法(类似于污损生物挂板试验),研究海滩养护对潮下带大型底栖生物的影响。研究结果指出海滩养护对潮下带闭合深度附近区域的底栖生物群落影响是有限的,其他的影响因素还包括生物本身的适应性,以及自然环境因素的变化<sup>[6]</sup>。Targusi 研究了海滩养护对大型底栖动物以及潮下带沉积环境的影响,1 年后幸存下来的优势种密度有所增加,但物种多样性减少。文章最后指出中、

长期的监测是很必要的,用以全面评价海滩养护对生物和生境的影响<sup>[7]</sup>。

Wooldridge 对同一段岸线上的 8 处养护海滩进行了为期 15 个月的观测,分析了海滩养护后潮间带无脊椎动物群落结构变化和恢复率。结果表明,养护后 1 个月所有的种群密度都减小;端足类和斧蛤属的种群数量在 1 年内基本恢复;而多毛类的数量则一直低于自然水平的三分之一;生物多样性在监测结束后已基本恢复<sup>[8]</sup>。Fanini 的文章从群落和种群两个层次上进行研究,研究结果显示,3~4 年后无论是单个物种还是种群已经不受养护的影响,对它们起控制作用的是栖息地的数量和质量,节肢动物群落结构变化则主要受季节和底质类型影响<sup>[9]</sup>。Peterson 对同一岸段的两次海滩养护进行了连续 3 年的监测,认为不同生物种类对海滩养护的响应差异较大,有的物种短期内可以恢复,有的物种甚至在 3 年后仍然没有恢复。海滩养护后的恢复期可能更长,短中期的监测是不够的<sup>[10-11]</sup>。

Leewis 运用间接方法,对比了 1994—2007 年的 13 处养护海滩和 4 处自然海滩潮间带大型无脊椎动物种群。结果表明,海滩养护对选取的物种无明显的长期影响,养护后 1 年内物种多样性即恢复到自然水平,然而群落结构发生变化,如 *Scolecopsis squamata* (鳞腹钩虫)在海滩养护后种群密度明显提高,认为其是潜在的环境指示物种<sup>[12]</sup>。

### 1.3 滨面养护监测与结果

在荷兰,滨面养护技术从 1997 年开始逐步应用,2001 年以后开始大范围实施。Baptist 通过历史数据收集和整理,研究了荷兰大规模滨面养护对双壳类软体动物 *Spisula subtruncata* 的影响。结果表明这种底栖物种的减少跟滩面养护的实施并没有直接的因果关系。文章推测气候变化、渔业捕捞等可能是其数量减少的直接原因<sup>[13]</sup>。Van Egmond 的研究则指出滨面养护能为潮间带大型底栖生物提供新的栖息地和避难所,增强了沙滩的栖息地功能<sup>[14]</sup>。

### 1.4 养护辅助工程监测与结果

还有学者专门针对海滩养护辅助工程,如丁坝、防波堤等,对底栖生物的影响进行研究。如

Martin 认为养护海滩的辅助工程,如离岸防波堤和丁坝均改变了近岸的水动力环境和沉积物环境,进而改变了生物的栖息环境,影响到生物群落结构的变化。如构筑物的波影区水动力减弱,形成新的生境,使物种多样性增加,这也对本土生物产生了负面影响。同时指出为促使生态系统健康发展,更新现有的工程设计标准,如使用透水性材料、减小构筑物尺寸、增加构筑物间距等<sup>[15]</sup>。Colosio 对 9 处海滩分别进行了沉积物粒度、有机质含量以及底栖生物群落特征的调查。研究结果表明配备辅助工程的养护海滩沉积物粒度较细、有机质含量较多、生物量也较大,而单独的养护海滩沉积物粒度则较粗,生物量跟自然海滩相比较少<sup>[16]</sup>。说明海滩养护对海滩原生动植物栖息地和群落结构有较大的影响,另一方面也说明海滩养护辅助工程有助于海滩生物群落恢复。

### 1.5 地质环境参数监测与结果

除了需要长期、重复监测的潮间带底栖动物群落结构,包括物种组成、丰度和密度,还需要监测一些重要的地质环境参数,以解决引起群落结构变化的主控因素问题。

McLachlan 和 Defeo 分别研究了全球从低纬度到高纬度的 200 多个海滩,提出了诸如水动力特征、沉积物特性、海滩坡度、无量纲沉积速率— $\Omega$ 、海滩沉积指数—BDI、海滩指数—BI 等跟潮间带大型底栖生物群落组成相关的参数<sup>[17-18]</sup>。由于一些海滩养护工程以岬间养护为主,多数辅以丁坝、防波堤等工程<sup>[19]</sup>,Short 还选取了海湾尺度参数— $\delta'$  作为一个重要的环境指标,用来指示有效岸线长度跟生物群落组成的关系<sup>[20]</sup>。

Van Tomme 通过设计实验,模拟了潮汐变化和光照条件,研究了 4 种大型底栖生物对不同粒径沙的适应性,认为采用和原沙兼容性较高的沉积物利于生物群落尽快恢复<sup>[21]</sup>。Munoz-Lechuga 在评估人类活动对潮下带大型底栖动物的影响时,也指出海滩养护改变了滩面沉积物的粒度组成,而这一参数对物种的分布有重要影响<sup>[22]</sup>。Jackson 监测一处海滩上的蜃卵(*Horseshoe crab*)在养护前后的数量变化,结果表明 *Horseshoe crabs* 更喜欢选择混有

少量砾石的养护沙滩产卵,同时也指出更细、分选好的成分更有利于水分保持,提高卵的孵化率和幼仔的成活率<sup>[23]</sup>。Jakson研究了养护海滩形态对海滩功能的影响,对养护区域进行了20个月的连续监测(养护前6个月、养护后3天、6个月、14个月),分析了岸滩剖面变化、养护海滩沉积物活动深度、沉积物粒度变化和风沙运移过程,结果表明养护海滩高度和宽度大于自然海滩,会阻碍沉积物的运移和海滩动物的活动;相反则利于海滩剖面的调整,风暴过程中不会形成侵蚀陡坎<sup>[24]</sup>。Chu指出未来100年内由于海平面上升和风暴侵蚀,97%~100%的海滩栖息地会丧失;若实施海滩养护,使海滩的高度增加1 m,损失可降低到60%,海滩高度增加1.5 m,损失可降到34%<sup>[25]</sup>。可见海滩养护对维持海滩栖息地和生态环境的重要性。

上述相关研究可知:①新养护海滩的底质和地形变化过程跟底栖动物群落的演变有相关关系;②稳定养护海滩的底栖动物群落恢复水平存在时间和地理位置上的差异;③养护前后海滩的底栖动物群落结构存在差异。

## 2 我国养护海滩监测与评价现状

截至2020年7月,我国已经完成或正在进行的海洋养护工程共有100余项,分布于全国35个城市,海滩养护岸线总长度约120 km,总填砂量约为2.3万 $\text{m}^3$ ,总投资约为23亿元<sup>[19,26-27]</sup>。整治修复后具有自然岸线形态特征和生态功能的养护岸线已被纳入自然岸线的范畴,按照自然资源部和生态环境部制定的海岸带整治修复相关规划和行动方案(《海岸线保护与利用管理办法》和《海洋生态文明建设实施方案》(2015—2020年)),未来数年,海滩养护工程会进一步被接纳和实施,成为海岸带保护和生态修复的重要工程措施。因此,养护海滩的生境地质监测和生态环境影响评估工作显得尤为重要。

目前国内学者针对养护海滩监测和评估的研究论文,主要集中在养护海滩的稳定性监测以及养护效果方面,关注养护前后沉积物特征变化以及地形地貌演变,缺少对生态环境影响的研究。如包敏、褚智慧、刘修锦等分别研究了北戴河中西海滩

人工养护前后的沉积特征和剖面变化过程<sup>[28-30]</sup>;曹惠美等介绍了厦门香山—长尾礁养护海滩的地形演变特征<sup>[31]</sup>;邱若峰等分别评价了北戴河和秦皇岛海滩养护工程的功效和寿命<sup>[32-33]</sup>;杨雯等介绍了国内外海滩养护工程质量评价概况,有针对性地提出了我国海滩养护工程质量评价体系<sup>[34]</sup>。

另外,有部分学者就围垦、港口建设等海岸工程对潮间带底栖生物和海岸生态环境的影响做了监测和评述。如柳圭泽、吴鹏等研究了滩涂围垦对大型底栖动物的影响<sup>[35-36]</sup>;廖一波、韩庆喜等分别研究了人工鱼礁和筏式养殖对大型底栖动物的影响<sup>[37-38]</sup>;张榕榕和郭婷婷分别研究了填海工程和滨海休闲工程对海洋生态环境的影响<sup>[39-40]</sup>;庄骅等研究了海港建设对潮间带大型底栖动物的影响<sup>[41]</sup>;魏德重等介绍了红树林种植对大型底栖动物的影响<sup>[42]</sup>;苏治南等介绍了人为干扰破坏对海草床和大型底栖动物的影响<sup>[43]</sup>;刘志权研究了人类活动对崇明东滩大型底栖动物的影响<sup>[44]</sup>;李亚芳等研究了底质类型对潮间带大型底栖动物生态功能的影响<sup>[45]</sup>。

综上所述,我国关于海滩养护工程对潮间带底栖生物影响方面的研究还未见报道。养护海滩的生境修复功能是评价海滩养护工程的主要指标之一,因此养护海滩底质和地形地貌变化对海岸带生境和生物群落的影响过程和机制研究,以及工程监测和评价技术研究需要进一步的补充和加强。

## 3 展望

### 3.1 时间序列上的监测和评价

新养护海滩在底质和地形方面发生显著的变化,同时随着养护时间的增加,相应的环境属性参数也跟着变化,直到海滩稳定。对新养护海滩进行2~3年连续的季节性监测,研究海滩自然属性参数,如平均粒径— $M_z$ 、无量纲沉积速率— $\Omega$ 、相对潮差— $RTR$ 、海滩指数— $BI$ 、海湾尺度参数— $\delta'$ 等的变化过程,分析它们跟生物群落结构、物种丰度及多样性的相关关系。

### 3.2 空间序列的监测和评价

用间接研究方法,对稳定养护海滩及控制海滩进行一次调查,涉及底栖动物群落结构、物种丰度及多样性指标。选择养护海滩工程相对较多的岸

段,如厦门自 2007 年至今已开展海滩养护近 10 项;珠海自 2012 年情侣路海滩养护获得成功以来,近几年来发展迅速,有 8 项已完工或计划实施的项目。这些城市积累了大量的一手资料,便于进行底质和地形调查,选择合适的控制海滩,对比分析后评价不同环境下稳定养护海滩潮间带大型底栖动物群落的恢复水平。

用间接方法和直接方法,基于时空序列获得调查和监测数据,联合海洋地质和海洋生物领域的学者,期望解决典型养护海滩底质和地形变化对潮间带大型底栖动物群落的影响过程和机制。为科学养滩、护滩提供理论指导,也为更进一步的相关研究打下基础。

### 参考文献(References):

- [1] Dean, R.G. Beach nourishment: theory and practice [M]. Singapore: World Scientific Publishing, Co. Pte. Ltd., 2002.
- [2] Speybroeck J., Bonte D., Courtens W. et al. Beach nourishment: an ecological sound coastal defence alternative? A review [J]. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst, 2006,16: 419-435.
- [3] Walker L. R., Wardle D. A., Bardgett R. D., et al. The use of chronosequence in studies of ecological succession and soil development [J]. Journal of Ecology, 2010, 98: 725-736.
- [4] Harriague A. C., Albertelli G. Environmental factors controlling macrofaunal assemblages on six microtidal beaches of the Ligurian Sea (NW Mediterranean) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2007, 73: 8-16.
- [5] Schlacher T., Noico N., Jones A., et al. The effects of beach nourishment on benthic invertebrates in eastern Australia: impacts and variable recovery [J]. Science of the Total Environment, 435-436 (2012): 411-417.
- [6] Danovaro R., Ettore N., Martire M. L., et al. Limited impact of beach nourishment on macrofaunal recruitment/settlement in a site of community interest in coastal area of the Adriatic Sea (Mediterranean Sea) [J]. Marine Pollution Bulletin, 2018,128: 259-266.
- [7] Targusi, M., La Porta, B., Lattanzi, L., et al. Beach nourishment using sediments from relict sand deposit: effects on subtidal macrobenthic communities in the Central Adriatic Sea (Eastern Mediterranean Sea-Italy) [J]. Marine Environmental Research, 2019, 144: 186-193.
- [8] Wooldridge T., Henter H. J., Kohn J. R. Effects of beach replenishment on intertidal invertebrates: A 15-month, eight beach study [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2016, 175: 24-33.
- [9] Fanini Lucia, Marchetti Giovanni Maria, Scapini Felicita, et al. Effects of beach nourishment and groynes building on population and community descriptors of mobile arthropodofauna [J]. Ecological Indicators, 2009, 9: 167-178.
- [10] Peterson C. H., Bishop M.J., Johnson G., et al. Exploiting beach filling as an unaffordable experiment: benthic intertidal impacts propagating upward to shorebirds [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2006, 338: 205-221.
- [11] Peterson C. H., Bishop M.J., Danna L. M., et al. Multi-year persistence of beach habitat degradation from nourishment using coarse shelly sediments [J]. Science of the Total Environment, 2014, 487: 481-492.
- [12] Leewis L., van Bodegom P. M., Rozema J., et al. Does beach nourishment have long-term effects on intertidal macroinvertebrate species abundance [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2012,113 172-181.
- [13] Baptist M. J., Leopold M. F. The effects of shoreface nourishment on *Spisula* and scoters in the Netherlands [J]. Marine Environmental Research, 2009, 68: 1-11.
- [14] Van Egmond E. M., van Bodegom P. M., Berg M. P., et al. A mega-nourishment creates novel habitat for intertidal macroinvertebrates by enhancing habitat relief of the sandy beach [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 207: 232-241.
- [15] Martin D., Bertasi F., Colangelo M. A., et al. Ecological impact of coastal defence structures on sediment and mobile fauna: evaluating and forecasting consequences of unavoidable modifications of native habitats [J]. Coastal Engineering, 2005, 52: 1027-1051.
- [16] Colosio F., Abbiati M., Airoldi L. Effects of beach nourishment on sediments and benthic assemblages [J]. Marine Pollution Bulletin, 2007, 54: 1197-1206.
- [17] McLachlan A., Dorvlo A. Global patterns in sandy beach macrobenthic communities [J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21: 674-687.
- [18] Defeo O., McLachlan A. Global patterns in sandy beach macrofauna: species richness, abundance, biomass and body size [J]. Geomor-

- phology, 2013, 199: 106–114.
- [19] Luo S., Liu Y., Jin R., et al. A guide to coastal management: benefits and lessons learned of beach nourishment practices in China over the past two decades [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 134: 207–215.
- [20] Short A. The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classification: a review [J]. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1996, 69: 589–604.
- [21] Van Tomme J., Vanden Eede S., Speybroeck J., et al. Macrofaunal sediment selectivity considerations for beach nourishment programs [J]. *Marine Environmental Research*, 2013, 84: 10–16.
- [22] Munoz-Lechuga R., Gutierrez-Martinez M., Sanz-Fernandez V., et al. Infralittoral-sublittoral (submerged zone) macroinfauna community structure of high-impact, medium-impact and non-impact beaches on the Gulf of Cádiz coast (SW Spain). Evaluation of anthropogenic alterations: Nourishments, human impact and urbanization [J]. *Marine Environmental Research*, 2018, 133: 85–98.
- [23] Jackson N. L., Smith D. R., Tiyyarattanachai R., et al. Evaluation of a small beach nourishment project to enhance habitat suitability for horseshoe crabs [J]. *Geomorphology*, 2007, 89: 172–178.
- [24] Jackson N. L., Nordstrom K. F., Saini S., et al. Effects of nourishment on the form and function of an estuarine beach [J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36: 1709–1718.
- [25] Chu M. L., Guzman J. A., Munoz-Carpena R. et al. A simplified approach for simulating changes in beach habitat due to the combined effects of long-term sea level rise, storm erosion and nourishment [J]. *Environmental Modeling & Software*, 2014, 52: 111–120.
- [26] 蔡锋, 刘根. 我国海滩养护修复的发展与技术创新[J]. *应用海洋学学报*, 2019, 38(4): 452–463.  
CAI Feng, LIU Gen. Beach nourishment development and technological innovations in China: an overview[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2019, 38(4): 452–463.
- [27] 戚洪帅, 刘根, 蔡锋, 等. 海滩修复养护技术发展趋势与前景[J]. *应用海洋学学报*, 2021, 40(1): 112–125.  
QI Hongshuai, LIU Gen, CAI Feng, et al. Development trend and prospect of beach nourishment technology[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2021, 40(1): 112–125.
- [28] 包敏, 王永红, 杨燕雄等. 北戴河西海滩人工养护前后沉积物粒度变化特征[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(9): 25–34.  
BAO Min, WANG Yonghong, YANG Yanxiong, et al. Changes in sediment grain-size before and after beach nourishment on the west beach of Beidaihe[J]. *Marine Geology Letters*, 2010, 26(9): 25–34.
- [29] 褚智慧, 王永红, 庄振业, 等. 北戴河中海滩人工养护前后沉积物粒度变化特征[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(2): 62–70.  
CHU Zhihui, WANG Yonghong, ZHUANG Zhenye, et al. Changes in sediment grain-size before and after beach nourishment in middle beach of Beidaihe[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(2): 62–70.
- [30] 刘修锦, 王永红, 杨燕雄, 等. 海滩养护后剖面变化过程研究——以北戴河西海滩和中海滩为例[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(2): 53–61.  
LIU Xiujin, WANG Yonghong, YANG Yanxiong, et al. Changes in beach profile morphology after nourishment: A case from western and middle Beidaihe beaches[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(2): 53–61.
- [31] 曹惠美, 蔡锋, 郑勇玲. 人工养护后厦门香山—长尾礁海滩的演变特征[J]. *应用海洋学学报*, 2015, 34(1): 24–33.  
CAO Huimei, CAI Feng, ZHEN Yongling. Evolution characteristics of nourished beach from Xiangshan to Changweijiao in Xiamen[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2015, 34(1): 24–33.
- [32] 邱若峰, 庄振业, 赵友鹏, 等. 海滩养护的能效和寿命——以北戴河海滩养护工程为例[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(3): 26–33.  
QIU Ruofeng, ZHUANG Zhenye, ZHAO Youpeng, et al. Beidaihe beach nourishment: a case study of beach nourishment project in Beidaihe[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(3): 26–33.
- [33] 邱若峰, 杨燕雄, 庄振业, 等. 养护海滩形态演化特征及时空差异性分析——以秦皇岛浪淘沙浴场为例[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2017, 37(3): 67–74.  
QIU Ruofeng, YANG Yanxiong, ZHUANG Zhenye, et al. Beach evolution and space-time discrepancy of erosion intensity after nourishment-taking Langtaosha beach of Qinhuangdao as an example[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2017, 37(3): 67–74.
- [34] 杨雯, 王永红, 杨燕雄. 海滩养护工程质量评价研究进展[J]. *海岸工程*, 2016, 35(1): 75–84.  
YANG Wen, WANG Yonghong, YANG Yanxiong. A summary of the quality evaluation of beach nourishment project[J]. *Coastal Engineering*, 2016, 35(1): 75–84.
- [35] 柳圭泽, 袁秀堂, 关春江, 等. 青堆子湾滩涂围垦对大型底栖动物的影响[J]. *海洋环境科学*, 2018(5): 663–669.

- LIU Guize, YUAN Xiutang, GUAN Chunjiang, et al. Influence of reclamation on off-shore macrobenthic community in the Qingduizi Bay[J]. *Marine Environmental Science*, 2018(5):663-669.
- [36] 吴鹏, 倪勇强, 孙毛明等. 舟山钓梁围垦一期工程对附近海域生态系统影响的研究. *海洋通报*, 2013, 32(5): 540-552.  
WU Peng, NI Yongqiang, SUN Maoming, et al. Influence of phase 1 of Diaoliang reclamation project on the ecosystem of adjacent sea area[J]. *Marine Science Bulletin*, 2013, 32(5): 540-552.
- [37] 廖一波, 曾江宁, 寿鹿, 等. 象山港人工鱼礁投放对大型底栖动物群落结构的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2014, 45(3): 487-495.  
LIAO Yibo, ZENG Jiangning, SHOU Lu, et al. Impact of artificial reef on macrobenthic community structure In Xiangshan Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2014, 45(3): 487-495.
- [38] 韩庆喜, 刘东艳. 近海双壳类筏式养殖对大型底栖动物群落影响综述[J]. *海洋通报*, 2014, 33(3):352-359.  
HAN Qingxi, LIU Dongyan. Review on the effect of coastal bivalve raft mariculture on macrobenthic assemblages[J]. *Marine Science Bulletin*, 2014, 33(3): 352-359.
- [39] 张榕榕. 大连旅顺新港填海工程对附近海域环境影响的研究[D]. 大连:大连海事大学, 2015.  
ZHANG Rongrong. The studies of Dalian Lushun new port nearby sea environmental impact by reclamation project[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.
- [40] 郭婷婷. 深圳湾滨海休闲带海洋工程对海洋环境影响的研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2011.  
GUO Tingting. Study on the impact of marine engineering in Shenzhen Bay coastal leisure zone on marine environment[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [41] 庄骅, 蒋建飞, 吴慧仙. 洋山港建设对小洋山岛潮间带大型底栖动物的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2014(1): 155-160.  
ZHUANG Hua, JIANG Jianfei, WU Huixiang. Effects of construction of Yanshan Port on benthic macrofauna at the intertidal zone of Xiao-Yangshan Island[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2014 (1): 155-160.
- [42] 魏德重, 项长友, 鲍毅新等. 红树林种植对大型底栖动物群落结构及功能群的影响[J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*. 2012, 35(2): 195-202.  
WEI Dezhong, XIANG Changyou, BAO Yixin, et al. Effect of mangrove planting on macrobenthic community structure and functional group[J]. *Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences)*, 2012, 35(2): 195-202.
- [43] 苏治南, 丘广龙, 范航清等. 人为物理干扰对海草群落及大型底栖动物的生态影响[J]. *广西科学*, 2017, 24(5): 474-482.  
SU Zhinan, QIU Guanglong, FAN Hangqing, et al. Ecological effects of physical disturbance on seagrass community and associated macrobenthos[J]. *Guangxi Science*, 2017, 24(5): 474-482.
- [44] 刘志权. 崇明东滩大型底栖动物对人类活动的响应及生态修复研究[D]. 上海:华东师范大学, 2017.  
LIU Zhiquan. Response of macrobenthos on human activities and the ecological restoration in east shoal of Chongming island[D]. Shanghai: East China Normal University, 2017.
- [45] 李亚芳, 杜飞雁, 王亮根, 等. 底质类型对三亚湾潮间带大型底栖动物生态功能的影响[J]. *水产学报*, 2018, 24(10):1559-1571.  
LI Yafang, DU Fengyan, WANG Lianggen, et al. Effects of the sediment type on ecological functions of macrobenthos in the intertidal zones of Sanya Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 24(10): 1559-1571.