1988—2016 年泰国湾海岸线变迁遥感分析

周磊^{1,2},马毅²,胡亚斌²,包玉海¹

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院 呼和浩特 010010;2. 国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

摘要:泰国湾近 30 年海岸线变迁剧烈。文章基于 1988 年、1996 年、2006 年和 2016 年 4 个时期 Landsat TM/OLI 中等分辨率卫星遥感影像数据,开展了近 30 年泰国湾岸线长度时空变迁遥感监测,并应用数字海岸分析系统(DSAS)计算出 4 期岸线变迁速率,给出了 4 个时期泰国湾侵蚀淤积 面积状况,分析了岸线变迁的自然因素和人类活动因素。并从岸线增长速率、岸线变迁速率、蚀淤 面积状况、岸线类型变化 4 个方面给出结论。

关键词:岸线;遥感;侵蚀淤积;EPR;泰国湾 中图分类号:P737.1 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2018)05-0044-08

Remote Sensing Analysis of Shoreline Change in the Gulf of Thailand from 1988 to 2016

ZHOU Lei^{1,2}, MA Yi², HU Yabin², BAO Yuhai¹

College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010010, China;
 First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The coastline of Gulf of Thailand changes violently nearly 30a. Based on the Landsat TM/OLI medium resolution satellite remote sensing images in 1988,1996,2006 and 2016, the remote sensing monitoring of the coastline length of the Gulf in recent 30 years was carried out and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) was used to calculate the rate of erosion and deposition of the Gulf during four periods, and natural and human factors of shoreline change were analyzed. The conclusions were drawn from the four aspects of shoreline growth rate, the rate of changes coastline, erosion and desposition area, the type of change coastline.

Key words: Coastline, Remote sensing, Erosion and deposition, EPR, The Gulf of Thailand

海岸线是陆地与海洋的分界线。在我国,海岸 线系指多年平均大潮高潮形成的痕迹线^[1]。海岸线 具有复杂、敏感和多变的特征,它的变化直接影响 着潮间带滩涂资源量、海岸带的环境以及沿海地区

收稿日期:2017-10-09;修订日期:2018-04-12

基金项目:海洋环境安全保障专项项目"自主海洋环境安全保障技术海上丝绸之路沿线国家适用性研究"(No.2017YFC1405100);高分海岸带 遥感监测与应用示范.

作者简介:周磊,硕士研究生,研究方向为遥感监测

通信作者:马毅,研究员,博士,研究方向为海岛海岸带遥感与应用

人民的生存和发展。海岸带是全球变化的敏感地 区,在全球气候变化的背景下,国际地圈生物圈计 划将海岸带陆一海相互作用作为其核心计划之一, 其研究的重心就是居于界面位置的海岸带^[2]。因 此,研究海岸线变化及其驱动因素对于了解海岸带 生态环境变化乃至全球变化具有重要意义。

对于岸线的提取可以通过实地测量获得,但实 地测量方法耗时费力,工作周期长,不利于大面积 测量和应用推广[3]。相比而言,遥感具有宏观、快 速、重复观测地表信息等优点,能够直观地反映海 岸线的岸相特征,适用于海岸线的提取。随着遥感 技术在水陆岸线提取方面理论的成熟,利用遥感技 术监测岸线变化在国内外得到了广泛应用[4-7]。国 内针对岸线的研究多集中于沿岸港湾和河口地区, 如湄洲湾^[8]、杭州湾^[9]、渤海湾^[10-11]、图们江口^[12]、 伶仃洋[13],通过近几十年的岸线动态变迁监测来掌 握岸线的动态变化。国外对于岸线的研究起步比 较早,岸线研究也多集中在河口、港湾等岸线变动 较大的区域,如尼罗河三角洲河口区域^[14]、Gomso Bay^[15]、印度东南部泰米尔纳德邦海滩和 Puducherry 海滩^[16]、Nestos 三角洲^[17]、阿尔及利亚 东 Jijelian 沿岸^[18],通过对相关区域的岸线进行提 取,研究了海岸线动态特征和侵蚀淤积情况及变化 原因分析。而针对于泰国湾的研究主要集中在小 区域的研究,如:Chowdhury 等^[19]采用多时相地形 图和 Landsat 系列卫星影像对 1973-2003 年泰国 南部的 Pak Phanang 海岸侵蚀和积累量进行了测 量,并估计了土地积累和侵蚀;Chusrinuan 等^[20]利 用 1975 年和 2006 年的航空照片和 Landsat 影像对泰 国东南部宋卡省海岸研究发现沿海地区有 18.5 km² 面 积被改变,其中17.3 km²被侵蚀,还有一些其他文献 是关于海平面上升[21]等原因引起岸线侵蚀等变迁。 综上所述,笔者发现针对泰国湾地区大多数研究仅 对部分典型区域而缺乏对泰国湾整体大尺度海岸 线时空变化规律的宏观研究。

本研究拟从泰国湾整体出发,基于 Landsat TM/OLI 中等分辨率卫星遥感影像数据提取 1988 年、1996 年、2006 年、2016 年 4 期海岸线数据来研 究泰国湾整体沿岸岸线长度的时空变迁以及侵蚀、 淤积变化,并通过 DSAS 中的端点变化速率来分析 典型岸段近 30 年岸线变迁速率,对造成岸线变化的 原因做出相关的分析。

1 研究区概况

泰国湾(Gulf of Thailand),旧称暹罗湾(Gulf of Siam),是泰王国的南海湾,地理坐标范围是 99°10′E—105°00′E、6°00′N—13°30′N,其东南部通 南中国海,泰国、柬埔寨、越南濒临其北部和东部, 泰国、马来西亚在其西部。湾口在越南金瓯角和马 来西亚的哥达巴鲁之间。

泰国湾南北长约 720 km,东西宽为 480 ~ 560 km,面积约 239 000 km²。海湾区因第三纪地 壳运动中断裂陷落而成,断陷海盆底部沉积着第三 纪以来厚达 7 500 m 的沉积层,海湾沿岸大部分是 陡峭岩岸,湾顶曼谷湾和湾口有连片沙岸。泰国湾 大部分属热带季风气候,每年 11 月至翌年 3 月盛行 干燥的东北风,降水稀少,称为旱季;4-10 月盛行 潮湿的西南风,降雨迅速增多,称为雨季。海湾南 端属赤道多雨气候,年降雨比较均匀,没有明显的 旱季和雨季之分,年降水量较多。海湾内的海流受 南海季风影响,随季节而改变。该湾是泰国、柬埔 寨通往太平洋和印度洋的海运要道。

2 数据与方法

2.1 数据与处理

本研究所用的数据源为 1988 年、1996 年和 2006 年的 Landsat TM、2016 年 Landsat 8 OLI 数 据,共收集 54 景影像,空间分辨率为 30 m,影像年 份选取以 10 年左右为间隔,数据具体信息如表 1 和 图 1 所示。

本研究所用的 Landsat TM/OLI 数据定位精 度为 30 m 左右,满足大范围中等比例尺监测岸线 变迁的精度要求。对于时相最早的 1988 年的 Landsat 5 TM 影像中有 2 景存在定位偏移的问题, 利用相邻影像开展图像配准,确保位置完全匹配。 为了突出水陆边界线,采用假彩色合成方案,即选 用近红外、红、绿波段分别赋予红(R)、绿(G)、蓝 (B)色,进行假彩色合成,并进行适当的线性拉伸, 以便突出水陆边界。

	表 1	遥感影像数	攵括		
序号	卫星名称	成像年份	分辨率/m	景数	
1	Landsat-5	1988	30	13	
2	Landsat-5	1996	30	13	
3	Landsat-5	2006	30	13	
4	Landsat-8	2016	30	15	

注:Landsat 数据来源于 USGS 网站.



图 1 2016 年遥感影像数据分布图

2.2 海岸线提取方法

2.2.1 海岸线解译标志构建

本研究结合海岸成因及海岸底质两方面,同 时结合孙伟富等[22]建立的海岸线类型遥感解译标 志,建立了综合详细的海岸线分类体系。海岸线 分类体系包括基岩岸线、淤泥质岸线、砂质岸线、 河口岸线、生物岸线、养殖围堤、港口岸线和建设 围堤8类。

基于海岸线分类体系和遥感影像,结合遥感图 像的识别解译能力和地学知识,并以近红外、红、绿 波段组合后的假彩色影像为例,给出不同类型海岸 线的遥感解译特征,建立遥感解译标志集。遥感解 译标志:①基岩岸线。由岩石组成的基岩海岸,常 有突出的海岬和深入陆地的海湾,岸线曲折,水边 线不规则,海岸色调灰暗。在影像上基岩岸线位于 明显的水陆分界线。②淤泥质岸线。植被茂盛与 稀疏程度明显差异处即为淤泥质岸线所在位置。 在影像上呈现:岸线向陆一侧呈红褐色或暗红色, 向海一侧为灰色。③砂质岸线。位于砂质海岸的 水陆分割线,是海滩的滩脊痕迹线。在影像上呈 现:岸线向陆侧呈亮白色,向海一侧亮度较暗。 ④河口岸线。入海河口与海洋水域的分界线,河流 突然展宽处连线或河口区域道路、桥梁的边界线。 在影像上呈现:以河口突然展宽处的突出点连线, 形状平直,长度较短。⑤生物岸线。将整个红树林 和其他类型边缘作为红树林岸线,在影像中呈红色 色调,纹理较光滑。⑥养殖围堤。养殖围堤一般呈 长条状,空间集中分布,布局规则,通常位于基岩海 岸、淤泥质海岸或者红树林海岸上。⑦港口岸线。 通过围填增加土地,用于修建港口码头用地,在影 像上呈现边缘规则的分布。⑧建设围堤。通过围 填增加土地,用于居民地、交通等建设等用途。在 影像上呈现:具有独特地物邻接关系;岸线向陆一 侧,纹理粗糙,呈灰白色或亮白色,向海一侧颜色 较暗。

2.2.2 岸线提取方法

为了保证前后4期海岸线位置没有变化的部分 保持严格一致,在 GIS 平台上先对 2016 年的海岸 线位置进行人一机交互目视解译,生成矢量数据, 后期海岸线以 2016 年海岸线为标准数据,只对海岸 线有变化区域进行更新,从而有效地避免不同时相 遥感影像进行海岸线动态更新提取时所产生的"双 眼皮"现象。

2.2.3 端点变化速率计算方法

端点变化率(End Point Rate, EPR)能够反映海 岸线的净值变化特征,计算简单,只需要两条岸线 的时间,具体的计算方法如下所示:

$$EPR = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

式中:d1为垂线与最早一期岸线的交点到基线的距 离; d₂为垂线与最晚一期岸线的交点到基线的距 离; t₁为最早一期岸线时间(年); t₂为最晚一期岸 线时间(年)。

3 结果与分析

3.1 海岸线长度和类型变化特征

泰国湾近 30 年岸线总长度呈增长趋势,增长速率 由快变慢。如图 2 和图 3 所示,岸线总长度由 1988 年 的 4 256.8 km 增加至 2016 年的 4 504.9 km,其中 1988—1996 年,岸线变化最剧烈,岸线长度增加 172.4 km。1996—2006 年,岸线长度增加速率变缓, 增加了 33.5 km,平均年增长率为 3.04 km/a。2006— 2016 年,岸线长度持续增加,增加了 42.2 km,增长速率 比 1996—2006 年较大,平均年增长率为 3.84 km/a。

影响泰国湾整体海岸线长度变化的因素众多。 泰国湾海涂宽广,河口众多,一方面,在人类活动的 影响作用下,蜿蜒曲折的淤泥质海岸和海湾沿岸被 围垦改造成农用地、虾养殖池,一些深入内陆的港 湾被堤坝截断用作蓄水等,都会使得"海岸线局部 变短";另一个方面,港口区域扩建及新修建港口, 建设用地等土地利用向海的方向扩建都会使得"海 岸线局部变长"。



基于 1988—2016 年 4 期遥感影像,通过人一机 交互解译获取到不同年份的岸线类型及长度信息



图 3 岸线位置变化

如表2所示。分析得出:1988-2016年泰国湾海岸 线利用类型在波动变化,其中淤泥质岸线、养殖围 堤、港口岸线、建设围堤变化都比较大,基岩岸线、河 口岸线、砂质岸线整体波动范围比较小。1988—1996 年,变化最剧烈的是生物岸线和养殖围堤,其中红树 林岸线长度减少352.2 km,养殖围堤岸线长度增加 555.5 km,其中大部分情况是在红树林区建立虾养 殖场,将红树林用地类型变为养殖用地。1996-2006年,变化最为剧烈的是淤泥质岸线和建设围 堤,其中淤泥质岸线减少109.4 km,建设围堤岸线 增加 118 km,近 10 年由于建设的发展,建设围堤岸线 变化很大。2006—2016年,变化最为剧烈的是淤泥质 岸线和建设围堤,其中淤泥质岸线减少108.1 km,建 设围堤岸线增加139 km,表明近10 年整体建设围 堤还在继续增加,进一步说明泰国湾周边国家对沿 岸开发利用持续增强。

表 2 不同年份各岸线类型长度

km

_									
	年份	基岩岸线	砂质岸线	淤泥质岸线	河口岸线	生物岸线	养殖围堤	港口岸线	建设围堤
	1988	356.9	101.1	1 412.4	13.2	1 347.3	580.7	55.4	389.8
	1996	367.9	97.7	1 269.3	11.2	995.1	1 136.2	117.9	433.9
	2006	365.9	78.5	1 159.9	12.8	1 032.7	1 116.4	144.6	551.9
	2016	378.7	59.9	1 051.8	11.8	1 019.4	1 101.3	191.1	690.9

3.2 重点岸段的岸线变迁速率分析

本研究采用遥感影像人一机交互解译的方法 提取出泰国湾4期的岸线数据,通过分析发现:发生 侵蚀、淤积变化的地方主要集中于西南部的北大年 府、中部的曼谷、东部的白马寺这几个区域,为了进 一步分析 1988—2016 年岸线变迁速率,选取佛丕府 港口到春武里府港口附近的岸段作为重点研究岸 段。基于1988年的海岸线做缓冲区获取一条岸线 为基准岸线,通过利用一系列垂直于基准岸线、等 间距分布的剖面线来分别计算1988—1996年、 1996—2006年、2006—2016年和1988—2016年岸 线变迁速率。一般来说,海岸线多呈不规则的分布 形态,其空间特征和变化很难定量描述,本研究基 于基准岸线经过多次试验,发现选择断面间隔为 300m、长度为3000m作为计算得出的EPR能比 较好地对不同时相的海岸线的变化情况做出准确 的刻画。以下是不同年份岸线的EPR,图4和图5 中EPR正值表示淤积,EPR负值表示侵蚀。



图 4 1988—1996 年 EPR



通过对图 4 至图 7 分析发现,1988—1996 年海 岸线 EPR 平均为一10.72 m/a,最大侵蚀的 EPR 在 断面号 115 附近,对应地理位置为北揽府班空丹附 近,侵蚀速率为 183.07 m/a;最大淤积的 EPR 在断 面号 199 附近,对应地理位置为春武里府班空丹鲁



附近,淤积速率为 151.36 m/a。1996-2006 年海 岸线 EPR 平均为-5.02 m/a,最大侵蚀的 EPR 在 断面号 415 附近,对应地理位置为龙仔厝府班纳格 勒马尼拉附近,侵蚀速率为 123.52 m/a;最大淤积 的 EPR 在断面号 424, 对应地理位置为龙仔厝府班 华蓬附近,淤积速率为 86.89 m/a。2006-2016 年 海岸线 EPR 平均为-2.29 m/a,最大侵蚀 EPR 在 断面号 413 附近,对应地理位置为龙仔厝府班纳格 勒马尼拉附近,侵蚀速率为108.06 m/a;最大淤积 EPR 在断面号 31,对应地理位置为北揽府班空加拉 文附近,淤积速率为 55.86 m/a。1988—2016 年海 岸线 EPR 平均为-5.72 m/a,最大侵蚀的 EPR 在 断面号 416 附近,对应地理位置为龙仔厝府沙没沙 空附近,侵蚀速率为 68.88 m/a,最大的淤积 EPR 在断面号 31 附近,对应地理位置为北揽府班空加拉 文附近,淤积速率为 26.65 m/a。

3.3 海岸蚀淤变化分析

海岸淤积使得岸线向海方向运动,引起海岸带 面积增加,海岸侵蚀使得岸线向陆地方向后退,海 岸带面积减少。本研究所界定的侵蚀、淤积包括自 然原因和人类活动引起的,如海浪侵蚀、风暴潮侵 蚀、港口用地向海方向扩张等造成的侵蚀淤积。泰 国湾近 30 年海岸带不同年份和区域侵蚀淤积程度 不同,主要发生的侵蚀区域集中于曼谷湾附近和北 大年府附近,该区域海岸带脆弱,极易受到侵蚀。 主要的淤积地带发生在港口码头建设的区域,以及 建设用地向海方向扩建等区域。通过相邻年份岸 线提取数据,得出相邻两期数据的侵蚀、淤积数据。 海岸带整体的侵蚀、淤积面积变化如表 3 所示。

表 3 泰国湾海岸带整体侵蚀淤积变化 hm²

类型	1988—1996 年	1996—2006 年	2006—2016 年
海岸侵蚀	10 773.21	5 991.39	6 662.36
海岸淤积	14 680.81	3 888.95	3 932.32
净增加	3 907.60	-2 102.44	-2730.04

注:净扩张为+时表示海岸淤积导致面积增加,相反则为面积 减少.

通过表 3 可知,从时间上来看,泰国湾近 30 年海 岸带面积呈持续减少的态势,虽然在1988-1996年 海岸带净增加3 907.6 hm²,但是整体 30 年海岸带面 积是呈持续减少的状态。近 30 年,泰国湾海岸带面 积净减少 924.88 hm²,年减少速率为 31.89 hm²/a。 1988—1996年,海岸带侵蚀 10 773.21 hm²,年均 侵蚀速率为1 197.02 hm²/a,海岸带淤积面积 14 680.81 hm², 淤积速率为 1 631.2 hm²/a, 净增 加3907.6 hm²。1996-2006年,海岸带侵蚀面积 呈下降的趋势,为5 991.39 hm²,侵蚀速率为 544.67 hm²/a, 淤积增加的面积为 3 888.95 hm², 淤积速率为 353.54 hm²/a。2006—2016 年,海岸带 净增加为负值,减少2730.04 hm²,其中海岸侵蚀减 少6 662.36 hm²,年均侵蚀速率为 605.67 hm²/a,海 岸带淤积 3 932.32 hm²,淤积速率为 357.48 hm²/a。 从空间上看,泰国湾岸线整体总体以养殖围堤和淤 泥质岸线向陆地后退为主,港口建设向海推进为 辅,主要的侵蚀发生在曼谷以南地区和北大年府附 近地区。

3.4 海岸线变迁原因分析

3.4.1 自然因素

从大范围长时间序列尺度上来看,影响泰国湾 海岸线变迁的自然因素主要包括地壳运动、气候变 化、海平面变化、风暴潮、海浪、潮汐、海冰、入海河 流泥沙等,其中主要原因有以下几点。

(1)海平面变化是由气候变化导致的,而气候 变化因纬度而异,泰国湾处于低纬度地区,连续潮 湿、干旱情况发生在秋天,使得海平面局部发生变 化^[21]。由于泰国湾地区地势较低,部分地势平坦的 低洼海湾地区相对海平面上升影响较大,因此引起 泰国湾岸线向陆地后退。

(2)永久性洪水和极端洪水事件。极端洪水事件。 件是由风暴潮引起的,根据热带地区的气旋侵袭泰 国湾地区的历史资料,预报未来气旋事件频率将比 过去 30 年高^[23],这表明极端事件的发生率较高,对 于泰国湾海岸线的影响也比较大。

(3)泰国湾的海水位主要受天文潮、大型河流 的气象风和压力以及水排放。潮汐从南过越南的 Kaman半岛和马来半岛进入泰国湾,这些潮汐特征 对宋卡府附近的海岸线有影响,水位的上升侵蚀着 岸线,周期性的变化导致岸线的侵蚀^[21]。

3.4.2 人类活动

短期来看,人类活动对于岸线变迁的影响远远 大于自然因素,主要涉及建设围堤、养殖围堤、港口 建设、大坝的建设等,具体表现在以下几个方面。

(1)地下水过度开采。如曼谷地区,由于城市 用水需求量大,增加了对地下水开采的速率,使得 地下水开采过度,引起海岸带地表整体下陷,使得 海岸带相对于海平面下降,造成海岸侵蚀加剧,导 致岸线向陆地方向移动。

(2)建立虾养殖场,对当地红树林破坏。在过 去的 30 年间,为了商业的利益,人们过度开发利用 红树林,如北揽府、龙仔厝府、曼谷沿岸地区的居民 都是以水产养殖和农业为主要生计。虾养殖场的 建立,对周围环境的污染,使得红树林生态环境遭 到严重的破坏,由于红树林的减少,对于沿岸泥土 的固着能力降低,整体岸线受到侵蚀加剧,岸线持 续向陆地方向后退。

(3)港口码头等建设用地增加,使得岸线向海方向延伸,这也是导致海岸线变迁很重要的人为原因。近30年,由于海运发展日益强盛,泰国湾周边增加了很多港口码头,中国倡议建设"21世纪海上丝绸之路",对泰国东部海岸廉差邦港口有很大的影响。

4 结论与讨论

本研究以泰国湾整体为研究区域,通过提取 1988年、1996年、2006年、2016年4期海岸线来研 究泰国湾整体沿岸岸线的时空变迁。为了更为精 确地定量分析变迁,采用DSAS分析近30年泰国湾 岸线变迁速率,并对造成岸线变化的原因做出相关 的解释。得出以下几点结论。

(1)泰国湾近 30 年岸线总长度是呈增长的趋势,增长速率由快变为缓慢。岸线总长度由 1988 年4 256.8 km 增加至 2016 年 4 504.9 km,其中 1988—1996 年,岸线变化最剧烈,岸线长度增加 172.4 km。1988—2016 年泰国湾不同类型海岸线长度在波动变化,其中淤泥质岸线、养殖围堤、港口岸线、建设围堤变化都比较大,基岩岸线、河口岸线、砂质岸线整体波动范围比较小。

(2)通过选取佛丕府港口到春武里府港口附近 的岸段作为典型岸段,利用 DSAS 中的 EPR 来研究 1988—2016 年岸线变迁速率。发现:1988—1996 年海岸线 EPR 平均为一10.72 m/a,最大侵蚀处位 于北揽府班空丹附近,侵蚀速率为 183.07 m/a;最 大淤积处位于春武里府班空丹鲁附近,淤积速率为 151.36 m/a。1996—2006 年海岸线 EPR 平均为 -5.02 m/a,最大侵蚀处为龙仔厝府班纳格勒马尼 拉附近,侵蚀速率 123.52 m/a;最大淤积的位置为 龙仔厝府班华蓬附近,淤积速率为 86.89 m/a。 2006—2016 年海岸线 EPR 平均为-2.29 m/a,最 大侵蚀位置为龙仔厝府班纳格勒马尼拉附近,侵蚀 速率为 108.06 m/a;最大淤积位置为北揽府班空加 拉文附近,淤积速率为 55.86 m/a。

(3)从时间上来看,泰国湾近 30 年蚀淤面积呈 持续减少的态势,虽然在 1988—1996 年年蚀淤面 积净增加 3 907.6 hm²,但是整体 30 年蚀淤面积 持续减少,净减少 924.88 hm²,年减少速率为 31.89 hm²/a。

(4)从空间上看,泰国湾岸线总体以养殖围堤 和淤泥质岸线向陆地后退为主,建设围堤向海推进 为辅,主要的侵蚀发生在曼谷以南地区和北大年府 附近地区。

参考文献

- [1] 中国标准出版社.海洋学术语:海洋地质学:GB/T 18190 2000[S].北京:中国标准出版社,2000.
- [2] 戴志军,李春初,陈锦辉.华南海岸带陆海相互作用研究[J].地 理科学进展,2004,23(5):10-16.
- [3] 于杰,杜飞雁,陈国宝,等.基于遥感技术的大亚湾海岸线的变 迁研究[J].遥感技术与应用,2009,24(4):512-516.
- [4] 贺强,崔保山,赵欣胜,等.水、盐梯度下黄河三角洲湿地植物种的生态位[J].应用生态学报,2008,19(5):969-975.
- [5] 张晓龙.现代黄河三角洲滨海湿地环境演变及退化研究[D].青岛:中国海洋大学,2005.
- [6] LI W, GONG P. Continuous monitoring of coastline dynamics in western Florida with a 30-year time series of Landsat imagery[J].Remote Sensing of Environment, 2016, 179:196-209.
- [7] YOUSEF A H, IFTEKHARUDDIN K M, KARIM M A. Shoreline extraction from light detection and ranging digital elevation model data and aerial images[J].Optical Engineering, 2013,53(1):011006.
- [8] 赵宗泽,刘荣杰,马毅,等.近 30 年来湄洲湾海岸线变迁遥感监测与分析[J].海岸工程,2013,32(1):19-27.
- [9] 孙丽娥,马毅,刘荣杰.杭州湾海岸线变迁遥感监测与分析[J].
 海洋测绘,2013,33(2):38-41.
- [10] 李秀梅,袁承志,李月洋.渤海湾海岸带遥感监测及时空变化[J].国土资源遥感,2013,25(2):156-163.
- [11] 叶小敏,丁静,徐莹,等.渤海湾近 30 年海岸线变迁与分析[J]. 海洋开发与管理,2016,33(2):56-62.
- [12] 苗俊伟,马毅,张杰,等.图们江口及邻近区域海岸线遥感监测 及变化分析[J].海洋开发与管理,2017,34(2):39-45.
- [13] 赵玉灵.近 40 年来伶仃洋海岸线与红树林遥感调查与演变分析[J].国土资源遥感,2017,29(1):136-142.
- [14] KEVIN W, HESHAM M. Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery: an example from the Nile Delta[J].Geomorphology,1999,29: 93-105.
- [15] RYU J H, WON J S, MIN K D. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: a case study in Gomso Bay, Korea
 [J].Remote Sensing of Environment, 2002, 83(3):442-456.

(以下内容转至第76页)

但在很多方面尚无突破性进展,未达成共识。今后 可扩展除 DBP 以外更多的化感物质作用机理研究, 深入到基因水平作进一步探索。

参考文献

- [1] MOLISH H.Der einfluss einer pflante auf die andere: Allelopathie[M].Gustav Fisher Jena, 1937:13-20.
- [2] 田志佳.大型海藻化感物质对短裸甲藻的抑制作用[D].青岛: 中国海洋大学,2009.
- [3] HASLER A D, JONES E. Demonstration of the antagonistic action of large aquatic plants on algae and rotifers [J]. Ecology, 1949, 30(3):359-364.
- [4] 胡洪营,门玉洁,李锋民.植物化感作用抑制藻类生长的研究进 展[J].生态环境学报,2006,15(1).
- [5] 阎飞,杨振明,韩丽梅.植物化感作用及其作用物的研究方法

[J].生态学报,2000,20(4):692-696.

- [6] 尹玉丽.两类植物化感物质对赤潮藻生长的影响研究[D].广州:暨南大学,2007.
- [7] ROTH P B, TWINER M J, MIKULSKI C M, et al. Comparative analysis of two algicidal bacteria against the red tide dinoflagellate Karenia brevis [J].Harmful Algae, 2008, 7(5):682-691.
- [8] 李锋民,胡洪营,种云霄,等.2-甲基乙酰乙酸乙酯对藻细胞膜 和亚显微结构的影响[J].环境科学,2007,28(7):1534-1538.
- [9] GROSS E M, WOLK C P, JUTTNER F.Fischerellin, a new allelochamical from the freshwater cyanobacterium fischerellin muscicola [J].Journal of Phycology, 1991,27(6):686-692.
- [10] 李锋民,胡洪营,门玉洁,等.化感物质对小球藻抗氧化体系酶 活性的影响[J].环境科学,2006,27(10):2091-2094.
- [11] 朱擎,冯菁,吴为中,等.稻草浸泡液的抑藻效果与抑藻活性组 分的初步分析[J].北京大学学报(自然科学版),2009,45(1): 178-182.

(上接第50页内容)

- [16] MUTHUSANKAR G, JONATHAN M P, LAKSHUMANAN C, et al.Coastal erosion vs man-made protective structures:evaluating a two-decade history from southeastern India [J]. Natural Hazards, 2017, 85:637-647.
- [17] ANASTASIOU S, SYLAIOS G. Assessment of shoreline changes and evaluation of coastal protection methods to mitigate erosion[J]. Coastal Engineering Journal, 2016, 58 (2): 1650006-1-24.
- [18] KERMANI S, BOUTIBA M, GUENDOUZ M, et al. Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast(East Algeria)[J]. Ocean & Coastal Management, 2016, 132 (11): 46-58.
- [19] CHOWDHURY S R, TRIPATHI N K. Coastal erosion and accretion in Pak Phanang, Thailand by GIS analysis of maps

and satellite imagery[J].Songklanakarin Journal of Science &-Technology,2013,35(6):739-748.

- [20] CHUSRINUAN N, TANAVUD C, YONGCHALERMCHAI C. Impacts of shoreline erosion on coastal ecosystems in Songkhla Province[J]. Songklanakarin Journal of Science & Technology, 2009, 31(2):34-36.
- [21] VONGVISESSOMJAI S.Will sea-level really fall in the Gulf of Thailand[J].Songklanakarin Journal of Science & Technology,2006,28(2):227-248.
- [22] 孙伟富,马毅,张杰,等.不同类型海岸线遥感解译标志建立和 提取方法研究[J].测绘通报,2011(3):41-44.
- [23] JARUNGRATTANAPONG R, MANASBOONPHEMPHOOL A. Adaptation strategies to address coastal erosion/flooding:a case study of the communities in Bang Khun Thian District, Bangkok, Thailand[R].General Information, 2009.