

2010—2015 年环渤海海岸线时空 变迁监测与分析

吴培强, 张 杰, 马 毅, 孙伟富

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:以 Landsat ETM+, OLI 影像为数据源, 开展了 2010—2015 年环渤海大陆海岸线和岸线摆动区内土地覆盖信息提取, 并对其逐年时空变化特征和海岸开发方式进行了系统分析。结果表明: 环渤海大陆海岸线长度及类型动态变化显著, 岸线长度增加了 396.2 km, 以人工岸线为主, 占比超过 80%, 共增加 465.7 km; 其余岸线类型均出现不同程度缩减, 砂质岸线变化最大, 减少了 35.6 km。2010—2015 年岸线整体向海推进导致陆域面积净增 737.81 km², 养殖、建设用地和交通运输用地是渤海主要的用海类型, 以养殖用海最多, 增加了 301.88 km², 建设用地次之, 增加了 297.14 km²。环渤海经济快速发展带来的人为开发是环渤海岸线变化的主导因素, 且开发方式时间异质性显著, 2010—2012 年增速剧烈, 2013 年后逐年变缓。

关键词:环渤海; 遥感; 海岸线变迁; 土地覆盖

中图分类号: P748; TP751

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2018)01-0128-11

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2018.01.012

海岸带是人类最密集的聚居地, 是生态环境的脆弱带, 也是海洋经济发展的重要载体。进入 21 世纪以来, 环渤海地区各省市都把发展海洋经济放到重要的位置, 天津滨海新区、河北曹妃甸循环经济示范区等经济开发区相继成立, 带动了沿海地带的迅猛发展, 同时也改变了海岸带的地貌形态。人类对海岸带长期的大规模开发利用引发了诸多海岸线资源变化问题, 如连续的大规模填海造地活动引起自然岸线比例不断降低; 过度利用海岸, 使岸线由曲折变得平直, 降低了海岸对潮汐和海浪侵蚀的抵御作用; 无序的围海养殖导致近岸海域生态环境恶化, 这些为海岸带资源的开发利用和可持续发展带来了巨大压力和挑战。

海岸线的位置、走向和形态变化是海岸带自然因素、人为干扰综合作用的外在表现, 在海岸带资源开发利用和规划管理中起着重要的作用^[1]。随着环渤海地区经济的发展, 人类活动加快了海岸线的演变速度, 受调查频度和资源人力投入的限制, 传统的测量手段已无法实时监测大范围的海岸线变化。遥感技术以其大范围同步、长时间序列的优势, 已被广泛应用于国内外岸线监测^[2]。基于长时间序列的 Landsat 卫星遥感影像, Ekercin^[3], Kawakubo 和 Morator^[4], Chituru 和 Tamuoene^[5] 分别开展了 1975—2001 年土耳其爱琴海东北部海岸、1986—2007 年巴西东南部海岸、1972—2008 年尼日尔三角洲等区域的海岸线变迁分析, 这些典型海岸大范围、长时序遥感变化分析结果, 阐明了多年间研究区海岸线变化的规律。近年来, 随着环渤海地区经济的快速发展, 海岸线变迁监测已成为研究的热点, 徐宁等^[6]、李亚宁等^[7] 以 10 a 为一间期分别开展了 1980—2010 年、1993—2013 年环渤海海岸线时空变化特征分析; 马万栋等^[8] 开展了 1982—2014 年的环渤海围填海时空特征分析; 还有许多学者围绕渤海湾、辽宁省、天津滨海新区等典型区域展开研究^[9-13], 这些研究多是中低时间分辨率或针对环渤海局地区域的研究, 因近年来环渤海区域岸线变迁剧烈, 为摸清该区域整体的海岸线变化规律, 亟需开展逐年高时间分辨率的全局监测, 掌握海岸线开发利用情况, 研究海岸线变迁及

收稿日期: 2016-12-26

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——我国大陆海岸潟湖高时间分辨率遥感监测与演变特征分析 (2015T03)

作者简介: 吴培强(1984-), 男, 山东潍坊人, 研究实习员, 硕士, 主要从事海岛海岸带遥感应用方面研究。E-mail: wu1416@163.com

(王 燕 编辑)

其影响因素,为环渤海区域的经济可持续发展和海岸线资源合理利用提供重要技术和数据支持。

本文基于 Landsat 卫星数据,结合环渤海地区的海岸特征,定量获取了 2010—2015 年 6 期环渤海大陆海岸线数据,解译了变化岸段的土地覆盖类型,并分析了环渤海大陆海岸线的时空分布特征和海岸开发利用情况,研究成果可服务于环渤海海岸带资源开发利用和可持续发展提供重要技术和数据支持。

1 研究区概况

渤海是近封闭的内海,地处我国大陆东部北端(117°35′~122°15′E,37°07′~41°00′N),被辽宁、河北、天津和山东三省一市所环抱,东面经渤海海峡与黄海相通,以辽东半岛老铁山角和山东半岛蓬莱角间的连线为黄渤海分界线,其海域面积为 77 284 km²。渤海海岸主要为粉砂淤泥质岸、砂质岸和基岩岸,沿岸分布黄河、海河和辽河三大水系,每年带大量泥沙和有机物入海^[14]。

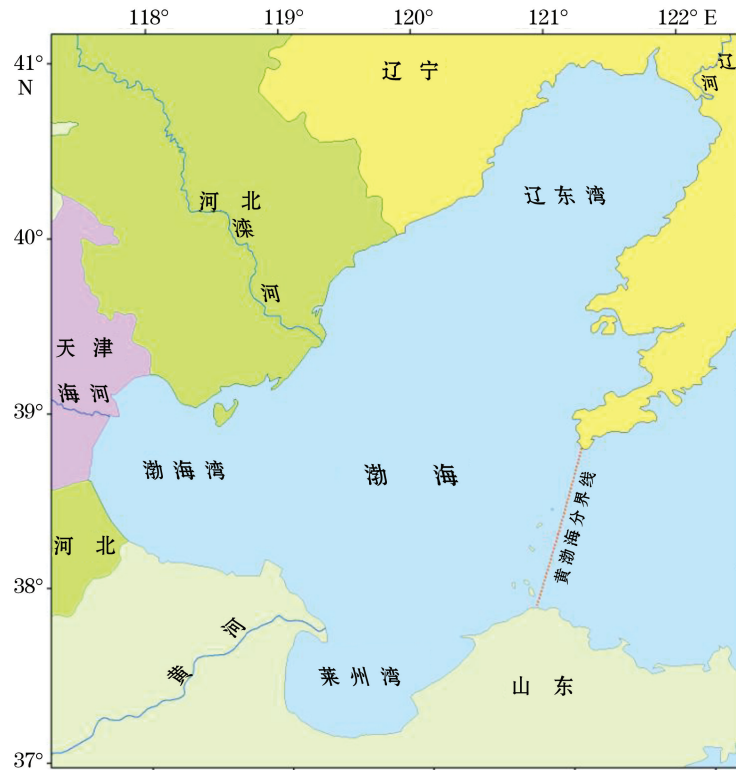


图 1 研究区域图

Fig.1 Location of the study area

2 数据与方法

2.1 数据源及预处理

选用 2010—2015 年 6 期 Landsat 遥感影像为主要数据源(表 1),为保证提取海岸线位置的准确性,我们利用现场踏勘获取的地面控制点,对 Landsat 遥感影像进行几何精校正,校正精度控制在 0.5 个像元内。在岸线解译、提取和修正过程中,参考了我国近海海洋综合调查与评价专项即山东、河北、天津、辽宁海岸带要素调查结果。另外,由于 2003 年 Landsat 7 ETM+扫描校正器(SLC)损坏,导致本文所获取的 ETM+图像存在条带噪声,严重影响了信息的提取,为此,我们采用 ENVI 条带修复补丁对影像进行了修复。

表 1 遥感影像数据信息

Table 1 Information of remote sensing images

序号	影像	轨道号	成像时间	空间分辨率/m	序号	影像	轨道号	成像时间	空间分辨率/m
1	Landsat7 ETM+	120-32	2010-10-14	15	22	Landsat8 OLI	120-32	2013-10-30	15
2	Landsat7 ETM+	120-33	2010-10-14	15	23	Landsat8 OLI	120-33	2013-10-30	15
3	Landsat7 ETM+	120-34	2010-09-28	15	24	Landsat8 OLI	120-34	2013-10-30	15
4	Landsat7 ETM+	121-32	2010-10-05	15	25	Landsat8 OLI	121-32	2013-10-05	15
5	Landsat7 ETM+	121-33	2010-10-05	15	26	Landsat8 OLI	121-33	2013-10-05	15
6	Landsat7 ETM+	121-34	2010-10-05	15	27	Landsat8 OLI	121-34	2013-10-05	15
7	Landsat7 ETM+	122-33	2010-10-28	15	28	Landsat8 OLI	122-33	2013-09-26	15
8	Landsat7 ETM+	120-32	2011-10-17	15	29	Landsat8 OLI	120-32	2014-10-17	15
9	Landsat7 ETM+	120-33	2011-10-17	15	30	Landsat8 OLI	120-33	2014-10-17	15
10	Landsat7 ETM+	120-34	2011-10-17	15	31	Landsat8 OLI	120-34	2014-10-17	15
11	Landsat7 ETM+	121-32	2011-11-09	15	32	Landsat8 OLI	121-32	2014-11-09	15
12	Landsat7 ETM+	121-33	2011-11-09	15	33	Landsat8 OLI	121-33	2014-11-09	15
13	Landsat7 ETM+	121-34	2011-10-08	15	34	Landsat8 OLI	121-34	2014-10-24	15
14	Landsat7 ETM+	122-33	2011-10-15	15	35	Landsat8 OLI	122-33	2014-10-15	15
15	Landsat7 ETM+	120-32	2012-10-19	15	36	Landsat8 OLI	120-32	2015-10-04	15
16	Landsat7 ETM+	120-33	2012-10-19	15	37	Landsat8 OLI	120-33	2015-10-04	15
17	Landsat7 ETM+	120-34	2012-10-19	15	38	Landsat8 OLI	120-34	2015-09-18	15
18	Landsat7 ETM+	121-32	2012-10-10	15	39	Landsat8 OLI	121-32	2015-09-25	15
19	Landsat7 ETM+	121-33	2012-10-10	15	40	Landsat8 OLI	121-33	2015-09-25	15
20	Landsat7 ETM+	121-34	2012-10-10	15	41	Landsat8 OLI	121-34	2015-10-27	15
21	Landsat7 ETM+	122-33	2012-10-17	15	42	Landsat8 OLI	122-33	2015-10-02	15

2.2 岸线提取方法

海岸线即海陆分界线,在我国系指多年大潮平均高潮位时海陆分界线^[15]。本文利用目视解译方法,参考我国近海海洋综合调查与评价专项“海岸线修测技术规程”^[16]及孙伟富等^[17]提出的岸线解译标志,结合实地踏勘经验,从影像中提取了环渤海大陆多年大潮平均高潮位的痕迹线,对于沿海宽度小于 1 个像元的凸堤,海岸线直接从凸堤根部通过。与通过水边线潮汐修正获取海岸线的方法不同,该目视解译方法可直接根据地物特征提取海岸线。为更好地研究海岸开发利用情况,将海岸线类型分为自然岸线和人工岸线两类,见表 2。

为保障海岸线解译的准确性,首先解译 2010 年环渤海海岸线,对比我国近海海洋综合调查与评价专项中山东省修测岸线,分析发现本文所解译的环渤海海岸线结果准确,满足开展变迁研究的条件。因稳定岸段岸线未发生变化,为减少外在因素的影响,在环渤海 2010 年解译结果的基础上,仅修编变化岸段海岸线。

表 2 海岸线分类系统

Table 2 Classification of coastlines

海岸线类型	说 明	
自然岸线	基岩岸线	位于基岩海岸之上,由岩石组成,岸线曲折
	砂质岸线	位于砂质海岸上,为滩脊痕迹线或陡崖基部与沙滩的交界
	粉砂淤泥质岸线	位于淤泥质海岸上,植被茂盛和稀疏程度明显差异处
	河口岸线	位于入海河口处,河流由海向陆的第一座桥梁、防潮闸,或河流突然展宽处
人工岸线	人工建筑物形成的岸线,建筑物一般包括防潮堤、防波堤、码头、凸堤、养殖区和盐田等	

2.3 岸线变迁分析方法

当前,海岸线变化分析方法主要有基线法、动态分割法、缓冲区覆盖法及面积法^[18]。其中,基线法能够反映海岸线变化的空间信息;面积法能够反映出海岸线的开发利用状况。本文在岸线提取结果的基础上,利用基线法开展了环渤海海岸线时空变化特征分析。参考《海洋功能区划技术指导》^[19],结合遥感监测能力,对岸线摆动区内土地按覆盖类型进行分类(表 3),能更好、更直接地反映环渤海区域海岸开发利用情况,结合面积法,开展海岸的使用情况时空分析。

表 3 岸线摆动区内土地覆盖分类

Table 3 Classification of the land cover in coastline displacement region

土地覆盖类型	说 明
交通运输用地	通过围填海域用于修建港口码头、路桥、机场等交通需要的土地
建设用地	通过围填海域用于城镇、住宅、工业区、旅游区、生态修复等用途的用地
盐田	用于盐业生产的海域,包括盐田、蓄水池、盐田取排水口等
围海养殖	指筑堤围割海域进行封闭和半封闭式养殖生产的海域
淤泥滩	因泥沙淤积,海岸线相对向海推进而新增加的土地
水域	由于海岸侵蚀后退而损失的土地,由海水替代

3 结果与分析

3.1 海岸线时空特征分析

2010—2015年环渤海大陆海岸线持续增加,2010年时岸线长度为3 231.9 km,至2015年,海岸线为3 628.1 km,总长度增加了396.2 km,其中,2010—2011年,岸线增速最快,增加了186.4 km,之后增速放缓。随着国家对海洋发展的日益重视,海洋经济已成为拉动社会发展的战略重点,环渤海沿岸以海洋资源和区位优势为核心,大力建设辽宁沿海经济带、天津滨海新区、黄河三角洲、山东半岛蓝色经济区等沿海经济区;这些可直接显现于海岸线类型构成,2010—2015年,人工岸线占比都在80%以上,且环渤海均匀分布,长度不断增加,由2010年的2 638.8 km增加到2015年的3 104.5 km,岸线增加主要来自围海养殖、港口码头和临港工业区建设等围堤。随之而来,其他海岸线类型不断变短,其中砂质岸段分布于辽东湾和莱州湾,开发强度最大,减少了35.6 km。粉砂淤泥质岸线次之,受围海养殖开发和河口泥沙淤积双重影响,减少了23.4 km。基岩岸线主要分布于辽东湾,且仅有少部分岸段被开发为港口码头。各期海岸线长度及分布见表4和图2,2015年岸线类型分布见图3。

表 4 2010—2015 年环渤海海岸线长度(km)

Table 4 Coastline length (km) changes of the Bohai Sea from 2010 to 2015

区 域	岸线类型	年 份					
		2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
环渤海	基岩岸线	189.8	182.2	181.4	180.9	180.8	180.8
	砂质岸线	252.3	242.4	238.7	227.1	216.7	216.7
	粉砂淤泥质岸线	125.6	115.2	108.3	103.2	103.6	102.2
	河口岸线	25.4	24.6	23.9	23.9	23.9	23.9
	人工岸线	2 638.8	2 853.9	2 927.1	2 990.8	3 054.9	3 104.5
	小计	3 231.9	3 418.3	3 479.4	3 525.9	3 579.9	3 628.1
辽东湾	基岩岸线	188.7	181.1	180.3	179.8	179.7	179.7
	砂质岸线	185.3	184.3	180.5	175.4	168.4	168.4
	粉砂淤泥质岸线	21.1	21.1	21.8	19.8	19.6	19.6
	河口岸线	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3
	人工岸线	1 271.9	1 356.6	1 407.4	1 436.2	1 460.8	1 490.3
	小计	1 680.3	1 756.4	1 803.3	1 824.5	1 841.8	1 871.3
渤海湾	基岩岸线	0	0	0	0	0	0
	砂质岸线	0	0	0	0	0	0
	粉砂淤泥质岸线	3.4	0	0	0	0	0
	河口岸线	8.0	7.3	6.9	6.9	6.9	6.9
	人工岸线	798.8	853.5	876.8	894.1	915.1	921.7
	小计	810.2	860.8	883.7	901.0	910.6	928.6
莱州湾	基岩岸线	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	砂质岸线	67.0	58.1	58.2	51.7	48.3	48.3
	粉砂淤泥质岸线	101.1	94.1	86.5	83.4	84.0	82.7
	河口岸线	4.1	4.0	3.7	3.7	3.7	3.7
	人工岸线	568.1	643.9	642.9	660.5	679.0	692.4
	小计	741.4	801.2	792.4	800.4	816.1	828.2

3.1.1 辽东湾海岸线时空特征分析

辽东湾大陆海岸线变化集中在长兴岛、太平湾、辽河口、双台子河口和锦州湾等附近海域,变化主要受大连长兴岛临港工业区、太平湾临港经济区、盘锦辽滨沿海经济区、锦州西海工业区等经济发展的影响。2010—2015年,辽东湾大陆海岸线增加了191.0 km,年均增加38.2 km,从表4中可以看出,岸线开发利用强度在逐年降低。辽东湾大陆海岸线各类型中以人工岸线最长,2015年时占全湾总长度的79.6%,其变化也最为剧烈,由2010年的1 271.9 km增长到2015年的1 490.3 km。砂质岸线开发最为剧烈,岸线长度减少了16.9 km,占比由2010年的11.0%减少到2015年的9.0%;基岩岸线和粉砂淤泥质岸线变化较小,河口岸线基本无变化。

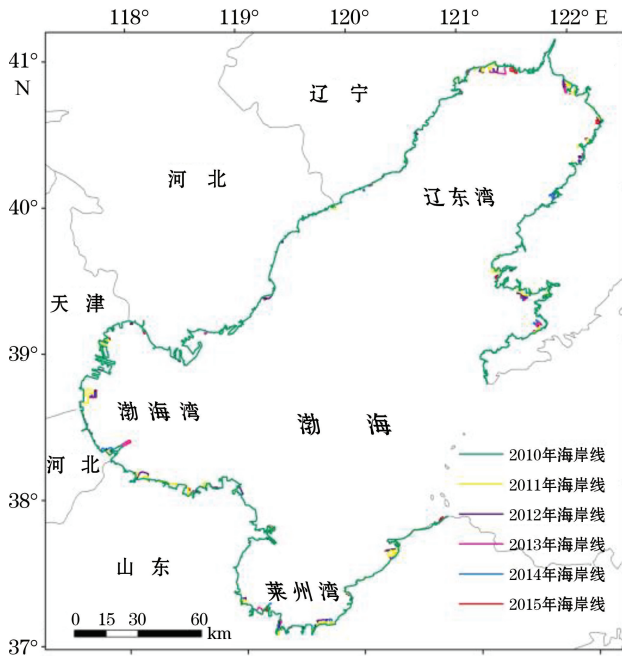


图2 6期环渤海海岸线

Fig.2 Coastline changes of the Bohai Sea from 2010 to 2015

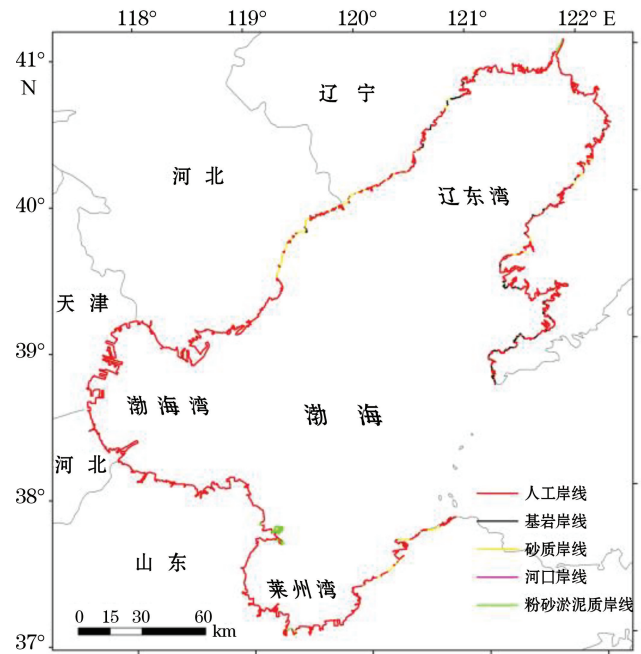


图3 2015年环渤海大陆岸线类型分布图

Fig.3 Distribution of coastline types in 2015

3.1.2 渤海湾海岸线时空特征分析

渤海湾大陆海岸线变化分布于天津港及邻近海域、黄骅港及邻近海域、滨州沿海等区域,变化主要受天津滨海新区建设、黄骅港港区建设、滨州经济开发区建设影响。渤海湾大陆海岸多为淤泥质岸段,现已全部被开发利用,2010—2015年,岸线长度增加了122.9 km,增长15.2%,随着港区日趋完善和可滩涂围养区域减少,岸线增速在逐年减缓。2015年人工岸线长度为921.7 km,占全湾总长度的99.3%,主要由工业区建设围堤、港口围堤和养殖围堤组成。部分河口岸线和全部粉砂淤泥质岸线在人为开发作用下被围填,岸线长度分别减少了1.1和3.4 km。

3.1.3 莱州湾海岸线时空特征分析

莱州湾大陆海岸线变化分布在黄河口、潍坊昌邑、烟台龙口等附近海域,变化主要受东营港建设、黄河口泥沙淤积、潍坊港建设、昌邑沿海经济开发区建设和龙口港等影响。2010—2015年,莱州湾大陆海岸线持续增加,由2010年的741.4 km增加到2015年的828.2 km,增加了86.8 km,其中,以2010—2011年经济建设最为剧烈,岸线长度增加了59.8 km。人工岸线由2010年的占比76.6%增加到2015年的83.6%,主要来自于港口围堤、盐田围堤、旅游设施围堤等。粉砂淤泥质岸段中,黄河口河口区域泥沙淤积,岸线增加2.9 km;但老黄河口、昌邑柘柳林保护区部分岸段被生态修复围堤,分别减少了5.4和8.0 km。砂质岸段主要分布于烟台,由于沿海旅游业的大力发展,部分砂质岸段被开发,造成砂质岸线减少了18.7 km。河口岸线和基岩岸线基本无变化。

3.2 岸线摆动区内土地覆盖变迁分析

为研究环渤海海岸开发利用情况,本文获取了变化岸段的土地覆盖类型(表3)。选取了黄河三角洲、昌邑、双台子河口的提取结果与现场踏勘结果进行比对验证,判对率85%以上,满足需求;另外,对于提取的个别不太明确的土地类型通过Google地图中分享照片进行辅助判定。土地覆盖面积变化及分布见表4和图4,2015年土地覆盖类型见图5。

环渤海大陆岸线变迁导致陆地面积净增737.81 km²,其中2010—2012年间增速最快,增加534.83 km²,

2013 年开始增长缓慢。通过表 4 可以看出,养殖、建设用地和交通运输用地是环渤海主要的用海类型,累计占总开发面积的 90.6%;以分布于海湾和河口区域的养殖用海最多,增加了 301.88 km²,占比 40.9%;以适应环渤海新兴工业经济发展和缓解人口增加的压力,围海开展建设用地增加 297.14 km²,受建设周期的影响,其增速直线下降,由 2010—2011 年的 149.50 km²降至 2014—2015 年的 6.31 km²。为保障经济区货物的快速流通,港口码头和机场等交通运输用地增加了 69.84 km²。盐田用海主要分布于潍坊北部,总共增加了 77.02 km²。自然淤积和蚀退主要发生在粉砂淤泥质岸滩,分别变化了 4.75 和 12.82 km²。

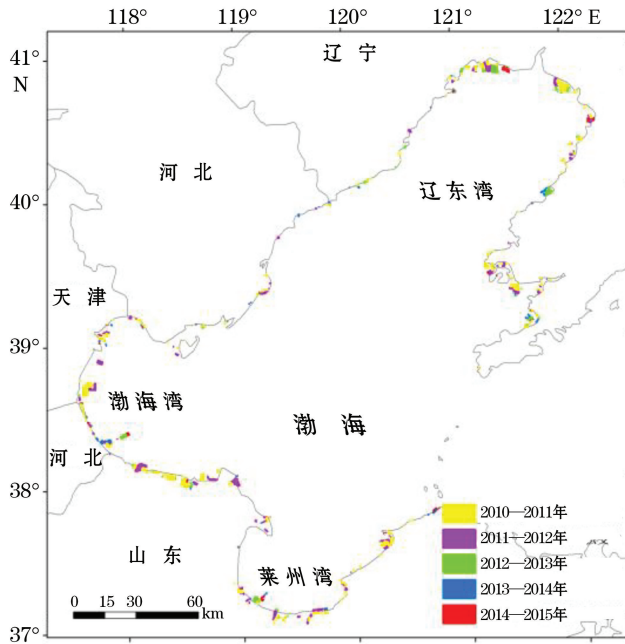


图 4 2010—2015 年间环渤海陆域面积变化

Fig.4 Land area changes in the Bohai Sea during 2010 and 2015

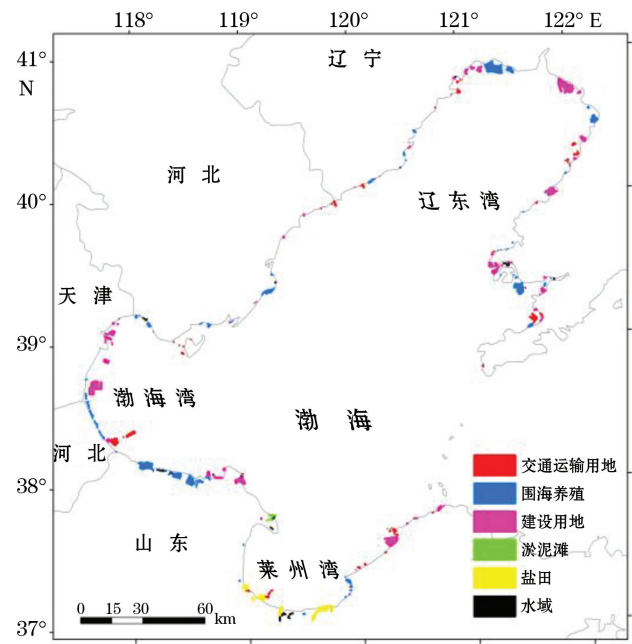


图 5 2010—2015 年间摆动区土地覆盖类型分布

Fig.5 Distribution of land cover types during 2010 and 2015

表 4 环渤海岸线摆动区内土地覆盖面积 (km²)

Table 4 The area statistics of the land cover (km²) in the coastline variability region of the Bohai Sea

土地覆盖类型	年 份					2010—2015 年
	2010—2011 年	2011—2012 年	2012—2013 年	2013—2014 年	2014—2015 年	
交通运输用地	18.22	13.38	13.12	16.70	8.42	69.84
建设用地	149.50	94.22	33.04	14.08	6.31	297.14
盐田	22.33	32.35	18.08	4.26	0	77.02
围海养殖	108.93	101.49	56.43	7.48	27.55	301.88
淤泥滩	1.48	1.54	0.30	0.74	0.69	4.75
水域	-5.51	-3.09	-2.62	-0.90	-0.70	-12.82
小计	294.94	239.89	118.35	42.36	42.27	737.81

3.2.1 围海养殖时空变化特征分析

围海养殖主要分布于辽宁普兰店湾、辽河口、双台子河口、河北黄骅市沿海、山东滨州沿海,这些岸段皆为粉砂淤泥质岸段,由于入海河流带来了大量的泥沙和有机物,导致近岸海域营养盐丰富,饵料生物繁多,为养殖提供很好的自然基础,另外这些区域背靠经济开发区,为养殖的营销提供了良好的保障。经统计,上述

岸段新增围海养殖总面积为 246.37 km², 约占环渤海的 81.6%。尤以滨州沿岸和双台子河口变化剧烈, 为 84.15 和 94.29 km², 背靠滨州临港产业聚集区和盘锦辽滨沿海经济区, 可为养殖服务。

3.2.2 建设用地时空变化特征分析

建设用地是围填海用地的主要用途, 主要分布于大连长兴岛临港工业区、辽宁营口鲅鱼圈临海工业区、盘锦辽滨沿海经济区、辽西锦州湾沿海经济区、天津滨海新区、黄河口高效生态区、龙口湾临港高端产业聚集区等。经统计分析, 上述经济区建设用地共围海 262.73 km², 占环渤海建设用海的 88.4%。其中以天津滨海新区围填面积最大, 为 84.12 km², 主要是因为 2010—2013 年天津海滨休闲旅游区临海新城区建设、天津临港工业区二期工程建设、天津南港工业区建设(图 6)分别围填了 10.43, 6.90 和 56.29 km²。2010-05 批复的盘锦辽滨沿海经济区, 共围填 54.42 km², 将构建船舶制造、石油化工、高新科技的产业园。龙口湾临港高端产业聚集区围填海面积为 41.82 km², 用于 2010-05 批复的龙口人工岛群工程, 是我国批准建设的最大海上人工岛群。大连长兴岛临港工业区和辽西锦州湾沿海经济区分别围填了 20.77 和 15.67 km²。黄河口建设用地源于黄河三角洲自然保护区生态修复围海和东营港经济开发区建设, 分布于“一千二”核心区的湿地生态修复工程围海面积为 11.58 km², 东营港临港工业区围海 22.23 km²。2010-05 批复的辽宁营口鲅鱼圈临海工业区建设围海相对较少, 面积为 8.74 km²。

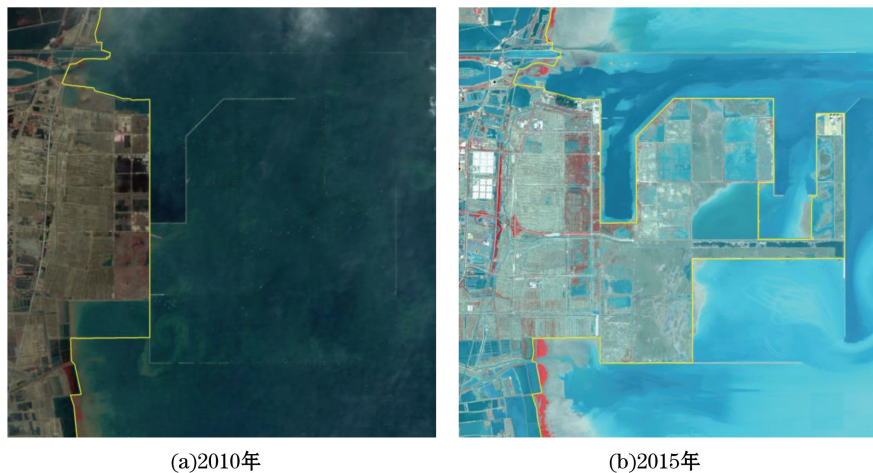


图 6 天津南港工业区影像图

Fig.6 Remote sensing images of the Nangang industrial zone of the Tianjin city

3.2.3 交通运输用地时空变化特征分析

随着环渤海经济区的快速发展, 原有的交通运输不能满足经济发展的需要, 特别是作为资源配置的重要枢纽的港口码头, 需要以填海造地的方式寻求发展。2010—2015 年交通运输围海造地分布于太平湾国际机场、营口港、绥中港、黄骅港、潍坊港等港口码头和机场的建设。经统计, 上述地区共围填面积 55.17 km², 约占环渤海港口码头围填面积的 79.0%。其中, 地处环渤海经济圈中部的河北黄骅港, 2010—2015 年围填面积 29.97 km²。依托于辽宁营口鲅鱼圈临海工业区的营口港在原有港区的基础上, 共围填 7.47 km²; 最初两年分别围填了 3.77 和 3.18 km², 基本完成了港口的外围轮廓。潍坊港和绥中港 5 a 中分别围填了 3.51 和 2.37 km²。另外, 自 2011 年大连金州湾国际机场采用离岸填海, 拟造陆 20.87 km², 从本文统计数据来看, 现已围填 11.58 km², 完成了 55.5% 的围填面积, 从图 7 可以看出, 机场的外围轮廓已基本完成。

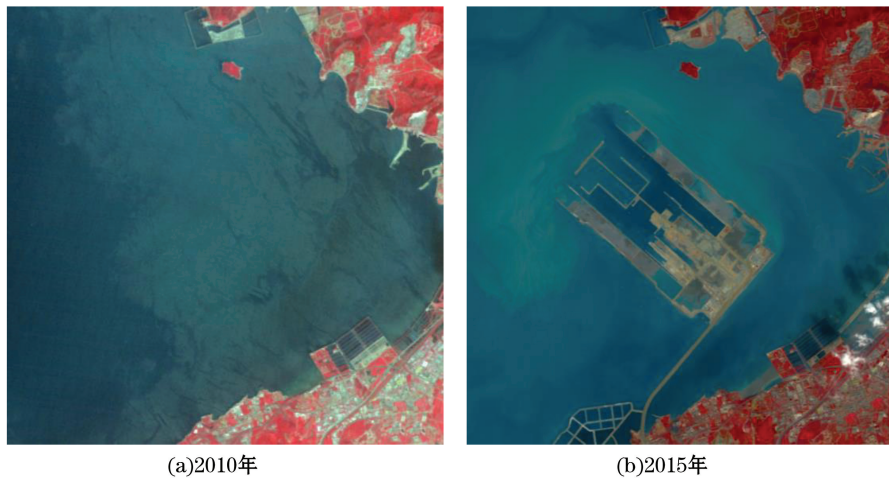


图7 大连金州湾国际机场影像图

Fig.7 Remote sensing images of the Dalian international airport in the Jinzhou Gulf

3.2.4 盐田用地时空变化特征分析

盐田用海主要分布莱州湾南部,该区域地下卤水盐浓度是海水浓度的3~6倍,沿岸地下卤水储量为76亿 m^3 ,使该区域成为全国重要的盐业生产基地,占全国总产量的30%。随着潍坊滨海经济技术开发区的建设,2010—2015年,该区域新增盐田面积为77.02 km^2 ,其中2011—2012年变化最大,增加了32.35 km^2 。

4 结 论

基于Landsat卫星数据,开展了2010—2015年环渤海大陆海岸线和岸线变化摆动区土地覆盖变化研究,受影像低分辨率所限,本文所提取的海岸线可能存在偏差,但总体上来说,结果能反映出当前环渤海海岸开发利用状况。主要研究结果:

1)2010—2015年间,环渤海大陆海岸线长度呈不断递增趋势,但增速逐年减缓,至2015年时,海岸线长度为3628.10 km ,增加了396.20 km ;环渤海大陆海岸线以人工岸线为主,占比80%以上,5年,增加了465.70 km ,主要来自于沿海经济区发展带来的围海养殖、港口码头和临港工业区等围海筑堤。其余岸线类型均出现不同程度缩减,其中砂质岸线变化最大,减少了35.6 km ,受围海养殖的影响,粉砂淤泥质岸线减少了23.4 km 。

2)海岸人为开发是环渤海岸线变化的主要原因,其时间异质性明显。养殖用海、建设用地和交通运输用地用海是渤海主要的用海类型,三者累计占用海总面积的90.65%,以分布于海湾和河口区域的养殖用海最多,增加了301.88 km^2 ;建设用地次之,增加了297.14 km^2 ,主要源于大连长兴岛临港工业区、辽宁营口鲅鱼圈临海工业区、盘锦辽滨沿海经济区、辽西锦州湾沿海经济区、天津滨海新区、黄河口高效生态区、龙口湾临港高端产业聚集区等经济区的发展建设。

致谢: 所用Landsat影像下载自地理空间数据云网站。

参考文献(References):

- [1] LIU H, JEZEK K C. Automated extraction of coastline from satellite imagery by integrating canny edge detection and locally adaptive thresholding methods[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(5): 937-958.
- [2] MEI A X, PENG-WANG L L, QIN Q M, et al. Introduction to Remote Sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. 梅安新, 彭望路, 秦其明, 等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [3] EKERCIN S. Coastline change assessment at the Aegean Sea coasts in Turkey using multitemporal Landsat imagery[J]. *Journal of Coastal Research*, 2007, 23(3): 691-698.
- [4] KAWAKUBO F S, MORATOR G. Mapping changes in coastline geomorphic features using Landsat TM and ETM+ imagery: examples in southeastern Brazil[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(9): 2547-2562.
- [5] CHITURU D O, TAMUOENE K S. Spatial and multitemporal change analysis of the Niger Delta coastline using remote sensing and geographic information system[J]. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 2014, 4(1): 41-47.
- [6] XU N, GAO Z Q, NING J C. Spatial-temporal variations of coastlines in Bohai Rim based on fractal dimension and their causes analysis [J]. *Journal of Marine Sciences*, 2016, 34(1): 45-51. 徐宁, 高志强, 宁吉才. 基于分形维数的环渤海地区海岸线变迁及其成因分析[J]. *海洋学研究*, 2016, 34(1): 45-51.
- [7] LI Y N, WANG Q, GUO P F, et al. Shoreline succession during recent 20 years in the Bohai Sea and the strategies for the development and utilization[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2015(3): 32-38. 李亚宁, 王倩, 郭佩芳, 等. 近 20a 来渤海海岸线演替及其开发利用策略[J]. *海洋湖沼通报*, 2015(3): 32-38.
- [8] MA W D, WU C Q, YIN S J, et al. Remote sensing monitoring and countermeasures of land reclamation from sea along the Bohai Bay [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2015, 40(3): 63-65. 马万栋, 吴传庆, 殷守敬, 等. 环渤海围填海遥感监测及其对策建议[J]. *环境与可持续发展*, 2015, 40(3): 63-65.
- [9] SUN X Y, LÜ T T, GAO Y, et al. Driving force analysis of Bohai Bay coastline change from 2000 to 2010[J]. *Resources Science*, 2014, 36(2): 413-419. 孙晓宇, 吕婷婷, 高义, 等. 2000—2010 年渤海湾海岸线变迁及驱动力分析[J]. *资源环境*, 2014, 36(2): 413-419.
- [10] LI X M, YUAN C Z, LI Y Y. Remote sensing monitoring and spatial-temporal variation of Bohai Bay coastal zone[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2013, 25(2): 156-163. 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] SUN C Z, LI M Y. Spatial-temporal change of coastline in Liaoning Province and its driving factor analysis[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(3): 63-67. 孙才志, 李明显. 辽宁省海岸线时空变化及驱动因素分析[J]. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(3): 63-67.
- [12] LI J G, HAN C H, KANG H, et al. Causal analysis on the resent spatial-temporal changes of the shorelines in Binhai New Area, Bohai Bay[J]. *Geological Survey and Research*, 2010, 33(1): 63-70. 李建国, 韩春花, 康慧, 等. 滨海新区海岸线时空变化特征及成因分析[J]. *地质调查与研究*, 2010, 33(1): 63-70.
- [13] JIANG Y, LI J F, KANG H, et al. A remote sensing analysis of coastline changes along the Bohai Bay muddy coast in the past 130 years[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2003, 15(4): 54-58. 姜义, 李建芬, 康慧, 等. 渤海湾西岸近百年来海岸线变迁遥感分析[J]. *国土资源遥感*, 2003, 15(4): 54-58.
- [14] China Bay Compiation Committee. China bay[M]. Beijing: China Ocean Press, 1993. 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [15] State Quality Supervision Bureau. Oceanological terminology-Marine geology: GB/T 18190—2000[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000. 国家质量技术监督局. 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.
- [16] State Oceanic Administration People's Republic of China, 908 Project Office. Chinese offshore investigation and assessment project coastline measurement technical regulation(Advance copy)[M]. Beijing: China Ocean Press, 2007. 国家海洋局, 908 专项办公室. 我国近海海洋综合调查与评价专项海岸线修测技术规程(试行本)[M]. 北京: 海洋出版社, 2007.
- [17] SUN W F, MA Y, ZHANG J, et al. Study of remote sensing interpretation keys and extraction technique of different types of shoreline [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2011(3): 41-44. 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.
- [18] GAO Y. Research on spatial and temporal changes of China mainland coastline in the past 30 years[D]. Yantai: Yantai Institute of Coastal Zone Research Chinese Academy of Sciences, 2011. 高义. 我国大陆海岸线 30 年时空变化研究[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2011.
- [19] Standardization Administration of the People's Republic of China, AQSIQ. Technical directives for the division of marine functional zonation: GB/T 17108—2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局中国国家标准

管理委员会. 海洋功能区划技术指导: GB/T 17108—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

Coastline Dynamics Monitoring and Analysis Around the Bohai Sea Using Remote Sensing Images During 2010 and 2015

WU Pei-qiang, ZHANG Jie, MA Yi, SUN Wei-fu

(*The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: Based on the Landsat ETM+ and OLI images, the coastline and coastal land cover information around the Bohai Sea were extracted during 2010 and 2015, and the temporal and spatial changes of coastline and coastal development pattern were analyzed. The coastline length and types was found to have changed significantly. The shoreline length increased by 396.2 km. The artificial coastline was the dominant type (more than 80%) in the study area, increasing by more than 465.7 km during the 5 years. The other types of coastline decreased to certain extent, and the changes of sand coastline was most significant, decreasing by the 35.6 km. There was a net increase in land area by 737.81 km² due to the marine utilization of aquaculture, construction and transportation. The main type of the marine utilization was aquaculture, which increased by 301.88 km². The second type was construction, with an increase of 297.14 km². With the rapid development of economy, the human being development by was regarded as the dominant factor accounting for the changes in the coastline around Bohai Sea, and the utilization pattern showed significant temporal variability. The coastline growth rate was high during 2010 and 2012, and slowed down after 2013.

Key words: Bohai Sea; remote sensing; coastline changes; land cover

Received: December 26, 2016