

文章编号:1671-4229(2024)01-0060-12

# 基于 Landsat 影像的惠州海岸线近 30 年动态变化监测

黄诗宁<sup>1</sup>, 杨现坤<sup>2\*</sup>, 董永宏<sup>1</sup>, 苏丽云<sup>1</sup>, 庄丹秀<sup>1</sup>, 邱俊良<sup>3</sup>

(1. 惠州市自然资源局 惠州市海洋信息(预报减灾)中心, 广东 惠州 516001;

2. 广州大学 地理科学与遥感学院, 广东 广州 510006; 3. 帕多瓦大学 土地环境农林学部, 意大利 帕多瓦 35020)

**摘要:** 广东省惠州市海岸线是我国南海海岸线的重要组成部分,其近 30 年的动态变化尚不明确。基于 Google Earth Engine 平台和 1990—2020 年的 Landsat 系列影像,该研究获取了惠州沿海 1990—2020 年改进的归一化差异水体指数 (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) 和土地利用分布,提取了惠州市 1990—2020 年的海岸线,并分析其变化趋势。结果表明:①惠州市 1990、2000、2010 和 2020 年的海岸线长度分别为 240.11、242.36、260.90 和 282.83 km。1990—2020 年间,惠州海岸线的长度增加了 42.72 km,增加主要发生在 2000 年之后。②1990—2020 年,惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内,面积减少最多的是农用地,减少面积为 146.47 km<sup>2</sup>,这主要受“退耕还林”政策和城镇扩张的影响;建设用地面积从 20.40 km<sup>2</sup> 增加到 135.46 km<sup>2</sup>,增加面积为 115.06 km<sup>2</sup>。③2010—2020 年间惠州沿海开始出现蚝场,蚝场面积大约为 10.28 km<sup>2</sup>。

**关键词:** 海岸线; 惠州; MNDWI

**中图分类号:** K903 **文献标志码:** A

## Dynamic monitoring of Huizhou coastline based on Landsat satellite data in the past 30 years

HUANG Shi-ning<sup>1</sup>, YANG Xian-kun<sup>2\*</sup>, DONG Yong-hong<sup>1</sup>,  
SU Li-yun<sup>1</sup>, ZHUANG Dan-xiu<sup>1</sup>, QIU Jun-liang<sup>3</sup>

(1. Marine Information (Forecast and Disaster Reduction) Center, Huizhou Municipal Bureau of Natural Resources, Huizhou 516001, China;

2. School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

3. Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Legnaro (PD) 35020, Italy)

**Abstract:** Guangdong Province is an important coastal province in China, and the coastline line in Huizhou is an important part of Guangdong Province. However, the dynamics of Huizhou's coastline in the past 30 years are still uncertain. Here, based on the Google Earth Engine platform and the Landsat series of images from 1990 to 2020, this study obtained the MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) and land use distribution along the coast of Huizhou from 1990 to 2020, and further combined the method of visual interpretation to extract the coastline of Huizhou from 1990 to 2020. The results show that: ①The coastline lengths of Huizhou in 1990, 2000, 2010 and 2020 were 240.11 km, 242.36 km, 260.90 km and 282.83 km, respectively. Between 1990 and 2020, the length of the Huizhou coastline increased by 42.72 km. ②From 1990 to 2020, within the 5-kilometer buffer zone of Huizhou's coastline in 2020, the area of agricultural land decreased the most, with an

收稿日期: 2022-09-26; 修回日期: 2023-03-06

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2021YFE0117300)

作者简介: 黄诗宁(1985—),男,硕士. E-mail: 1590553@qq.com

\*通信作者. E-mail: yangxk@gzhu.edu.cn

引文格式: 黄诗宁, 杨现坤, 董永宏, 等. 基于 Landsat 影像的惠州海岸线近 30 年动态变化监测[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2024, 23(1): 60-71.

area of 146.47 km<sup>2</sup>, which was mainly affected by the policy of "Returning Farmland to Forest". The building area increased from 20.40 km<sup>2</sup> to 135.46 km<sup>2</sup>, with an increase of 115.06 km<sup>2</sup>. ③From 2010 to 2020, oyster farms began to appear along the coast of Huizhou, with an area of about 10.28 km<sup>2</sup>. The above results are helpful for the management of Huizhou marine ecology.

**Key words:** coastal line; Huizhou; MNDWI

中国是海洋大国,拥有丰富的海岸带资源和漫长的海岸线。海岸线是大陆与海洋的界限,受潮汐涨落而变化<sup>[1]</sup>。近年来,随着城镇化的发展,众多沿岸区域被开发成旅游建筑区和港口,在得到巨大经济效益的同时,也对海岸带生态环境造成了负面影响。例如填海造陆的过程会减少海岸湿地面积,导致海洋生物栖息地的面积减少,破坏海岸带生态系统。又例如海岸带的城镇扩张必然会给近海水域带来更多的生活污染和工业污染,威胁海洋生物。因此,有必要对我国城镇化期间海岸线的变化进行监测,从而为评估海岸线变化造成的生态影响提供数据支撑。

由于我国海岸线漫长,地面测绘的方法难以满足监测我国海岸线的需求。卫星遥感具有全天候、全天时和大空间尺度监测地球表面信息的能力,可以弥补地面测绘方法的不足。在众多的卫星遥感数据中,Landsat 系列卫星最适合用于长时间序列、大空间尺度的海岸线监测,因为 Landsat 系列卫星发射时间早(1972—),空间分辨率较高(30 m),而且免费可用。目前,已有很多研究用 Landsat 系列卫星数据对我国海岸线的变化进行监测。王璿等<sup>[2]</sup>利用 1979—2012 年 Landsat 系列卫星数据和水体指数方法分析珠江口沿岸海岸线的变化,发现 1960—2012 年中珠江口海岸线长度由 1 134.95 km 延长至 1 508.02 km,新增陆地面积 878.11 km<sup>2</sup>。基于 1987—2017 年 Landsat 系列卫星数据,张丽等<sup>[3]</sup>对海南岛海岸线长度变化进行监测,发现海岸线从 1987 年的 1 655 km 增长至 2017 年的 1 890 km。基于 1999、2005、2011 和 2017 年 4 期的 Landsat 卫星数据和水体指数方法,秦艳芳等<sup>[4]</sup>发现厦门市海岸线增长了 29.82 km,陆地面积增加了 36.02 km<sup>2</sup>。基于 1984、1995、2005、2010 和 2015 年的 Landsat 数据和目视解译方法,邵晚悦等<sup>[5]</sup>发现山东半岛北部海岸线增加了 103.68 km,滩涂面积减少了 300.66 km<sup>2</sup>。基于 1990—2018 年 8 期的 Landsat 卫星数据和目视解译方法,马宇伟等<sup>[6]</sup>发现湄公河三角洲地区陆地

面积增加了 28.55 km<sup>2</sup>。上述研究表明,Landsat 卫星数据被广泛用于长时间序列下的海岸线变化。在研究方法上,水体指数被广泛应用于识别海岸线。在众多遥感水体指数当中,MNDWI 被广泛应用于海岸线提取<sup>[7]</sup>。林松等<sup>[8]</sup>结合 MNDWI 和 Canny 边缘检测法分析厦门岛 1976—2018 年 9 景 Landsat 影像,定量分析海洋工程对海岸线几何形态变化的影响。基于 1979—2019 年 Landsat 影像,孙孟昊等<sup>[9]</sup>利用 MNDWI 指数分析了青岛地区海岸线变化,发现了近 40 年间青岛海岸线外扩 158 km<sup>2</sup>。郑子铨等<sup>[10]</sup>对比基于 NDWI 和 MNDWI 提取的淤泥质海岸线,认为基于 MNDWI 提取的海岸线更加精确。上述研究说明 MNDWI 适用于海岸线提取<sup>[7]</sup>。

广东省是我国的海洋大省,目前对于广东省海岸线监测的相关研究主要聚焦在珠江口和深圳沿海,广东省其他城市沿海地区的海岸线监测的相关报道较少。惠州海岸带是我国南海海岸带的重要组成部分,目前对惠州海岸线及沿岸土地利用近几十年的变化尚不多见。因此,本文将基于 1990—2020 年多期 Landsat 卫星数据和 MNDWI 水体指数对惠州近 30 年的海岸线及其沿岸土地利用变化进行监测,这有助于理解惠州近 30 年城镇化发展中惠州海岸线的动态变化,也有助于更好地管理惠州沿海生态环境。

## 1 研究区概况

惠州海岸线长度大约为 281.4 km,位居广东省第五<sup>[11]</sup>。如图 1 所示,惠州沿海地形主要以山丘为主,呈现出背山向海的景观。正因此,近年来,惠州旅游业和石油化工产业发展迅速,沿海地区很多被开发为海滨旅游区和石油化工基地,包括碧桂园十里银滩、巽寮湾和双月湾等多个服务于旅游的公寓小区,以及大亚湾石油化工基地。旅游区地产的开发占用了很多沿海湿地,这会对沿海生态造成影响。此外,沿海人口和游客的增

加,会导致当地生活污水的增加,这也会对沿海生态造成影响。由于惠州海岸是海龟、鱼类、虾类和贝类等海洋生物的重要产地,海岸污染的增加会威胁海洋生物栖息地<sup>[12]</sup>。及时开展惠州市海岸线和沿岸土地利用的动态监测将有助于评估海洋沿岸生物栖息地的生境变化。

惠州的县区当中,只有惠东县和惠阳区临海。惠州沿海的海域主要为红海湾海域和大亚湾海

域。范和港湾和考洲洋湾有大量的海水养殖场,养殖场的类型主要包括沿岸围塘和海面浮标吊养蚝场,海水养殖场对于当地渔业从业人员的收入非常重要。然而,城镇扩张和无序的海水养殖场扩张会进一步破坏惠州沿海生态环境。因此,很有必要对惠州海岸线及海水养殖场近几十年的变化进行监测,这对于更好地管理惠州海洋资源有重要意义。

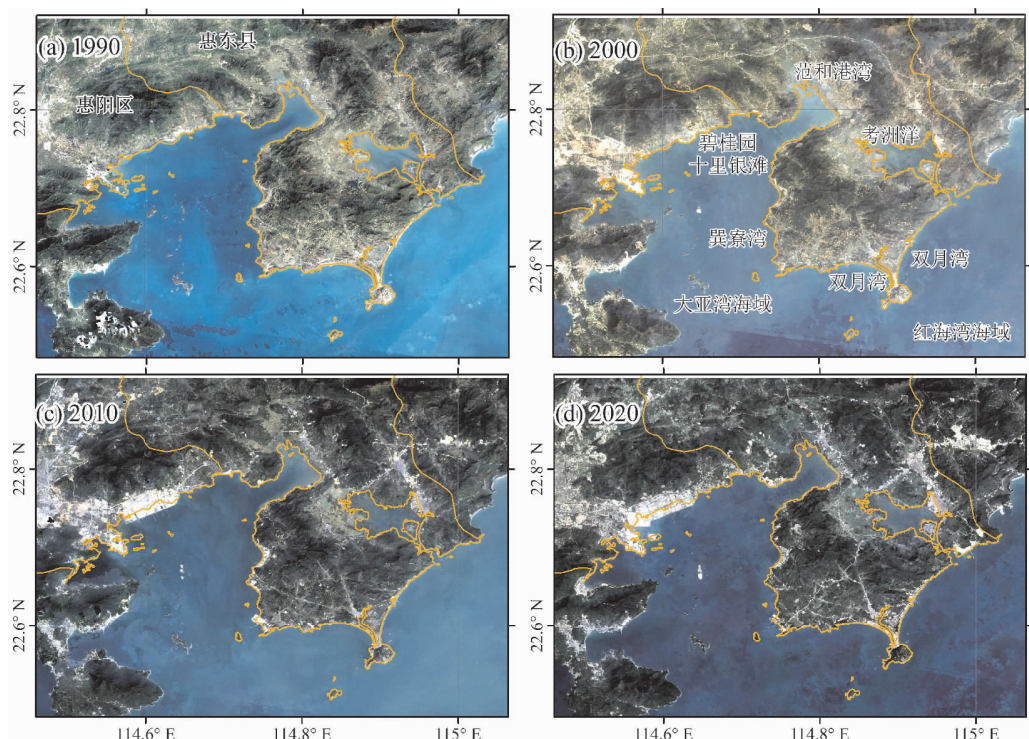


图 1 惠州沿海 Landsat 系列影像

Fig. 1 Landsat-series images

注:图中,(a)、(b)、(c)和(d)分别是1990年3景Landsat 5 TM影像、2000年12景Landsat 5 TM影像、2010年5景Landsat 5 TM影像和2020年7景Landsat 8 OLI影像的最小值合成;显示方法为真彩色合成。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据介绍

GEE 提供了经过大气校正的 Landsat 系列影像二级产品,该产品的空间分辨率为 30 m,能满足监测海岸线的精度需求。为了更好地展现惠州海岸线近 30 年的变化,本研究选取 1990、2000、2010 和 2020 年作为海岸线监测年份,选取了 1990 年 3 景 Landsat 5 TM 影像、2000 年 12 景 Landsat 5 TM 影像、2010 年 5 景 Landsat 5 TM 影像和 2020 年 7 景 Landsat 8 OLI 影像,惠州沿海 Landsat 系列影像见图 1。图 1 中,所有影像的云量均低于 20%,影

像成像时间和云量信息见附录。为了提高监测精度,同一年份的影像进行了最小值合成。

GDP 数据用于辅助分析海岸线变化带来的经济效应。惠州市级的 GDP 数据时间序列为 1990—2020 年,县区 GDP 的时间序列为 2000—2020 年。

### 2.2 研究方法

本文的主要研究方法包括海岸线提取、土地利用监测以及近海和养殖蚝场的提取等。本文的总体技术流程如图 2 所示。为了降低云的影响,所有 Landsat 影像均通过 QA 波段进行去云处理。然后,对同一年同个轨道号的影像进行基于像素的最小值合成,从而获得最佳影像图(图 1)。最佳影像图是上述 3 种研究方法的基础。

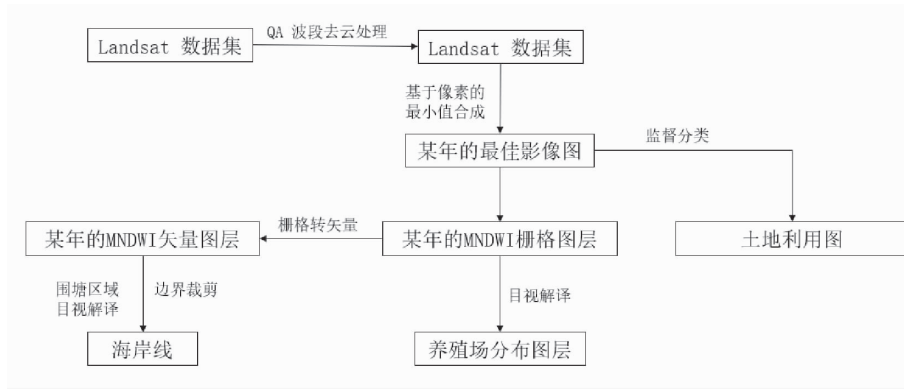


图 2 总体技术流程图

Fig. 2 Overall flow chart of the methods

### 2.2.1 海岸线提取方法

MNDWI 水体指数是本研究提取海岸线的核心方法。MNDWI 的公式如下<sup>[7]</sup>：

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR), \quad (1)$$

其中, *Green* 为绿波段, *MIR* 为中红外波段。在 Landsat 5 TM 影像中, *Green* 波段为 Band 2, *MIR* 波段为 Band 5。在 Landsat 8 OLI 影像中, *Green* 波段为 Band 3, *MIR* 波段为 Band 6。

在计算完研究区 1990、2000、2010 和 2020 年 MNDWI 的水体指数之后, 本研究以原始影像(图 1)为背景图, 用目视解译和经验阈值分割的方法对 MNDWI 图层进行阈值分割, 从而区分出陆地和水体。为了消除沿岸围塘对海岸线提取的影响, 本研究将分割后的栅格图层转化为矢量图层, 最后通过目视解译的方法专门提取围塘区域的海岸线。

### 2.2.2 土地利用监测方法

本研究对 1990 年和 2020 年的最佳影像图用最大似然法进行监督分类, 从而获得 1990 年和 2020 年的土地利用分布图, 并通过统计各类土地的面积变化明确惠州沿海地区的土地利用现状和动态变化。为了保证土地利用提取精度, 在进行完监督分类后, 本研究通过进一步的目视解译核查, 对错分的地物斑块进行修正。

### 2.2.3 近海养殖蚝场提取方法

海水养殖场的提取有助于进一步理解海岸线的变化。为了保证海水养殖场的提取精度, 基于 1990、2000、2010 和 2020 年的 MNDWI 图层, 本研究用目视解译的方法矢量化提取海水养殖场, 并通过对比谷歌地图的高清卫星影像验证近海养殖蚝场的提取精度。

## 3 结果

### 3.1 MNDWI 提取结果

图 3 是惠州沿海 1990、2000、2010 和 2020 年的 MNDWI 指数分布, 值域分别介于  $-1 \sim 1$ 、 $-0.64 \sim 1$ 、 $-0.61 \sim 1$  和  $-0.71 \sim 1$ 。结合图 1, 水体的 MNDWI 指数跟陆地 MNDWI 指数有明显的差异。相对于真彩色合成的图像(图 1), MNDWI 图像更能区分水体与陆地的差异。一般而言, MNDWI 指数大于 0 的像素为水体像素, MNDWI 指数小于 0 的像素为陆地地物像素。相对于 2020 年, 在 1990、2000 年和 2010 年中, 惠州海域的 MNDWI 水体指数相对较大。在 2020 年 MNDWI 的拉伸图像中, 部分海域的 MNDWI 的值较低(但高于陆地的 MNDWI), 这可能与海浪有关。当影像获取期间有较大的海浪时, 海水表面的粗糙程度会变高, 从而使得各波段的反射率提高, 影响 MNDWI 水体指数的估算。

为了进一步理解不同地物类型的 MNDWI 值域范围, 本研究获取 2020 年原始影像中(图 1)水体、建筑物和植被 3 种地物类型中绿波段和中红外波段的反射率。如图 4 所示, 绿波段在水体、建筑物和植被的反射率分别为 0.06、0.09 和 0.02; 中红外波段在水体、建筑物和植被的反射率分别为 0.01、0.18 和 0.12。在建筑物和植被这类陆地地物中, 中红外波段的反射率都高于中绿波段。根据 MNDWI 的计算公式(式 1), 建筑物和植被的 MNDWI 值为负。在水体中, 绿波段的反射率高于中红外波段的反射率。根据式(1), 水体的 MNDWI

值为正。根据图 3 和图 1,惠州海域的 MNDWI 基本为负值,这与徐涵秋<sup>[7]</sup>的研究结果一致。上述论述说明 MNDWI 水体指数适用于区分惠州沿海的

水体和陆地。基于 ArcMap 10.8 软件的 Reclassify 工具,本研究将 MNDWI 小于或等于 0 的像元划分为陆地,将 MNDWI 大于 0 的像元划分为水体。

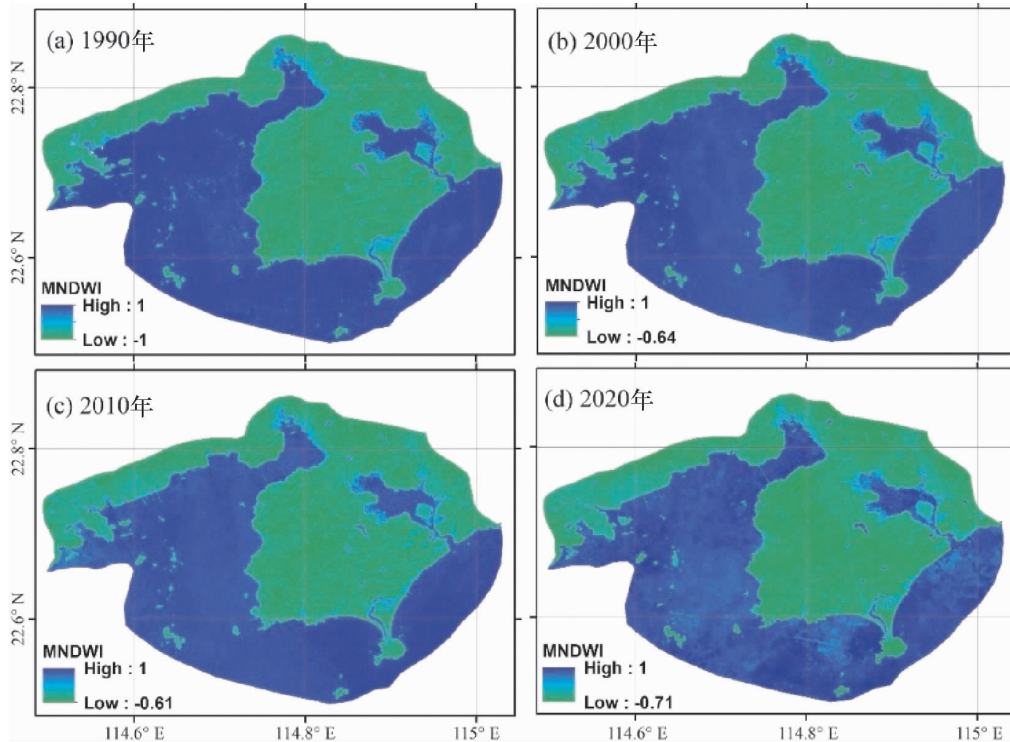


图 3 惠州沿海 MNDWI 指数分布

Fig. 3 Huizhou's coastal MNDWI

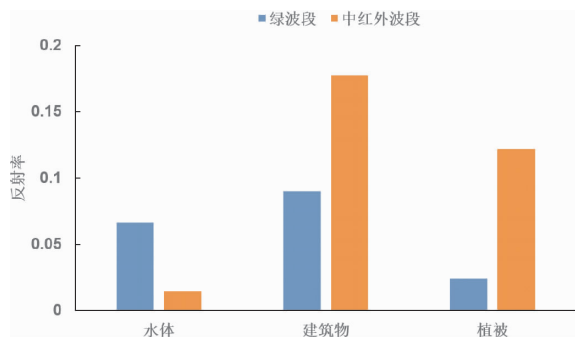


图 4 惠州 2020 年沿海地区 3 种地物绿波段和中红外波段的反射率

Fig. 4 The reflectance of green band and mid-infrared band of three features in coastal areas of Huizhou in 2020

图 5 是惠州范和港周围的 MNDWI 分布。在 MNDWI 的拉伸图中,蓝色区域代表水体,淡蓝色区域代表围塘的围堤,绿色区域代表陆地。范和港是惠州沿海的一个重要港湾,被山海环绕。过去 30 年,该区域的城镇和海水养殖场都发生了明显变化。后洲村周围区域是该港湾主要的围塘海

水养殖场基地。在 1990—2000 年期间,西部一个围堤的宽度明显缩小,缩小部分变为围堤。总体而言,1990—2000 年期间的围塘海水养殖场没有发生很明显的变化;在 2000—2010 年期间,可以明显地看到惠州海湾大桥正处于建设阶段,后洲村西北部的围塘被大面积地填充为新陆地;在 2010—2020 年期间,惠州海湾大桥已经完成两岸连接,亚婆角旅游区出现明显的填海区域,富力湾周围也出现明显的填海区域,所在的围塘也被填充为新陆地,海面出现大量规则的近矩形物体,这是海面蚝场的塑料浮标。

整体而言,在 1990—2020 年期间,范和港周围海域的围塘养殖场明显减少,填海区域主要出现在亚婆角旅游区和富力湾周围区域。在 2010 年之后,海面出现大量蚝场。上述结果对于理解范和港周围海域近海岸线变化和海水养殖场变化有积极意义,有助于更好地管理违法填海行为和掌握海水养殖场的时空分布。

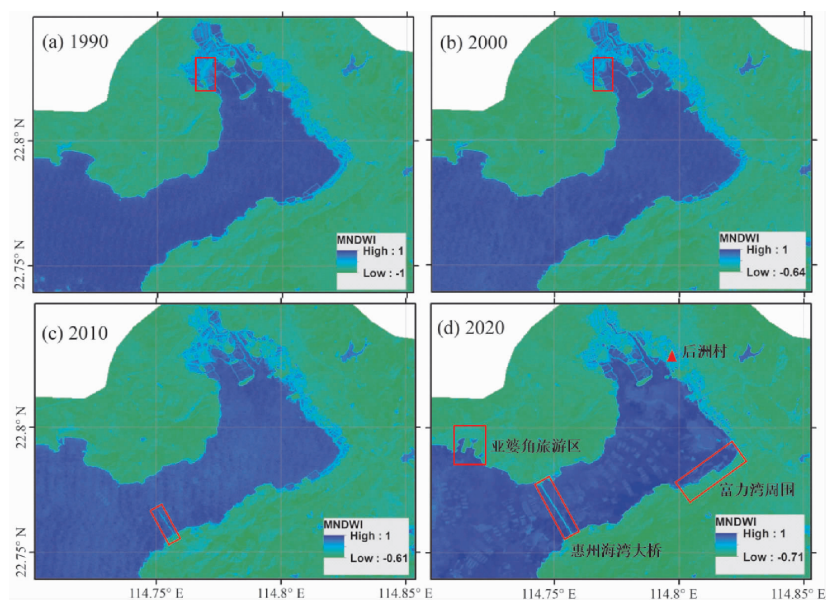


图 5 范和港沿海 MNDWI 指数分布

Fig. 5 Coastal MNDWI in Fanhe Harbor in 1990, 2000, 2010 and 2020

注:图中,(a)为 1990 年 MNDWI;(b)为 2000 年 MNDWI;(c)为 2010 年 MNDWI;(d)为 2020 年 MNDWI。

考洲洋是惠州沿海另外一个重要的港湾。图 6 是考洲洋沿岸 1990、2000、2010 和 2020 年的 MNDWI 指数分布。在 1990—2000 年期间,叶和山周围出现新的围塘,招贤村的围塘被轻微地填充,盐洲岛靠近中心区域的围塘被填充为新的陆地,吉隆镇和黄埠镇的围塘则被大面积地填充为新陆地。在 2000—2010 年期间,黄埠镇几乎所有的围塘被填充为新陆地,吉隆镇也有较大范围的

围塘被填充为新陆地,好招楼村出现小范围的新陆地,靠近好招楼村的海域开始出现小范围的蚝场。在 2010—2020 年期间,招贤村的围塘出现小范围的扩张,叶和山周围区域和三洲村的围塘被大面积地填埋为新陆地,盐洲岛和田坑村出现小范围的填海面积,2020 年的影像显示盐洲跨海大桥已经建成,考洲洋整个海域出现大量的蚝场,椭圆圈内为新增的红树林。

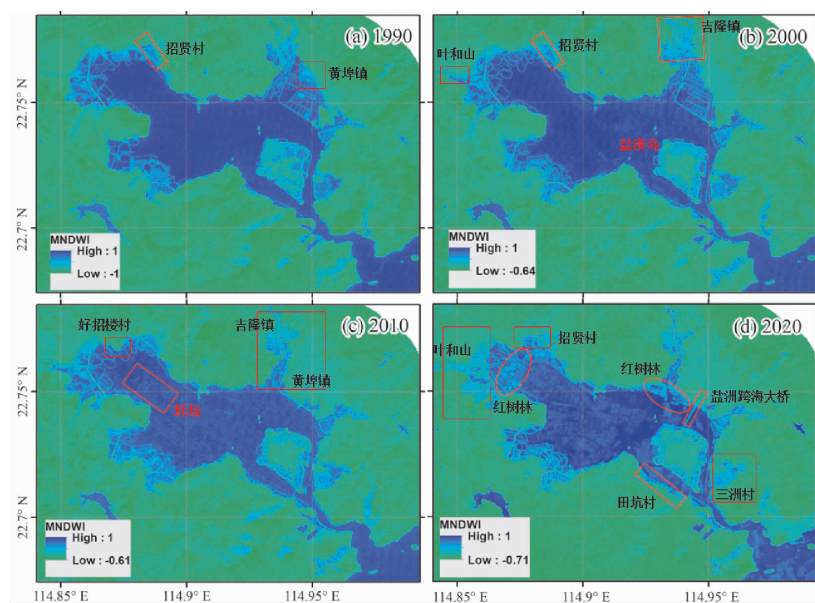


图 6 考洲洋沿岸 MNDWI 指数分布

Fig. 6 MNDWI in Kaozhouyang Harbor

注:图中,(a)为 1990 年 MNDWI;(b)为 2000 年 MNDWI;(c)为 2010 年 MNDWI;(d)为 2020 年 MNDWI。

如图 7 所示,考洲洋绝大部分海域都被蚝场覆盖,对当地海域造成严重污染,并影响当地生蚝质量。当地政府从 2014 年开始对该区域进行整治<sup>[13]</sup>,并通过种植红树林改善滩涂生态环境,图 7 展示了 2010—2020 年期间红树林新增的区域,图 7 中假彩色的 Landsat 合成影像能较好地体现植被。在 2010—2020 年期间,好招楼村周围海域、

黄埠镇沿岸和盐洲岛沿岸都出现新增的红树林,大多为人工红树林。根据图 7 的(c)、(d)和(e)部分的百度影像地图显示,目前红树林种植区域中的红树林覆盖度还有很多的上升空间,大多种植区的红树林比较稀疏。上面关于红树林的叙述说明了卫星影像有助于沿海地区湿地的时空监测,从而为沿海生态管理提供技术支撑。

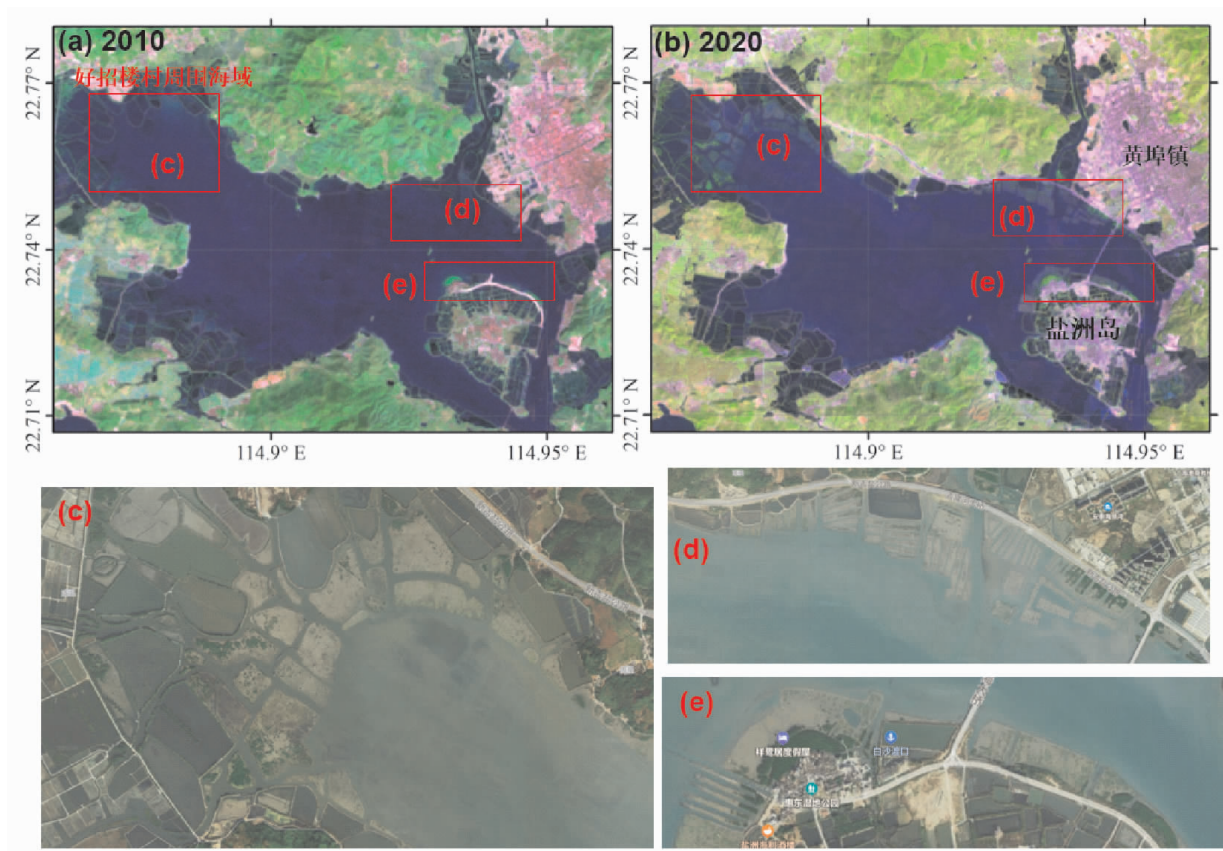


图 7 考洲洋沿岸 2010 年和 2020 年假彩色合成影像和 2010—2020 年期间红树林新增区域

Fig. 7 The newly added mangrove areas along the coast of Kaozhouyang during the period 2010—2020

注:图中,(a)为 2010 年 Landsat 5 影像假彩色合成(R:B7;G:B4;B:B2);(b)为 2020 年 Landsat 8 影像假彩色合成(R:B6;G:B5;B:B2);(c)为好招楼村周围海域新增红树林(百度卫星地图);(d)为黄埠镇沿海区域新增红树林(百度卫星地图);(e)为盐洲岛沿岸新增红树林(百度卫星地图)

### 3.2 海岸线长度变化

图 8 是惠州市 1990、2000、2010 和 2020 年的海岸线分布。表 1 为 1990—2020 年惠州海岸线长度变化。惠州市 1990、2000、2010 和 2020 年的海岸线长度分别为 240.11、242.36、260.90 和 282.83 km。1990—2020 年间,惠州海岸线的长度增加了 42.72 km。其中,1990—2000 年间,惠州海岸线长度仅增加了 2.25 km,占海岸线总增加长度的 5.3%;2000—2010 年间,惠州海岸线长度增

加了 18.54 km,占海岸线总增加长度的 43.4%;2010—2020 年间,惠州海岸线长度增加了 21.93 km,占海岸线总增加长度的 51.3%。从不同时间段海岸线增加长度来看,1990—2000 年间的海岸线增长速度不明显,2000—2010 年和 2010—2020 年间的海岸线增长速度非常明显。海岸线在不同时间段的增长速率,间接反映了不同时期城镇扩张的速度。

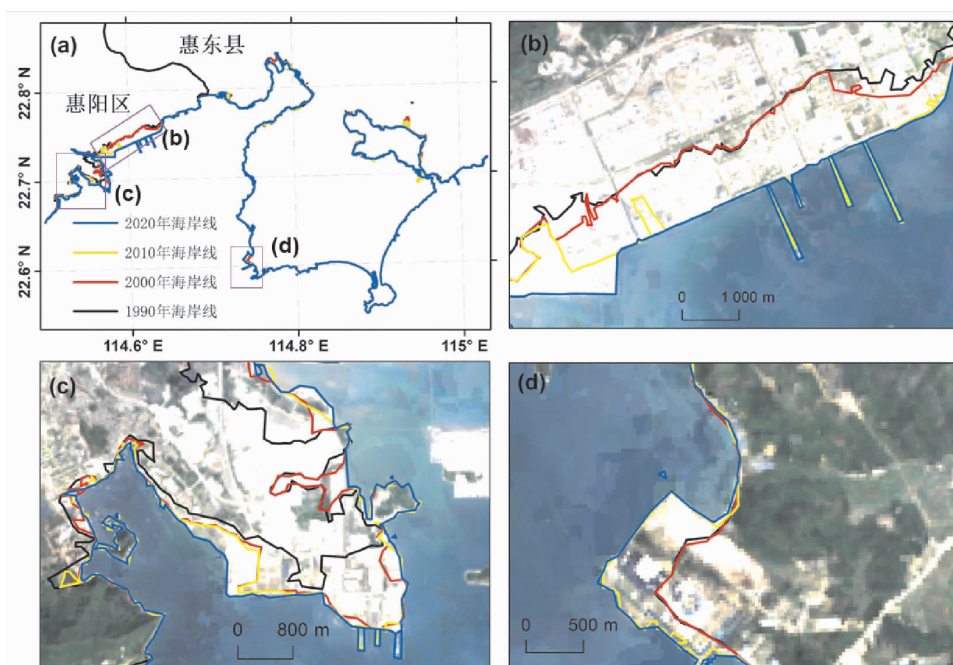


图 8 惠州市 1990、2000、2010 和 2020 年的海岸线分布

Fig. 8 Coastline in 1990, 2000, 2010 and 2020 in Huizhou

注:图中,(a)为惠州 1990、2000、2010 和 2020 年总体海岸线分布;(b)为中海石油码头海岸线变化;(c)为荃湾港区海岸线变化;(d)为七星山码头海岸线变化。

表 1 1990—2020 年惠州海岸线长度变化

Table 1 Coastline changes from 1990 to 2020 in Huizhou

年份	km		
	惠东	惠阳	惠州
1990	182.7	57.41	240.11
2000	186.1	56.26	242.36
2010	194.1	66.80	260.90
2020	211.5	71.33	282.83

如表 1 所示,1990—2020 年惠东海岸线的长度分别为 182.7、186.1、194.1 和 211.5 km,海岸线长度增加 28.8 km,海岸线增长率(以 1990 年为基底)15.8%。1990—2020 年惠阳海岸线的长度分别为 57.41、56.26、66.80 和 71.33 km,海岸线长度增加 13.92 km,海岸线增长率为 24.2%。1990—2000 年,惠阳海岸线缩短了 1.15 km。这是因为在填海初期,部分港湾会从凹多边形变成接近矩形,这使得海岸线的长度变短。总体而言,惠东海岸线的增加长度大于惠阳海岸线的增加长度,但是由于惠阳海岸线的基底短,惠阳海岸线的增长率高于惠东海岸线的增长率。在局部海岸线变化方面,中海石油码头(图 8(b))外扩最明显,

荃湾港区(图 8(c))的海岸线也呈现非常明显的外扩,上述两个地区也是惠州沿岸填海造陆最明显的区域。百度地图显示这两个地区的主要产业为石油化工产业,说明石油化工产业的规划是该区域海岸线外扩的主要因素。相对于惠阳区,惠东海岸线的增长区域相对零散。

### 3.3 沿海土地利用变化

由于变为陆地的围塘距离海岸线没有超过 5 km,为了更好地分析海岸线周围土地利用变化,本研究提取惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内 1990 年土地利用分布和 2020 年土地利用分布,详见图 9。由图 9 可见,在 1990—2020 年期间,大范围的农用地变成森林,这在双月湾和巽寮湾区域尤其明显,这可能与“退耕还林”政策有关<sup>[14]</sup>。建设用地发生明显的扩张,西部海岸建设用地面积扩张最为明显,其次是黄埠镇(图 7 和图 9)。围塘的面积在黄埠镇和盐洲岛减少最为明显(图 7 和图 9),减少的围塘主要变成建设用地。除了填埋围塘,填海造陆也是典型的城镇扩张方法。惠州市新增的陆地主要集中在西部海岸(中海石油码头,图 8)和考洲洋沿岸。

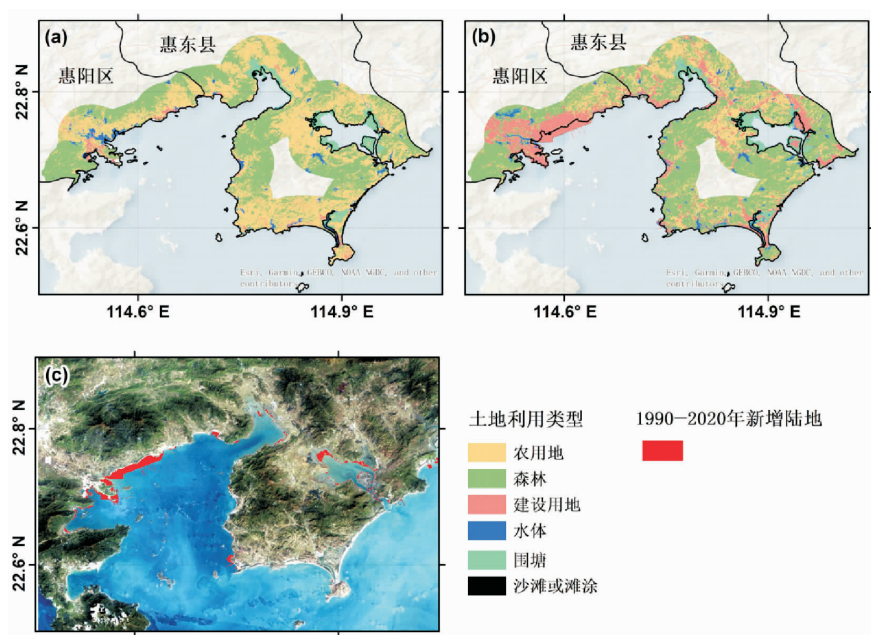


图 9 惠州 1990—2020 年新增陆地面积

Fig. 9 New land area Huizhou's coastline during the period 1990 to 2020

注:图中,(a)为惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内 1990 年土地利用分布;(b)为惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内 2020 年土地利用分布;(c)为惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区 1990—2020 年新增陆地面积

惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内 1990 年和 2020 年土地利用面积变化见表 2。由表 2 可见,在 1990—2020 年期间,惠州农用地从 293.67 km<sup>2</sup> 减少到 147.20 km<sup>2</sup>,减少面积为 146.47 km<sup>2</sup>,这主要受“退耕还林”政策和城镇扩张影响;森林面积从 336.99 km<sup>2</sup> 增加到 394.16 km<sup>2</sup>,增加面积为

57.17 km<sup>2</sup>;建设用地面积从 20.40 km<sup>2</sup> 增加到 135.46 km<sup>2</sup>,增加面积为 115.06 km<sup>2</sup>;围塘面积从 35.20 km<sup>2</sup> 减少到 32.40 km<sup>2</sup>,减少面积为 2.80 km<sup>2</sup>;沙滩或滩涂面积从 11.26 km<sup>2</sup> 减少到 6.90 km<sup>2</sup>,减少面积为 4.36 km<sup>2</sup>;陆地总面积从 717.93 km<sup>2</sup> 增加到 736.65 km<sup>2</sup>,增加面积为 18.72 km<sup>2</sup>。

表 2 惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内 1990 年和 2020 年土地利用面积

Table 2 Land use area of the 5 km buffer of Huizhou's coastline in 1990 and 2020

km<sup>2</sup>

用地类型	惠东			惠阳			惠州		
	1990	2020	变化	1990	2020	变化	1990	2020	变化
农用地	238.37	125.31	-113.06	55.30	21.89	-33.41	293.67	147.20	-146.47
森林	252.23	312.26	+60.03	84.76	81.90	-2.86	336.99	394.16	+57.17
建设用地	13.05	74.10	+61.05	7.35	61.36	+54.01	20.40	135.46	+115.06
水体	12.38	14.96	+2.58	8.03	5.57	-2.46	20.41	20.53	+0.12
围塘	35.20	32.40	-2.80	0.00	0.00	0.00	35.20	32.40	-2.80
沙滩或滩涂	9.10	5.49	-3.61	2.16	1.41	-0.75	11.26	6.90	-4.36
陆地总面积	560.33	564.52	+4.19	157.60	172.13	+14.53	717.93	736.65	+18.72

如表 2 所示,在 2020 年海岸线 5 km 缓冲区内,惠东农用地从 238.37 km<sup>2</sup> 变为 125.31 km<sup>2</sup>,减少面积为 113.06 km<sup>2</sup>;森林面积从 252.23 km<sup>2</sup> 变为 312.26 km<sup>2</sup>,增加面积为 60.03 km<sup>2</sup>;建设用地面积从 13.05 km<sup>2</sup> 变为 74.10 km<sup>2</sup>,增加面积为

61.05 km<sup>2</sup>;水体面积从 12.38 km<sup>2</sup> 变为 14.96 km<sup>2</sup>,增加面积为 2.58 km<sup>2</sup>;围塘面积从 35.20 km<sup>2</sup> 变为 32.40 km<sup>2</sup>,减少面积为 2.8 km<sup>2</sup>;沙滩或滩涂面积从 9.10 km<sup>2</sup> 变为 5.49 km<sup>2</sup>,减少面积为 3.61 km<sup>2</sup>;惠东陆地面积从 560.33 km<sup>2</sup> 变为 564.52

km<sup>2</sup>,新增面积为 4.19 km<sup>2</sup>。

在 2020 年海岸线 5 公里缓冲区内,惠阳农用地从 55.30 km<sup>2</sup>变为 21.89 km<sup>2</sup>,减少面积为 33.41 km<sup>2</sup>;森林面积从 84.76 km<sup>2</sup>变为 81.90 km<sup>2</sup>,减少面积为 2.86 km<sup>2</sup>;建设用地面积从 7.35 km<sup>2</sup>变为 61.36 km<sup>2</sup>,增加面积为 54.01 km<sup>2</sup>;水体面积从 8.03 km<sup>2</sup>变为 5.57 km<sup>2</sup>,减少面积为 2.46 km<sup>2</sup>;沙滩或滩涂面积从 2.16 km<sup>2</sup>变为 1.41 km<sup>2</sup>,减少面积为 0.75 km<sup>2</sup>。惠阳陆地面积从 157.60 km<sup>2</sup>变为 172.13 km<sup>2</sup>,新增面积为 14.53 km<sup>2</sup>。

总体而言,惠州沿海地区土地利用发生明显变化。其中,面积减少最明显的是农用地,面积增加最明显的是建设用地。惠州沿海的新增陆地面积主要集中在惠阳区中海石油码头和荃湾港区,新增陆地主要为石油化工基地。上述有关土地利用的结果对于进一步管理惠州沿海生态环境有参考作用,例如限制违法填海行为和违法侵占农用地。

## 4 讨 论

### 4.1 MNDWI 在海上蚝场监测中的应用

随着经济的发展和人口的增加,人们对海产

品的需求日渐增大,海水养殖技术也日益普遍,海上养殖场也从陆地转移到海上。MNDWI 除了可以区分陆地与水体之外,还可以区分海水与海水养殖场。如图 5 所示,根据 MNDWI 图像显示,惠州海域在 2020 年有大量海上蚝场,这说明 MNDWI 指数具备区分海水水体跟蚝场的潜力。本研究基于 MNDWI 影像及目视解译,对 2020 年 MNDWI 影像进行矢量化,手动提取蚝场分布。惠州 2020 年海上蚝场及其 MNDWI 分布见图 10,由图 10 可见,海水蚝场主要分布在范和港和考洲洋,面积大约为 10.28 km<sup>2</sup>。图 10(b)显示了蚝场的 MNDWI 值要低于海水的 MNDWI 值。蚝场的 MNDWI 值大约介于 0.41~0.60,清澈海水水体的 MNDWI 值则高于 0.6。由于 Landsat 8 的空间分辨率为 30 m,对于面积比较小的蚝场,Landsat 8 影像可能无法细致地判断蚝场之间的空隙。图 10(c)是谷歌地球高清影像中的蚝场,图中有 5 个蚝场,而在 MNDWI 图像中可以看到 4 个蚝场,左边两个蚝场被识别为一整个蚝场。通过与高清影像的对比,MNDWI 水体指数对于海上蚝场的监测有很好的应用前景。

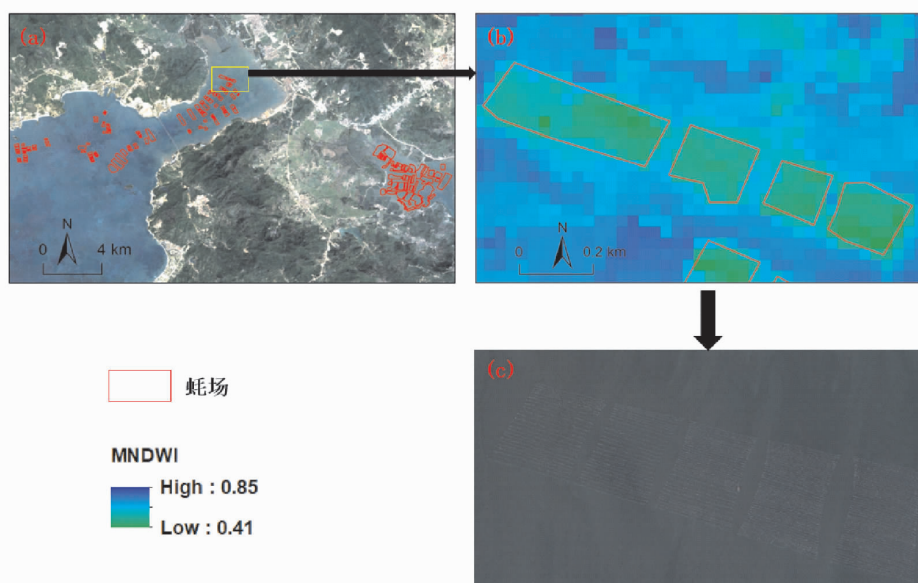


图 10 惠州 2020 年海上蚝场及其 MNDWI 分布

Fig. 10 Sea oyster farm and its MNDWI in 2020 in Huizhou

注:图中,(a)为惠州 2020 年海上蚝场;(b)为局部蚝场 MNDWI 分布;(c)为谷歌高清影像中的蚝场

### 4.2 海岸线变化与经济变化

城镇化扩张在促进经济发展的同时,也会促

进建设用地的扩张。对比 GDP 和海岸线的变化有助于理解海岸线变化跟经济效益的关系。惠州

市、惠东县和惠阳区 1990—2020 年 GDP 和惠州海岸线变化见图 11, 由图 11 可知, 1990—2020 年, 惠州 GDP 显著上升, 惠州 1990、2000、2010 和 2020 年 GDP 分别为 48.80、439.19、1723.56 和 4221.80 亿元; 1990—2000 年、2000—2010 年和 2010—2020 年的 GDP 增长分别为 390.39、1 284.37 和 2 498.24 亿元, 同期海岸线的增长分别为 2.25、18.54 和 21.93 km。1990—2020 年, 惠州 2020 年海岸线 5 km 缓冲区范围内建设用地面积增加了 115.06 km<sup>2</sup>, 新增陆地面积为 18.72 km<sup>2</sup>。上述数据说明了海岸线的增加长度跟 GDP 的增长幅度呈现正相关关系。

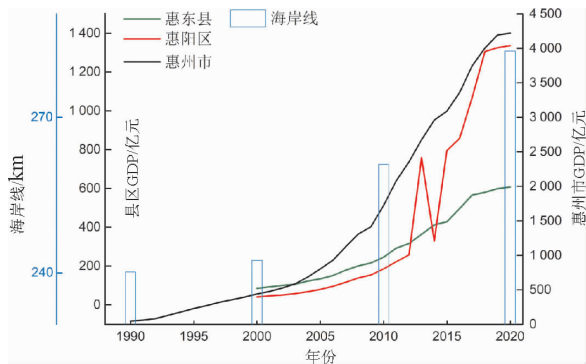


图 11 惠州市、惠东县和惠阳区 1990—2020 年 GDP 和惠州海岸线变化

Fig. 11 GDP of Huizhou city, Huidong county and Huiyang region, and coastline of Huizhou from 1990 to 2020

如图 11 所示, 1990—2020 年惠东和惠阳的 GDP 均显著增长。惠东 2000、2010 和 2020 年的 GDP 分别为 85.7、246.0 和 607.6 亿元。惠阳 2000、2010 和 2020 年的 GDP 分别为 41.4、185.6 和 1 335.8 亿元。惠阳区的 GDP 开始落后于惠东, 后面反超惠东。在 2020 年, 惠阳区的 GDP 多于惠东的两倍。惠阳区 2013 年 GDP 跳跃为 759.1 亿元, 然后在 2014 年回落到 330.1 亿元, 这可能与行政区的调整有关。从 2016 年开始, 惠阳区的 GDP 就一直领先惠东。惠阳区的海岸扩张主要用于石油化工产业, 惠东县的海岸扩张主要用于旅游业(如巽寮湾和双月湾旅游区的开发)。惠

阳区 GDP 反超惠东的案例, 体现了海岸带不同经济类型发展潜力的差异。即便如此, 对于海岸带的经济开发, 不应只考虑 GDP, 应因地制宜。耦合海岸带的地形变化和经济发展, 有利于更好地规划海岸带旅游经济、生态经济和工业经济。

## 5 结 论

(1) MNDWI 水体指数较为适合作为海岸带提取的通用方法, 可以有效地区分水体和陆地, 从而可以用于提取惠州不同年份的海岸线。此外, 海上蚝场的 MNDWI 和海水的 MNDWI 有区别, 可以借此提取海上蚝场分布。

(2) 1990—2020 年间, 惠州海岸线的长度增加了 42.72 km。其中, 2000—2020 年海岸线的增长比较明显。2000—2010 年间, 惠州海岸线长度增加了 18.54 km, 占海岸线总增加长度的 43.4%; 2010—2020 年间, 惠州海岸线长度增加了 21.93 km, 占海岸线总增加长度的 51.3%。

(3) 1990—2020 年惠州沿海土地利用变化明显。惠州 2020 年海岸线 5 公里缓冲区内, 面积减少最多的是农用地, 减少面积为 146.8 km<sup>2</sup>, 这主要受“退耕还林”政策和城镇扩张影响。建设用地面积从 21.07 km<sup>2</sup>增加到 141.09 km<sup>2</sup>, 增加面积为 120.02 km<sup>2</sup>。新增陆地面积最明显的区域在惠阳区中海石油码头。

(4) 2010—2020 年间惠州沿海开始出现蚝场, 这在考洲洋尤其明显。2020 年惠州海上蚝场面积大约为 10.28 km<sup>2</sup>。同时, 2020 年考洲洋沿岸也监测到新增的红树林, 这说明当地政府正在通过此途径改善生态环境。

(5) 相关部分可以继续借助高光谱卫星数据或者高分辨卫星影像数据对惠州海岸带进行更精确的监测, 从而为海洋生态管理提供技术和数据支持。

致谢: 本文受国家留学基金委员会资助, 特此感谢!

## 参考文献:

- [1] 罗昆, 丁波, 龙根元. 基于多源遥感影像的宁远河口海岸线变迁分析[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(4): 187-192.
- [2] 王璠, 吴志峰, 李少英, 等. 珠江口湾区海岸线及沿岸土地利用变化遥感监测与分析[J]. 地理科学, 2016, 36(12): 1903-1911.

- [3] 张丽, 廖静娟, 袁鑫, 等. 1987—2017 年海南岛海岸线变化特征遥感分析[J]. 热带地理, 2020, 40(4): 659-674.
- [4] 秦艳芳, 叶琳, 陈思明. 近 20 年厦门市海岸线遥感监测与变迁特征分析[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(10): 167-170, 179.
- [5] 邵晚悦, 李国庆, 王乐, 等. 近 30 年来山东半岛北部滩涂及海岸线变化[J]. 应用海洋学学报, 2017, 36(4): 512-518.
- [6] 马宇伟, 陈博伟, 张丽, 等. 湄公河三角洲地区海岸线遥感时空变化分析[J]. 桂林理工大学学报, 2020, 40(4): 778-787.
- [7] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005(5): 589-595.
- [8] 林松, 俞晓华, 庄小冰, 等. 厦门岛海岸线分形特性演变规律的研究[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(1): 121-129.
- [9] 孙孟昊, 蔡玉林, 顾晓鹤, 等. 基于潮汐规律修正的海岸线遥感监测[J]. 遥感信息, 2019, 34(6): 105-112.
- [10] 郑子铖, 丁凤. 不同水体指数提取淤泥质海岸线的分析与比较[J]. 福建电脑, 2022, 38(1): 15-17.
- [11] 惠州市自然资源局. 世界海洋日 | 加强海洋区域精准管控, 展示惠州海岛风景线[EB/OL]. (2022-06-07)[2022-09-12]. [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=Mzg4MzExMzY1OQ==&mid=2247512925&idx=3&sn=fe60bac1c80da8971baeb2c1ed6e7869&chksm=cf4e9889f839119f7b3059674312bcdee34c6a4874d3e22daef732a457b1db9738afb9aaacfe&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=Mzg4MzExMzY1OQ==&mid=2247512925&idx=3&sn=fe60bac1c80da8971baeb2c1ed6e7869&chksm=cf4e9889f839119f7b3059674312bcdee34c6a4874d3e22daef732a457b1db9738afb9aaacfe&scene=27), 2022.
- [12] 王文质, 王东晓, 王华接. 港口海龟洄游卫星追踪试验[J]. 中国科学院院刊, 2002(2): 152-153.
- [13] 钟祖涛. 惠东:严打考洲洋非法养殖蚝排护半岛之“心”[EB/OL]. (2022-06-06)[2022-08-20]. [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzIwOTY2Nzk0Mg==&mid=2247540077&idx=4&sn=945aa54d67da3b837dafbdcd9fb7637&chksm=97724f64a005c6725d0036957dd63ddca4f3dd1349d8c2c4d7d4bd3334c2e1a8f2200c291b1b&scene=27](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzIwOTY2Nzk0Mg==&mid=2247540077&idx=4&sn=945aa54d67da3b837dafbdcd9fb7637&chksm=97724f64a005c6725d0036957dd63ddca4f3dd1349d8c2c4d7d4bd3334c2e1a8f2200c291b1b&scene=27).
- [14] 李佳蕾, 孙然好, 熊木齐, 等. 基于 RUSLE 模型的中国土壤水蚀时空规律研究[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3473-3485.

【责任编辑:孙向荣】

## 附录

## 所用 Landsat 影像信息

## Information of selected Landsat images

年份	影像 ID	云量/%	年份	影像 ID	云量/%
1990	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_19901022	8.00	2010	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20100114	3.00
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_19901123	0.00		LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20100810	19.00
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_19900531	16.00		LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20101029	0.00
2000	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20000103	0.00	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20101130	6.00	
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20000119	11.00	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20100319	7.00	
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20000915	0.00	2020	LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121044_20200415	8.17
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20001001	18.00		LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121044_20201125	15.67
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20001017	17.00		LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121044_20201227	0.06
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121044_20001102	2.00		LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121045_20200110	18.58
	LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20000103	2.00		LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121045_20200517	13.05
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20000526	13.00	LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121045_20200618	13.98		
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20000627	9.00	LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_121045_20201227	1.72		
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20000713	10.00				
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20000915	0.00				
LANDSAT/LT05/C01/T1_SR/LT05_121045_20001001	6.00				