

李梅娜, 刘晓凤, 印萍, 等. 1987—2020 年三门湾海岸带 LUCC 与近岸生态环境变化[J]. 海洋地质前沿, 2024, 40(3): 55-63.

LI Meina, LIU Xiaofeng, YIN Ping, et al. Land use and cover change and ecosystem effect in Sanmen Bay coastal zone during 1987-2020[J].

Marine Geology Frontiers, 2024, 40(3): 55-63.

# 1987—2020 年三门湾海岸带 LUCC 与 近岸生态环境变化

李梅娜<sup>1</sup>, 刘晓凤<sup>1,2</sup>, 印萍<sup>1</sup>, 曹珂<sup>1\*</sup>, 陈小英<sup>1</sup>

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237; 2 青岛国实科技集团有限公司, 青岛 266237)

**摘要:**分析 LUCC(土地利用/覆被变化)对提高土地开发利用效率和推动生态环境保护工作具有重要意义。选取三门湾海岸带为研究区,以 1987—2020 年 6 期 Landsat 影像为数据源,采用 GIS 和 RS 技术,利用定量分析法、土地转移矩阵模型对三门湾海岸带土地利用时空格局进行分析。结果表明:①建设用地、耕地和水产养殖用地是三门湾海岸带主导土地利用类型,人类活动和城镇化导致建设用地和水产养殖面积增加,土地利用转移主要表现为耕地向建设用地、滩涂向水产养殖用地转移的趋势。②在土地利用结构性质转变影响下,近 30 年来三门湾近岸水体营养盐含量呈现先增高后降低的趋势;近 20 年来近岸综合潜在生态指数由 16.47 升至 21.18;人类活动对三门湾海岸带近岸生态环境造成威胁。

**关键词:**三门湾;土地利用;人类活动;营养盐;重金属

中图分类号:P736;P748

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2023.115

## 0 引言

地球表层系统最突出的景观标志就是土地利用与土地覆被<sup>[1-2]</sup>,自 1995 年,IGBP 和 IHDP 两大国际组织共同拟定并发表了《土地利用与土地覆盖变化科学研究计划》<sup>[3]</sup>,土地利用与土地覆被变化(LUCC)的研究在全球环境变化和可持续发展中逐渐凸显其重要性<sup>[4-6]</sup>。海岸带是陆地、河流、大气和生物圈交汇的关键地带,具有大陆和海洋生态系统的双重属性,既是发展黄金带,又是生态脆弱区<sup>[7-10]</sup>。人们在制定相关规划时更多关注海岸带的经济属性,而对其生态和社会属性重视程度不够。土地利

用变化研究可以直观反映海岸带资源开发格局、过程和人类活动的相互关系。土地利用类型转移过程的生态环境效应是探索人地关系与可持续发展路径的重要研究手段<sup>[11-15]</sup>。

随着遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的不断发展,国内外学者从不同空间尺度开展 LUCC 与生态环境相关的学术研究。重点关注土地利用变化对气候、土壤、河流水文和水质、湿地环境、生物多样性等环境因子的影响<sup>[16-20]</sup>。TU<sup>[21]</sup>用地理权重模型定量分析了美国波士顿及其周边区域土地利用与水质的关系,发现水质污染与建设用地分布显著正相关;REN 等<sup>[22]</sup>对厦门市的植被碳汇变化进行了研究,通过定量分析发现城市化会降低植被碳汇;王璘<sup>[23]</sup>研究指出珠江口近岸土地利用变化对近岸环境造成了持久且不可逆的威胁;王雪力<sup>[24]</sup>探究了流域土地利用功能转型对生态环境的影响。近年来,国内外学者对该方向的研究内容主要涉及土地利用转型的特征分析及驱动机制理论分析,而以海岸带海湾为研究区,分析土地利用变化与近岸生态环境的相关研究较少。本研究可为湾区建设与海湾可持续发展提供决策支撑。

收稿日期:2023-05-19

资助项目:中国地质调查局项目“浙江中部海岸带综合地质调查”(DD20190276)、“典型河口及湿地滩区生态地质调查”(DD20221775);国家重点研发计划政府间/港澳台重点专项“河口三角洲生态环境地球观测应用研究”(SQ2019YFE012389)

第一作者:李梅娜(1984—),女,硕士,工程师,主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail:lmnz@163.com

\*通讯作者:曹珂(1983—),博士,高级工程师,主要从事海岸带环境与第四纪地质方面的研究工作。E-mail:cdutck@163.com

海湾是陆海生态系统关键带,受人类活动和气候变化的双重影响,同时也是海岸带保护、开发和管理的单元。开展三门湾海岸带土地利用及其对生态环境产生影响的研究,对明晰海湾资源环境条件,了解综合开发潜力,促进湾区可持续发展具有重要意义。本研究以三门湾海岸带为研究区,以期通过土地利用类型转化方式揭示其对近岸海域环境的影响,为区域生态规划及生态文明建设提供支撑,为其他海湾海岸带区域土地资源绿色发展与生态环境修复提供参考和借鉴。

## 1 研究区概况

三门湾位于浙江中部海岸带,北接象山港,南邻台州湾,东到南田岛南急流咀与牛头门、宫北嘴连线,与猫头洋毗邻,是浙江东海门户。海岸线长304 km,海域面积 775 km<sup>2</sup>,是浙江省的第二大海湾(图1)。三门湾是NW—SE向的典型半封闭海湾,三面低山丘陵环抱,一面向海,岸线曲折,港汊纵横,海陆交互作用特征明显<sup>[25-27]</sup>。



图1 三门湾区域位置

Fig.1 Location of the study area

## 2 数据与方法

### 2.1 数据源及预处理

探究三门湾人类活动的空间分布状况,遥感数据的选择至关重要,卫星遥感影像是开展遥感研究的前提。随着遥感技术的发展,获取遥感技术的手段也越来越多,其中,运用最广泛的遥感数据是Landsat系列。本文调查选用的是来自美国NASA陆地卫星Landsat3-5、Landsat7、Landsat8的影像,选取1987、1997、2002、2007、2013、2020年共6期Landsat遥感影像,影像分辨率30 m×30 m。遥感影像云量<3%,质量良好。数据获取网站为<http://www.gscloud.cn/>,具体信息见表1。

卫星遥感影像数据由于受到太阳位置、角度、地形、大气等条件和传感器自身性能的影响,传感

器接收到的电磁波能量与目标地物本身辐射的能量不一致,获得的图像会产生辐射失真,从而导致对图像的使用和理解造成一定的影响。因此,在利用卫星遥感影像提取地物信息之前要先进行预处理,最大限度地消除图像中存在的误差。本文对研究区卫星遥感影像进行了大气校正、波段组合、影像裁剪与镶嵌等预处理工作。

表1 卫星遥感数据信息

Table 1 Information of satellite remote sensing data

序号	卫星	传感器类型	获取日期	空间分辨率/m
1	Landsat5	MSS、TM	1987-05	30
2	Landsat5	MSS、TM	1997-09	30
3	Landsat7	ETM+	2002-02	30
4	Landsat7	ETM+	2007-04	30
5	Landsat7	ETM+	2013-11	30
6	Landsat8	OLI、TIRS	2020-01	30

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 土地利用转移矩阵分析

对三门湾海岸带多期遥感影像叠加, 采用定量分析方法分析研究区土地利用时空演化状态。运用马尔科夫模型计算 6 个时期三门湾海岸带土地利用转移矩阵, 分析不同阶段土地利用转化趋势。

土地利用转移矩阵来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述, 通过某一地区不同时间序列的土地覆被状况变化, 产生一个二维矩阵。对得到的转移矩阵进行分析, 可以得到 2 个时间段不同用地类型之间相互转化的情况, 转移矩阵可以描述不同的用地类型在不同年份发生转化的位置 and 变化面积。揭示土地利用的变化趋势和土地利用结构的变化。矩阵表达式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & \dots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中:  $S$  代表土地面积;

$n$  代表用地类型数;

$i$  为研究区早期用地类型;

$j$  为研究区末期土地利用类型<sup>[28]</sup>。

### 2.2.2 潜在生态危害指数

潜在生态危害指数法是一套应用沉积学原理

评价重金属污染及生态危害的方法<sup>[26]</sup>, 由瑞典科学家 Hakanson 于 1980 年建立, 计算公式如下:

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (2)$$

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i \quad (3)$$

$$E_{RI} = \sum_i^n E_r^i = \sum_i^n \left( T_r^i \cdot \frac{C^i}{C_n^i} \right) \quad (4)$$

式中:  $C_f^i$  重金属  $i$  的污染系数;

$C^i$  为重金属  $i$  的实测浓度;

$C_n^i$  为重金属  $i$  的评价参比值, 一般采用工业化以前的沉积物中重金属最高背景值(表 2);

$E_r^i$  为单个重金属的潜在生态危害系数;

$T_r^i$  为单个重金属的毒性响应系数, 反映重金属的毒性水平及生物对重金属污染的敏感程度;

$E_{RI}$  为多种重金属潜在生态危害指数, 等于所有重金属潜在生态危害系数的总和。

表 2 重金属背景值和毒性系数

Table 2 Background of heavy metals and toxic coefficient

重金属	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn
背景值	15	1	90	50	0.25	70	175
毒性系数	10	30	2	5	40	50	1

重金属污染评价指标及其与污染程度和潜在生态风险程度的关系如表 3 所示。

表 3 污染程度及生态危害程度分级

Table 3 The levels of pollution and ecological hazard

$C_f^i$	单个重金属污染程度	$E_r^i$	单个重金属生态危害程度	$E_{RI}$	重金属总体生态危害程度
<1	低	<40	低	150	低
1~3	中等	40~80	中等	150~300	中等
3~6	重	80~160	较重	300~600	重
≥6	严重	160~320	重	≥600	严重
				≥320	严重

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用数量变化特征

#### 3.1.1 土地利用面积变化

近几十年来, 随着人类对土地开发利用开发活动的深入, 人类活动对地表改造加剧, 引起地表覆被状况随之发生了显著的变化。因此, 可以通过遥感对地表覆被状况的分析来反演人类活动的程度及分布, 即土地利用类型可以作为人类活动的综合表征<sup>[29]</sup>。林地指生长乔木、竹类、灌木等人类活动

较弱的土地; 耕地指进行农业生产活动的土地, 人类活动强度高; 建设用地指城乡居民点、工业用地、矿山用地、交通用地, 人类活动最频繁的区域; 滩涂是指沿海大潮高潮位与小潮低潮位之间的潮浸地带, 生活着大量的滩涂生物; 水产养殖池以及鱼排养殖指商业性饲养水生生物的坑塘以及港汊内的鱼排, 在人为影响下, 动物密度极高。不同土地利用类型代表了不同的人类活动方式以及活动强度。

1987—2020 年在解译区域范围内, 林地占地面积由 48.27% 增长到 52.41%, 主要分布在山地, 呈增长趋势(图 2、3)。建设用地占地面积由 1.79% 增长到 7.62%, 呈逐年快速增长的变化趋势, 增长过

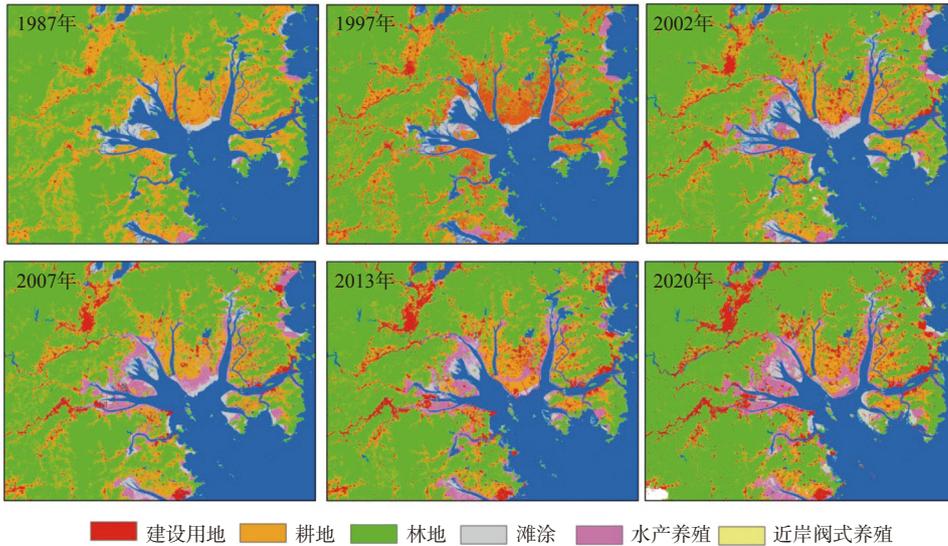


图2 1987—2020年三门湾海岸带土地利用遥感解译

Fig.2 Interpretation of remote sensing on land use in the coastal zone of Sanmen Bay from 1987 to 2020

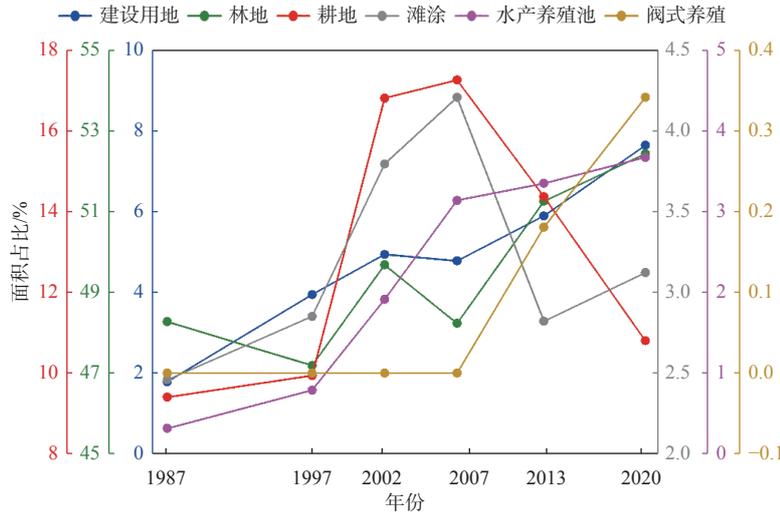


图3 1987—2020年三门湾海岸带土地利用类型面积统计

Fig.3 Statistics of Land use in coastal area in the Sanmen Bay from 1987 to 2020

程表现为,以城区为中心向外扩展;农村城镇化点状扩展。耕地占地面积由9.41%增长到10.80%,耕地面积呈先增加后降低的趋势;其中,2007年耕地主要分布在山间谷地以及沿海冲积平原,面积占比达到最高值17.23%,自2007年开始耕地面积占比逐年降低。水产养殖面积占比由0.32%增长到3.66%,占地面积整体呈增长的趋势,主要分布在下洋涂、蛇蟠岛、南田岛和双蟠岛等沿海区域。近岸闸式养殖区从2013年开始出现在遥感影像内,占比由0.18%增长到0.34%(表4)。

3.1.2 土地利用转移特征分析

通过叠加多期土地利用解译数据,利用ArcGIS空间分析功能,得到1987—2020年土地利用转移矩阵(表5)。由图4可以看出,三门湾土地利用

转移趋势性明显,总体呈现耕地向建设用地和水产养殖转移,滩涂向建设用地和水产养殖转移的趋势。三门湾作为义甬舟开放大通道和甬台温临港产业

表4 1987—2020年土地利用分类遥感解译结果

Table 4 Results of interpretation on land use classification from 1987 to 2020

年份	建设用地	林地	耕地	滩涂	水产养殖	近岸闸式养殖区	%
1987	1.79	48.27	9.41	2.46	0.32	/	
1997	3.94	47.19	9.94	2.85	0.79	/	
2002	4.93	49.67	16.78	3.79	1.91	/	
2007	4.77	48.23	17.23	4.20	3.13	/	
2013	5.88	51.24	14.35	2.82	3.34	0.18	
2020	7.62	52.41	10.80	3.12	3.66	0.34	

注:“/”代表无数据。

带的交汇地带,是全省大湾区联动发展的重要枢纽。近 30 年来,区域经济发展迅速,用地需求加大,建设用地面积持续增加,耕地转为建设用地面积为 65.45 km<sup>2</sup>;作为浙江海水养殖的门户,三门湾养殖产业集群发展迅猛,水产养殖转化贡献面积显著,滩涂转化为水产养殖面积为 41.64 km<sup>2</sup>。

表 5 1987—2020 年三门湾海岸带土地利用转移矩阵面积  
Table 5 The land use transfer matrix of Sanmen Bay coastal zone from 1987 to 2020

土地类型	耕地	林地	滩涂	建设	水产养殖
耕地	120.47	106.89	—	65.45	39.81
林地	58.49	1582.51	—	34.60	2.89
滩涂	16.63	1.99	22.87	17.00	41.64
建设用地	12.67	9.36	1.23	34.59	3.97
水产养殖	0.21	0.02	0.56	0.48	2.25

注:“—”代表无数据。

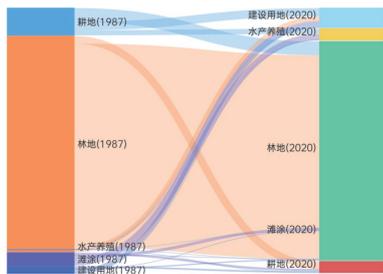


图 4 1987—2020 年土地利用转移矩阵桑基图

Fig.4 Land use transition in coastal area of Sanmen Bay during 1987-2020

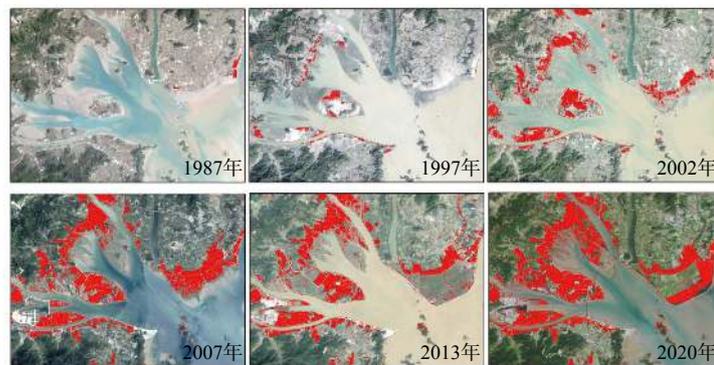
### 3.2 LUCC 对近岸水体营养盐的影响

三门湾是浙江省水产资源丰富的四大港之一,

渔业生产蓬勃发展,是浙江省的重点水产养殖基地。近 30 年来,三门湾海岸带水产养殖面积和产量不断增加(图 5)。根据遥感数据解译和研究区历年年鉴统计分析,1987 年水产养殖面积为 3.7 km<sup>2</sup>;1997 年水产养殖面积为 15.7 km<sup>2</sup>;2007 年水产养殖面积为 130.0 km<sup>2</sup>,水产产量为 30.62 万 t;2013 年水产养殖面积为 136.0 km<sup>2</sup>,水产产量为 36.56 万 t;2020 年水产养殖面积为 158.3 km<sup>2</sup>,水产产量为 45.67 万 t;湾内水产养殖面积逐年增加,水产总量也逐年递增,近 30 年三门湾海岸带水产养殖活动由耕海牧渔,发展为养殖产业集群。

研究表明,海湾内营养盐含量受到陆域人类活动如近岸城镇生活、农业活动、工业生产、禽畜养殖、水产养殖的影响,同时还受河流输入、湾内特殊水动力环境和大气沉降等多种因素的影响<sup>[30]</sup>。三门湾海岸带区域三面环山,一面向海,多发育短小的山溪性河流,无外来大型河流的输入。湾内河流输送的营养盐均是来源于流域内,由近岸流域中的人类活动产生。

根据施晓来<sup>[31]</sup>和宁修仁等<sup>[32]</sup>的研究结果,水产养殖是湾内水体营养盐的主要来源。通过收集海湾志第五分册《上海市和浙江省北部海湾》、“浙江重点养殖容量研究与应用”项目、“908 专项”、国家海洋局 1997 和 2011 年开展的海域水质调查和“三门核电站 3、4 号机组工程邻近海域水质环境海洋生态调查”项目以及 2019 年浙江中部海岸带调查项目,统计获得三门湾 1987—2019 年海域表层水体营养盐含量与分布特征。结果发现,在湾顶水体营养盐含量高的区域,其周边大量分布水产养殖区(图 5)。



红色部分代表养殖区

图 5 1987—2020 年三门湾海岸带养殖分布

Fig.5 Distribution of aquaculture in the Sanmen Bay coastal zone from 1987 to 2020

综合以上三门湾自然地理环境状况,明确三门湾河流所携带的营养盐均来自于三门湾沿岸流域

范围内。1987—2007 年间,耕地和水产养殖用地显著增加,农作物人为施肥产生的活性氮和活性磷,

极大地增加了水体中氮、磷营养盐的含量。那些未被农作物吸收利用的氮、磷会留在土壤中,成为污染水体的持久性来源。水产养殖产生的排泄物或者多余的饵料沉积在水底,直接向水体提供营养物质,造成三门湾内无机氮(DIN)、无机磷(DIP)含量持续增高(图6)。2013年以来,浙江省积极响应国家政策,陆续实施生态环境治理“千万工程”和海域“蓝色海湾整治”工程,修复生态岸线,改善海洋环境质量,提升海岸和海域生态环境功能,有效缓解湾内海水的富营养化现象。县乡依次推出测土配方减少化肥施用量,生态治理规划禽畜养殖场、水产养殖场等,耕地和水产养殖面积增长态势趋于平

缓,三门湾海域营养盐含量呈明显下降趋势(图7),湾内水环境改善显著。

### 3.3 LUCC 对近岸海域沉积物的影响

三门湾处于工业、农渔业与城镇用海区,人类开发活动密集,生态环境脆弱,水动力状况复杂。通过收集历史资料,选取2009、2019年近岸海域沉积物取样站位(图8)。计算得到三门湾近岸海域沉积物中重金属单项潜在生态危害系数与多种金属潜在生态危害指数(表6)。

由表6得出,各重金属 $E_i^d$ 存在年际波动,总体呈现增加趋势,重金属单因子潜在生态风险从高到

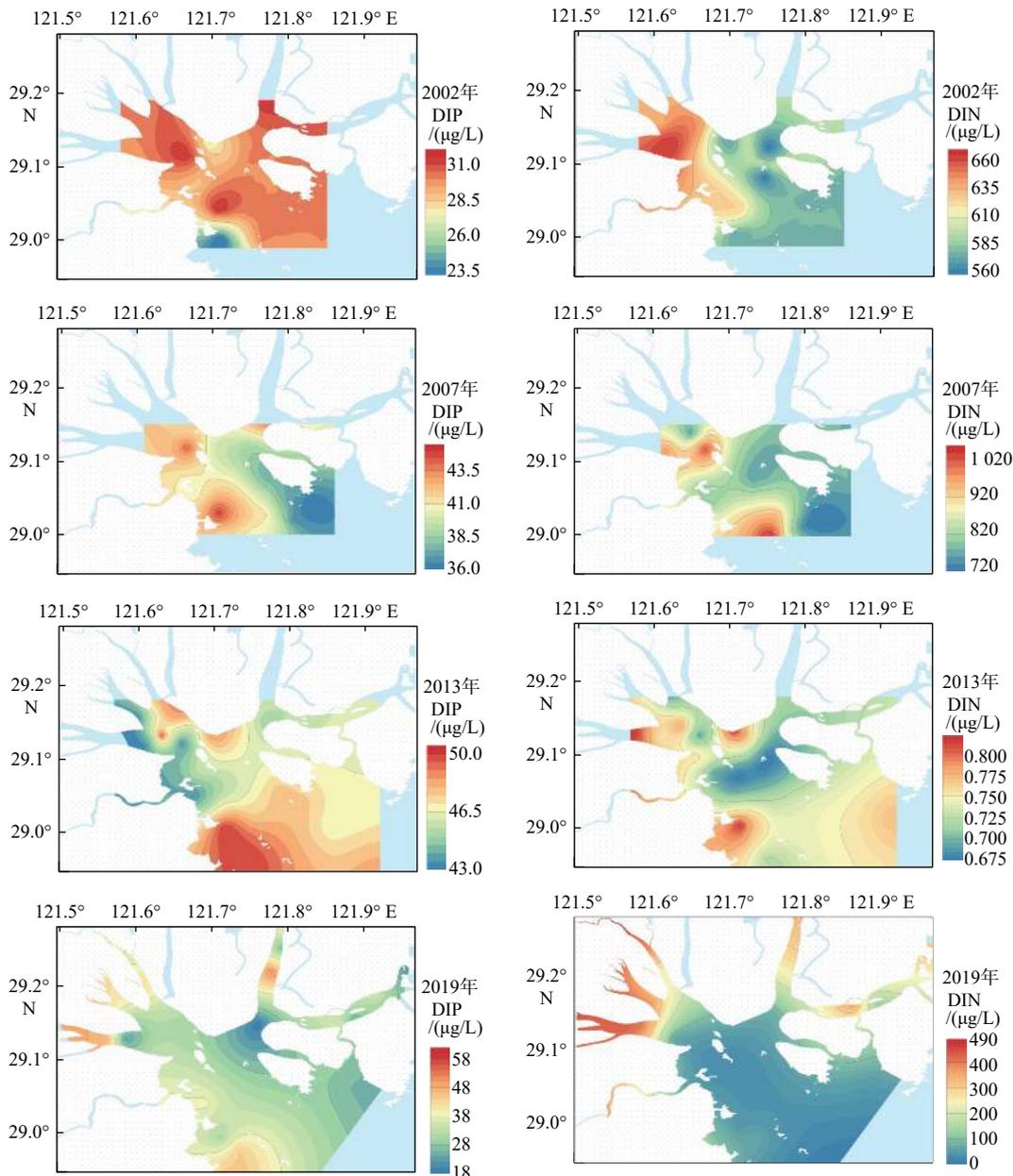


图6 1987—2019年三门湾营养盐空间分布

Fig.6 Spatial distribution of nutrients in the Sanmen Bay coastal zone during 1987-2019)

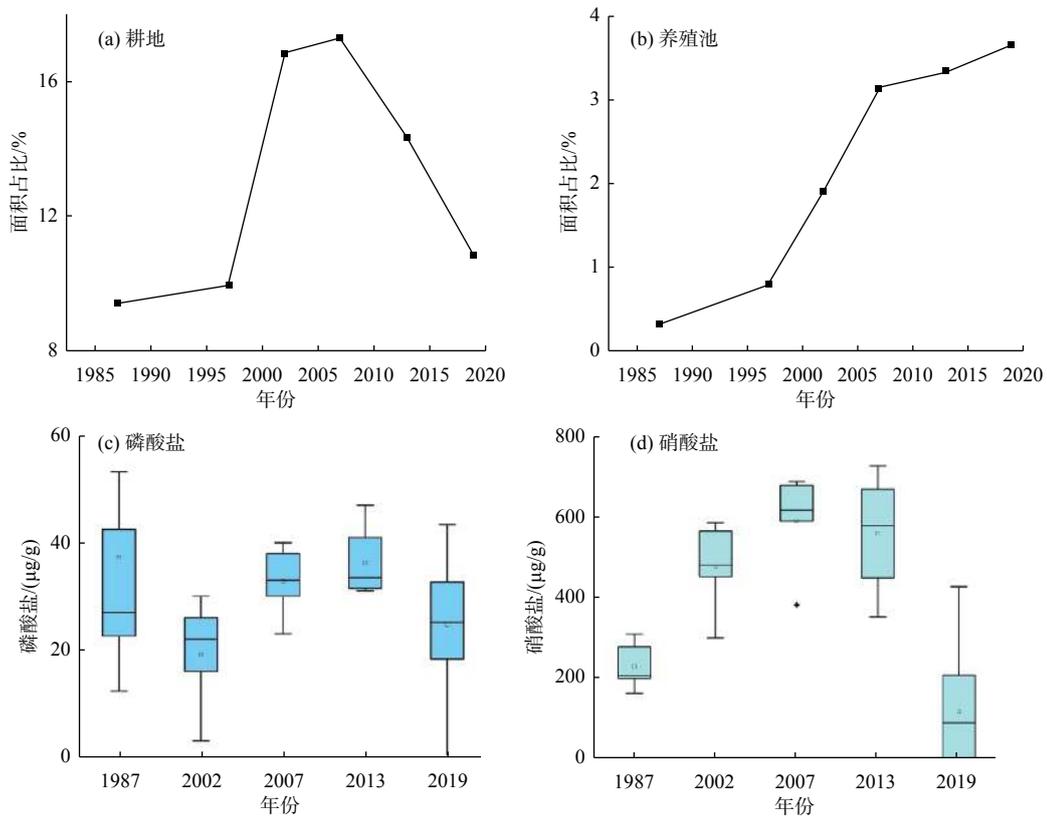


图 7 三门湾典型土地类型面积演化和营养盐变化趋势 (1987—2019 年)

Fig.7 Evolution of typical land types and trends in nutrient changes in Sanmen Bay (1987-2019)



图 8 2009 和 2019 年三门湾近岸海域取样站位

Fig.8 Location of sampling stations in the coastal area of Sanmen Bay in 2009 and 2019

低依次为: As、Cd、Cu、Pb、Cr、Zn。收集站位的单因子潜在生态风险指数均 $<40$ , 说明三门湾近岸综合潜在生态风险评价为低风险。近岸综合潜在生态指数由 16.47 升至 21.18。高斌等<sup>[33-35]</sup>对三门湾海域表层沉积物重金属来源研究表明, 三门湾海岸带沿湾地势起伏大, 无外源大型河流入海, 海域

沉积物中重金属主要来源于陆源输送的重金属污染, 重金属高值区主要集中在蛇蟠水道口、力洋港与健跳镇附近。该区域城镇化水平高, 沿岸分布城镇区、工业区, 核电厂和船舶修理厂。结合近 20 年来土地利用空间分布态势, 2009—2019 年间, 建设用地、水产养殖用地、近岸网箱养殖面积增加, 人类

表6 2009年和2019年三门湾近岸海域沉积物  
重金属  $E_r^i$  与 RI 情况

Table 6 Heavy metal  $E_r^i$  and RI in sediments of Sanmen Bay coastal area in 2009 and 2019

年份	$E_r^i$						RI
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	
2009	6.33	3.25	1.65	2.93	1.75	0.56	16.47
2019	9.04	3.79	2.1	3.39	2.26	0.6	21.18

活动如工业废水、生活污水、养殖投放工业化饵料、养殖废水等通过人工直排方式入海。因三门湾为典型半封闭海湾,生活污水和工业废水的输送使得重金属在该区域发生聚集且不易扩散。因此,推断在土地利用类型的转化下,人类活动影响成为三门湾海岸带近岸沉积物重金属生态风险指数升高的重要因素之一。

## 4 结论

以三门湾海岸带为研究区 1987—2020 年卫星遥感影像为数据源,通过土地利用类型空间特征、土地利用转移趋势,结合近岸海域水体营养盐和重金属数据,分析近 30 年来土地利用对近岸环境的影响,主要结论如下:

(1) 1987—2020 年间,三门湾海岸带土地利用空间格局变化显著,建设用地、耕地和水产养殖用地为主要用地类型。建设用地增长趋势明显,占地面积由 1.79% 增长到 7.62%。耕地面积呈现先增加后降低的趋势,其中,2007 年耕地面积占比达到最高值 17.23%,主要分布在山间谷地以及沿海冲积平原上,由 2007 年开始耕地面积占比逐年降低。水产养殖面积占比由 0.32% 增长到 3.66%,占地面积整体呈增长的趋势,主要分布在下洋涂、蛇蟠岛、南田岛和双蟠岛等沿海区域。

(2) 近 30 年来,三门湾海岸带区域经济发展迅速,养殖产业集群协同发展,用地需求持续增加。三门湾土地利用转移动态较高的类型为耕地和滩涂,总体呈现耕地向建设用地和水产养殖转移,滩涂向建设用地和水产养殖转移的趋势。耕地转为建设用地面积为 65.45 km<sup>2</sup>;滩涂转化为水产养殖面积为 41.64 km<sup>2</sup>。

(3) 土地利用类型空间格局的转移特征和近岸生态环境呈现明显的对应关系;1987—2007 年间,耕地和水产养殖用地显著增加,三门湾内无机氮、无机磷含量呈增长趋势;2013 年以来,浙江省积极

开展生态环境治理工作,依次推出测土配方减少化肥施用量,生态治理规划禽畜养殖场、水产养殖场等,三门湾海域营养盐含量呈明显下降趋势,湾内水环境改善显著。

(4) 结合近 20 年来土地利用空间分布态势,2009—2019 年间,建设用地、水产养殖用地、近岸筏式养殖面积增加,各重金属  $E_r^i$  存在年际波动,总体呈现增加趋势。在土地利用类型的转化下,人类活动影响成为三门湾海岸带近岸海域沉积物重金属生态风险指数升高的重要因素之一。水产养殖占用大量沿海滩涂湿地,改变了生态系统的结构,导致生态服务功能严重下降,降低了系统的稳定性和有序性。

### 参考文献:

- [1] 黄方,刘湘南,刘权,等. 辽河中下游流域土地利用变化及其生态环境效应[J]. 水土保持通报, 2004, 24(6): 18-21.
- [2] 苏大鹏,刘健,胡刚. 近年胶州湾海岸带土地利用与土地覆被变化与驱动力[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(5): 53-58.
- [3] 黄钰清,李骁尧,李强,等. 1985—2015年美国坦帕湾流域土地开发利用强度时空变化分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(1): 66-79.
- [4] 李梅娜,印萍,段晓勇,等. 近20年来长江三角洲海岸带典型区土地利用变化与生态环境效应研究[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1114-1126.
- [5] KALNAY E, CAI M. Impact of urbanization and land-use change on climate. [J]. Nature, 2003, 423(6939): 528-528.
- [6] KOK J, ENGELEN G, WHITE R, et al. Modeling land-use change in a decision-support system for coastal-zone management[J]. Environmental Modeling and Assessment, 2001, 6(2): 123-132.
- [7] 崔妍,于迪,郝义,等. 日照滨海地区岸线和土地利用演变研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2022, 42(3): 76-86.
- [8] 李梅娜,陈小英,刘金庆,等. 基于遥感的威海岸线变迁分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2016, 36(6): 79-84.
- [9] 张训华,鲁静,印萍,等. 我国海岸带地质工作面临的形势与任务[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(1): 1-7.
- [10] 印萍,胡云壮,王磊,等. 中国海岸带地质资源与环境评价研究[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 842-856.
- [11] 王永洵,王亚飞,王强. 土地利用转型及其生态环境效应:以福建海岸带为例[J]. 环境科学学报, 2021, 41(10): 3927-3937.
- [12] 张健,濮励杰,陕永杰,等. 海岸带土地开发利用及生态环境效应研究简述[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(1): 36-43.
- [13] 欧维新,杨桂山,于兴修,等. 盐城海岸带土地利用变化的生态环境效应研究[J]. 资源科学, 2004, 26(3): 76-83.
- [14] 郑洋,于格,钟萍丽,等. 基于土地利用变化和生态系统服务的海岸带生态安全综合评价:以胶州湾为例[J]. 应用生态学报, 2018, 29(12): 4097-4105.
- [15] DU X, HUANG Z. Ecological and environmental effects of land

- use change in rapid urbanization: the case of Hangzhou, China[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 81: 243-251.
- [16] ALJOUFIE M, ZUIDGEEST M, BRUSSEL M, et al. Spatial-temporal analysis of urban growth and transportation in Jeddah City, Saudi Arabia[J]. *Cities*, 2013, 31: 57-68.
- [17] KLEMAS V. Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: an Overview[J]. *Journal of Coastal Research*, 2011, 27(1): 2-17.
- [18] 江冲亚,李满春,刘永学.海岸带水体遥感信息全自动提取方法[J]. *测绘学报*, 2011, 40(3): 332-337.
- [19] ALATORRE L C, RAQUEL S A, SANTOS C, et al. Identification of mangrove areas by remote sensing: the ROC curve technique applied to the northwestern Mexico coastal zone using landsat imagery[J]. *Remote Sensing*, 2011, 3(8): 1568-1583.
- [20] 于兴修,杨桂山.典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响:以太湖上游浙江西苕溪流域为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(3): 211-217.
- [21] TU J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 376-392.
- [22] REN W, ZHONG Y, MELIGRANA J, et al. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai[J]. *Environment International*, 2003, 29: 649-659.
- [23] 王璠.珠江口近岸土地利用/覆盖变化及其环境生态效应研究[D].北京:中国科学院大学,2018.
- [24] 王雪力,覃发超.安宁河流域土地利用转型及其生态环境效应[J]. *西华师范大学学报(自然科学版)*, 2023, 44(6): 605-611.
- [25] 田元,曹珂,印萍,等.三门湾沿岸土壤潜在有毒元素分布、来源及环境风险评价[J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(6): 32-45.
- [26] 张旭,田元,王建强,等.海湾地质碳汇网格化计算:以三门湾为例[J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(6): 46-54.
- [27] 光霞,田元,印萍,等.三门湾表层沉积物黏土矿物特征及来源分析[J]. *海洋地质前沿*, 2022, 38(12): 40-46.
- [28] 许向宁.长江上游安宁河流域主要生态环境地质问题及其效应[J]. *山地学报*, 2004, 22(5): 572-557.
- [29] 查书平,丁裕国,于红博.基于RS与GIS的长江三角洲土地利用变化分析[J]. *大气科学学报*, 2003, 26(6): 815-820.
- [30] 刘晓凤,段晓勇,田元,等.三门湾水体营养盐变化及其对人类活动的响应[J]. *海洋地质前沿*, 2021, 37(5): 46-56.
- [31] 施晓来.近15a来三门湾海域氮、磷营养盐分布与富营养化状况的变化分析[J]. *海洋学研究*, 2013, 31(4): 63-67.
- [32] 宁修仁,刘子琳.渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估[J]. *海洋学报*, 1995, 17(3): 72-84.
- [33] 高斌,曹珂,印萍,等.近10年三门湾海域表层沉积物重金属含量变化及来源解析[J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(3): 51-60.
- [34] 徐争启,倪师军,虞先国,等.潜在生态危害指数法评价中重金属毒性系数计算[J]. *环境科学与技术*, 2008, 31(2): 112-115.
- [35] 李玉,冯志华,李谷祺,等.连云港近岸海域沉积物中重金属污染源及生态评价[J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(6): 829-833.

## Land use and cover change and ecosystem effect in Sanmen Bay coastal zone during 1987-2020

LI Meina<sup>1</sup>, LIU Xiaofeng<sup>1,2</sup>, YIN Ping<sup>1</sup>, CAO Ke<sup>1\*</sup>, CHEN Xiaoying<sup>1</sup>

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China; 2 Gosci Technology Group, Qingdao 266237, China)

**Abstract:** Analyzing LUCC (Land Use and Cover Change) is of great significance for improving land development and utilization efficiency and promoting ecological environment protection work. This article selects the Sanmen Bay coastal zone as the research area, and uses Landsat images from six periods from 1987 to 2020 as the data source. GIS and RS technologies are used to analyze the spatial and temporal patterns of land use in the Sanmen Bay coastal zone using quantitative analysis and land transfer matrix models. The results show that: ① Construction land, cultivated land and aquaculture land are the dominant land use types in the coastal zone of Sanmen Bay. Human activities and urbanization have led to the increase of construction land and aquaculture area. The transfer of land use is mainly manifested in the trend of farmland to construction land, and mudflat to aquaculture land. ② Under the influence of changes in land use structure and properties, the nutrient content in the nearshore water of Sanmen Bay has shown a trend of first increasing and then decreasing in the past 30 years; In the past 20 years, the coastal comprehensive potential ecological index has increased from 16.47 to 21.18; Human activities threaten the coastal ecological environment of Sanmen Bay.

**Key words:** Sanmen Bay; land use; human activity; nutrient salts; heavy metals