

# 1985—2017年环渤海地区围填海演化及驱动力分析

温馨燃<sup>1</sup>, 王建国<sup>1,2</sup>, 王雨婷<sup>1</sup>, 刘志川<sup>1</sup>, 王明常<sup>2</sup>

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘要:** [目的] 分析1985—2017年环渤海地区的围填海演化特征, 并探讨其驱动力, 为加强围填海综合管治, 促进区域可持续发展等提供参考依据。[方法] 基于遥感影像, 利用ENVI, ArcGIS处理并提取各时期围填海岸线和围填利用数据, 结合分形维数、围垦强度系数、开发强度指数和转移矩阵分析围填海演化特征; 采用灰色关联度法讨论围填海活动的驱动机制。[结果] ①1985—2017年, 环渤海围填海总面积 $4.25 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 年均开发强度指数为2.6%; 围填海岸线增长1734 km, 增长幅度为62%。从时间上看, 年均增长速率和围垦强度变化趋势具有相似性, 均表现出降低—升高—降低的趋势; 从空间上看, 表现为南部开发强度远高于北部, 西部高于东部的特征。②研究期内有两次围填海高峰, 第一个围填海高峰以围海养殖利用为主, 占用了大量的植被用地和未利用地; 第二个围填海高峰以填海建设为主, 占用了大量的自然海域。③社会经济发展是围填海活动的主要驱动力, 其中水产品产量、区域人口、渔业产值是主要驱动因子。此外, 国家政策和自然因素对围填海活动的发展有重要意义。[结论] 合理规划养殖水域, 提高单位面积产能是恢复沿海生态环境的有效途径; 均衡区域开发强度和调控区域人口增速对实现区域可持续发展有重要意义。

**关键词:** 开发强度指数; 围填海活动; 时空演化; 驱动力; 环渤海

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)02-0085-07

**中图分类号:** F301.24

**文献参数:** 温馨燃, 王建国, 王雨婷, 等. 1985—2017年环渤海地区围填海演化及驱动力分析[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 85-91. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.012; Wen Xinran, Wang Jianguo, Wang Yuting, et al. Sea reclamation and driving forces in Bohai Rim from 1985 to 2017 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2): 85-91.

## Sea Reclamation and Driving Forces in Bohai Rim from 1985 to 2017

Wen Xinran<sup>1</sup>, Wang Jianguo<sup>1,2</sup>, Wang Yuting<sup>1</sup>, Liu Zhichuan<sup>1</sup>, Wang Mingchang<sup>2</sup>

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130021, China;

2. College of Earth Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun, Jilin 130026, China)

**Abstract:** [Objective] The evolution and driving forces of the sea reclamation in the Bohai Rim from 1985 to 2017 were analyzed, in order to provide support for the comprehensive management of the sea reclamation and promote the sustainable development of the region. [Methods] Using the remote sensing data, ENVI and ArcGIS were used to process and extract the sea reclamation coastline and land use types in each period, and the characteristics of reclamation evolution were analyzed by fractal dimension, coastal reclamation index, development intensity index and transfer matrix. The driving mechanism of reclamation activity was discussed by grey correlation degree method. [Results] ①From 1985 to 2017, the total area of reclamation around Bohai Sea increased by  $4.25 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , with an average annual development intensity index of 2.6%. The reclamation coastline increased by 1734 km, with an increase rate of 62%. In terms of time, the average annual development intensity index and coastal reclamation index changed in a similar way, showing a trend of decreasing, increasing and decreasing. In terms of space, the development intensity in the south was much higher than that in the north and the west was much higher than that in the East. ② There are two reclamation peaks in the study period, the first one was mainly for aquaculture, occupying a large number of vegetation

收稿日期: 2019-09-09

修回日期: 2019-12-17

资助项目: 国土资源部城市土地资源监测与仿真重点实验室开放基金项目“结合领域知识的遥感影像变化智能监测流程设计与应用研究”(KF-2018-03-020); 吉林省教育厅“十三五”科学技术基金项目基金(JJKH20180164KJ)

第一作者: 温馨燃(1995—), 女(汉族), 吉林省长春市人, 硕士研究生, 主要研究方向为海岸带遥感动态监测。Email: wenxr17@jlu.edu.cn.

通讯作者: 王建国(1986—), 男(汉族), 吉林省长春市人, 博士, 副教授, 主要从事国土资源评价方面的研究。Email: wang\_jg@jlu.edu.cn.

land and unused land, and the second one was mainly for construction, taking up lots of natural sea areas. ③ The main driving forces of sea reclamation activities were social and economic development, among which aquatic product production, regional population and fishery industry development were the main driving forces. In addition, national policies and natural factors were of great significance to the sea reclamation activities. [Conclusion] The effective ways to restore the coastal ecological environment are to reasonably plan the aquaculture water area and increase the production capacity of unit area. Balancing the intensity of regional development and regulating the growth of regional population are of great significance to the realization of regional sustainable development.

**Keywords:** development intensity index; reclamation activity; temporal and spatial evolution; driving forces; Bohai Rim

沿海地区因自然环境优越、海陆资源丰富、信息交流便捷而成为世界上人口密度最大、经济发展最快的区域。沿海国家为缓解人口压力、开拓发展空间,纷纷采取围填海的方式来开发和利用海洋。围填海活动主要分布于东南亚沿岸、波斯湾沿岸、欧洲和美洲沿岸。纵观围填海历程,荷兰、日本、韩国等国均经历了养殖围海—建设填海—围填海管控的发展路线。人口和经济的快速发展促使用海方式由养殖转向建设,而生态环境的持续恶化则呼吁着人们科学用海,对围填海加以管控从而实现人海和谐发展。20世纪80年代以来,我国围填海规模不断扩大,经历了由养殖围海向建设填海转变的过程,同时也加剧了海洋环境恶化、海洋灾害频发、海洋生物多样性锐减等一系列问题<sup>[1-2]</sup>。为协调人海矛盾,恢复沿海生境,国务院于2018年年初印发了《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》,严控新增围填海项目,取消围填海地方年度计划指标,除国家重大战略项目外,全面停止新增围填海项目审批。渤海做为继珠三角、长三角后又一围填海集中区,该地区日益严峻的生态、环境、资源问题引起了学界的普遍关注。基于此,国内外学者对环渤海进行了大量研究:从研究海岸线的定义与提取方法<sup>[3-6]</sup>,分析海岸线演化特征<sup>[7-10]</sup>,到建立海岸带土地利用分类体系<sup>[11-12]</sup>,探讨海岸带演化特征<sup>[13-17]</sup>,再到分析、预测土地利用变化的驱动机制和响应机制<sup>[1-2,18-20]</sup>,由线及面的探讨了沿海地区的演化历程。不难发现,现有研究多是围绕海岸线和海岸带展开的,缺乏以围填海活动为核心的针对性研究,更缺乏在国家政策限制的条件下对围填海发展现状、演化特征、驱动因素、发展水平及发展潜力的深入研究。为此,本文以1985—2017年环渤海围填海区域为研究对象,以围填海岸线摆动区为研究区,采用基于规则的面向对象分类法提取围填海土地利用数据,结合分形维数、围垦强度系数、开发利用强度和转移矩阵定量分析渤海围填海时空演化特征,采用灰色关联度法定量分析社会经济因子对围填海活动的驱动

作用,此外,针对国家政策和自然条件等驱动因素进行定性讨论,旨在为加强围填海综合管治,实现区域可持续发展提供一定的参考依据。

## 1 研究区概况

研究区北起辽东半岛的老铁山角,南至山东半岛北岸的蓬莱边界,沿线自北向南分布有大连、营口、盘锦、锦州、葫芦岛、秦皇岛、唐山、天津、沧州、滨州、东营、潍坊、烟台13个地级市,分别隶属于辽宁、河北、天津和山东4个省及直辖市<sup>[17]</sup>。环渤海地区人口承载力强<sup>[21]</sup>,全国海洋经济产值占比高,是中国北部沿海的黄金海岸,在中国对外开放的沿海发展战略中占有重要地位。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与预处理

研究选取1985,1990,1995,2000,2005,2010年(Landsat 4-5TMC1Level-1)和2015,2017年(Landsat 8OLI/TIRSCL1Level-1)共8个时相(7个时期),56景Landsat系列卫星遥感影像为数据源。数据下载于美国地质调查局网站(USGS)(<http://glovis.usgs.gov/>),并利用ENVI软件进行影像的预处理。

### 2.2 围填海信息提取

2.2.1 围填海岸线提取 研究中将海岸线分为自然型岸线和围填型岸线并建立对应的解译标志。结合岸线类型,分别提取植被线<sup>[22]</sup>、水陆分界线<sup>[23]</sup>、围海边界线作为围填海岸线。当同时存在自然型岸线和围填型岸线时,优先提取围填型岸线。以1985年为基准,遥感解译各时相的围填海岸线<sup>[8]</sup>;再将各时相围填海岸线进行叠加<sup>[24]</sup>,确定围填研究区。

2.2.2 围填海分类提取 结合地物间的光谱、纹理、空间属性差异,采用基于规则的面向对象分类法,将围填研究区分为植被用地、自然海域、未利用地、养殖水域、盐田用地、建设用地6类。其中,植被用地是指

草地、林地等有植被覆盖的地块;自然海域是指未经围填利用的自然海面;未利用地是指沿海滩涂以及有明显圈围边界但尚未开发的地块;养殖水域是指用于养殖的圈围水面;盐田用地是指用于盐业生产的地块;建设用地是指用于港口、交通、住宅、产业园区、公共基础设施等建设项目的地块。结合 Google Earth 卫星影像对分类结果进行精度验证,分类结果均符合要求。

### 2.3 围填海指数计算

2.3.1 围填海岸线分形维数 采用网格法<sup>[7]</sup>计算围填海岸线的分形维数(fractal dimension,  $D$ )。分别取边长为  $r$  ( $r = 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300$  m) 的网格覆盖围填海岸线,覆盖所需连续网格数为  $N(r)$ ,利用公式(2)采取最小二乘法对分形维数进行拟合分析。

根据分形理论:

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (1)$$

对公式(1)左右同时取对数则有:

$$\ln N(r) = -D \ln r + C \quad (2)$$

式中: $C$ 为待定常数; $D$ 为围填海岸线的分形维数。分形维数与岸线的复杂曲折程度成正比,即  $D$  值越大,岸线越曲折。

2.3.2 围垦强度系数 本研究中将吴文挺<sup>[25]</sup>等人提出的围垦强度系数(coastal reclamation index, CRI)中的海岸线替换为围填海岸线。通过计算,定量分析不同时期、不同区划内的岸线围垦强度。

计算公式为:

$$CRI = \frac{S_{t-t_0}}{(t-t_0) \times \frac{(l_t + l_{t_0})}{2}} \quad (3)$$

式中:CRI为围垦强度系数; $S_{t-t_0}$ 为  $t$  至  $t_0$  期间的围填海面积; $t$  为目标年份; $t_0$  为起始年份; $l_t$  为目标

$$\zeta_i(k) = \frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (9)$$

式中: $\rho$ 为分辨系数,取值为 0.5。

## 3 结果与分析

### 3.1 围填海岸线演化

1985—2017 年,环渤海围填海岸线共增长 1 734 km,增长幅度为 62%。各时期的年均增长速率呈降低—升高—再降低的趋势。1990—1995 年,围填海岸线增长 77 km,同 1990 年相比年均增长速率仅为 0.5%;2005—2010 年,围填海岸线增长 400 km,同 2005 年相比年均增长速率为 2.3%,2010—2015 年,围填海岸线增长 606 km,同 2010 年相比年均增长速

年份的围填海岸线长度; $l_{t_0}$  为起始年份的围填海岸线长度。

2.3.3 开发强度指数 将各时期年均围填开发面积与围填研究区面积的比值定义为开发强度指数(development intensity index, DII),反映人类干预下各个时期及不同用地类型间的围填开发强度。

计算公式为:

$$DII_A = \frac{S_{A_{t-t_0}}}{(t-t_0) \times S_R} \times 100\% \quad (4)$$

$$DII_S = \frac{S_{S_{t-t_0}}}{(t-t_0) \times S_R} \times 100\% \quad (5)$$

$$DII_C = \frac{S_{C_{t-t_0}}}{(t-t_0) \times S_R} \times 100\% \quad (6)$$

$$DII = DII_A + DII_S + DII_C \quad (7)$$

式中: $DII_A$  为养殖水域开发强度指数; $DII_S$  为盐田用地开发强度指数; $DII_C$  为建设用地开发强度指数; $DII$  为总开发强度指数; $S_{A_{t-t_0}}$  为  $t$  至  $t_0$  期间的养殖水域面积; $S_{S_{t-t_0}}$  为  $t$  至  $t_0$  期间的盐田用地面积; $S_{C_{t-t_0}}$  为  $t$  至  $t_0$  期间的建设用地面积; $t$  为目标年份, $t_0$  为起始年份; $S_R$  为围填研究区面积。

2.3.4 灰色关联度分析 采用灰色关联度法<sup>[26]</sup>计算社会经济因子与围填海利用类型间的关联度,以量化社会经济因素的驱动作用。采用均值化归一法实现社会经济因子的无量纲化;基于 Matlab 软件计算灰色关联度系数及关联系数均值,形成关联序。

原理及计算公式为:

均值化归一:

$$X_i'(k) = \frac{nX_i(k)}{\sum_{k=1}^n X_i(k)} \quad (8)$$

关联度系数:

率达 3.2%,10 a 间岸线增长量占总增长量的 58%;其余各时期的年均增长速率在 1.0%~1.5%之间。从空间分布上看,山东省岸线增长最多,为 616 km,其次是河北省增长 471 km,辽宁省增长 396 km,天津市最少,增长 251 km。但从增长幅度上看,同 1985 年比较,天津市增幅高达 196.9%,即 2017 年天津市岸线长度约为 1985 年的 3 倍,其次是河北省增幅 134.9%,山东省增幅 70%,与环渤海整体基本持平,辽宁省增幅最低,为 27.5%。研究期内,围填海岸线分形维数整体呈上升趋势,从 1985 年的 1.171 0 增长

到 2017 年的 1.225 5, 在 2005 年出现了极低值 1.060 8。但实际上, 2005 年岸线长度并没有减少, 反而增长了 192.6 km, 说明分形维数的下降并不是由海岸线缩短导致的。对比 2000 年与 2005 年的岸线发现, 此期间内, 大规模自然型岸线以“截弯取直”的方式转为围填型岸线, 岸线趋向平直化, 说明围填海利用是导致分形维数大幅度下降的原因。这一现象在滨州至潍坊一带表现的较为显著。

### 3.2 岸线围垦强度演化

1985—2017 年, 岸线平均围垦强度为  $3.6 \text{ hm}^2 / (\text{a} \cdot \text{km})$  (表 1), 总体上呈现出强—弱—强—弱的变化趋势; 其中, 1985—1990 年和 2005—2010 年两个时期围垦强度高于平均值, 分别为  $6.9, 6.2 \text{ hm}^2 / (\text{a} \cdot \text{km})$ 。三省一市的围垦强度变化趋势与渤海的变化趋势基本一致, 第一个围垦峰值均出现在 1985—1990 年; 第

二个围垦峰值在时间上的表现略有差异, 河北省、天津市的围垦峰值出现在 2005—2010 年, 山东省围垦峰值略早于其他省市, 出现在 1995—2005 年, 而辽宁省围垦峰值则略晚于其他省市, 出现在 2010—2015 年 (表 1)。

从空间上看, 第一个围填高峰期 (1985—1990 年) 内, 围填海活动主要集中在渤海的东北方向和西南方向, 沿线 13 个市中有 7 个市的围垦强度大于区域平均值, 东营、盘锦、潍坊的围垦强度约为平均值的 3 倍。第二个围填高峰期 (2005—2015 年) 内, 前期 (2005—2010 年) 围填海活动主要发生在渤海西部, 以唐山、天津、潍坊为主要代表城市; 后期 (2010—2015 年) 围填海活动发生在辽宁省、山东省各市, 锦州、盘锦、潍坊为主要代表城市, 而在津冀一带, 仅沧州围垦强度略高于区域平均值 (表 1)。

表 1 研究区围垦强度系数变化

$\text{hm}^2 / (\text{a} \cdot \text{km})$

项目	不同年份围垦强度系数							1985—2017 年
	1985—1990 年	1990—1995 年	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2017 年	
大连	1.0	1.7	0.3	1.3	2.3	2.5	0.5	1.4
营口	1.4	0.4	0.5	3.2	4.9	3.5	0.9	1.8
盘锦	17.9	3.1	2.2	0.7	4.5	4.9	1.8	5.0
锦州	8.0	3.4	0.7	1.9	5.7	11.7	3.8	4.6
葫芦岛	1.3	1.4	0.4	0.8	3.4	1.0	0.4	1.1
辽宁省	3.8	1.9	0.6	1.3	3.4	3.4	1.0	2.1
秦皇岛	0.5	0.2	1.8	0.8	1.1	0.3	0.0	0.7
唐山	7.3	4.7	0.7	2.6	15.6	1.6	0.4	4.9
沧州	7.5	2.6	3.5	1.3	5.4	3.8	0.3	3.5
河北省	5.1	2.9	1.6	1.8	9.6	2.0	0.3	3.5
天津	2.7	0.8	1.0	4.9	15.1	2.7	0.1	4.1
滨州	11.9	10.1	11.0	12.8	3.7	3.7	0.4	9.1
东营	19.0	3.9	10.6	6.4	4.6	4.4	0.9	7.2
潍坊	17.4	3.1	2.9	11.1	10.1	4.9	5.5	7.1
烟台	0.4	0.6	0.2	0.6	1.1	4.5	0.5	1.2
山东	12.2	4.1	7.0	6.9	4.4	4.4	1.5	5.7
环渤海	6.7	2.8	3.1	3.6	5.8	3.4	0.9	3.6

### 3.3 围填海利用演化

1985—2017 年, 环渤海围填海总面积  $4.25 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 各时期内围填面积依次为  $9.07 \times 10^4 \text{ hm}^2, 4.21 \times 10^4 \text{ hm}^2, 4.87 \times 10^4 \text{ hm}^2, 6.01 \times 10^4 \text{ hm}^2, 1.05 \times 10^5 \text{ hm}^2, 7.03 \times 10^4 \text{ hm}^2, 8.493 \text{ hm}^2$ , 面积变化趋势与围垦强度变化趋势一致。区域内自然海域、未利用地、植被用地分别减少了  $1.68 \times 10^5 \text{ hm}^2, 1.42 \times 10^5 \text{ hm}^2, 4.93 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 养殖水域、建设用地、盐田用地分别增加了  $1.82 \times 10^5 \text{ hm}^2, 1.29 \times 10^5 \text{ hm}^2, 4.80 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 区域开发强度达 84.6%, 剩余可开发面积约

$6.55 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。从开发强度指数来看 (图 1), 1985—1990 年、2000—2005 年是养殖围海的高峰期; 1990—1995 年、2005—2010 年是盐田围海的高峰期; 2005—2010 年是建设用地围填海的高峰期。由此可以看出, 大规模的围海养殖是第一个围填高峰期 (1985—1990 年) 产生的主要原因; 而城市扩张、港口建设等则是第二个围填高峰期 (2005—2015 年) 产生的主要原因。第二个围填高峰期的开发强度远大于第一个围填高峰期, 即建设用地的开发规模与强度远高于养殖及盐田用地。

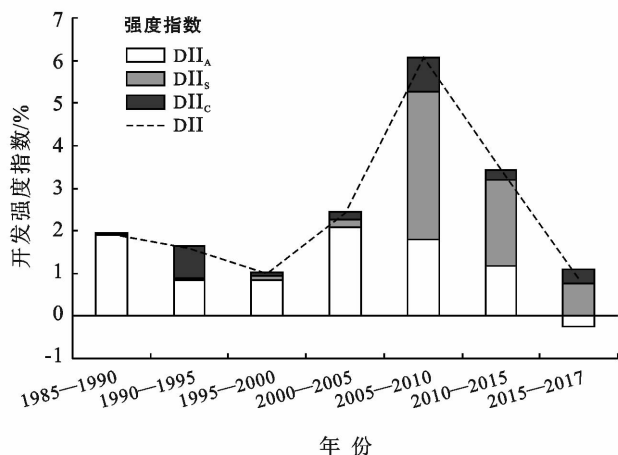


图 1 研究区不同时期开发强度指数变化

通过 ArcGIS 进行叠加分析获得全时期(1985—2017 年)以及两个围填高峰期(1985—1990 年、2005—2015 年)的土地利用转移矩阵(表 2)。从整体上看,1985—2017 年,区域内的养殖水域、建设用地和盐田用地表现为完全转入,占总面积的比例依次为 42.9%,30.4%,11.3%。与之相对的,植被用地、自然海域和未利用地的转出远大于转入,其中植被用地占比下降 11.6%,转出方式主要为养殖水域和盐田用地;自然海域占比由 41.3%下降至 1.8%,转为建设用地和养殖水域的比例高达 87.6%;未利用地占比下降 33.5%,养殖和晒盐是其主要的利用转移方式。从

空间分布上看,养殖水域主要分布在大连、锦州、唐山、滨州、东营各市;建设用地广泛分布于营口、盘锦、锦州、唐山、天津、沧州、潍坊、烟台各市;盐田用地集中分布在山东省的滨州、东营、潍坊各市。第一个围填高峰期内呈现出陆域向水域转出的趋势,植被用地和未利用地占比下降 16.9%,而养殖水域和自然海域占比增加 16.8%。但地类转换并不是简单的单向转换,而是复杂的交互转换,植被用地转出为未利用地、养殖水域和自然海域的比例依次为 36.8%,17.2%,14.2%;未利用地转出为自然海域、养殖水域、植被用地的比例依次为 21.9%,13.3%,10.2%。该时期内建设用地和盐田用地的开发占比较小。

第二个围填高峰期内自然海域和未利用地大幅减少,建设用地、养殖水域、盐田用地大幅增加。建设用地的转入途径主要为自然海域,占比 64.7%,其次为未利用地和养殖水域,占比分别为 13.8%,10.0%;养殖水域转入的主要途径为未利用地和自然海域,占比为 25.3%和 18.4%;盐田用地的主要来源为未利用地和养殖用地,总占比达 54.7%。截止 2015 年,围填研究区内剩余可开发面积为  $7.27 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占比为 17.1%。对比各阶段土地利用变化矩阵发现,植被用地的转出方式更倾向于养殖水域和未利用地,自然海域则更倾向于转换为建设用地和养殖水域,未利用地是养殖池、盐田的主要转入方式。

表 2 研究区各时期土地利用转换矩阵

%

项目	2017 年							总计
	地类	植被用地	养殖水域	自然海域	建设用地	未利用地	盐田用地	
1985 年	植被用地	3.3	7.1	0.3	2.4	2.1	3.1	18.4
	自然海域	2.2	11.8	0.9	22.8	2.1	1.4	41.3
	未利用地	1.3	23.9	0.6	5.1	2.6	6.8	40.3
	总计	6.8	42.9	1.8	30.4	6.8	11.3	100.0
第一个围填高峰期 (1985 年)	1990 年							
	植被用地	5.8	3.2	2.6	0.0	6.8	0.1	18.4
	自然海域	1.1	1.0	37.1	0.0	2.1	0.0	41.3
	未利用地	4.1	5.4	8.8	0.0	21.9	0.1	40.3
总计	11.0	9.6	48.5	0.0	30.8	0.1	100.0	
第二个围填高峰期 (2005 年)	2015 年							
	植被用地	1.6	1.3	0.0	1.3	3.2	1.0	8.4
	养殖水域	0.6	22.0	0.2	2.9	0.3	2.4	28.5
	自然海域	1.6	8.0	2.6	18.7	1.1	0.4	32.5
	建设用地	0.0	0.0	0.1	1.4	0.0	0.0	1.5
	未利用地	0.3	11.0	0.6	4.0	4.4	3.4	23.9
盐田用地	0.0	1.0	0.2	0.6	0.2	3.3	5.3	
总计	4.1	43.4	3.7	28.9	9.2	10.6	100.0	

### 3.4 围填海驱动力分析

#### 3.4.1 自然基础 适宜的自然环境是环渤海大规模

开展围填海活动的基石。环渤海沿岸分布有辽河、凌河、滦河、黄河等入海河流,以及辽东湾、渤海湾、莱州

湾等海湾,入海河流带来了大量泥沙,海湾内水体平静,易于泥沙沉积。在河流与海湾的共同作用下,渤海沿岸滩涂发育,营养物质丰富,为锦州、唐山、滨州、东营等地区海产品养殖业的发展提供了基础。海湾以其风浪扰动小、近岸海水浅等特点成为城市建设的首选之地。此外,海平面的持续上升使山东沿岸海水入侵范围不断扩大、土壤盐渍化程度升高,为东营、潍坊、滨州等地的盐业发展创造了条件。

3.4.2 政策驱动 21 世纪以来,国家对海洋经济的发展日益重视,相继批复了《辽宁沿海地区发展规划》《天津市滨海新区行政体制改革方案》《河北沿海地区发展规划》《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》《山东半岛蓝色经济区发展规划》等重大决策和战略

部署。在此基础上通过了如大连长兴岛临港工业区、天津南港工业区、曹妃甸经济区、潍坊滨海生态旅游度假区等多项建设用海规划。截止至 2012 年 10 月环渤海地区共批复建设用海规划项目 27 个,批准填海面积  $7.00 \times 10^4 \text{ hm}^2$ <sup>[21]</sup>。这表明国家政策的颁布与实施是推动环渤海围填海活动发展的重要动力。

3.4.3 社会经济驱动 社会经济因素是围填海活动的主要驱动力。本文选取 2000,2005,2010,2015 和 2017 年 5 期 GDP,第一产业 GDP,第二产业 GDP,第三产业 GDP,人口,固定资产投资,房地产开发投资,旅游人数,旅游收入,沿海港口货物吞吐量,水产品总产量,渔业产值等 12 个驱动因子,计算了它们与 6 种围填海利用类型的灰色关联度系数,结果详见表 3。

表 3 三省一市围填海利用类型与驱动因子的关联系数

地区	利用类型	驱动因子											
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>
辽宁省	植用地被	0.642	0.659	0.627	0.626	0.734	0.568	0.582	0.622	0.636	0.591	0.706	0.664
	养殖水域	0.727	0.785	0.713	0.669	0.643	0.568	0.595	0.629	0.632	0.689	0.723	0.688
	自然海域	0.535	0.549	0.538	0.526	0.643	0.501	0.506	0.510	0.521	0.502	0.601	0.551
	建设用地	0.718	0.644	0.680	0.726	0.462	0.637	0.697	0.735	0.707	0.731	0.527	0.601
	未利用地	0.641	0.649	0.649	0.632	0.678	0.614	0.616	0.606	0.614	0.626	0.666	0.629
	盐田用地	0.702	0.728	0.702	0.702	0.836	0.709	0.706	0.663	0.733	0.725	0.846	0.726
河北省	植用地被	0.709	0.722	0.712	0.707	0.736	0.664	0.664	0.610	0.560	0.662	0.745	0.729
	养殖水域	0.677	0.718	0.690	0.657	0.835	0.579	0.567	0.583	0.523	0.699	0.805	0.683
	自然海域	0.527	0.531	0.535	0.522	0.605	0.507	0.501	0.502	0.488	0.526	0.570	0.536
	建设用地	0.627	0.582	0.627	0.647	0.590	0.651	0.643	0.661	0.602	0.696	0.549	0.586
	未利用地	0.638	0.654	0.641	0.631	0.726	0.592	0.585	0.590	0.599	0.616	0.715	0.667
	盐田用地	0.624	0.663	0.626	0.615	0.710	0.537	0.583	0.576	0.534	0.515	0.688	0.673
天津市	植用地被	0.503	0.635	0.500	0.507	0.675	0.467	0.501	0.582	0.576	0.537	0.691	0.577
	养殖水域	0.486	0.679	0.523	0.456	0.741	0.473	0.447	0.554	0.538	0.602	0.810	0.597
	自然海域	0.692	0.771	0.694	0.691	0.784	0.671	0.688	0.735	0.729	0.719	0.807	0.744
	建设用地	0.708	0.492	0.726	0.679	0.463	0.733	0.669	0.606	0.643	0.621	0.441	0.564
	未利用地	0.630	0.706	0.629	0.630	0.734	0.610	0.627	0.665	0.659	0.650	0.742	0.677
	盐田用地	0.672	0.678	0.655	0.643	0.646	0.697	0.645	0.719	0.727	0.653	0.583	0.663
山东省	植用地被	0.558	0.576	0.555	0.557	0.666	0.556	0.529	0.577	0.570	0.558	0.653	0.591
	养殖水域	0.652	0.733	0.696	0.559	0.637	0.567	0.549	0.573	0.546	0.516	0.709	0.628
	自然海域	0.585	0.617	0.604	0.552	0.711	0.554	0.583	0.558	0.535	0.546	0.689	0.627
	建设用地	0.636	0.596	0.611	0.661	0.454	0.685	0.674	0.680	0.731	0.651	0.488	0.569
	未利用地	0.543	0.572	0.547	0.521	0.676	0.534	0.527	0.530	0.508	0.515	0.647	0.582
	盐田用地	0.640	0.656	0.639	0.652	0.570	0.648	0.682	0.637	0.643	0.606	0.572	0.607

注: X<sub>1</sub> 为 GDP(亿元); X<sub>2</sub> 为第一产业 GDP(亿元); X<sub>3</sub> 为第二产业 GDP(亿元); X<sub>4</sub> 为第三产业 GDP(亿元); X<sub>5</sub> 为人口(万人); X<sub>6</sub> 为固定资产投资(亿元); X<sub>7</sub> 为房地产开发投资(亿元); X<sub>8</sub> 为旅游人数(万人); X<sub>9</sub> 为旅游收入(亿元); X<sub>10</sub> 为沿海港口货物吞吐量(万 t); X<sub>11</sub> 为水产品总产量(万 t); X<sub>12</sub> 为渔业产值(亿元)。

在环渤海的三省一市中,植被用地、自然海域、未利用地都与水产品产量、区域人口、渔业产值间表现出较高的关联度,即水产品产量的增加、区域人口的增长、渔业产值的提高会导致植被用地、自然海域和

未利用地的减少。各省市的养殖用地驱动因子间存在差异,但差异较小,各省市养殖用地与水产品产量、第一产业 GDP 的关联度都很高,此外,河北、天津地区的养殖用地与区域人口关联偏高,辽宁地区的养殖

用地与 GDP 关联偏高,而山东的养殖用地与第二产业 GDP 关联偏高,与植被、海域、未利用地不同,养殖用地的驱动因子起正向推动作用,即水产品产量、第一产业 GDP 的增加会扩大养殖用地的规模。各省市建设用地驱动因子间差异较大,辽宁省建设用地受旅游收入、沿海港口货物吞吐量和第三产业 GDP 影响较大,河北省建设用地受沿海港口货物吞吐量、旅游人数和固定资产投资影响较大,天津建设用地与固定资产投资、第二产业 GDP 和 GDP 关联较高,山东省建设用地与旅游收入、固定资产投资及旅游人数关联较高。总的来看,旅游人数、固定资产投资与沿海港口货物吞吐量是影响环渤海建设用地增加的主要驱动因子。各省市盐田用地间差异最大,没有表现出明显的一致性,考虑到盐田用地在各省市间的分布情况,仅将山东省情况加以说明。山东省盐田用地受房地产开发投资、第一产业 GDP 及第三产业 GDP 影响较大。

## 4 讨论与结论

(1) 1985—2017 年,环渤海围填海总面积  $4.25 \times 10^5 \text{ hm}^2$ , 年均开发强度指数为 2.6%, 围填海岸线增长 1 734 km, 增长幅度为 62%。各时期的年均增长率呈降低—升高—再降低的趋势, 南部开发强度高, 西部高于东部。

(2) 围垦强度随时间呈现出强—弱—强—弱的发展趋势, 两次峰值分别出现在 1985—1990 年和 2005—2015 年。第一个围填高峰以围海养殖为主要利用方式, 植被、未利用地大量转为养殖水域; 第二个围填高峰以城市和港口建设为主, 主要由自然海域转入。

(3) 大规模的围填海活动是自然条件、国家政策和社会经济共同作用的结果。社会经济发展是围填海活动的主要驱动力, 其中: 水产品产量、区域人口、渔业产值是主要驱动因子。

海水养殖和沿海建设是近年来围填海利用开发的主要方式, 截止 2017 年, 研究区内 42.9% 的面积被用来养殖, 30.4% 的面积被用于港口和城市建设, 侵占了大量滨海湿地资源, 对滨海生态环境造成了一系列负面影响。解决围填海带来的问题势必要从这两方面入手: 一方面对养殖水域进行合理规划, 提高单位海面的产能, 调控渔业价格, 控制区域人口增速等都有利于还“养”为“海”的推进; 一方面促进环渤海城市群一体化, 均衡区域开发强度, 优化建设用地布局, 将沿海旅游向省市内陆旅游引流等对恢复沿海自然环境、提高区域竞争力、实现可持续发展有重要意义。

本研究还存在一些不足: ①受遥感图像精度限制, 未对建设用地进行细分, 导致计算与社会经济因子的灰色关联系数时过于笼统; ②2000 年前后的统计数据差异较大, 20 世纪的统计信息不够全面, 且获取难度大, 对灰色关联系数有一定影响; ③填海用地需要有沉降期, 像金州湾机场这样用途明确的, 可直接划分为建设用地, 但用途不明的可能会被误分到未利用地或其他地类中去, 对分类结果有一定的影响。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 于春艳, 韩庚辰, 张志锋, 等. 渤海生态压力及对策分析[J]. 海洋开发与管理, 2015(6): 89-92.
- [2] 王玉梅, 丁俊新, 张军. 渤海生态环境及其影响因素的演变特征分析[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2016, 32(1): 66-73.
- [3] 张旭凯, 张霞, 杨邦会, 等. 结合海岸类型和潮位校正的海岸线遥感提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 91-97.
- [4] 周良勇, 张志珣, 陆凯. 1985—2002 年江苏粉砂淤泥质海岸岸线和围海变化[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(6): 7-11.
- [5] 严海兵, 李秉柏, 陈敏东. 遥感技术提取海岸线的研究进展[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 101-105.
- [6] 冯兰娣, 孙效功, 青可辉. 利用海岸带遥感图像提取岸线的小波变换方法[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(5): 777-781.
- [7] 张云, 张建丽, 景昕蒂, 等. 1990 年以来我国大陆海岸线变迁及分形维数研究[J]. 海洋环境科学, 2015, 34(3): 406-410.
- [8] 吴培强, 张杰, 马毅, 等. 2010—2015 年环渤海海岸线时空变迁监测与分析[J]. 海洋科学进展, 2018, 36(1): 128-138.
- [9] Xu Ning, Gao Zhiqiang, Ning Jicai. Analysis of the characteristics and causes of coastline variation in the Bohai Rim (1980—2010) [J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(8): 719.
- [10] 吴春生, 黄翀, 刘高焕, 等. 基于遥感的环渤海地区海岸线变化及驱动力分析[J]. 海洋开发与管理, 2015(5): 30-36.
- [11] 邸向红, 侯西勇, 吴莉. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 463-472.
- [12] 温礼, 吴海平, 姜方方, 等. 基于高分辨率遥感影像的围填海图斑遥感监测分类体系和解译标志的建立[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(1): 172-177.
- [13] 马振刚, 李黎黎, 许学工. 环渤海海岸带土地利用变化格局研究[J]. 海洋开发与管理, 2019(1): 38-43.
- [14] Meng Weiqing, Hu Beibei, He Mengxuan, et al. Temporal-spatial variations and driving factors analysis of coastal reclamation in China [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 191(9): 39-49.

- 理, 2019, 39(3): 397-409.
- [14] 孔君洽, 杜泽玉, 杨荣. 黑河中游土地利用/覆被变化及其对碳储量影响的预测[J]. 中国沙漠, 2019, 39(3): 87-97.
- [15] 房飞, 李滨勇, 唐海萍. 基于土地利用结构优化的土壤有机碳储量预测分析: 以内蒙古多伦县为例[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 67-73.
- [16] Yang Xu, Ji Guangxing, Wang Chong, et al. Modeling nitrogen and phosphorus export with InVEST model in Bosten Lake basin of Northwest China [J]. PloS One, 2019, 14(7): e0220299.
- [17] Zhang Yihan, Li Xia, Liu Xiaoping, et al. Self-modifying CA model using dual ensemble Kalman filter for simulating urban land-use changes [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2015, 29(9): 1612-1631.
- [18] Huang Yingchun, Nian Peihao, Zhang Wenxin. The prediction of interregional land use differences in Beijing: A Markov model [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(8): 4077-4090.
- [19] 赵冠伟, 陈颖彪, 陈健飞. CA-Markov模型的空间尺度敏感性研究[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 897-902.
- [20] 张津, 朱文博, 吴舒尧. 基于 CLUE-S 模型的京津冀城市群土地利用变化时空模拟[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(1): 115-124.
- [21] 李默然, 丁贵杰. 贵州黔东南主要森林类型碳储量研究[J]. 湖南长沙: 中南林业科技大学学报, 2013, 33(7): 119-124.
- [22] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳储量[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2003, 33(1): 72-80.
- [23] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2007, 37(6): 804-812.
- [24] Alam S A, Starr M, Clark B J F. Tree biomass and soil organic carbon densities across the Sudanese woodland savannah: A regional carbon sequestration study [J]. Journal of Arid Environments, 2013, 89(1): 67-76.
- [25] Giardina C P, Ryan M G. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature [J]. Nature, 2000, 404(6780): 858-861.
- [26] 陈光水, 杨玉盛, 谢锦升. 中国森林的地下碳分配[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5148-5157.
- [27] 张峰. 中国草原碳库储量及温室气体排放量估算[D]. 甘肃 兰州: 兰州大学, 2010.
- [28] 朱超, 赵淑清, 周德成. 1997—2006 年中国城市建成区有机碳储量的估算[J]. 应用生态学报, 2012, 23(5): 1195-1202.
- [29] 黄玫, 季劲钧, 曹明奎. 中国区域植被地上与地下生物量模拟[J]. 生态学报, 2006, 26(12): 4156-4163.
- [30] 朴世龙, 方精云, 贺金生. 中国草地植被生物量及其空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498.
- [31] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 497-508.
- [32] 虎帅, 张学儒, 官冬杰. 基于 InVEST 模型重庆市建设用地扩张的碳储量变化分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 323-331.
- [33] 蔡广鹏, 韩会庆, 张凤太. 喀斯特地区贵州省绥阳县土地利用/覆被变化对陆地植被碳储量的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 122-124, 130, 295.

(上接第 91 页)

- [15] Di Xianghong, Hou Xiyong, Wang Yuandong, et al. Spatial-temporal characteristics of land use intensity of coastal zone in China during 2000—2010 [J]. Chinese Geographical Science, 2015, 25(1): 51-61.
- [16] 黄勇, 王凤友, 蔡体久, 等. 环渤海地区景观格局动态变化轨迹分析[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 314-319.
- [17] Wen Qingke, Zhang Zengxiang, Xu Jinyong, et al. Spatial and temporal change of wetlands in Bohai Rim during 2000—2008: An analysis based on satellite images [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(1): 183-191.
- [18] Ding Yumei, Wei Hao. Modeling the impact of land reclamation on storm surges in Bohai Sea, China [J]. Nat. Hazards, 2017, 85(1): 559-573.
- [19] 李博, 田闯, 史钧源. 环渤海地区海洋经济增长质量时空分异与类型划分[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2052-2061.
- [20] 刘宏娟, 郑丙辉, 胡远满, 等. 基于 TM 的渤海海岸带 1988—2000 年生态环境变化[J]. 生态学杂志, 2006, 25(7): 789-794.
- [21] 霍素霞, 陈生涛, 徐进勇, 等. 环渤海区域开发现状和历史评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
- [22] 穆雪男. 天津滨海新区围填海演进过程与岸线、湿地变化关系研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [23] 刘晓, 邢元军, 罗鹏. 基于时序 NDVI 数据的洞庭湖区湿地植被类型信息提取[J]. 林业资源管理, 2017(4): 103-108.
- [24] 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, 9(5): 589-595.
- [25] 吴文挺, 田波, 周云轩, 等. 中国海岸带围垦遥感分析[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5007-5016.
- [26] 刘思峰, 蔡华, 杨英杰, 等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 2041-2046.