

近四十年来冀津海岸带土地利用时空变化及驱动因素

程 林, 田海兰, 武爱彬, 刘西汉, 王艳霞

(河北省科学院 地理科学研究所, 河北省地理信息开发应用工程技术研究中心, 河北 石家庄 050011)

摘要: 冀津海岸带是国内港口和围填海工程集中分布区之一, 高强度开发活动对土地利用变化产生深远影响。本研究基于中科院土地利用遥感监测数据, 在原有分类系统基础上增加了养殖盐田用地、待利用地、滨海滩涂、浅海海域等 4 类利用类型, 分析了改革开放以来土地利用时空变化特征及其驱动因素。结果表明: (1) 近 40 a 内土地利用总体动态度可达 0.48%, 土地利用强度不断上升, 土地类型的主要转移方向为建设用地、养殖盐田用地及待利用地; (2) 土地利用变化的峰值时段为 2000—2010 年, 变化区域在空间上集中分布在距离海岸带 3~8 km 范围内, 即黄骅、滨海新区、曹妃甸围填海区域及乐亭沿海陆域。地理加权回归结果显示, 地形、中心城市、GDP、人口、港口等因素是对土地利用强度产生主要影响的因素, 且人口及港口建设的驱动效应有所增强。土地财政依赖、过度超前规划是待利用地激增的主要政策性驱动因素, 近 10 a 来的基本农田和滨海湿地保护政策降低了耕地和滩涂的缩减量。当前, 冀津沿海地区应进一步提高待利用地使用效率, 加强土地利用高强度变化区域的生态环境监测与修复。

关键词: 河北省; 天津市; 海岸带; 土地利用; 时空变化

中图分类号: P748 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)06-0135-12

DOI: 10.11759/hyxx20201010001

海岸带是复杂、动态的地球表层自然系统^[1], 同时也是人类经济社会活动密集分布区。相比于内陆地区, 海岸带地区的海洋性特征和高强度的人类活动使得土地资源的利用出现时空双维的高强度复杂变化, 海岸带地区城市空间不断扩张^[2-4]、围填海开发规模不断增大^[5]。而这种变化也必将反作用于人类经济社会活动和海岸带生态环境系统, 在促进沿海地区经济社会发展的同时, 也造成滨海湿地萎缩、海岸带环境质量降低^[6-8]和生态系统服务功能下降^[9-11]。因此, 开展海岸带土地利用变化研究对海岸带生态环境保护^[7, 12-13]、海岸带资源统筹规划与管理^[14-17]具有重要意义。

冀津海岸带地区位于渤海西岸, 是国内主要的平原型潮滩分布区^[18], 同时也是目前国内围填海连片开发地区、港口集中分布区及滨海盐场集中分布区。近 40 年来, 尤其是 2000 年以来, 冀津沿海地区经济社会取得显著发展, 土地资源及海洋资源开发强度不断提高, 土地利用特征也出现相应的变化。现有土地利用变化研究^[19-23]多基于中国科学院土地资源分类系统^[24], 以行政区为单元进行分析, 对于冀津沿海地区的特殊用地类型分析不足, 对于土地利用时空变化特征的刻画有待深入, 研究时间段相对

较短。为解决上述问题, 本文在现有土地资源分类系统的基础上, 参考相关文献研究及冀津地区土地资源利用现状特征, 对海岸带土地利用分类系统进行相应调整。在此基础上, 充分利用 GIS 工具, 对改革开放以来冀津地区海岸带土地利用时空变化及强度进行分析, 以期为冀津地区海岸带国土资源陆海统筹管理及生态环境保护提供数据支撑与决策参考。

1 研究区域

本文研究区域为河北省、天津市两地海岸带地区(图 1)。为综合考虑统计单元完整性和划分科学性, 陆域部分确定为冀津两地沿海县市区, 海域部分根据国际湿地公约^[25]延伸至水深 6 m 的区域, 总面积达 17 308.64 km², 共涉及 12 个县市区。研究区域 2018 年 GDP 总值达 11 156.52 亿元^[26-27], 人口共计 760.24 万人,

收稿日期: 2020-10-10; 修回日期: 2021-01-16

基金项目: 河北省科学院两院合作项目(201502)

[Foundation: Cooperation Foundation of Hebei Academy of Science and China Academy of Science, No.201502]

作者简介: 程林(1985—), 男, 河北定州人, 助理研究员, 硕士, 主要从事海岸带资源利用与环境效应研究, E-mail: chinachenglin@126.com.; 王艳霞(1978—), 通信作者, E-mail: chelsea_wang@126.com

分别占冀津两地总量的 24.33%、8.34%。研究区范围内主要入海水系为滦河和海河水系；气候为温带海洋性季风气候，多年平均降水量介于 500 mm~650 mm；陆地地貌以滨海平原为主，海拔多在 10 m 以下，仅在研究区域北侧有丘陵和山地分布；近海滩涂广布，曹妃甸及秦皇岛市区附近海域深水岸线资源优良。

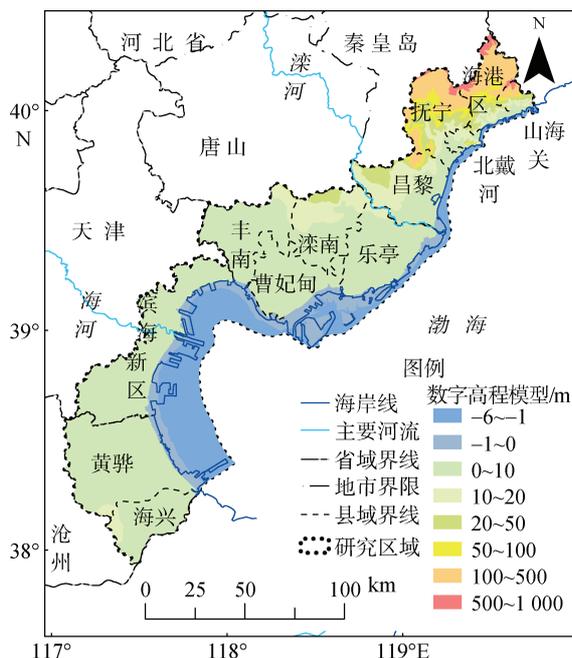


图 1 研究区域

Fig. 1 Location of the research area

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本文所使用的主要数据为中国科学院土地利用现状遥感监测数据库(www.resdc.cn)所提供的 1980 年、1990 年、2000 年、2010 年、2018 年共 5 期土地利用矢量数据。该数据通过人机交互式目视判读的方

式构建^[28]，土地利用分类系统为中国科学院土地资源分类系统^[24]，主要包含耕地、林地、草地、内陆水体、建设用地、未利用地等 6 类，该系统考虑了遥感解译特征及内陆地区普遍存在的用地类型。

为更好反映研究地区滩涂宽阔、围填海及城镇建设强度大的状况，本文在分类系统的基础上，参考 Feng 等^[29]、邸向红等^[30]的研究成果并考虑实际开发利用特征，引入养殖盐田用地、待利用地、滨海滩涂、浅海海域等 4 类。养殖与盐田用地主要指用于渔业养殖及制盐等沿海低强度涉水开发活动的用地类型，原多划分为内陆水体或建设用地，是研究区域浅海及水域重要的利用类型。待利用地是指处于由其他用地类型向建设用地的过渡阶段但尚闲置待建设的土地类型，原多划分为未利用地，对于识别土地开发效率和城镇扩张趋势有重要意义，因此本文将其单独识别并进行分析。滨海滩涂指理论最低潮面到海岸线之间的土地类型，原属于未利用地，是研究区域分布广阔的特色土地类型。浅海海域指理论最低潮面以下及水深 6 m 以上的海域。养殖与盐田用地、待利用地的解译标志见表 1。基于改进的土地利用分类体系，采用对研究时段 Landsat 影像的目视解译方法，对中国科学院土地利用现状遥感监测数据进行核实，划分出养殖与盐田用地及待利用地，并进一步补充滨海滩涂及浅海海域图斑，形成冀津海岸带地区土地利用数据(图 2)。结合 WorldView 等更高精度影像及野外经验判别，遥感核实结果符合土地利用实际开发状态。

2.2 土地利用变化及其驱动力分析方法

本文采用土地利用数量动态变化分析方法、土地利用强度分析及土地利用类型转换分析方法来反映改革开放以来冀津海岸带土地利用时空变化特征，并使用地理加权回归的方法对土地利用分布及其变化驱动因素进行分析。

表 1 养殖盐田用地及待利用地解译标志

Tab. 1 Interpretation index of the aquaculture land & salt pan and land to be used

用地类型	解译标志	土地类型特征
养殖与盐田用地		由形状规则的堤坝所围的水域，主要用于渔业养殖、晒盐及制盐，多由临海陆地的盐碱地或近海滩涂改造而来。
待利用地		土地平整，大多修建有形状规则的公路，多规划为建设用地，但解译时段土地上无植被且无开发利用痕迹，多由填海、拆迁或土地整理等方式改造而来。

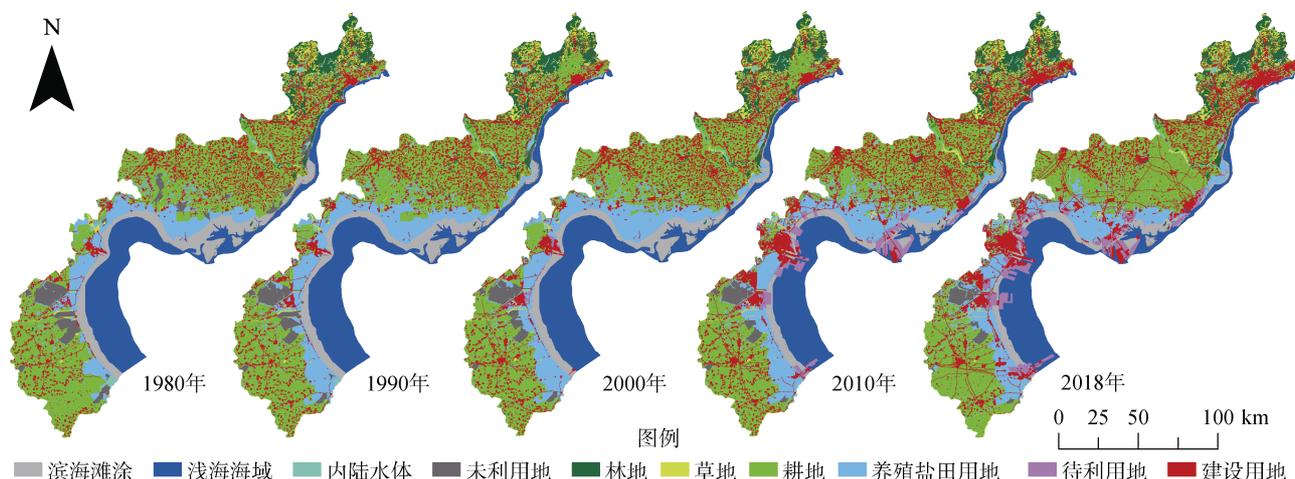


图2 冀津海岸带土地利用分布

Fig. 2 Land-use map of Hebei and Tianjin in coastal zones

土地利用数量动态变化分析方法：采用土地利用年变化率及土地利用动态指数。土地利用年变化率(K_i)^[31]反映了指定土地利用类型*i*的年变化速率，土地利用动态度 S ^[28, 32]可反映研究区域内土地利用动态变化的总体情况。土地利用变化的计算方法为：

$$K_i = \left(\sum_j^n \frac{\Delta S_{i,j}}{S_i} \right) \times \frac{1}{t_1 - t_0} \times 100\%, \quad (1)$$

$$S = \left(\frac{\sum_{ij} \Delta S_{i-j}}{S_a} \right) \times \frac{1}{t_1 - t_0} \times 100\%, \quad (2)$$

其中 S_i 是研究时段开始时间第 i 类土地利用类型总面积， $\Delta S_{i,j}$ 是研究时段内第 i 类土地利用类型与其他土地利用类型 j 相互转换后的净面积变化， $S_{i,j}$ 是研究时段内由 i 类型转变为其他土地类型的面积的总和， S_a 为研究区土地利用总面积， $t_1 - t_0$ 为研究时段时长。

表2 土地利用强度分级

Tab. 2 Classification values of land-use utilization

利用强度类型	难利用土地	低强度	中等强度	高强度
土地利用类型	滨海滩涂、浅海海域、内陆水体、未利用地	林地、草地	耕地、养殖与盐田用地	待利用地 建设用地
强度赋值	1	2	3	4 5

土地利用转移矩阵分析方法是常见的土地利用变化分析方法，最早可见于 Singh^[36]，转移矩阵分析可以直接反映出土地的来源与去向，全面显示区域土地利用的变化特征^[37]，计算方法见式(5)。

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

土地利用强度指数变化反映了土地由低级利用类型向高级利用类型的演变^[33]，具体计算方法可见式(3)。本文在此基础上，为反映土地利用强度时间变化特征，引入土地利用强度变化量，见式(4)。

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i, \quad (3)$$

$$L_s = L_{t_1} - L_{t_0}, \quad (4)$$

其中， L 是土地利用程度综合指数， A_i 是第 i 级的土地利用程度分级指数， C_i 是第 i 级的土地利用程度分级面积百分比。 L_s 是土地利用强度变化速率， L_{t_1} 和 L_{t_0} 分别是研究末期和初期的土地利用强度。对于土地利用分级指数，庄大方等^[34]基于土地利用极限给出了各土地利用类型的程度的分级指数，其后部分文献^[29, 35]均基于研究区特征对该指数有适当调整。本文基于 Feng 等^[29]调整结果和所划定的土地利用类型，对土地利用强度进行分级赋值，结果见表 2。

式中， P_{ij} 为状态转移矩阵，其中元素为不同土地利用类型转移的面积或比例。

地理加权回归分析方法(GWR)是由 Fotheringham^[38]等基于局部回归分析和变参数的设想提出的处理空间异质性的主要手段之一，计算方法见式(6)。

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon, \quad (6)$$

其中, y_i 是第 i 点的预测值, (u_i, v_i) 是第 i 点的位置, $\beta_0(u_i, v_i)$ 是第 i 点的回归常数, $\beta_k(u_i, v_i)$ 是第 k 个变量在第 i 点的回归参数, x_{ik} 是第 i 点第 k 个变量的值, p 是变量总数, ε 是不确定性误差。 $\beta_k(u_i, v_i)$ 由周围一定样本数量根据权重核函数确定。本文选择应用二次核函数(W_{ij})确定每一个样本点的回归参数, 见式(7)。

$$W_{ij} = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{b} \right)^2 \right]^2 & (d_{ij} < b) \\ 0 & (d_{ij} > b) \end{cases}, \quad (7)$$

其中, d_{ij} 是参与局部回归的样本点与该点的距离。 b 为参与局部回归的样本点的最远距离, 又称为带宽, 可人为设定, 也可选择自适应带宽并由模型迭代计算确定。本文选择自适应带宽, 并以 AIC_c 准则作为模型计算带宽确定方法, 具体及可见文献[39]。

3 研究结果

3.1 土地利用空间分布及动态变化

改革开放初期, 土地面积较大且分布广泛的类型为耕地、浅海海域、养殖盐田用地、滩涂、建设用地, 其初始占比分别达 46.76%、15.56%、8.76%、8.71%、7.59%; 未利用地集中分布在北大港、南大港及曹妃甸湿地等地区, 林地及草地主要分布在北部燕山山地, 内陆水体主要沿河流分布, 待利用地占比极小且仅分布在天津港附近。1980 年以来, 耕地、海域、滩涂、未利用地一直处于减少趋势, 其中未利用地和滩涂降幅最大, 年变化率达-1.60%及-1.29%, 耕地面积缩减

量最大, 达 1 056.56 km²。养殖盐田用地面积在研究初期出现快速增加, 2000 年之后开始不断减少, 累计变化率达 1.07%。建设用地面积年变化率达 2.46%, 且累计增量为各类型中最高, 达 1 227.15 km²。待利用地 2000 年以来增幅明显, 新增区域集中分布于黄骅、滨海新区及曹妃甸; 研究期内年变化率最高, 达 409.16%, 且其累计增量仅次于建设用地。其他利用类型中, 内陆水体处于持续减少状态, 林地及草地近年来由减少转为增加, 年变化率相对较低。

土地利用动态度分析显示, 近 40 a 以来冀津海岸带地区总动态度为 0.48%。不同时段动态度差异显著, 2000—2010 年达 0.83%, 为各时段最高; 1990—2000 年最低, 为 0.33%; 其他年份介于 0.5%~0.6%。

为进一步了解土地利用动态度变化的空间差异, 分析研究区域 1 km × 1 km 格网内土地利用动态度, 并依据其动态度值域范围及自然断裂法, 将各时段动态度结果分为无变化(0%)、极慢(1%~3%)、慢速(3%~6%)、快速(6%~8%)、极快(8%~10%)5 个级别。结果见图 3。极快变化区集中分布在距离海岸带 3~8 km 范围内。其中 1980—1990 年极快变化区占 2.90%, 主要分布在沧州沿海、滦河口沿海地区。1990—2000 年极快变化区面积仅占 1.28%, 零星分布于海河河口、南大港湿地及曹妃甸沿海。2000—2010 年研究区域极快变化区面积高达 4.18%, 广泛分布于滨海新区、曹妃甸等地区及乐亭、黄骅、秦皇岛市区沿海。2010 年以来, 研究区域极快变化区下降至 1.99%, 零星分布在海海地区及滨海新区、曹妃甸区、丰南区等地区。

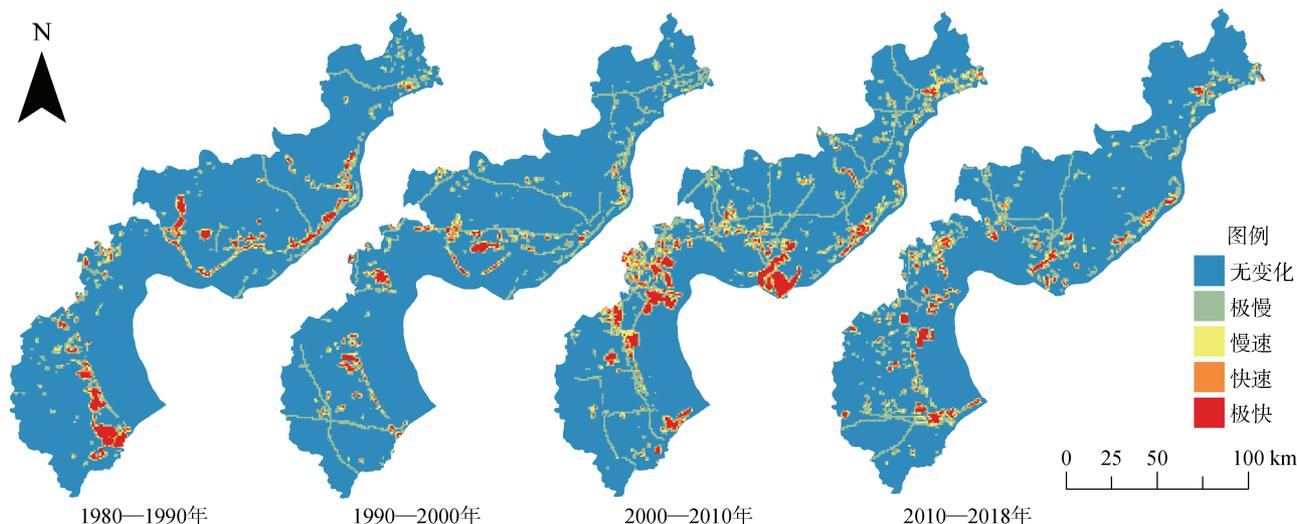


图 3 土地利用动态度分布特征

Fig. 3 Spatial and temporal variations in the dynamic index of land-use

3.2 土地利用类型转移

近 40 a 来, 冀津海岸带地区累计发生利用方式转移的面积占研究区域的 18.22%, 各土地类型之间的转换情况见表 3。主要的土地利用主要转移特征可汇总为 3 大类: 耕地、养殖盐田用地、滩涂转为建设用地(6.20%), 主要位于滨海新区、曹妃甸、乐亭、秦皇岛市区及黄骅; 耕地、未利用地、滩涂转为养殖盐田用地(5.61%), 主要位于黄骅、海兴、曹妃甸; 滩涂、海域、养殖盐田用地转为待利用地(3.80%), 主要位于滨海新区、曹妃甸、黄骅。

土地利用类型转移特征具有时段差异性(图 4)。2000—2010 年土地利用类型发生转移的面积最大, 达 8.22%, 主要为耕地、养殖盐田转建设用地及滩涂、海域转待利用地。1980—1990 年土地利用类型发生转移的面积占比达 5.25%, 主要为耕地、滩涂及未利用地转为养殖盐田用地。其他时间段土地利用类型发生转移的面积均低于 5%, 其中 1990—2000 年主要的转移类型为耕地转为养殖盐田用地, 2010—2018 年主要的转移类型包括耕地、养殖盐田用地、待利用地转为建设用地及养殖盐田用地、海域转为待利用地。

临近海岸线的部分区域发生过两次或以上的土地利用类型转换(图 4)。其中发生过两次土地利用转换的区域总面积达 453.11 km², 占比达 2.63%, 主要转换类型包括耕地→养殖盐田用地→建设用地、未利用地→养殖盐田用地→建设用地、未利用地→耕地→养殖盐田用地、滩涂→养殖盐田用地→待利用地、未利用地→养殖盐田用地→待利用地。发生过

3 次土地利用转换的区域主要位于曹妃甸和乐亭, 总面积达 32.23 km², 转换类型为滩涂、未利用地、耕地→养殖与盐田用地→待利用地→建设用地。

3.3 土地利用强度及其变化

通过土地利用强度指数及其变化分析方法, 分别分析了研究区域各时期总体及分格网的土地利用强度及其变化, 结果见图 5。就全部研究区域而言, 各时期土地利用强度分别为 247.67、253.88、258.21、274.86、283.27, 总体呈现出持续上升的趋势, 其中 2000 年后利用强度出现显著增加。

借助 3.2 节生成的空间格网, 进一步分析了研究区域土地利用强度变化时空差异及变化特征(图 5)。结果显示, 研究区域土地利用强度变化显著的区域在陆域集中于滨海新区、秦皇岛市区, 在海域范围内集中于滨海新区、曹妃甸、乐亭、黄骅等地区, 其中土地利用强度出现 3 个层级及以上的变化区域占研究区域的 3.93%, 主要位于黄骅、滨海新区、曹妃甸围填海区域及乐亭沿海陆域, 港口或临海工业区的建设使这些区域出现从难利用土地向最高强度的建设用地变化。

时间变化上, 1980—2000 年, 土地利用强度变化高值区面积仅占 0.01%, 且多属于零星分布, 主要的强度变化表现为从难利用土地向中等利用强度变化。2000 年以来, 土地利用强度变化高值区明显增加, 强度变化级别上表现为从难利用、中等强度向高强度变化; 其中 2000—2010 年土地利用强度显著变化区集中于曹妃甸、滨海新区及黄骅港围填海区域, 2010 年以来集中分布于滨海新区。

表 3 1980—2018 年冀津海岸带地区土地利用转换情况(km²)

Tab. 3 Conversion matrix of land-use types during 1980–2018 (km²)

1980—2018 年	滨海 滩涂	浅海 海域	内陆 水体	未利 用地	林地	草地	耕地	养殖盐 田用地	待利 用地	建设 用地	总计
滨海滩涂	763.26	4.34	0.15	4.00	0.00	0.00	0.00	251.82	327.37	155.84	1 506.77
浅海海域	0.69	2 422.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	212.43	57.96	2 693.56
内陆水体	0.00	0.00	299.04	0.30	5.44	21.94	8.09	38.50	0.45	13.92	387.68
未利用地	3.95	1.36	0.41	279.54	18.47	1.53	59.91	284.39	16.58	57.61	723.76
林地	0.00	0.00	0.00	0.32	760.23	1.29	0.10	1.14	0.38	15.27	778.72
草地	0.00	0.00	0.79	0.00	0.06	256.49	0.70	19.02	3.63	7.73	288.42
耕地	0.00	0.00	3.43	0.34	5.15	19.28	6 959.16	435.32	21.48	649.99	8 094.17
养殖盐田用地	0.00	0.00	1.06	0.26	2.62	15.28	9.44	1 103.69	117.41	266.90	1 516.66
待利用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.48	4.48
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.41	0.20	0.16	1.77	1 311.86	1 314.42
总计	767.90	2 428.19	304.88	284.76	791.98	316.23	7 037.61	2 134.04	701.50	2 541.56	17 308.64

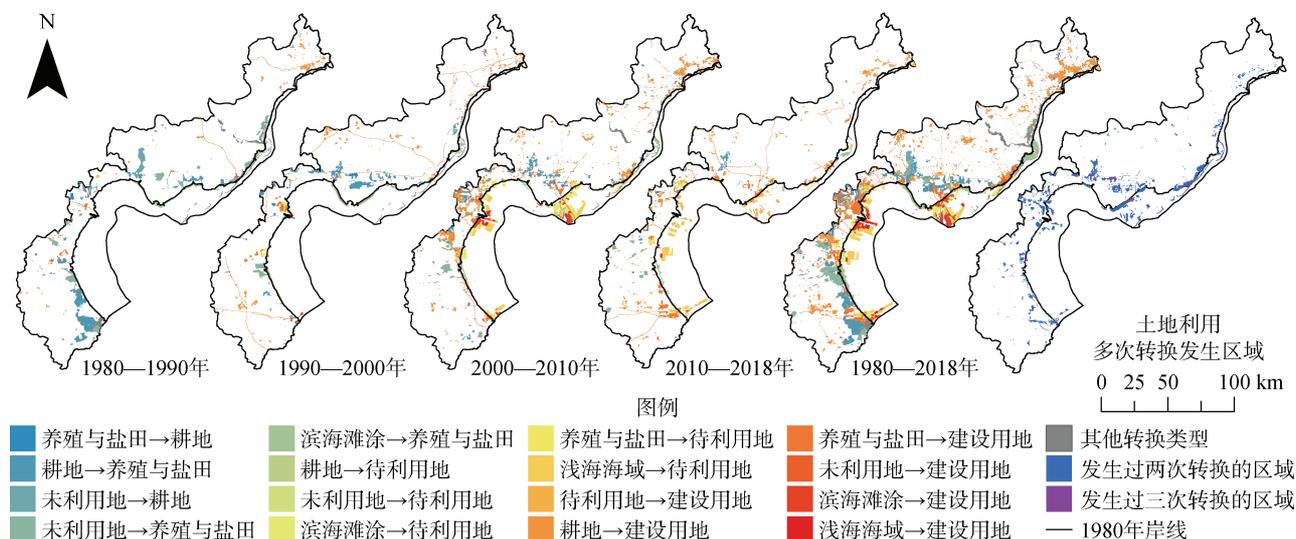


图 4 土地利用转换及空间分布

Fig. 4 Land-use conversion types and its spatial distributions

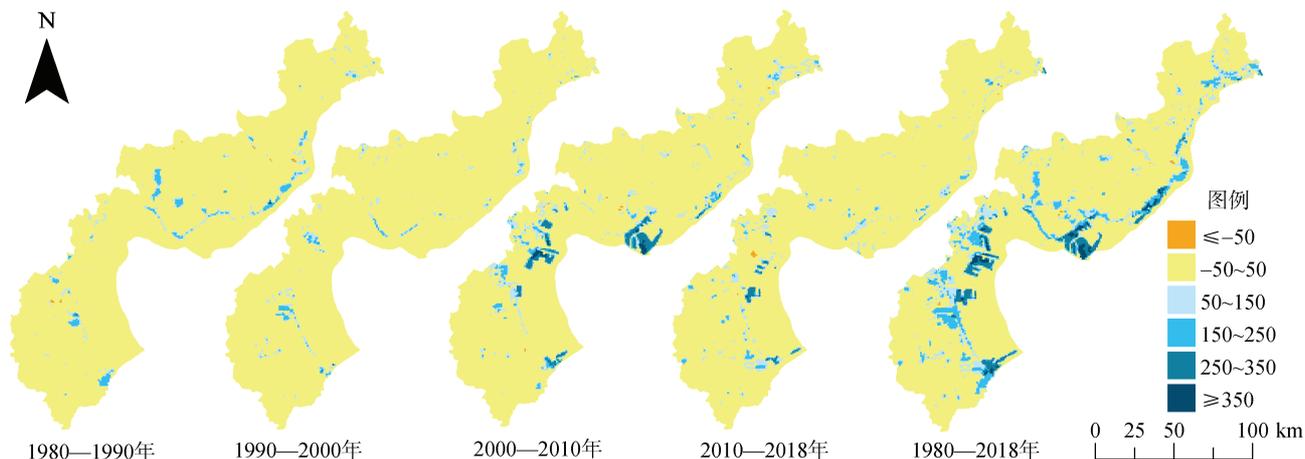


图 5 土地利用强度变化

Fig. 5 Spatial and temporal variations in the intensity of land use utilization

3.4 主要土地利用类型二级分类变化

建设用地、待利用地、养殖及盐田用地是最主要的土地利用转移目标。在中科院土地利用分类系统的基础上，结合土地利用实际特征，对主要土地利用类型进行二级分类调整及分析。将建设用地划分为城镇用地、农村居民点用地、工矿用地、陆域交通用地、港口堆场用地，将养殖与盐田用地划分为养殖用地、盐田用地，将待利用地划分为待利用土地和待利用围海。各二级分类累计增幅、年变化率及时空变化情况见表 4 及图 6。

结果显示，待利用土地、工矿用地、养殖用地及城镇用地在研究期内显著增长，增量均在 300 km² 以上；待利用地、港口堆场用地、工矿用地增长较快，

年变化率均在 10% 以上，其中待利用地甚至接近 400%。时间变化上，近年来养殖用地及盐田用地面积近年来都出现下降，农村居民点用地相对平稳，面积增长有限；城镇用地 2000—2010 年出现显著增加，2010 年以来增量出现回落。工矿用地、待利用土地 2000 年以来仍处于持续增长之中。

空间变化上，沧州市城镇用地、农村居民点用地、交通用地、及盐田用地年变化率居首位，其中盐田用地净增量为各地市最高。秦皇岛市城镇用地、养殖用地年变化率居首位，其中城镇用地净增量为各地市最高。唐山市工矿用地、交通用地年变化率居研究区域首位，港口用地、陆域交通用地、养殖用地增量为各地市最高。天津市工矿用地、待利用土地增量为各地市最高。

表 4 土地利用转移主要目的类型二级分类空间变化特征

Tab. 4 Spatial variation in the secondary classification of the main aim land-use conversion types

研究范围		城镇用地	农村居民点用地	工矿用地	陆域交通用地	港口用地	养殖用地	盐田用地	待利用土地	待利用围海
沧州	累计增量/km ²	27.92	28.91	108.10	10.13	12.55	119.87	205.59	77.92	12.22
	年变化率/%	9.64	0.42	15.87	4.20	—	6.44	3.72	—	—
秦皇岛	累计增量/km ²	104.26	22.53	108.84	13.60	4.97	41.58	0.00	14.25	0.00
	年变化率/%	3.12	0.22	12.94	3.17	9.28	23.94	—	—	—
唐山	累计增量/km ²	82.59	19.32	208.26	21.91	47.62	343.20	-23.09	268.48	0.00
	年变化率/%	6.83	0.11	30.60	15.57	—	5.03	-0.14	—	—
天津	累计增量/km ²	102.91	21.68	230.54	7.62	41.74	28.55	-97.03	300.91	23.10
	年变化率/%	3.53	1.15	12.06	2.74	8.46	0.33	-0.53	176.64	—
全区域	累计增量/km ²	317.68	92.43	655.74	53.26	106.87	533.21	85.46	661.56	35.32
	年变化率/%	4.10	0.25	15.94	4.89	19.55	3.04	0.21	388.34	—

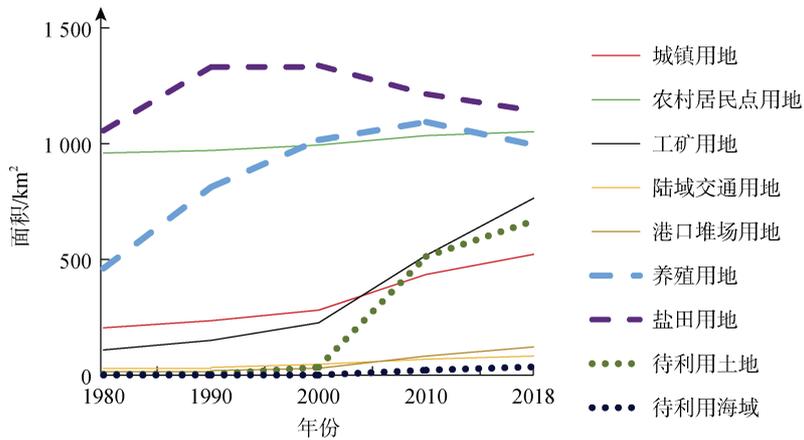


图 6 土地利用转移主要目的类型二级分类时间变化特征

Fig. 6 Temporal variation in the secondary classification of the main aim land-use conversion types

4 讨论

4.1 海岸带土地利用变化驱动因素定量分析

前述研究显示, 研究区域各类型土地显著变化时段为 2000—2010 年。受篇幅及自变量数据所限, 本文仅讨论 2000—2010 年陆域部分土地利用变化驱动因素。以数值连续且有意义的土地利用强度为因变量, 选择可以量化且弱共线性的参数为自变量, 使用地理加权回归模型(GWR)对驱动因素进行量化分析。自变量包括地形, 与河流、城市中心、县城中心、海岸线、港口、工业区、开放型交通线(国道与省道)、封闭型交通线(铁路与高速公路)的距离, 人口^[40], GDP^[41], 共计 12 个自变量。受人口、GDP 等自变量数据格式所限, 本文将研究区域划分为 1'为单位的网

格, 计算各网格的因变量及自变量值并输入模型。结果显示, 2000 年及 2010 年模拟结果的最优带宽均为 72(即使用 72 个周围样本点参与局部回归), 调整后 R² 分别达 0.837 及 0.836, 显示模型拟合效果较好, 各影响因素均值及中值见表 5。

表 5 显示, 除回归常数之外, 回归系数绝对值较高的影响因子包括地形、与城市中心距离、GDP、人口及与港口距离, 回归系数绝对值的中值均在 0.5 以上, 显示了中心城市、社会经济、人口分布、港口建设对土地利用强度的强大作用力以及自然条件对于开发利用活动的限制。地形、回归常数、与城市中心距离、与工业区距离、与开放型及封闭性交通线距离、与港口距离以负相关为主, 与河流距离、人口、GDP 以正相关为主。

表 5 GWR 模型计算结果统计表

Tab. 5 Regression Coefficient of Geographically Weighted Regression (GWR) model

影响因子	2000 年		2010 年	
	均值	中值	均值	中值
地形	-3.538	-1.171	-2.551	-1.111
回归常数	-3.315	-1.775	-2.051	-0.551
与城市中心距离	-2.956	-0.617	-3.228	-0.697
与海岸线距离	-0.584	-0.54	0.636	0.015
与工业区距离	-0.385	-0.228	-0.395	-0.274
与封闭性交通线距离	-0.101	-0.102	-0.095	-0.02
与开放性交通线距离	-0.033	-0.054	-0.061	-0.051
与河流距离	0.081	0.066	0.114	0.097
与县城中心距离	0.2	0.019	-0.161	-0.028
与港口距离	0.22	-0.224	-0.798	-0.769
人口	0.962	0.227	1.755	1.046
GDP	1.136	0.937	0.994	0.7

2000 年及 2010 年, 各驱动因素的回归系数出现了一定变化。地形、GDP、回归常数等因素的驱动效应相对减弱, 一方面显示了技术进步逐渐克服地形的限制, 另一方面也显示了 2000 年以来新城区规划、建设与经济发展水平之间不匹配性区域增多。人口、与港口距离等因子的驱动效应显著增强, 显示了人口聚集、港口建设是影响土地利用变化的刚性因素。

对于驱动效应显著增强的驱动因子, 将 $P \leq 0.05$ 的网格区落于图内(图 7)。结果显示, 相比于 2000 年, 2010 年人口、与港口距离、与城市中心距离、与工业区距离等因子所能解释的区域有所增多: 主城区以外地区的人口数量对制约土地利用强度的正相关效应增强, 天津港、京唐港和黄骅港对土地利用强度的驱动效应及影响面积不断扩大。

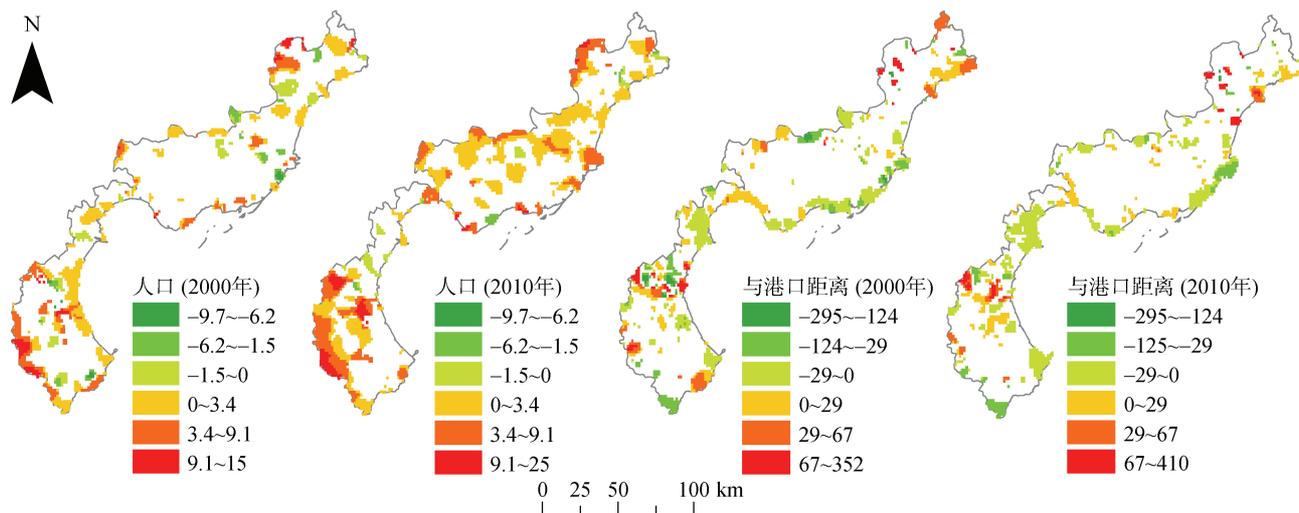


图 7 驱动效应增强的回归系数的时空差异

Fig. 7 Spatiotemporal differences in regression coefficients with the enhanced driving effect

4.2 海岸带土地利用变化政策性驱动因素

自然资源管理及生态环境保护政策的实施是近年来土地利用变化的重要影响因素。农耕地保护方面, 2009 年国家开始实施永久基本农田保护制度^[42],

有效保护了基本农田, 降低了耕地的年动态变化幅度。滨海滩涂保护方面, 2011 年国家发改委及国家海洋局出台了围填海计划管理办法^[43], 对各沿海省份每年的新增围填海面积进行指标限定, 2017 年国家

海洋局出台《关于进一步加强渤海生态环境保护工作的意见》^[44]，暂停渤海海域围填海；2018年初国务院文件《关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》^[45]进一步作出在全国范围内严禁新增围填海的决定，这些决定和政策使得2010年以来冀津沿海地区滩涂转换为其他用地类型的面积显著减少。

土地财政依赖性强、土地开发后继乏力是2000年来待利用地激增的主要原因。土地出让是政府部门的重要财政收入来源。近年来，地方政府为增加财政收入，往往编制不符合当地发展条件和规律的城镇规划，并借此多征地、多占地，将大量土地提前纳入储备计划^[46]，或在沿海地区超前推动大规模填海造陆。而由于部分地区产业发展、城市发展及人口增长并没有随时间变化出现城镇规划所设计的成长情景，如曹妃甸围填海区、黄骅围填海区、滨海新区的汉沽及大港等地，导致城市土地开发后继乏力，储备土地及填海土地大量闲置。

5 结论

改革开放以来，冀津海岸带地区土地利用动态度达0.48%，土地利用强度也由247.67上升至283.27，土地利用逐渐向养殖盐田用地、待利用地及建设用地转换。土地利用空间变化主要出现在滨海新区、曹妃甸等地区及乐亭、黄骅、秦皇岛市区沿海，且集中在距离海岸带3 km~8 km范围内。时间变化方面土地利用动态度峰值、强度增长峰值区出现在2000—2010年。海岸带土地利用变化主要受到地形、中心城市、GDP、人口、港口、政策等因素影响，其中人口与GDP为强正相关因子，地形、与中心城市距离、与港口距离为强负相关因子。相比于2010年，地形、GDP、回归常数等因素的驱动效应相对减弱，而人口、与港口距离等因子的驱动效应显著增强。政策性因素方面，土地财政依赖性强、过于超前的规划及后续开发乏力导致待利用地迅速增长，而2010年以来基本农田保护制度、滨海湿地保护及严禁围填海的政策的实施有效减弱了耕地及滩涂面积的下降趋势。

为推动冀津海岸带地区土地资源高效及可持续利用，保护沿海地区海洋生态环境，当前应当进一步提高待利用地使用效率，进一步加强耕地及滨海滩涂资源保护，加强土地利用高强度变化区域的生态环境监测与修复。加强对囤积土地等行为的打击力度，加强待利用地的政府收储管理，鼓励新增建

设项目优先布局在待利用土地，对长期闲置的待利用土地试行梯级开发或就地建设为临时绿地。严格执行耕地及滨海湿地保护政策，控制永久基本农田、生态红线区及自然保护区附近的土地利用变化率及强度增加趋势，在重要河口、重要湿地分布区推行退养还海还滩政策。对于由难利用地或低强度利用土地直接转变为建设用地的区域，如曹妃甸、滨海新区、黄骅及乐亭沿海地区，应当加强陆域和海域生态环境的调查监测，识别富营养化、重金属污染、湿地退化等问题，及早对破损的生态系统和受污染的环境进行修复。

参考文献:

- [1] 陈阳, 岳文泽, 马仁锋. 中国海岸带土地研究回顾与展望[J]. 浙江大学学报(理学版), 2017, 44(4): 385-396, 428.
CHEN Yang, YUE Wenzhe, MA Renfeng. Review and prospect of research on coastal land in China[J]. Journal of Zhejiang University(Science Edition), 2017, 44(4): 385-396, 428.
- [2] YIN J, YIN Z, ZHONG H, et al. Monitoring urban expansion and land use/land cover changes of Shanghai metropolitan area during the transitional economy (1979–2009) in China[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 177(1-4): 609-621.
- [3] HASSAN M M, NAZEM M N I. Examination of land use/land cover changes, urban growth dynamics, and environmental sustainability in Chittagong city, Bangladesh[J]. Environment, Development and Sustainability, 2016, 18(3): 697-716.
- [4] 张诗晓, 张浚茂, 张文康, 等. 泛珠江流域土地利用时空变化特征及驱动因子[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 573-580.
ZHANG Shixiao, ZHANG Junmao, ZHANG Wenkang, et al. Spatiotemporal variability characteristics and driving forces of land use in the Pan-Pearl River Basin, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(2): 573-580.
- [5] 刘彦随, 李进涛. 近30年中国沿海围垦土地利用格局及其驱动机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2020, 50(6): 761-774.
LIU Yansui, LI Jintao. Land use pattern and driving mechanism of coastal reclamation in China in the past 30 years[J]. Scientia Sinica Terrae, 2020, 50(6): 761-774.
- [6] 杨婧, 吴晓青, 马金卫, 等. 基于土地利用变化的烟台市非点源污染差异性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(2): 54-58.
YANG Jing, WU Xiaqing, MA Jinwei, et al. Analysis of deviation feature of non-point source pollution in

- Yantai City based on the land use change[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2012, 23(2): 54-58.
- [7] ZHENG R, ZHAO J, ZHOU X, et al. Land use effects on the distribution and speciation of heavy metals and arsenic in coastal soils on Chongming Island in the Yangtze River Estuary, China[J]. *Pedosphere*, 2016, 26(1): 74-84.
- [8] ROJAS C, MUNIZAGA J, ROJAS O, et al. Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning[J]. *Land Use Policy*, 2019, 80: 47-56.
- [9] MENDOZA-GONZÁLEZ G, MARTÍNEZ M L, LITHGOW D, et al. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico[J]. *Ecological Economics*, 2012, 82: 23-32.
- [10] CHUAI X, HUANG X, WU C, et al. Land use and ecosystems services value changes and ecological land management in coastal Jiangsu, China[J]. *Habitat International*, 2016, 57: 164-174.
- [11] 吴攀, 杨木壮, 刘伟聪. 2007-2015 年东莞市土地利用及其生态系统服务价值的时空演变[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(1): 250-255.
- WU Pan, YANG Muzhuang, LIU Weicong. Spatial-temporal changes in ecosystem service values based on land use changes in Dongguan city during 2007-2015[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation* 2020, 40(1): 250-255.
- [12] LIN B, CHEN X, YAO H, et al. Analyses of land-use change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 58: 55-63.
- [13] 周汝佳, 张永战, 何华春. 基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J]. *地理研究*, 2016, 35(6): 1017-1028.
- ZHOU Rujia, ZHANG Yongzhan, HE Huachun. Ecological risk assessment based on land use changes in the coastal area in Yancheng city[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1017-1029.
- [14] 李伟芳, 陈阳, 马仁锋, 等. 发展潜力视角的海岸带土地利用模式——以杭州湾南岸为例[J]. *地理研究*, 2016, 35(6): 1061-1073.
- LI Weifang, CHEN Yang, MA Renfeng, et al. Land-use pattern in coastal zone from the perspective of development potentiality: A case study of the southern bank of Hangzhou Bay[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1061-1073.
- [15] 廖英伶. 基于 MAS 模型的海岸带农户土地利用生计策略模拟及政策调控研究[D]. 南宁: 广西大学, 2019.
- LIAO Yingling. Study on land use livelihood strategy simulation and policy regulation of coastal farmers based on mas model[D]. Nanning: Guangxi University, 2019.
- [16] 何韵. 环珠江口海岸带国土空间发展潜力与开发利用适宜性评价[D]. 广州: 广州大学, 2019.
- HE Yun. Evaluation on the development potential and suitability of land use in the coastal zone of the Pearl River Estuary[D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2019.
- [17] 李杨帆, 向枝远, 李艺. 海岸带韧性: 陆海统筹生态管理的核心机制[J]. *海洋开发与管理*, 2019, 36(10): 3-7.
- LI Yangfan, XIANG Zhiyuan, LI Yi. Coastal resilience: core mechanism of integrated land -sea eco-management[J]. *Ocean Development And Management*, 2019, 36(10): 3-7.
- [18] 王颖, 朱大奎. 海岸地貌学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
- WANG Ying, ZHU Dakui. Coastal geomorphology[M]. Beijing, Higher Education Press, 1994.
- [19] 武桂贞. 河北省海岸带土地利用变化驱动力的定量研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2008.
- WU Guizhen. The Study of the driving forces to land-use change in the coastal zone of Hebei Province[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2008.
- [20] 钱金平, 贾俊艳, 何萍, 等. 河北省海岸带土地利用空间格局[J]. *水土保持研究*, 2013, 20(5): 261-265.
- QIAN Jinping, JIA Junyan, HE Ping, et al. Spatial patterns of land use in coastal zones of Hebei Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(5): 261-265.
- [21] 秦文翠, 罗维, 刘运明. 天津滨海新区海岸带土地利用时空格局变化[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 40(5): 135-141.
- QIN Wencui, LUO Wei, LIU Yunming. On spatio-temporal changes of land use in a coastal zone, China: A case study in Tianjin Binhai new area[J]. *Journal of Southwest China Normal University*, 2015, 40(5): 135-141.
- [22] 吴莉, 侯西勇. 2000—2010 年环渤海省市海岸带土地利用变化分析[J]. *海洋科学*, 2015, 39(9): 101-110.
- WU Li, HOU Xiyong. Analysis of land use change in the coastal zone of Circum the Bohai Sea Region during 2000 to 2010[J]. *Marine Science*, 2015, 39(9): 101-110.
- [23] 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, 36(1): 38-43.
- MA Zhengang, LI Lili, XU Xuegong. The change pattern of land use in the coastal zone of Bohai Ring[J]. *Ocean Development And Management*, 2019, 36(1): 38-43.
- [24] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- LIU Jiyuan. Remote sensing macroscopic investigation and dynamic research on China's resources and envi-

- ronment[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1996.
- [25] HAWKINS C F, SMITH O E. The convention on wetlands of international importance especially as waterfowl habitat[J]. *Environmental Policy & Law*, 1983, 10(2): 70-71.
- [26] 河北省统计局. 河北统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
Statistics Bureau of Hebei. Statistical yearbook of Hebei (2019)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [27] 天津市统计局. 天津统计年鉴 2019[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
Statistics Bureau of Tianjin. Statistical yearbook of Tianjin (2019)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019.
- [28] 徐新良, 庞治国, 于信芳. 土地利用/覆被变化时空信息分析方法及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2014.
XU Xinliang, PANG Zhiguo, YU Xinfang. Spatial-temporal pattern analysis of land use/cover change: methods & applications[M]. Beijing: Science and Technology Literature Press, 2014.
- [29] FENG B X, LI J L, HE G L, et al. Research on changes of coastal land use intensity in bay area during past 30 years—A case study of Xiangshan Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2018, 20(2): 28-43.
- [30] 邸向红, 侯婉, 侯西勇. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究[J]. *资源科学*, 2018, 38(6): 866-873.
DI Xianghong, HOU Wan, HOU Xiyong. Land use classification system for China's coastal zone based on remote sensing[J]. *Resources Science*, 2018, 38(6): 866-873.
- [31] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010-2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.
LIU Jiyuan, NING Jia, KUANG Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802.
- [32] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 643-650.
ZHU Huiyi, LI Xiubin. Discussion on the index method of regional land use change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 643-650.
- [33] 刘纪远, 布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据[J]. *第四纪研究*, 2000, 20(3): 229-239.
LIU Jiyuan, BUHE Aosier. Study on spatial-temporal feature of modern land-use change in China: Using remote sensing techniques[J]. *Quaternary Science*, 2000, 20(3): 229-239.
- [34] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 10-16.
ZHUANG Dafang, LIU Jiyuan. Study on the model of regional differentiation of land use degree in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 1997, 12(2): 10-16.
- [35] 何改丽, 李加林, 刘永超, 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.
HE Gaili, LI Jialin, LIU Yongchao, et al. Spatio-temporal analysis of land development and utilization intensity in Tampa Bay watershed from 1985 to 2015[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 66-79.
- [36] SINGH A. Digital change detection techniques using remote-sensed data.INT.J[J]. *Remote Sensing*, 1989, 10(6): 1310-1317.
- [37] 宋百媛, 侯西勇, 刘玉斌. 黄河三角洲——莱州湾海岸带土地利用变化特征及多情景分析[J]. *海洋科学*, 2019, 43(10): 24-34.
SONG Baiyuan, HOU Xiyong, LIU Yubin. Land-use change characteristics and scenario analysis in the Yellow River Delta and Laizhou Bay coastal zone[J]. *Marine Science*, 2019, 43(10): 24-34.
- [38] FOTHERINGHAM A S. Trends in quantitative methods I: stressing the local[J]. *Progress in Human Geography*, 1997, 21(1): 88-96.
- [39] 沈体雁, 于瀚辰. 空间计量经济学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2019.
SHEN Tiyan, YU Hanchen. *Special econometrics*[M]. Beijing: Peking University Press, 2019.
- [40] School of Geography and Environmental Science, University of Southampton. World POP [DB/OL]. www.worldpop.org, 2020.2020-09-30.
- [41] KUMMU M, TAKA M, Guillaume J H A. Gridded global datasets for gross domestic product and human development index over 1990–2015[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 180004.
- [42] 国土资源部, 农业部. 关于划定基本农田实行永久保护的通知[Z]. 北京: 国土资源部, 农业部, 2009.
Ministry of Land and Resources, Ministry of Agriculture. Notice on the delimitation and permanent protection of basic farmland[Z]. Beijing: Ministry of Land and Resources, Ministry of Agriculture, 2009.
- [43] 国家发展和改革委员会, 国家海洋局. 围填海计划管理办法[Z]. 北京: 国家发展和改革委员会, 国家海洋局 2011.
National Development and Reform Commission, State Oceanic Administration. Measures for the management of the implementation of quota restrictions on newly added reclamation[Z]. Beijing: National Development and Reform Commission, State Oceanic Administration, 2011.
- [44] 国家海洋局. 关于进一步加强渤海生态环境保护工作的意见[Z]. 北京: 国家海洋局, 2017.
State Oceanic Administration. Decision on further strengthening of Bohai Sea ecological environment protection

- work[Z]. Beijing: State Oceanic Administration, 2017.
- [45] 国务院. 关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知[Z]. 北京: 国务院, 2018.
- State Council. Notice on strengthening the protection of coastal wetlands and implementing strict control on reclamation[Z]. Beijing: State Council, 2018.
- [46] 龙开胜, 秦洁, 陈利根. 开发区闲置土地成因及其治理

- 理路径-以北方 A 市高新技术产业开发区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 126-131.
- LONG Kaisheng, QIN Jie, CHEN Ligen. Causes and governance solutions of idle land in development zone: A case of new & high-tech industry development zone of city “A” in North China[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(1): 126-131.

Spatiotemporal changes and the drivers of coastal land use in Hebei and Tianjin in recent 40 years

CHENG Lin, TIAN Hai-lan, WU Ai-bin, LIU Xi-han, WANG Yan-xia

(Institute of Geographic Science, Hebei Academy of Science, Hebei Engineering Research Center for Geographic Information Application, Shijiazhuang 050011, China)

Received: Oct. 10, 2020

Key words: Hebei; Tianjin; coastal area; land-use; spatiotemporal changes

Abstract: The coastal zones of Hebei and Tianjin, China, have a concentration of ports and reclamation projects, and these high-intensity development activities have a profound impact on their land-use patterns. In this study, based on the land-use remote-sensing data and classification system by the Chinese Academy of Sciences, we investigated land-use changes and their drivers since 1978. On the basis of the aforementioned classification system, four new land-use types were added: tidal flats, shallow seas, aquaculture land, and salt pan. The results show the following. (1) In the past 40 years in this area, land-use patterns have undergone significant spatiotemporal change and increased continuous utilization, with a total dynamic extent reaching 0.48%. (2) The peak period of land-use change occurred in the 2000–2010 period. Areas of high-intensity change are mainly concentrated 3–8 km from the coastal zone, especially in Huanghua, Binhai New District, Caofeidian, and Laoting. Based on the results of geographical weighted regression analysis, the geomorphology, urban area, GDP, population, and port were identified as the main drivers of the variation in land use utilization, with the driving effect of the latter two having increased in 2010. Reliance on land revenue and over-planning were identified as the main policy drivers for the surge in the “land to be used” category. Thanks to corresponding protection policies, the reduction of cultivated land and coastal wetlands was effectively curbed. Currently, to optimize the land-use model, a number of measures should be taken. The utilization efficiency of the land to be used must be improved, and the ecological and environmental monitoring and restoration of areas that have or are undergoing high-intensity changes in land use must be strengthened.

(本文编辑: 谭雪静)