

doi: 10. 6046/zrzyyg. 2022066

引用格式: 史姝姝, 窦银银, 陈永强, 等. 中国海岸带区域城市扩展遥感监测与内部地表覆盖时空分异特征分析[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(4): 76–86. (Shi S S, Dou Y Y, Chen Y Q, et al. Remote sensing monitoring based analysis of the spatio-temporal changing characteristics of regional urban expansion and urban land cover in China's coastal zones[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(4): 76–86.)

中国海岸带区域城市扩展遥感监测与内部地表覆盖时空分异特征分析

史姝姝^{1,2}, 窦银银³, 陈永强¹, 匡文慧³

(1. 中国科学院空天信息创新研究院航天微波遥感系统部, 北京 100089; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101)

摘要: 城市扩展及地表覆盖结构的变化在很大程度上影响城市生态环境甚至生态安全。中国海岸带区域城市人口和经济活动高度集聚, 城市化速度快, 引起了城市扩展及城市地表覆盖结构的剧烈变化。然而, 目前对于海岸带区域的城市扩展及地表覆盖状况的认识仍不清晰。本研究利用 30 m 空间分辨率全球城市土地利用/覆盖变化数据产品, 从多个角度剖析了海岸带区域城市扩展和地表覆盖结构的时空分异特征。结果表明: ①中国海岸带区域城市土地面积由 2000 年的 1.66 万 km² 增加到 2020 年的 4.80 万 km², 扩展强度为 9.41%。41.03% 的城市以高强度扩展, 这些高强度扩展城市主要位于中北部海岸带。海岸带区域城市在加速扩展, 2000—2010 年的扩展速度为 1 260.04 km²/a, 2010—2020 年城市扩展速度上升为 1 871.74 km²/a。②20 a 间城市不透水面面积持续增加, 但城市不透水面比例下降, 城市绿地空间比例升高。2000 年时, 海岸带区域城市不透水面和城市绿地空间面积分别占城市土地面积的 69.49% 和 20.81%, 到 2020 年, 分别占 63.70% 和 26.72%。③海岸带区域 83.33% 城市的扩展超前于人口增长。小城市的地均国内生产总值大, 用地效率高。研究结果可为海岸带区域城市规划和可持续发展提供重要的科学依据和决策支持。

关键词: 中国海岸带; 城市扩展; 土地利用/覆盖; 不透水面; 绿地空间

中图法分类号: TP 79; P 237 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)04-0076-11

0 引言

海岸带是海陆交汇地带, 拥有优越的资源和环境条件, 全球一半以上的人口居住在海岸线约 60 km 以内的范围, 世界上人口多于 160 万人的大城市有 2/3 位于海岸带区域^[1]。凭借良好的区位条件, 大量的人口和经济活动聚集在海岸带空间^[2]。海岸带区域城市化进程不断加快, 城市扩展是城市化和城市土地利用变化的最直接表现, 城市下垫面连续扩张导致城市空间布局 and 结构发生变化^[3-4]。大规模的城市扩展带来的土地覆盖变化会对气候和生态环境造成巨大影响, 产生城市热岛效应、区域气候变化和城市生态服务下降等生态环境问题^[5], 海岸带区域面临着严峻的生态环境压力^[6]。城市土地覆盖

主要包括城市不透水面、绿地空间和水域等。城市不透水面是指在人为土地利用活动影响下产生的地表水无法向下渗透到土壤中的人工地表覆盖, 主要包括道路、广场和建筑屋顶等^[7]。城市绿地空间主要包括位于城市建成区中的公园、草地和林地等^[8]。城市不透水面和城市绿地空间比例反映了城市生态环境质量和城市宜居舒适性^[9-10]。研究分析海岸带区域城市扩展和地表覆盖结构特征, 对海岸带区域城市的合理开发及海岸带生态环境保护具有重要意义。

中国海岸带区域一直是我国经济发展重心地带, 该区域的各省市区面积仅占国土面积的 15%, 却拥有全国 70% 以上的大中城市和近 40% 的人口, 并创造了全国 61% 以上的国内生产总值(gross domestic product, GDP)^[11]。海岸带区域城市的扩展速度远快于内陆多数城市, 其特殊的海陆生态环境

收稿日期: 2022-03-03; 修订日期: 2022-06-06
基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)“国土空间格局和重点开发区域生态文明建设状态诊断与地理图景效应评估”(编号: XDA23100201)和自然资源部委托项目“规划体检评估相关地理空间数据分析评价”(编号: 20211811054)共同资助。
第一作者: 史姝姝(1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事遥感信息处理研究。Email: shishushu926@163.com。
通信作者: 陈永强(1973-), 男, 副研究员, 主要从事 SAR 海洋遥感研究。Email: clyq@163.com。

也容易受到自然灾害及人类活动的影响^[12],城市化发展和土地集约利用加剧了该区域的环境问题,人口持续增加和土地资源短缺的矛盾日益紧张^[13]。如何对海岸带区域城市扩展状况进行大范围长时间序列的遥感监测以及对城市内部地表覆盖时空特征进行科学描述是评价海岸带区域城市国土空间利用质量的重点问题,是提高城市用地效率,实现城市人居环境高质量发展的关键。

目前,海岸带区域城市扩展研究受到学者们的广泛关注^[14-15]。马金卫等^[16]研究了滨海城市烟台市的城镇空间扩展过程,发现城镇建设填海造地侵占了大量海域。同样,填海造地使得厦门市大面积的滩涂变成了城市建成区,向海要地建设新城区,城市扩展速度快,出现飞地的跳跃式发展^[17]。Yu 等^[18]从整个城市和城市内区级 2 个尺度量化了深圳市的城市扩展情况,结果表明从 1979—2017 年深圳市快速扩张,城市用地增长了 3 400%; Cao 等^[19]对舟山群岛城市扩展情况进行的研究表明 65% 的城市扩展集中在综合开发型岛屿; Yan 等^[20]研究表明珠江三角洲区域城市 2000—2015 年城市土地面积在持续扩大,但城市扩展强度呈现了下降趋势,且逐渐形成了多中心的空间分布格局^[21];高啸峰等^[22]研究表明长三角城市群的建设用地规模也向着多中心化趋势发展。但是,现有研究多集中于单个城市的研究或者某一城市群的城市扩展研究,对中国整个海岸带区域城市扩展及地表覆盖结构变化的研究较少。

鉴于此,本文从不同视角分析了中国海岸带区域 2000—2020 年的城市扩展和城市土地覆盖的时空分异特征。利用 30 m 空间分辨率全球城市土地利用/覆盖变化数据产品(global urban land use/cover composites with 30 m spatial resolution, GULUC - 30),将距海岸线 50 km 缓冲区内的城市作为研究区,通过对城市土地面积的扩展速度和扩展强度等进行分析,揭示中国海岸带城市扩展及内部地表覆盖结构变化特征和空间差异,并结合城市土地增长弹性系数和地均 GDP 等指标衡量城市扩展质量和城市用地效率,为海岸带城市的可持续发展提供技术支持。

1 研究区概况

我国海岸线漫长,东西、南北跨度大,大陆海岸线北起鸭绿江口,南抵北仑河口,共跨越了 30 个纬度,包括热带、亚热带及温带三大气候带。全国共有 14 个省市特别行政区处于沿海地区,分别是辽宁、

河北、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、香港、澳门和台湾^[23-25]。本文将与全国的海岸线 50 km 缓冲区相交的地级市及以上行政区(不包括台湾省)作为研究区,共涵盖了上海、泉州、广州等 76 个市级行政区及香港和澳门 2 个特别行政区,研究区范围如图 1 所示。根据第七次人口普查数据统计,研究区的城市人口共 4.65 亿人,占全国总城市人口的 32.23%。

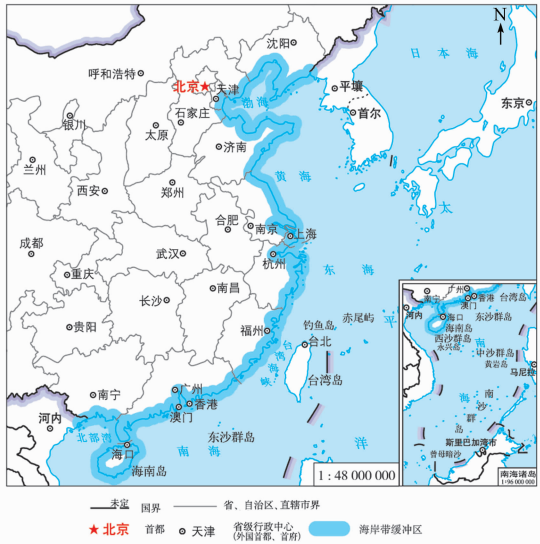


图 1 研究区示意图

Fig.1 Sketch map of study area

(审图号: GS(2019)1824 号 -01。图 2、图 6 和图 9 同。)

2 数据源

本研究所用数据主要包括土地利用/覆盖数据和社会经济数据。土地利用/覆盖数据主要采用 Kuang 等^[26]研发的 GULUC - 30 产品,下载自国家综合地球观测数据平台(<http://www.chinageoss.cn/geoarc/en/index.html>),主要包括 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期的城市边界数据、城市不透水面组分和绿地空间组分数据。该数据基于等级尺度的城市下垫面表征以及制图的原理和模型算法,主要识别了陆地表层不透水面比例大于 35% 的集中连片且和中心城区密切联系的建成用地,即城市土地。该套数据产品的城市土地制图精度为 93%,城市地表结构组分信息的相关系数均高于 0.90,均方根误差低于 15%,可以满足研究的需求。辅助数据来自欧洲航天局(European Space Agency, ESA)的 global land cover 数据(<http://maps.elie.ucl.ac.be>)。社会经济数据包括城市人口数据和 GDP 数据,城市人口数据指的是城市常住人口,采用了 2000 年、2010 年和 2020 年的人口普查数据,来自各省市的人口普查公报。GDP 数据来源于 2000 年和

2020 年各地区的国民经济和社会发展统计公报及统计年鉴。

3 研究方法

3.1 城市扩展分析

城市扩展状况采用城市扩展速度和城市扩展强度来分析,以比较不同时段内城市扩展的快慢、强弱及趋势^[27]。城市扩展速度指研究时段内平均每年城市扩展的面积;城市扩展强度指年际城市面积增长的比率^[28]。具体公式分别为:

$$V = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} \quad , \quad (1)$$

$$E = \frac{S_2 - S_1}{(t_2 - t_1) S_1} \times 100\% \quad , \quad (2)$$

式中: V 为城市扩展速度, km^2/a ; E 为扩展强度, %; t_1 和 t_2 分别为研究初期和末期的年份; S_1 和 S_2 分别为 t_1 和 t_2 对应的城市土地面积, km^2 。依据自然断点法,按城市扩展强度将研究区城市分为低强度扩展城市 ($E < 6\%$), 中强度扩展城市 (E 为 $[6, 12)\%$) 以及高强度扩展城市 ($E \geq 12\%$)。

以 2020 年城市土地面积为分层标准, 选择 1 000 km^2 , 500 km^2 和 100 km^2 为分界点, 将研究区城市分为特大城市、大城市、中等城市和小城市。

城市扩展的协调性则采用城市土地增长弹性系数来测定。城市土地增长弹性系数 K 是指某段时间内城市土地增长率与城市人口增长率之比, 用来衡量城市扩展与人口增长之间的协调关系^[29], 其公式为:

$$K = (R_c / R_p) \times 100\% \quad , \quad (3)$$

式中: R_c 为城市土地面积年均增长率; R_p 为城市人口年均增长率。 K 的最优值为 1.12, 当 $K > 1.12$ 时, 表明城市土地相对人口增长来说扩展过快, 反之, 表明城市土地扩展不足; 且 K 值越大时, 说明城市空间扩展越稀疏^[30]。

3.2 城市地表覆盖变化分析

基于 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期城市不透水面和绿地空间数据分析城市地表覆盖组分空间变化及差异特征, 统计不同年份城市区域对应的不透水面和绿地空间比例和面积。城市不透水面比例及城市绿地空间比例分别指城市不透水面面积及城市绿地空间面积所占城市土地总面积的比例, 公式分别为:

$$ISA_m = \frac{ISA}{S} \times 100\% \quad , \quad (4)$$

$$UGS_m = \frac{UGS}{S} \times 100\% \quad , \quad (5)$$

式中: ISA_m 和 UGS_m 分别为城市不透水面比例和城市绿地空间比例, %; ISA 和 UGS 分别为城市不透水面和城市绿地空间的面积, km^2 ; S 为城市土地的总面积, km^2 。将 $ISA_m \geq 65\%$ 的城市表示为高不透水面比例城市; ISA_m 在 $[60, 65)\%$ 的城市表示为中等不透水面比例城市; $ISA_m < 60\%$ 的城市表示为低不透水面比例城市。

3.3 城市用地效率分析

城市用地效率采用地均 GDP 来衡量, 即每 km^2 城市用地产出的 GDP。通过地均 GDP 可以表示城市经济增长与城市用地之间的关系, 反映城市的经济集中程度和发展程度, 来判断城市规模大小的合理性^[31]。

4 结果与分析

4.1 海岸带区域城市扩展时空特征

2020 年, 中国海岸带区域城市土地面积共 4.80 万 km^2 , 由 2000 年的 1.66 万 km^2 扩展了 3.13 万 km^2 , 城市空间范围不断向外沿推进, 扩展强度为 9.41%。海岸带区域城市在加速扩展, 2000—2010 年的城市扩展速度为 1 260.04 km^2/a , 2010—2020 年上升至 1 871.74 km^2/a 。近 20 a 间, 城市土地面积扩展排名前五位城市依次是上海 (1 521.87 km^2)、无锡 (1 478.99 km^2)、苏州 (1 446.48 km^2)、天津 (1 132.48 km^2) 和杭州 (1 116.00 km^2), 主要位于长江三角洲和环渤海湾区域, 这些城市在各自区域城镇化发展中起到了很好的引领作用^[32]。研究区城市扩展强度如图 2 所示。



图2 研究区城市扩展强度

Fig.2 Urban expansion intensity in the study area

城市土地扩展空间分布差异显著,整体上看,海岸带中北部区域城市扩展强度高,高强度扩展城市数量占比 41.03%,在江苏、山东和浙江等省份分布较多。低强度扩展城市只有 12 个,主要包括上海市及广东省的多个城市。有 34 个城市以中等强度扩展,数量占比 43.59%,2020 年的城市土地面积共占研究区的 36.37%,在整个海岸带区域呈分散分布,如天津市、浙江省温州市和广东省湛江市等。

由于海洋逐渐成为我国经济社会发展的重要战略空间,海洋经济快速发展给沿岸城市土地扩展带来了巨大影响^[33],《全国海洋经济发展“十三五”规划》中指出,中国海岸带区域形成了三大海洋经济圈——北部海洋经济圈、东部海洋经济圈和南部海洋经济圈,包含上海、深圳和广州 3 个全球海洋中心城市,还包含天津、厦门和珠海等 12 个区域海洋中

心城市^[34],三大海洋经济圈的的城市土地面积统计结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,城市土地面积最大的是南部海洋经济圈,该区域包含城市多,发展较早,一直处于领先地位。但南部海洋经济圈的的城市扩展面积一直小于其他 2 个经济圈,20 a 间城市土地面积共增加了 9 229.32 km²。2000—2020 年,东部海洋经济圈的的城市扩展面积最大,共增加了 1.13 万 km²,扩展强度高,达 13.08%。其次是北部和南部海洋经济圈,城市扩展强度分别为 11.69% 和 5.98%。3 个经济圈的的城市土地均呈加速扩展态势,北部和东部经济圈更为明显。北部和东部经济圈城市后 10 a(2010—2020 年)的扩展速度均为前 10 a(2000—2010 年)的 1.5 倍左右;南部经济圈城市扩展速度相对平稳。

表 1 三大海洋经济圈中海洋城市及城市土地面积

Tab.1 Marine cities and urban land area in the three marine economic circles

海洋经济圈	全球海洋中心城市	区域海洋中心城市	土地面积/km ²			扩展强度/%
			2000 年	2010 年	2020 年	
北部海洋经济圈	—	天津、大连、青岛	4 608.69	8 996.91	15 381.17	11.69
东部海洋经济圈	上海	连云港、宁波、舟山	4 327.04	8 531.66	15 643.08	13.08
南部海洋经济圈	深圳、广州	厦门、汕头、珠海、湛江、海口、三亚	7 712.85	11 720.47	16 942.17	5.98

北部海洋经济圈包括渤海湾、辽东半岛以及山东半岛沿岸,包含天津、大连和青岛 3 个区域海洋中

心城市(图 3),都属于中强度扩展城市。20 a 间,这 3 个中心城市扩展面积分别为 1 132.48 km²,442.53 km²

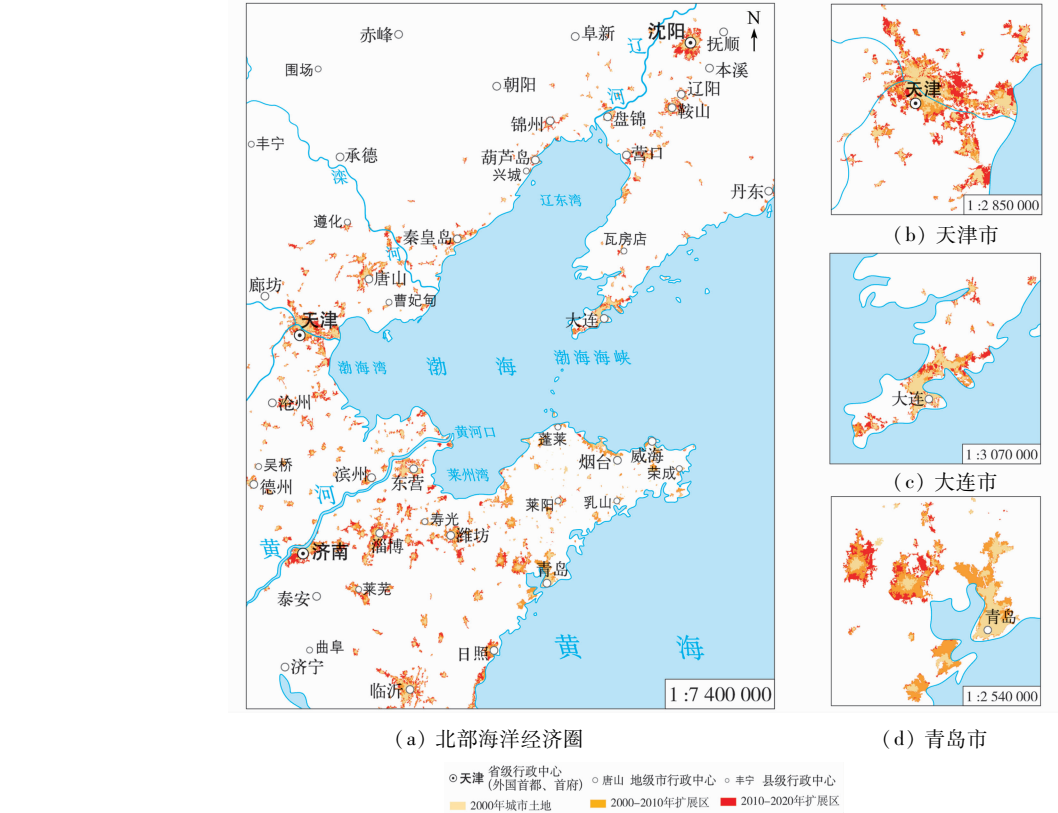


图 3 北部海洋经济圈城市扩展

Fig.3 Urban expansion of northern marine economic circle

(审图号: GS(2022)4307 号-01。图 4 和图 5 同。)

和 752.25 km², 扩展方向有所不同。其中, 天津在 2000—2010 年以填充型扩展为主, 2010—2020 年转为以外延型为主, 空间上呈现沿西北—东南轴向延伸扩展。大连城市扩展以填充型为主, 主城区土地逐渐趋于饱和。青岛城市土地向内陆纵深扩展, 表现为环湾发展的空间形态。北部海洋经济圈城市间联系较少, 各自独立分散发展, 城市间差距较大, 城市发展稍落后于其他 2 个经济圈。

东部海洋经济圈包括上海、江苏和浙江沿岸 (图 4), 位于“一带一路”建设和长江经济带发展战略的交汇区域, 城市发展具有极大的优势, 城市扩展强度大。包含了上海这一全球海洋中心城市以及连云港、宁波和舟山 3 个区域海洋中心城市。2020 年上海城市土地面积为 2 842.42 km², 城市土地面积

在海岸带区域城市中排名第一, 20 a 间共增加了 1 521.86 km², 扩展强度为 5.76%, 扩展模式由外延式逐渐转变为填充式发展。连云港城市扩展强度为 21.11%, 城市土地沿南北轴向高强度扩展, 尤其是在 2010—2020 年城市扩展较快, 这 10 a 扩展面积是前 10 a 扩展面积的 2.8 倍。受制于地形因素, 宁波和舟山扩展面积相对较少。其中, 宁波城市土地向四周延伸扩展, 且向南部扩展较多; 舟山是典型的群岛城市, 城市土地受地形因素影响明显, 但自 2011 年国家设立浙江舟山群岛新区后, 城市土地面积增长显著。东部海洋经济圈在上海这个全球海洋中心城市的带领下, 城市间协作条件优越, 逐渐实现聚拢发展。

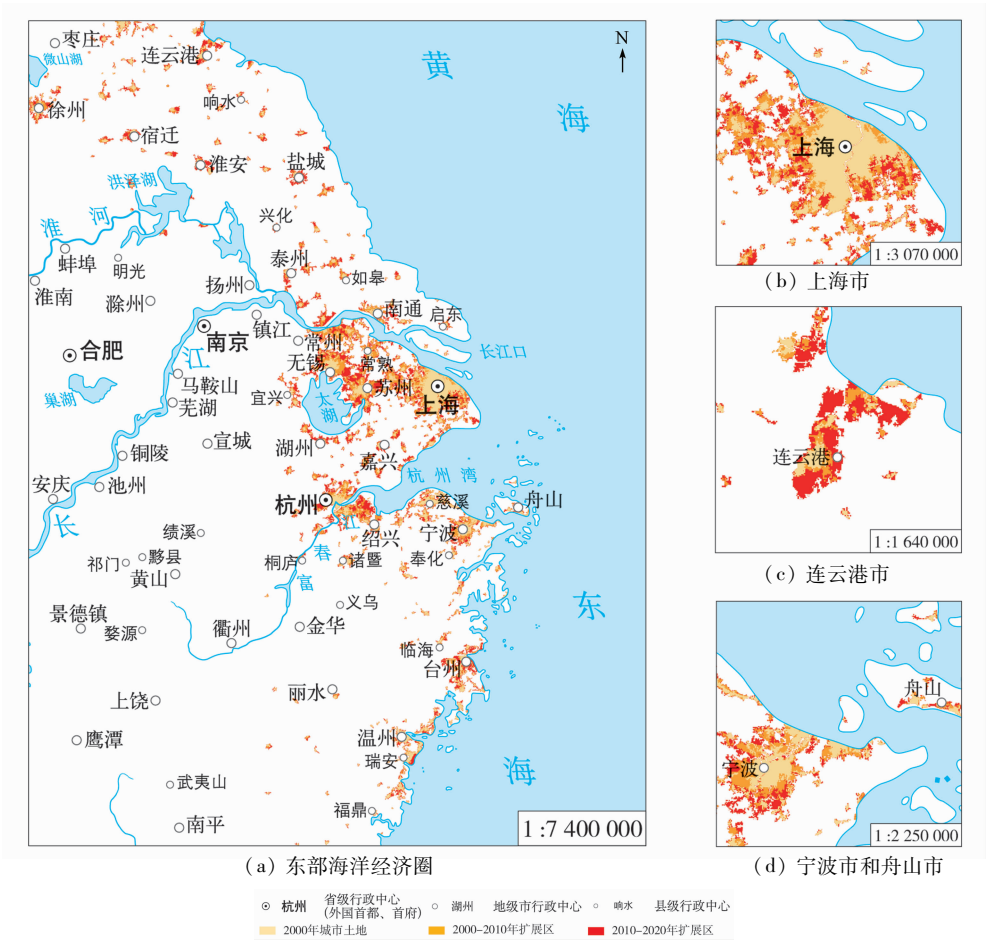


图 4 东部海洋经济圈城市扩展

Fig. 4 Urban expansion of eastern marine economic circle

南部海洋经济圈由福建、珠江口及其两翼、北部湾和海南岛沿岸组成, 包含了深圳和广州 2 个全球中心海洋城市, 以及厦门、汕头、珠海、湛江、海口和三亚 6 个区域海洋中心城市 (图 5)。其中, 广州的土地面积增加最多, 20 a 间共增加了 933.62 km²。广州和深圳发展早, 在前 10 a 城市土地面积增长快, 后 10 a 的扩展速度明显变慢, 城市扩展强度低,

分别为 5.51% 和 3.12%。厦门作为福建省的区域中心城市, 城市扩展面积也较大, 为 394.38 km²。汕头、珠海和湛江在各自区域中起到引领作用, 城市土地面积逐年增加, 以中等强度扩展。海南岛沿岸城市以海口和三亚为核心, 充分利用土地资源, 城市土地增加面积分别为 91.79 km² 和 48.83 km²。南部海洋经济圈以广州、深圳这 2 个全球海洋中心城

市为核心,城市土地组团聚集发展,东莞和深圳、珠海和澳门等地城市土地边界趋于融合。

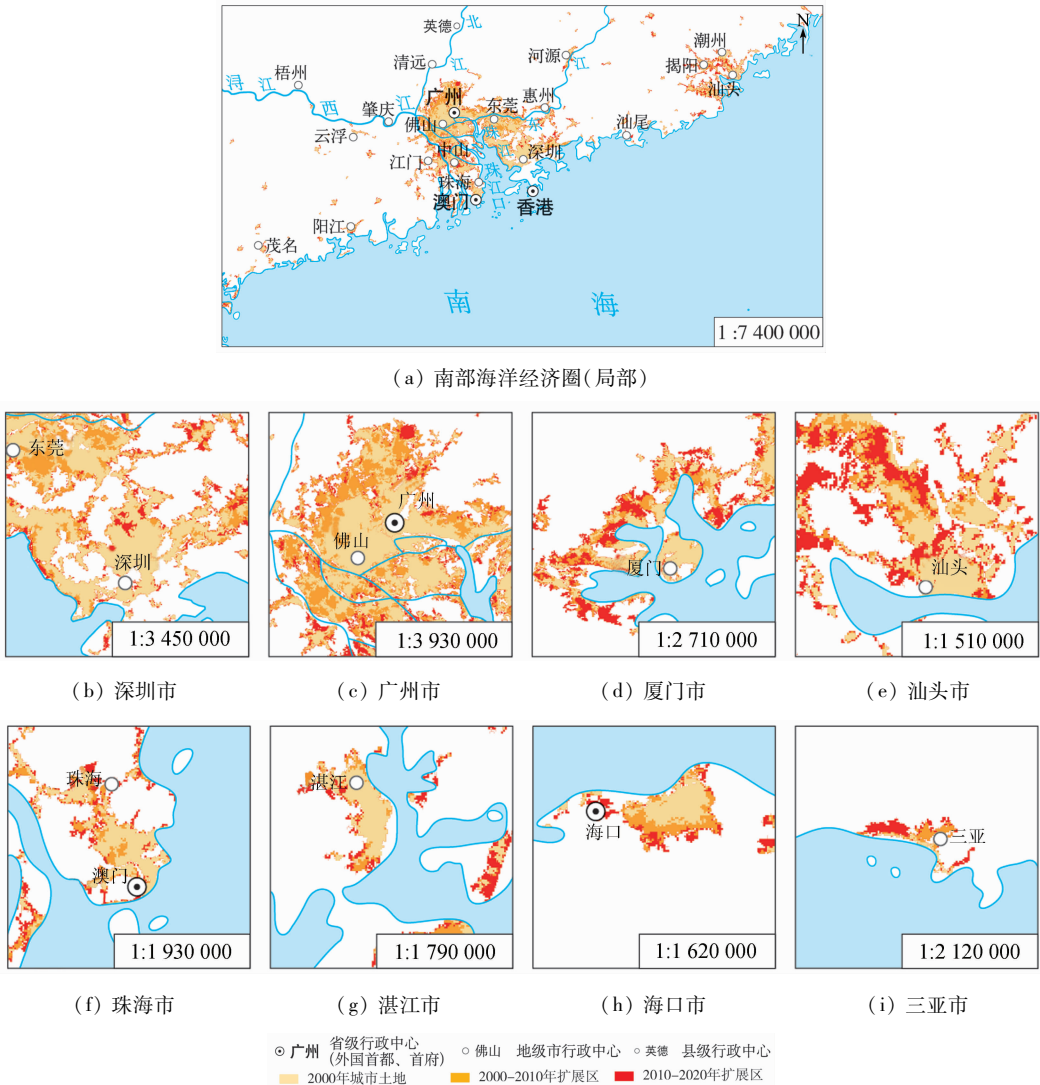


图 5 南部海洋经济圈城市扩展

Fig.5 Urban expansion of southern marine economic circle

全球海洋中心城市应同时具备“全球城市、中心城市、海洋城市”三大特征,发挥城市核心吸引力,带动周边城市一同发展,是“中心城市”的关键所在。北部海洋经济圈目前尚未有全球海洋中心城市的关键之一在于中心城市的核心凝聚力不足,空间统筹发展水平不够。土地是城市最基本的组成要素,和城市的经济发展相互制约,关于三大海洋经济圈城市扩展趋势的研究与目前城市的发展水平相一致。

北部、东部和南部海洋经济圈的城土地增长弹性系数 K 依次为 14.78,8.78 和 2.85,说明北部海洋经济圈的城土地扩展更为稀疏,而南部海洋经济圈的城土地扩展更为紧凑,从图 3—5 中也可以看出,南部海洋经济圈城土地间联系紧密,城土地组团聚集发展。城土地增长弹性系数 K 在最佳值 1.12 附近的以大城土地和特大城土地为主,其中最为接近的是厦

门和佛山 2 市, K 分别为 1.09 和 1.14,城土地扩展与城土地化水平较为协调。连云港、南通、宿迁、泰州、盐城、淮安和丹东、葫芦岛、鞍山、淮安、锦州以及辽阳这 11 个城土地的人口呈减少趋势,而城土地面积在持续扩展,城土地扩展与城土地化水平不协调程度大,城土地化水平亟待提升。83.33% 城土地的 $K > 1.12$,表明多数城土地扩展超前于人口增长。梅州和营口等城土地的 $K > 100$,远远大于最优值 1.12,城土地扩展速度远快于人口增长速度。深圳和海口的 K 分别为 0.41 和 0.53,这些中心城土地的城市化速度快,人口聚集能力强,城土地扩展略慢于人口增长速度。

4.2 海岸带区域城土地内部地表覆盖分异特征

近 20 a 间随着城市化浪潮的不断推进,海岸带区域城土地不透水面在迅速增加。2000 年时,海岸带区域城土地不透水面和城土地绿地空间面积分别占城土地土地面积的 69.49% 和 20.81%。20 a 间,

城市不透水面面积以 $949.34\text{ km}^2/\text{a}$ 的速度持续增加,共增加了 $18\,986.75\text{ km}^2$ 。同时,城市绿地空间面积以 $467.50\text{ km}^2/\text{a}$ 的速度增加了 $9\,349.96\text{ km}^2$ 。到 2020 年,海岸带区域城市不透水面面积为 $30\,555.74\text{ km}^2$,占城市土地面积的 63.70% ;城市绿地空间面积为 $12\,814.28\text{ km}^2$,占城市土地面积的 26.72% 。总体来看,研究区城市不透水面面积在持续增加,但不透水面比例呈现下降趋势,城市绿地空间比例在不断升高。研究区 78 个城市中,高、中等以及低不透水面比例城市的个数分别为 23 个、51 个和 4 个。其中,高不透水面比例城市主要分布在研究区中上部的江苏、山东等省份,如淮安、宿迁、德州和日照等城市;低不透水面比例城市包括莆田、珠海、崇左及澳门等城市;海岸带区域有 3/5 城市的不透水面比例处于中等水平,分布广泛(图 6)。

年分别为 $10\,680.42\text{ km}^2$ 和 $4\,448.13\text{ km}^2$,占城市土地面积的 63.04% 和 26.25% 。东部海洋经济圈的 城市不透水面增加最快,20 a 间城市不透水面面积增加了 $7\,048.45\text{ km}^2$ 。北部海洋经济圈 20 a 间城市绿地空间面积增加最多,共增加了 $3\,428.01\text{ km}^2$ 。从城市不透水面比例来看,东部海洋经济圈的 城市不透水面平均比例最高,20 a 来一直处于领先,但呈现了下降趋势,由 2000 年的 71.16% 下降到 2020 年的 64.74% 。与之相反,3 个经济圈的 城市绿地空间比例均呈现上升趋势,2000 年南部海洋经济圈的 城市绿地空间比例最高,为 23.02% ,到 2020 年上升到 26.25% ,略低于北部海洋经济圈的 28.01% 。城市在发展过程中逐渐重视城市绿地建设,致力于建设高质量发展的绿色宜居城市。

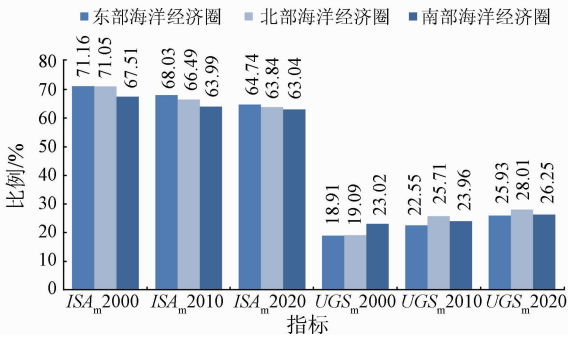


图 7 三大海洋经济圈城市地表覆盖比例
Fig. 7 Proportion of urban surface coverage in the three marine economic circles

建设全球海洋中心城市需有宜居宜业的城市环境,城市绿地空间面积比例是重要的生态环境评价指标之一,三大海洋经济圈中海洋中心城市的地表覆盖情况如图 8 所示。全球海洋中心城市上海、深圳和广州的绿地空间面积比例变化分别呈现了“增-增”,“减-增”和“增-减”模式,到 2020 年绿地空间面积比例分别为 26.74% 、 26.93% 和 27.20% 。2020 年区域海洋中心城市中绿地空间面积比例最高的是青岛市,为 28.73% 。其次是三亚市,为 28.64% ;20 a 间,三亚市绿地空间面积比例呈现先升后降的

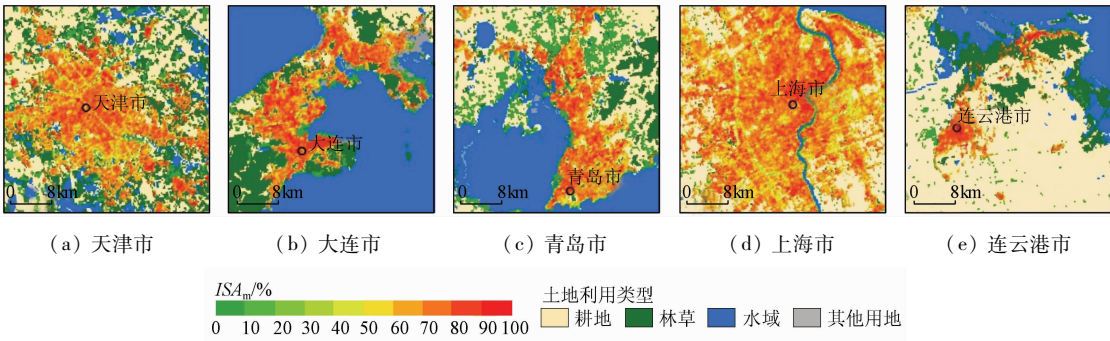


图 8-1 三大海洋经济圈海洋中心城市地表覆盖
Fig. 8-1 Surface coverage of marine central cities in the three marine economic circles

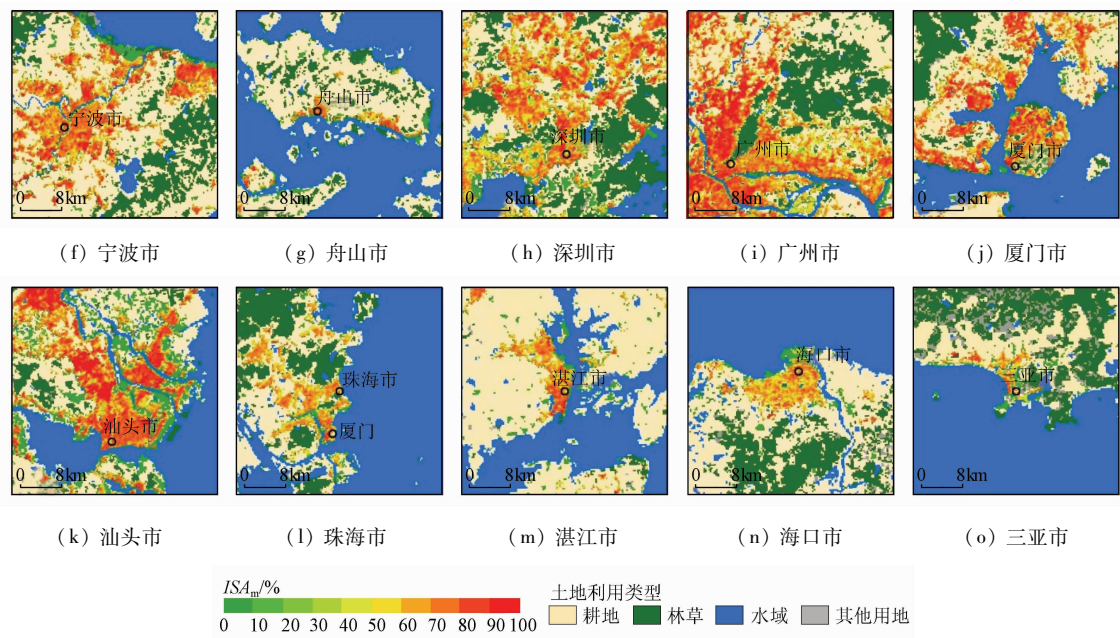


图 8-2 三大海洋经济圈海洋中心城市地表覆盖

Fig. 8-2 Surface coverage of marine central cities in the three marine economic circles

趋势,2010 年绿地空间比例为 32.84%,绿地覆盖率高,在海洋城市中处于领先地位。珠海市、广州市和海口市紧随其后,绿地空间比例分别为 28.49%,27.20% 和 27.07%,着力打造绿色滨海城市。

4.3 海岸带区域城市用地效率分析

进入 21 世纪以来城市经济飞速发展,研究区城市的地均 GDP 都在上升,而随着城市规模变大,城市地均 GDP 在逐渐降低。研究区内城市地均 GDP 情况如图 9 所示,其中,香港和澳门 2 个特别行政区拥有的土地资源少,但 GDP 高,地均 GDP 较大。此外,深圳以 23.79 亿元/km²的地均GDP遥遥领先,

城市用地效率高。宁德、舟山、茂名和南通等城市因城市土地面积小而 GDP 高,地均 GDP 都在 15 亿元/km²以上。江苏省的几个城市地均 GDP 也都比较高,在城市土地面积上充分发挥自身的特色产业优势,以较少的土地面积贡献出较大的经济效益,城市土地效率较高。上海、苏州、广州、杭州和青岛等城市的地均 GDP 都在 10~15 亿元/km²之间,较大的城市土地面积创造了相对多的 GDP,城市规模大对周边城市具有一定的聚集作用,大型城市靠拢组团发展,城市 GDP 平稳发展。

随着我国海洋经济布局的逐步优化,三大海洋经济圈根据各自的资源禀赋和发展潜力,在城市发展和整体定位上有所不同,城市用地效率也表现出差异性。2000 年时,三大海洋经济圈地均 GDP 从大到小依次为东部(3.74)、北部(3.04)和南部(2.20)。到 2020 年时,东部海洋经济圈的地均 GDP 最大,为 10.79,南部海洋经济圈地均 GDP(10.72)超越北部海洋经济圈(6.92)。东部海洋经济圈的城市用地效率较高,土地集约化利用程度高。南部海洋经济圈城市土地面积最大,经济发展稍落后于东部,稳中求进,实现高质量发展。北部海洋经济圈教育科研优势显著,正处于经济转型发展阶段,着眼于先进制造业方向发力,城市土地扩展潜力大,要多关注城市间协同发展的优势,提高城市间的联系,充分发挥大城市辐射带动作用,促进周边中小城市的结构升级,提升城市的整体土地利用效率,实现生产要素的合理配置。

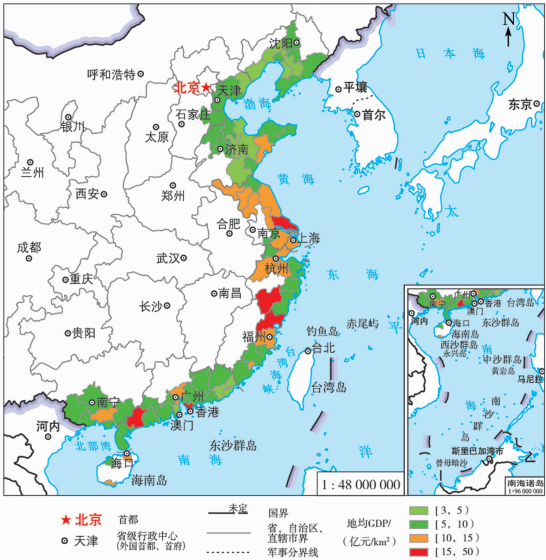


图 9 研究区城市地均 GDP

Fig.9 GDP per urban land in the study area

5 结论与讨论

利用 30 m 空间分辨率全球城市土地利用/覆盖变化数据产品 (GULUC - 30) 分析了中国海岸带区域城市扩展状况,对比分析了不同区域城市扩展的特征及城市内部地表覆盖结构的时空差异。得出以下结论:

1) 中国海岸带区域城市土地面积 20 a 间共增长了 3.13 万 km², 扩展强度为 9.41%。43.59% 的城市扩展强度处于中等水平, 海岸带中北部城市扩展强度高。三大海洋经济圈城市扩展规模和模式存在显著异质性, 南部海洋经济圈城市发展早, 扩展少, 城市集中平稳扩张; 东部海洋经济圈城市扩展势头猛, 强度大, 城市聚拢发展; 北部海洋经济圈城市扩展慢, 城市发展分散。

2) 2020 年, 中国海岸带区域城市不透水面面积和绿地空间面积分别占城市土地面积的 63.70% 和 26.72%。近 20 a, 城市不透水面面积在持续增加, 但不透水面比例呈现下降趋势, 城市绿地空间比例不断上升。南部海洋经济圈的城市的城市不透水面和城市绿地空间面积最大。东部海洋经济圈的城市的城市不透水面比例最高, 城市不透水面增加最快。2020 年北部海洋经济圈的城市的城市绿地空间比例最高, 20 a 间城市绿地空间面积增加最多。

3) 中国海岸带区域 83.33% 城市的扩展超前于人口增长, 厦门和佛山的城市扩展与城市化水平最为协调。小城市的地均 GDP 大, 用地效率高。东部海洋经济圈城市土地集约化利用程度高。

本研究旨在揭示城市扩展和城市内部地表覆盖结构特征, 对于城市扩展的驱动力分析较少。研究发现在特大城市中超半数的城市都属于副省级城市及以上, 可见国家对城市的战略定位对城市自身发展来说至关重要, 国家政策引导的城市发展规划以及城市经济活动等因素对城市扩展和城市地表覆盖结构等具有重要影响, 后续可以结合地形、距海距离和开发区规划等自然和社会经济驱动因子分析城市扩展特征的外在因素, 从更深层次探究城市今后的发展方向。

近年来, 继上海、广州和深圳之后, 天津、青岛、大连、宁波和舟山等城市纷纷提出要打造“全球海洋中心城市”的目标, 城市人口和城市不透水面分布逐渐向海岸带移动。随着全球气候变化, 海岸带区域城市将面临更加严峻的挑战, 而“全球海洋中心城市”的评选对城市的环境资源承载力也提出了更高要求。因此, 海岸带区域城市在大力发展经济

的同时, 也要做好城市空间布局的合理规划, 提高土地资源配置效率和产出效率, 优化城市不透水面及绿地空间比例, 构建陆海绿色生态格局, 建设高质量滨海城市。

参考文献 (References):

[1] 骆永明. 中国海岸带可持续发展中的生态环境问题与海岸科学发展[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(10): 1133 - 1142.
Luo Y M. Sustainability associated coastal eco - environmental problems and coastal science development in China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(10): 1133 - 1142.

[2] 许学工, 彭慧芳, 徐勤政. 海岸带快速城市化的土地资源冲突与协调——以山东半岛为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2006, 42(4): 527 - 533.
Xu X G, Peng H F, Xu Q Z. Land resource conflicts and coordination in fast urbanized coastal zone: A case study of the Shandong Peninsula[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2006, 42(4): 527 - 533.

[3] 匡文慧, 迟文峰, 史文娇. 中国与美国大都市区城市内部土地覆盖结构时空差异[J]. 地理学报, 2014, 69(7): 883 - 895.
Kuang W H, Chi W F, Shi W J. Spatio - temporal characteristics of intra - urban land cover in the cities of China and USA from 1978 to 2010[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(7): 883 - 895.

[4] Kuang W H. National urban land - use cover change since the beginning of the 21st century and its policy implications in China[J]. Land Use Policy, 2020, 97: 104747.

[5] Kuang W H, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal dynamics of impervious surface areas across China during the early 21st century[J]. Chinese Science Bulletin, 2013, 58(14): 1691 - 1701.

[6] 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.
Wu W T, Tian B, Zhou Y X, et al. The trends of coastal reclamation in China in the past three decades[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): 5007 - 5016.

[7] 匡文慧, 陈利军, 刘纪远, 等. 亚洲人造地表覆盖遥感精细化分类与分布特征分析[J]. 中国科学: 地球科学, 2016, 46: 1162 - 1179.
Kuang W H, Chen L J, Liu J Y, et al. Remote sensing - based artificial surface cover classification in Asia and spatial pattern analysis[J]. Science China Earth Sciences, 2016, 59: 1720 - 1737.

[8] Kuang W H, Dou Y Y. Investigating the patterns and dynamics of urban green space in China's 70 major cities using satellite remote sensing[J]. Remote Sensing, 2020, 12: 1929.

[9] 杨俊, 孙静, 葛全胜. 大连市城区绿地时空特征的热环境效应研究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(8): 1087 - 1093.
Yang J, Sun J, Ge Q S. Study on thermal environmental effect of spatial - temporal characteristics of urban green space in the city of Dalian[J]. Journal of Geo - Information Science, 2016, 18(8): 1087 - 1093.

[10] 刘春亭, 冯权波, 金鼎坚, 等. 随机森林协同 Sentinel - 1/2 的东营市不透水层信息提取[J]. 自然资源遥感, 2021, 33(3): 253 - 261. doi:10.6046/zrzyyg.2020310.
Liu C T, Feng Q L, Jin D J, et al. Application of random forest and

- Sentinel-1/2 in the information extraction of impervious layers in Dongying City[J]. *Remote Sensing for Natural Resources*, 2021, 33(3): 253–261. doi:10.6046/zrzyyg.2020310.
- [11] 张训华,孙晓明,印萍,等. 推进海岸带综合地质调查,为社会经济持续发展提供支撑[J]. *海洋地质前沿*, 2015, 31(1): 1–8.
- Zhang X H, Sun X M, Yin P, et al. Sustainable development of coastal zone based on integrated geological investigation[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2015, 31(1): 1–8.
- [12] 曹慧博,张颖,杨静,等. 基于三维生态足迹扩展模型的中国海岸带生态足迹及其影响因素研究[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(1): 252–259.
- Cao H B, Zhang Y, Yang J, et al. A study of ecological footprint and its influencing factors in China's coastal zone based on three-dimensional ecological footprint expansion model[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(1): 252–259.
- [13] 陈述彭. 海岸带及其持续发展[J]. *遥感信息*, 1996(3): 6–12.
- Chen S P. Coastal zone and its sustainable development[J]. *Remote Sensing Information*, 1996(3): 6–12.
- [14] Liu F, Zhang Z X, Shi L F, et al. Urban expansion in China and its spatial-temporal differences over the past four decades[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(10): 1477–1496.
- [15] Barragón J M, de Andrés M. Urban expansion in the coastal areas of Latin America and Caribbean[J]. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2016, 64: 129–149.
- [16] 马金卫,吴晓青,周迪,等. 海岸带城镇空间扩展情景模拟及其生态风险评价[J]. *资源科学*, 2012, 34(1): 185–194.
- Ma J W, Wu X Q, Zhou D, et al. Scenario simulation of urban spatial expansion and its ecological risks assessment in coastal zones[J]. *Resources Science*, 2012, 34(1): 185–194.
- [17] 吝涛,李新虎,张国钦,等. 厦门岛城市空间扩张特征及其影响因素分析[J]. *地理学报*, 2010, 65(6): 715–726.
- Lin T, Li X H, Zhang G Q, et al. Dynamic analysis of island urban spatial expansion and its determinants: A case study of Xiamen Island[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 715–726.
- [18] Yu W J, Zhang Y Y, Zhou W Q, et al. Urban expansion in Shenzhen since 1970s: A retrospect of change from a village to a megacity from the space[J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2019, 110: 21–30.
- [19] Cao W, Zhou Y, Li R, et al. Monitoring long-term annual urban expansion (1986–2017) in the largest archipelago of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2021: 146015.
- [20] Yan Y C, Ju H R, Zhang S R, et al. Spatiotemporal patterns and driving forces of urban expansion in coastal areas: A study on urban agglomeration in the Pearl River Delta, China[J]. *Sustainability*, 2019, 12(1): 191.
- [21] 徐进勇,张增祥,赵晓丽,等. 近40年珠江三角洲主要城市时空扩展特征及驱动力分析[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2015, 51(6): 1119–1131.
- Xu J Y, Zhang Z X, Zhao X L, et al. Spatial-temporal characteristics and driving forces of urban sprawl for major cities of the Pearl River Delta region in recent 40 years[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2015, 51(6): 1119–1131.
- [22] 高啸峰,刘慧平,张洋华,等. 1990—2010年长三角城市群城市扩展时空规律分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(5): 645–650, 533.
- Gao X F, Liu H P, Zhang Y H, et al. Spatio-temporal patterns of urban expansion in Yangtze River Delta Megalopolis from 1990 to 2010[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2016, 52(5): 645–650, 533.
- [23] 侯西勇,徐新良. 21世纪初中国海岸带土地利用空间格局特征[J]. *地理研究*, 2011, 30(8): 1370–1379.
- Hou X Y, Xu X L. Spatial patterns of land use in coastal zones of China in the early 21st century[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(8): 1370–1379.
- [24] 侯西勇,毋亭,侯婉,等. 20世纪40年代初以来中国大陆海岸线变化特征[J]. *中国科学: 地球科学*, 2016, 46(8): 1065–1075.
- Hou X Y, Wu T, Hou W, et al. Characteristics of coastline changes in mainland China since the early 1940s[J]. *Science China Earth Sciences*, 2016, 59(9): 1791–1802.
- [25] 杜培培,侯西勇. 基于多源数据的中国海岸带地区人口空间化模拟[J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(2): 207–217.
- Du P P, Hou X Y. Spatial simulation of population in China's coastal zone based on multi-source data[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2020, 22(2): 207–217.
- [26] Kuang W H, Du G M, Lu D S, et al. Global observation of urban expansion and land-cover dynamics using satellite big-data[J]. *Science Bulletin*, 2020, 66(4): 297–300.
- [27] 孟飞,殷成龙,孟祥金,等. 通过不透水面聚集密度法提取城市建成区[J]. *遥感信息*, 2020, 35(4): 8–15.
- Meng F, Yin C L, Meng X J, et al. Urban built-up area extraction by aggregation density method of imperious surface[J]. *Remote Sensing Information*, 2020, 35(4): 8–15.
- [28] 穆晓东,刘慧平,薛晓娟. 基于遥感监测的北京1984—2007年城市扩展研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 48(1): 81–85.
- Mu X D, Liu H P, Xue X J. Urban growth in Beijing from 1984 to 2007 as gauged by remote sensing[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2012, 48(1): 81–85.
- [29] 宁晓刚,王浩,张翰超,等. 2000—2016年中国地级以上城市高精度城区边界遥感提取及时空扩展分析[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2018, 43(12): 163–173.
- Ning X G, Wang H, Zhang H C, et al. High-precision urban boundary extraction and urban sprawl spatial-temporal analysis in China's prefectural cities from 2000 to 2016[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 163–173.
- [30] 刘嘉毅,陈玉萍. 中国城市空间扩展的时空演变特征及驱动因素[J]. *城市问题*, 2018(6): 20–28.
- Liu J Y, Chen Y P. Temporal and spatial evolution characteristics and driving factors of urban spatial expansion[J]. *Urban Problems*, 2018(6): 20–28.
- [31] 张占录. 基于用地效率分析的城市区域空间结构极化模型及空间发展战略[J]. *城市发展研究*, 2011, 18(8): 46–52.
- Zhang Z L. The model of urban spatial structure polarization in regional and spatial development strategy based on the land use efficiency analysis[J]. *Urban Studies*, 2011, 18(8): 46–52.
- [32] 张翰超,宁晓刚,王浩,等. 基于高分辨率遥感影像的2000—

2015 年中国省会城市高精度扩张监测与分析[J]. 地理学报, 2018, 73(12):2345–2363.

Zhang H C, Ning X G, Wang H, et al. High accuracy urban expansion monitoring and analysis of China's provincial capitals from 2000 to 2015 based on high-resolution remote sensing imagery [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(12):2345–2363.

[33] 国家发展改革委国家海洋局. 全国海洋经济发展“十三五”规划[Z]. 北京:海洋出版社, 2017.

National Development and Reform Commission and State Oceanic Administration. The 13th five year plan for national marine economic development[Z]. Beijing:China Ocean Press, 2017.

[34] 陆杰华, 曾筱萱, 陈瑞晴. “一带一路”背景下中国海洋城市的内涵、类别及发展前景[J]. 城市观察, 2020(3):126–133.

Lu J H, Zen X X, Chen R Q. Connotation, categories and development prospect of China's maritime cities under the background of the Belt and Road initiative[J]. Urban Insight, 2020(3):126–133.

Remote sensing monitoring based analysis of the spatio-temporal changing characteristics of regional urban expansion and urban land cover in China's coastal zones

SHI Shushu^{1,2}, DOU Yinyin³, CHEN Yongqiang¹, KUANG Wenhui³

(1. Space Microwave Remote Sensing System Department, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100089, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Changes in urban expansion and urban land cover structures greatly affect the urban ecological environment and even ecological security. The highly concentrated urban population and economic activities and the resultant rapid urbanization have caused dramatic changes in urban expansion and urban land cover structures in China's coastal zone. However, previous study data are insufficient for a clear understanding of the urban expansion and urban land cover structures in China's coastal zone. In light of this, this study analyzed the spatio-temporal changing characteristics of the abovementioned aspects from multiple perspectives using the global urban land use/cover composites with 30 m spatial resolution (GULUC-30). The results are as follows. The urban land area in China's coastal zone increased from 16 600 km² in 2000 to 48 000 km² in 2020, with an expansion intensity of 9.41%. The regional cities in high-density expansion accounted for 41.03% and were mainly located in the north-central portion of the coastal zone. Cities in China's coastal zone were expanding rapidly at a rate of 1 260.04 km²/a from 2000 to 2010 and 1 871.74 km²/a from 2010 to 2020. The urban impervious surface area had continued to increase over the past two decades. However, the proportion of the urban impervious surface decreased while that of urban green space increased. In 2000, the areas of urban impervious surface and urban green space in China's coastal zone accounted for 69.49% and 20.81% of the urban land area, respectively. By 2020, they accounted for 63.70% and 26.72%, respectively. The urban expansion of 83.33% of the cities in China's coastal zone was ahead of the urban population growth. The small cities have large GDP per urban land and high land use efficiency. The study can provide an important scientific basis and decision support for regional urban planning and sustainable development of China's coastal zone.

Keywords: China's coastal zone; urban expansion; land use/cover; impervious surface; green space
(责任编辑: 陈 理)