

刘小丁, 唐力明, 孙端, 李伊黎, 许敏端, 康昕怡, 谭宾, 肖红, 赵桔超, 冯功学, 赵耀龙, 陈伟莲, 许耿然. 2023. 广东省海岸带地区资源环境承载力综合评价. 热带地理, 43 (3): 459-473.
Liu Xiaoding, Tang Liming, Sun Duan, Li Yili, Xu Minduan, Kang Xinyi, Tan Bin, Xiao Hong, Zhao Juchao, Feng Gongxue, Zhao Yaolong, Chen Weilian, and Xu Gengran. 2023. Comprehensive Evaluation of Resources and Environmental Carrying Capacity in Guangdong Coastal Zone. *Tropical Geography*, 43 (3): 459-473.

广东省海岸带地区资源环境承载力综合评价

刘小丁^{1,3}, 唐力明^{1,3}, 孙端^{1,3}, 李伊黎^{1,3}, 许敏端^{1,3}, 康昕怡^{1,3}, 谭宾^{1,3}, 肖红⁴,
赵桔超^{2,3}, 冯功学^{1,3}, 赵耀龙^{2,3}, 陈伟莲⁵, 许耿然^{1,3}

(1. 广东省国土资源测绘院, 广州 510663; 2. 华南师范大学地理科学学院, 广州 510631; 3. 自然资源部华南热带亚热带自然资源监测重点实验室, 广东省自然资源科技协同创新中心, 广州 510663; 4. 广东省测绘工程有限公司, 广州 510663; 5. 广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070)

摘要: 在国土空间规划“双评价”指南的基础上, 针对陆域和海域, 探索构建了“生态保护-农业生产-城镇建设”3大功能导向下的海岸带地区资源环境承载力评价指标体系。并以多源遥感数据及相关调查数据为基础, 利用遥感、地理信息系统等手段, 实证开展了海岸带地区资源环境承载力评价工作。结果表明: 1) 海岸带地区84%左右陆域面积、超过1/2县(市、区)的海域资源环境综合承载状态均以可载为主要特征, 资源环境综合承载状态整体良好; 2) 生态保护功能导向下60.05%的陆域以及14个县(市、区)的海域呈可载状态, 主要分布在粤港澳大湾区城市群东西两翼; 3) 农业生产功能导向下的陆域农业承载情况较为严峻, 以临界超载为主, 而海域农业生产下可载县(市、区)数量相对较少; 4) 与生态保护和农业生产功能相比, 城镇建设功能下可载区域面积分布最广, 86.93%的陆域和29个县(市、区)的海域呈可载状态, 仅3.01%的陆域以及10个县(市、区)的海域呈超载状态。

关键词: 资源环境承载力; 生态保护; 农业生产; 城镇建设; 海岸带; 广东省

中图分类号: P748; X171

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2023)03-0459-15

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003644

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



海岸带是地球上水圈、大气圈、生物圈、岩石圈和人类活动相互作用最频繁、最活跃的地带, 是具有独特陆、海属性的复杂自然系统, 聚集着山水林田湖草生命共同体的几乎所有重要生态系统类型(郭轲等, 2015; 骆永明, 2016; 李鹏, 2021)。海岸带还是世界上人口高度集中的区域, 近一半人口生活在沿海约200 km范围内, 人口超过1 000万的特大城市中, 75%位于沿海地区(Kuleli, 2015)。作为海陆经济活动相互作用的空间载体, 海岸带地区已成为中国经济活力最为充沛和城市化最快的区域(Bai et al., 2014)。随着城市化的快速发展和人

口的大量聚集, 海岸带资源环境压力日益增大, 面临自然岸线减少、渔业资源减少、湿地功能退化、生物多样性丧失、赤潮和绿潮频发等一系列资源环境问题(洪华生等, 2003; Guvensoy et al., 2016; Won et al., 2017; 张晓浩等, 2021)。为实现海岸带地区的可持续发展, 推进生态文明建设, 中国建立了以陆海评价为基础的“资源环境承载能力监测预警机制”(Liu et al., 2020)。党的十九大提出“坚持陆海统筹, 加快建设海洋强国”, 加快建设海洋强国已成为新时代中国特色社会主义的重要组成部分。2019年1月, 自然资源部国土空间规划局发布

收稿日期: 2022-06-09; 修回日期: 2022-10-18

基金项目: 广东省海洋经济发展(海洋六大产业)专项资金项目(GDNRC〔2020〕051); 广东省省级科技计划项目(2021B1212100003)

作者简介: 刘小丁(1969—), 男, 湖南新化人, 教授级高工, 主要从事测绘地理信息支撑服务自然资源管理等方面的研究, (E-mail) lxd.gdchy@gmail.com;

通信作者: 唐力明(1970—), 男, 湖南宜章人, 教授级高工, 主要从事测绘地理信息支撑服务自然资源管理等方面的研究, (E-mail) 13602809975@139.com。

《资源环境承载能力和国土空间适宜性评价技术指南》(以下简称“双评价”指南),进一步确立了资源环境承载力对国土空间规划的基础支撑地位(王佳韡等,2019)。

承载力是衡量人类社会经济活动与自然环境关系的重要概念(张林波等,2009),最早起源于物理概念,之后被应用于生态学领域,用于反映区域环境条件和物种数量之间的关系(Gabb et al., 1873; Sun et al., 2018)。20世纪60年代以后,在人类对自然环境影响的背景下,承载力概念的范围也逐渐扩展,衍生出人口承载力、生态承载力、环境承载力和资源承载力等概念。而资源环境承载力则是对资源承载力、环境承载力和生态承载力等概念与内涵的集成表达(樊杰等,2015),并将其定义为“在一定时期不同尺度的区域内,在确保资源合理开发利用和生态环境良性循环的条件下,资源环境能承载的人口数量以及相应的经济社会总量的能力”(蒋辉等,2011a)。目前,中国资源环境承载力研究总体处于发展阶段,以概念探讨和定性研究为主(封志明等,2018),部分研究分别从理论基础(蒋辉等,2011b;樊杰等,2015;刘文政等,2017)、指标模型构建方法(王亮等,2019;秦海旭等,2020)、承载力评价方法(徐孝勇等,2015;马赞等,2017;惠甜甜等,2021)及驱动因素(郭轲等,2015;周侃等,2015)等方面开展工作。理论方法方面,王秦等(2020)通过聚焦资源环境承载力基础理论,区域资源环境承载力评价及指标体系构建方法与实证研究,梳理了国内外区域资源环境承载力评价相关研究成果。模型算法方面,宋泽明等(2020)运用DPSIR模型,通过TOPSIS模型和障碍度模型定量分析了沿海省份海洋资源环境承载力及其障碍因素;孙永胜等(2021)综合运用P-S-R模型与障碍度模型等方法,分析评价了吉林省限制开发区域资源环境承载力时空格局特征及阻碍其区域承载力水平提升关键因素及其影响因素;谭琨等(2021)从资源、环境和社会经济等3方面选取31个指标,针对喀斯特山区构建资源环境承载力评价指标体系;封志明等(2021)从系统角度出发,构建了具有平衡态意义的三维四面体资源环境承载力综合评价模型,系统分析了西藏自治区资源环境承载力。

总体上,纵观资源环境承载力的发展历程,过往研究已取得丰富成果,并已成为地区可持续发展的重要依据之一。但相关研究多针对陆域范围,主

要从国家、省域、城市群和流域等尺度开展实证分析,而对海陆交互作用剧烈、人类活动高度聚集、生态要素构成复杂、环境敏感脆弱的海岸带地区关注较低。此外,在技术方面,还需充分利用现代地学技术手段,如遥感、地理信息系统和大数据处理技术等,完善承载力定量评价方法。

广东省是海洋大省,海岸带地区资源丰富、区位优势突出,开展海岸带地区资源环境承载力评价研究是编制国土空间规划、优化国土空间开发保护格局的基础性工作,对促进沿海地区高质量发展和可持续发展具有重要意义。因此,本文结合国土空间规划的需要,从生态保护、农(渔)业生产和城镇建设(开发)3个功能导向出发,从陆域、海域2个方面选取代表性评价指标,构建广东省海岸带地区资源环境承载力评价指标体系,分别从“生态保护-农(渔)业生产-城镇建设”3个功能维度系统认知海岸带地区资源环境承载状态,再通过集成评价对整个海岸带地区资源环境承载力进行综合评价。以期促进海岸带经济社会与资源环境协调发展,对中国积极拓展蓝色海洋发展空间,坚持海洋生态文明有序发展,推进海洋生态环境保护和海洋经济发展提供一定技术支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

广东省海岸带位于中国大陆南端,介于 $20^{\circ}08' - 24^{\circ}14' N$ 、 $109^{\circ}24' - 117^{\circ}31' E$ 之间,海岸线曲折漫长,自东北向西南展布,总长达4 114 km。由于各个国家和地区海岸带的地质地貌特征以及不同研究者对海岸带开发、管理和研究的目的存在差异,目前国内外关于海岸带范围的定义有各种不同的标准。参考国内外海岸带范围的划分方式(叶属峰,2012;孙才志等,2018),将广东省海岸带区域范围分为陆域范围和海域范围(图1、2),其中,陆域范围为广东省沿海县级行政区的行政管辖范围,涉及潮州、汕头、揭阳、汕尾、惠州、深圳、东莞、广州、中山、珠海、江门、阳江、茂名、湛江14地级市的45个县(市、区);海域范围为广东省海洋功能区划范围。海岸带陆域地区地貌以平原为主,平原以珠三角面积最大。在气候方面,属热带和亚热带季风气候(钟蕊等,2021),总的特征是气温高、降水多、冷期短、日照长,灾害性天气主要有台风、暴雨、风暴、冷害和干旱等。根据广东统计年鉴(广东省统计局,2020)可

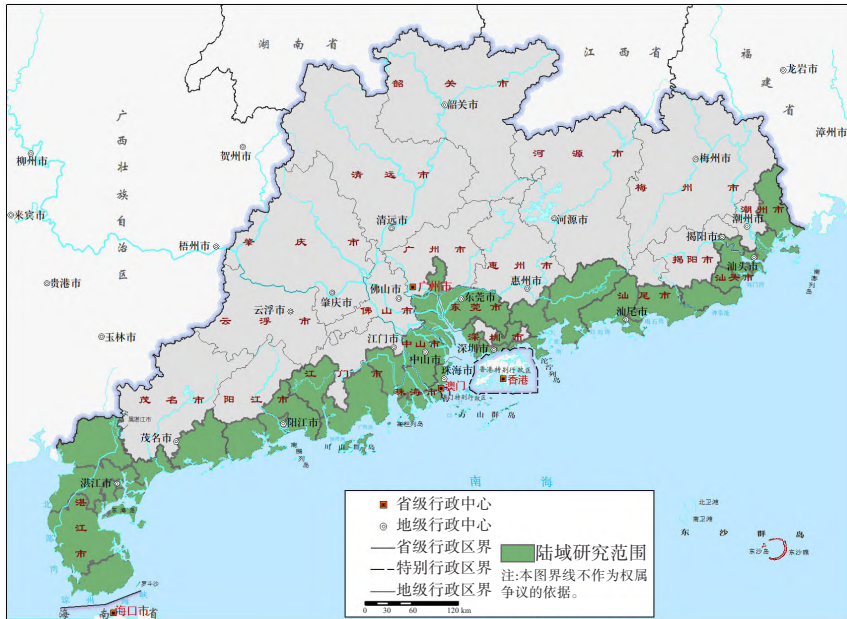


图1 研究区域海岸带陆域范围

Fig.1 Land area of coastal zone in Guangdong Province

注：该图基于广东省标准地图服务网站下载的审图号为粤S（2019）059号的标准地图制作，底图无修改；图2、3、5、6、8、9、11、12、13同。



图2 研究区域海岸带海域范围

Fig.2 Sea area of coastal zone in Guangdong Province

知，在国民经济方面，2019年海岸带地区45个县（市、区）的地区生产总值达58 727.78亿元，人均地区生产总值约10.14万元，其中深圳市南山区地区生产总值最高，为6 103.69亿元。在工、农业方面，2019年海岸带地区45个县（市、区）工业总产值达86 048.86亿元，农业粮食产量达428.87万t。

选取沿海陆域各县区（市、区）和广东省海洋功能区划作为研究范围，其中陆域以20 m×20 m栅格为评价单元，海域以各县（市、区）邻近海域（以沿海县界为分界点，向海域方向延伸法线为界）范围为评价单元。

1.2 数据来源

主要选取2019年相关数据，其中，海岸带地区土地利用/覆盖数据/红树林分布数据来源于资源环境与科学数据中心^①；净初级生产力来源于MODIS数据产品；MOD13Q1数据来源于美国国家航空航天局^②，采用Modis Reprojection Tools对数据进行投影和格式转化（Stow et al., 2007），再通过最大合成法（Holben, 1986）合成年NDVI，最后通过像元二分法（陈效述等，2009）计算得到植被覆盖度；数字高程模型数据，是利用数字表面模型处理后得到（沈黎达等，2019）；土壤数据来源于联合国粮农组织和维也纳国际应用系统研究所构建的世界土壤数据库，中国境内数据由第二次全国土地调查南京土壤所^③提供；气温、降水、蒸发量等气象数据来源于国家气象科学数据中心^④；

① <https://www.resdc.cn/>
 ② <https://www.nasa.gov/>
 ③ <http://www.issas.cas.cn/>
 ④ <http://data.cma.cn/>

积温数据来源于全国温室数据系统^⑤；渔业数据来源于2020年广东统计年鉴；海洋功能区划数据来源于广东省人民政府网^⑥公布的《广东省海洋主体功能区划》图；用海类型数据/海岸带开发利用数据来源于全国地理信息资源目录服务系统^⑦。

1.3 研究方法

1.3.1 功能导向下的陆海资源环境承载力评价指标构建 基于“双评价”指南，以生态保护、农业生产和城镇建设为功能导向，基于多功能、多要素的本底评价和状态评价，遵循科学性、系统性、动态性、可量化、地域性等原则，结合广东省沿海陆域、近岸海域各自本底特征，从海岸带土地资源、生态条件、环境质量、海洋空间资源、海洋生态资源和海洋渔业资源等要素中选取19个评价指标，构建一种功能导向、陆海一体的海岸带资源环境承载力综合评价指标体系（表1）。

1) 生态保护功能 陆域生态保护功能选取生态系统服务功能重要性及生态环境敏感性作为生态资源本底进行探究，从生态系统基底出发，探究其资源所能维持的服务社会发展承托效能；选取生态环境状况指数和生态用地面积指数用以评价当前资源消耗下，对生态环境的压力及损耗度。海域生态保护功能选取海洋生物多样性维护功能探究海洋生态资源基底承托能力，选取生态风险状况指数、典型生境最大受损率及近岸水质情况量化评价当前海洋资源消耗及生态风险。

2) 农(渔)业生产功能 陆域生产功能选取农业生产适宜性作为农业资源本底条件，从土地资源、水资源、光热条件等探究自然资源对农业生产的支撑能力，选取农用地现状利用系数量化评价当前农业生产利用程度；海域生产功能选取海洋牧场资源利用条件作为海洋农渔业生产本底条件，通过对区域初级生产力的研究，探究海洋农渔业资源可利用情况，选取海水产品变化率分析当前对海洋渔业资源的消耗情况。

3) 城镇建设功能 陆域城镇建设功能选取建设开发适宜性量化评价广东省沿海地区土地本底的开发适宜度；选取建设用地现状开发强度作为当前城镇建设开发强度，表征城镇建设状态；海域城镇建设功能则选取岸线适宜开发系数及海域空间适宜

开发利用系数，从本底探究近海海域空间所允许的开发程度；选取岸线现状开发系数、海域开发强度及海岛开发强度量化评价当前海域空间利用状态。

1.3.2 功能导向下的陆海资源环境承载力评价方法 由于“短板效应”与资源环境承载能力概念具有内在一致性，在资源环境承载能力集成评价方法研究中被广泛采用（朱凤武等，2015；张晓霞等，2016；杨正先等，2018）。因此，采用“短板效应”对生态保护、农业生产和城镇建设各单功能导向下的承载状态进行评价。其中，短板效应又称“木桶效应”，强调系统内关键限制因素决定系统的综合能力，由于各要素发展不均衡性和限制性，一旦超载成为系统的“短板”，并导致社会经济系统整体衰退，应提前采取措施避免“短板”的出现，并通过相应修复等措施促进“短板”的增长。

海岸带地区资源环境承载力综合评价则是在生态保护、农业生产和城镇建设各单功能评价结果的基础上，采用赋值法确定超载、临界超载、可载3种类型，并复合陆域和海域评价结果，校验超载类型，最终形成承载类型划分方案。其中：

赋值法过程为：1) 采用专家打分法的方式确定分级赋值表和阈值划分表，即通过咨询专家的方式对赋值和阈值进行确定；2) 基于ArcGIS 10.2对生态保护、农业生产和城镇建设各子系统呈超载状态的区域赋值为0.5，呈临界超载状态的区域赋值为0.25，呈可载区域赋值为0；3) 通过“地图代数”工具对3个子系统的值进行叠加求和；4) 通过“重分类”工具将 ≥ 1 的区域划分为超载， $[0.75, 1)$ 的区域划分为临界超载， < 0.75 的区域划分为可载。

校验超载类型方案参考2016年国家发展改革委等12部委联合印发的《资源环境承载能力监测预警技术方法（试行）》^⑧。

2 结果与分析

2.1 生态保护功能导向下承载状态评价

广东省海岸带地区生态保护功能导向下承载状态评价结果（图3~5）表明，2019年广东省海岸带生态保护功能导向下承载状态整体良好，大部分地

⑤ <http://data.sheshiyuanyi.com/AreaData/>

⑥ http://www.gd.gov.cn/zwgk/gongbao/2008/24/content/post_3362437.html

⑦ <https://www.webmap.cn/>

⑧ https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/gdzt/135ghbz/201609/t20160928_1198957.html

表 1 广东省海岸带资源环境承载力综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of resources and environment carrying capacity of coastal zone in Guangdong Province

| 指标名称 | 计算公式 | 变量解释 | 指标属性 |
|--------------|---|--|------|
| 生态系统服务功能重要性 | [生态系统服务功能重要性]= Max(Q _y , TQ, A) | Q _y 为土地利用类型j中栅格x的生境质量,表征生物多样性保护功能重要性;TQ为总水源涵养量;A为土壤保持量,反映水土保持重要性。 | 本底 |
| 生态环境敏感性 | [水土流失敏感性]= $\sqrt[4]{R \times K \times LS \times C}$ | 生态环境敏感性采用水土流失敏感性进行表征。R为降雨侵蚀力因子;K为土壤可蚀性因子;LS为地形起伏度因子;C为植被覆盖因子。 | 本底 |
| 生态环境状况指数 | EI = 0.35 × BRI + 0.25 × NDVI + 0.15 × WNDI + 0.15 × (100 - LSI) + 0.10 × (100 - PLI) + ERI | EI为生态环境状况指数;BRI为生物丰度指数;NDVI为归一化植被指数;WNDI为水网密度指数;LSI为土地胁迫指数;PLI为污染负荷指数;ERI为环境限制指数。 | 状态 |
| 生态用地面积指数 | EID = E/S | EID为生态用地面积指数;E为区域内生态用地面积;S为区域国土总面积。 | 状态 |
| 海洋生物多样性维护功能 | S _{bio} = NPP _{mean} × F _{pre} × F _{tem} × (1 - F _{alt}) | S _{bio} 为海洋生物多样性维护服务能力指数;NPP _{mean} 为多年植被净初级生产力平均值;F _{pre} 为多年平均降水量;F _{tem} 为多年平均气温;F _{alt} 为海拔因子。 | 本底 |
| 生态风险状况指数 | E ₁₁ = E/10 | 生态风险状况指数采用海洋赤潮年均发生频次进行表征。E ₁₁ 为海洋赤潮年均发生频次;E为近10年区域内海洋赤潮发生频次。 | 状态 |
| 典型生境最大受损率 | P _{mangrove} = 1 - (M _{t+n} /M _t) | 典型生境最大受损率采用红树林受损情况进行表征,P _{mangrove} 为海岸带地区红树林面积减少比例,以此表征典型生境最大受损率;M _{t+n} 为目标年红树林面积;M _t 为基准年红树林面积。 | 状态 |
| 近岸海域水质状况 | E ₃ = Ac/As | E ₃ 为近岸海域水质状况指数;Ac为符合海洋功能区水质要求的面积;As为海域总面积。 | 状态 |
| 农业生产适宜性 | 参考《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价(试行)》农业初级评价 | 由土地资源、水资源、光热条件等组成;土地资源包括土壤条件和坡度评价,水资源通过多年平均降水量评价,光热条件通过年积温反映。 | 本底 |
| 农用地现状利用系数 | DI = C/S | DI为现状利用系数;C为区域现状农业用地面积;S为评价单元国土总面积。 | 状态 |
| 海洋牧场资源利用条件 | [海洋牧场资源利用条件]= f([初级生产力]) | 基于区域内初级生产力监测调查资料,通过空间插值获取。 | 本底 |
| 海水产品变化率 | S = (N ₂ - N ₁)/N ₁ | S为海水产品变化率;N ₁ 为基准年海水产品总量;N ₂ 为截止年海水产品总量。 | 状态 |
| 建设开发适宜性 | E = ∏ _{j=1} ^m F _j × ∑ _{k=1} ⁿ w _k f _k | E为建设开发适宜性得分;F _j 为强限制因子第j个要素的适宜性赋值;w _k 为较强限制因子第k个要素的权重;f _k 为较强限制因子第k个要素的适宜性赋值。 | 本底 |
| 建设用地现状开发强度 | DI = C/S | DI为建设用地现状开发强度;C为区域建设用地面积;S为评价区域土地总面积。 | 状态 |
| 岸线适宜开发系数 | P _{c0} = (∑ _{i=1} ⁸ w _i l _i)/l _总 | P _{c0} 为海岸线开发利用标准,为第i类海洋功能区毗邻海岸线长度;w _i 为第i类海洋功能区允许的海岸线开发程度;l _总 为海岸线总长度。 | 本底 |
| 岸线现状开发系数 | P _A = (l _{mB} × q _B + l _{mT} × q _T + l _{mG} × q _G + l _{mH} × q _H)/l _总 | P _A 为岸线人工化指数;l _总 为海岸线总长度;l _{mB} 、l _{mT} 、l _{mG} 、l _{mH} 分别为围塘堤坝岸线、防护堤坝岸线、工业城镇岸线、港口码头岸线长度;q _B 、q _T 、q _G 、q _H 分别为4种人工海岸类型对海洋资源环境的影响程度赋值。 | 状态 |
| 海域空间适宜开发利用系数 | P _{M0} = (∑ _{i=1} ⁸ h _i a _i)/S | P _{M0} 为海域空间开发利用标准;a _i 为第i类海洋功能区面积;S为省级海洋功能区划的海域总面积;h _i 为第i类海洋功能区允许的海洋开发程度。 | 本底 |
| 海域开发强度 | S ₁ = $\frac{S'}{S} \times \frac{\sum_{i=1}^n S_i \times l_i}{\sum_{i=1}^n h_i \times a_i}$ | S ₁ 为海域现状开发强度系数;S为区域内海域使用总面积;S'为区域内海洋功能区划总面积;S _i 为第i种用海类型的面积;l _i 为第i种用海类型的资源耗用系数;a _i 为第i类海洋功能区面积;h _i 为第i类海洋功能区允许的海洋开发程度。 | 状态 |
| 海岛开发强度 | S ₂₁ = M _A /l _总 S ₂₂ = S _{22C} /S _总 | S ₂₁ 为无居民海岛人工岸线比例;M _A 为无居民海岛人工岸线长度;l _总 为海岛岸线总长度。S ₂₂ 为无居民海岛开发用岛规模指数;S _{22C} 为无居民海岛开发已开发利用面积;S _总 为海岛总面积。 | 状态 |

注：各评价方法及阈值划定方法均参考《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南（试行）》《生态保护红线划定技术指南》《生态环境状况评价技术规范》等，辅以自然间断法进行判定。

区处于临界超载或可载状态。承载状态空间分布格局总体表现出显著的区域差异，东西两翼的承载状态明显要优于中部地区。具体而言：

陆域可载面积占陆域总面积的 60.05%，45 个

县（市、区）中有 26 个可载区域面积占 50% 以上，有 6 个可载区域面积占 70% 以上（图 4），分别是潮州市饶平县、汕尾市海丰县、惠州市惠东县、阳江市阳东区和阳西县、江门市恩平市，相比其他地区，

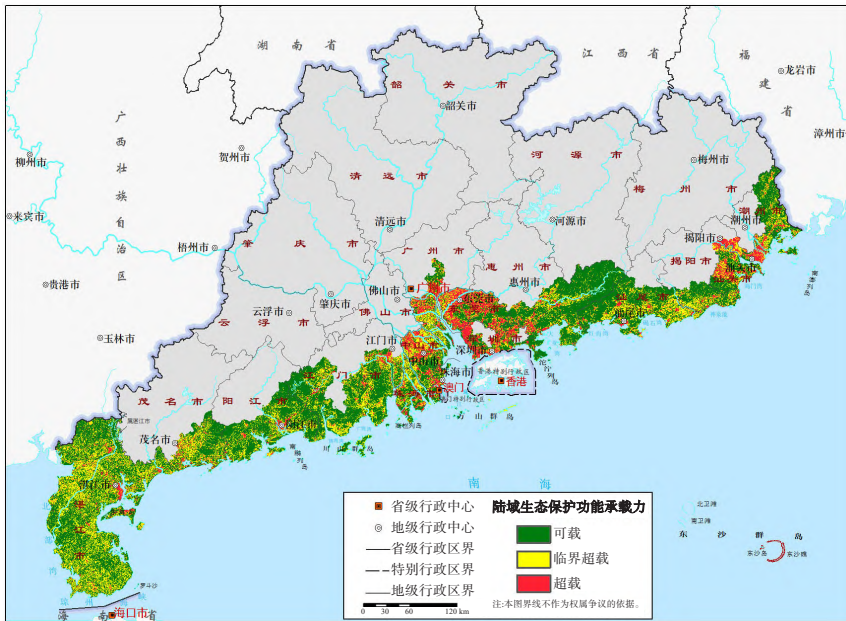


图3 海岸带陆域生态保护承载状态空间分异

Fig.3 Spatial differentiation of ecological protection carrying status in land area of coastal zones

这部分地区对人类活动的作用还有更大的承载空间。陆域临界超载面积占陆域总面积的27.52%，各县（市、区）陆域临界超载面积占比在11.84%~43.59%，大部分县（市、区）所占面积比例主要集中在20%~30%。其中，深圳市南山区、宝安区、盐田区和惠州市惠东县的临界超载面积比例相对较低，而珠海市斗门区、湛江市遂溪县和徐闻县、汕尾陆丰市等地区临界超载面积比例相对较高，其中，湛江市遂溪县所占面积比例最高。

陆域超载面积占陆域总面积的12.43%，主要集中在珠三角地区，该区域的超载面积占陆域总

超载面积的60.52%，其中，东莞市、深圳市南山区、宝安区和福田区较为显著，陆域超载面积占比均在40%以上（图4）。究其原因，珠三角地区是中国开放程度最高和经济活力最强的地区之一，作为中国主要的工业基地之一，仅次于长三角地区的城市密集区。珠三角地区工业化和城市化水平极高，如此快速增长和高强度的人类活动不可避免地会对该地区的生态环境产生较大压力，当人类社会经济活动的最大规模超过生态环境所能维持的阈限时，生态环境便处于超载状态。珠三角海岸带地区应协调好发展和保护的关系，积极探索绿色产业、低碳经济，打造集约节约型产业基地。在规划建设

中应划定一定范围的生态红线，坚持城市的生态底线，防止过度开发。统筹陆地和海洋，以海陆为一体进行整体的保护和生态修复，增强海域交互的生态平衡能力。

海域生态保护承载状态以可载和临界超载为主要特征，其中，呈临界超载状态的县（市、区）最多，在全区44个（其中罗湖区无海域）拥有海域的县（市、区）中，有14个海域承载状态为可载，有26个为临界超载，有4个为超载。其中，临界超载地区主要分布在粤港澳大湾区附属海域以及湛江市的遂溪县、雷州市、麻章区、坡头区及汕头市潮南区、龙湖区等地区，而海域超载地区则分布在江门

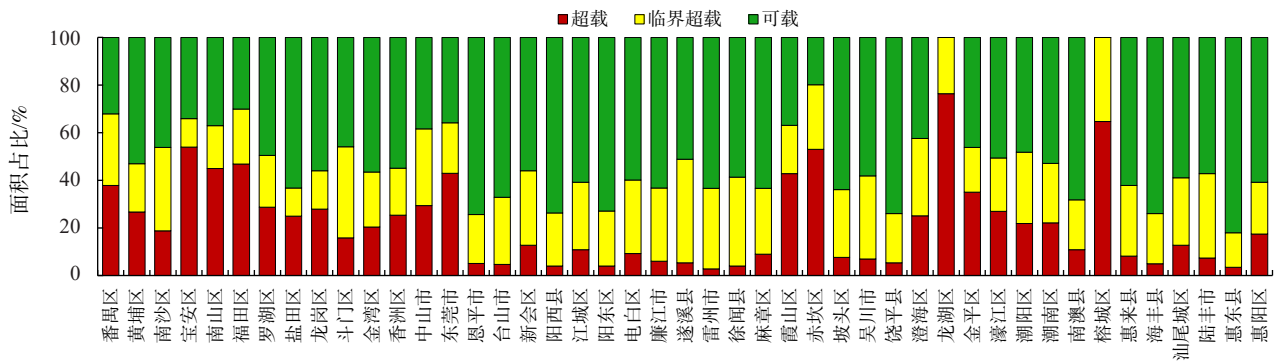


图4 陆域各县（市、区）生态保护不同承载状态所占县域面积比例

Fig.4 The proportion of the area occupied by different carrying states of ecological protection in each county of the land area



图5 海岸带海域生态保护承载状态空间分异
Fig.5 Spatial differentiation of ecological protection carrying status in sea area of coastal zones

恩平市和深圳市龙岗区、盐田区、福田区。承载力结果表明，海域超载区域沿海海域水质普遍较差，这是导致该区域生态保护承载状态呈弱势的主要原因，虽然近年红树林等生态保护地逐步发展，海水侵蚀性得以控制，但赤潮频发，水质状况仍不稳定，生物多样性较低，仍需进一步控制海水污染，稳定沿海水域状态。

2.2 海岸带地区农业生产承载状态评价

广东省海岸带地区农业生产功能导向下承载状态评价结果（图6~8）表明，2019年广东省海岸带农业生产功能导向下承载状态整体良好，大部分地区处于临界超载状态。承载状态空间分布格局总体表现出显著的区域差异，粤西地区的承载状态明显优于中部地区。其中，虽然珠三角地区地势平坦，光热条件极佳，其农业生产承载力呈高可载状态，但受到国土空间规划的影响，并不适合作为农业生产区域。具体而言：

陆域可载地区所占面积占比26.17%，主要分布于湛江市，可载区域呈明显片状分布。在未来国土空间规划中，可考虑将农业生产可载区域作为永久基本农田的优选区域。陆域临界超载地区面积占比相对较低，为49.32%。从县（市、区）尺度上看，绝大部分县（市、区）的临界超载区域面积占比均在50%以内，其中湛江市徐闻县临界超载面积占比

最高，约占82.00%。陆域超载地区面积占比24.51%，主要分布在潮州市饶平县、惠州市惠东县和惠阳区、汕尾市海丰县、深圳市盐田区、江门恩平市。其中，惠州市惠东县超载区域面积最大，超载面积约占57.46%，这与该区域复杂的地形条件联系较为紧密，该区域海拔相对其他区域较高、坡度较陡，对农业生产的承载能力较弱，不适宜开展农业生产活动，容易发生超载。在未来国土空间规划中，退耕还林等工程的实施应优先在该区域开展。

从图8可以看出，海域农业生产承载状态以临界超载为主要特征，有3个县（市、区）为可载，5个为超载，36个为临界超载。海域初级生产力较

为有限的情况下，由于每年对渔业资源的过度捕捞及海域资源利用效率较低，广东省邻近海域的农渔业生产受限，其承载能力趋于紧张。在此情况下，亟需控制渔业资源的捕捞量，防止过度捕捞，避免超出渔业资源的承载范围，过度消耗海洋资源。

2.3 海岸带地区城镇建设承载状态评价

广东省海岸带地区城镇建设承载状态评价结果（图9~11）表明，2019年广东省海岸带地区城镇建设承载状态整体较好，绝大部分地区以可载为主。具体而言：

陆域可载地区面积占比86.93%，分布面积较广，有44个县（市、区）可载区域面积占比均在30%以上，有16个在90%以上，其中，惠州市惠东县土地开发较为集中，除核心城区外，大部分区域为山地丘陵，虽然其承载性高，但考虑生态保护等原因，不建议作为城镇建设用地使用。与生态保护和农业生产功能相比，城镇建设功能可载区域面积分布最广，86.93%的陆域和29个县（市、区）的海域呈可载状态，仅3.01%的陆域以及10个县（市、区）的海域呈超载状态。陆域临界超载地区面积占比10.06%，主要集中在粤港澳大湾区一带，如深圳市福田区、宝安区和南山区，临界超载面积占比均在45%以上，究其原因，深圳市是全国性经济中心城市和国际化城市，城市化发展水平位居全

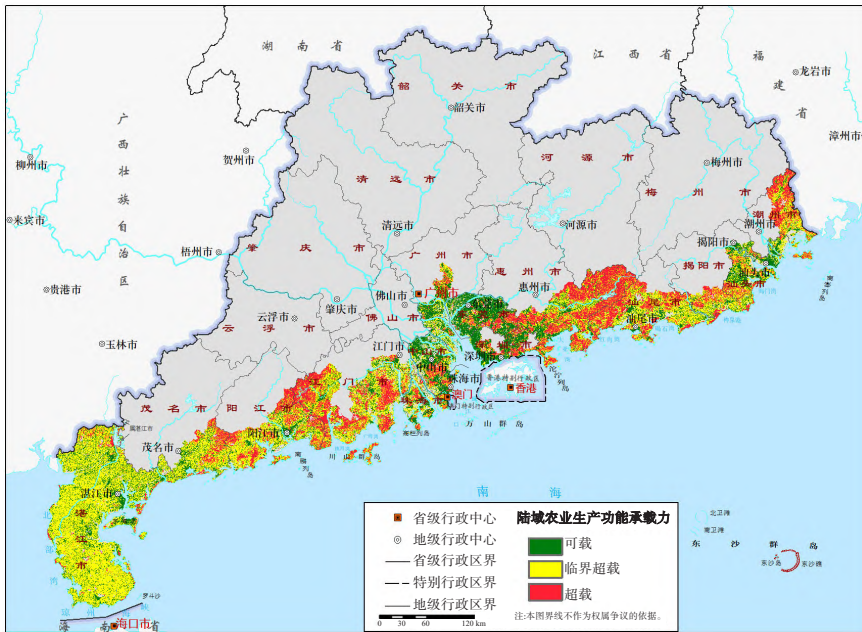


图6 海岸带陆域农业生产功能承载状态空间分异

Fig.6 Spatial differentiation of agricultural production suitability in land area of coastal zones

国前列，城镇开发强度较高，其资源环境承载临载状态明显。

陆域超载地区面积占比3.01%，主要分布在深圳市南山区、龙岗区和珠海市香洲区等地区，在45个县（市、区）中，有32个超载面积占比在5%以内，9个在5%~10%，有4个在10%以上。可以看出，陆域城镇超载状况与广东省经济状况密切相关，珠三角地区作为中国人口集聚度最高、经济最发达、城镇化程度最高的城市群之一，其承载压力也较高。此外，在各大河流入海口，经济发展较高，人口集聚明显，城市建设均呈较为明显的强开

发状态，相对其他区域而言，其区域城镇建设功能承载力已接近饱和，在未来国土空间规划中，城镇的开发应尽可能考虑避开超载地区。

从图11可以看出，海域承载状态以可载为主要特征，有29个县（市、区）呈可载状态，有5个呈临界超载状态，有10个呈超载状态。根据指标评价可知，珠江口区域邻近海域用海类型以港口航运、工业与城镇用海、保留区以及农渔业区为主，当前开发程度较高，可持续空间适宜开发利用系数明显较差，处于不适宜继续开发状态。与珠江口海域现状类似的区域还有湛江湾区和汕头湾区，但其功能区以农渔业区和海洋保护区为主，对海域水质要求极高，而在河流入海口处，城镇发展迅速，海域开发强度逐步增强，各类用水排放量大，即使排放水质受到严格管控，现有的水域环境也已无法承担其海域空间的进一步开发。根据海域现状开发强度评价结果可知，广东省海域现状开发强度总体不高，最高为盐田区，开发强度仅为0.25，合理利用海洋空间进行经济生产活动，对海洋影响较小。广东省是海洋经济大省，而海洋是海岸带经济活动的重要场所，是高质量发展的战略要地。未来在对海域的开发过程中，应优先在空间开发承载状态为可载的范围内划定，利用好海洋资源，推动海洋科

发状态，相对其他区域而言，其区域城镇建设功能承载力已接近饱和，在未来国土空间规划中，城镇的开发应尽可能考虑避开超载地区。

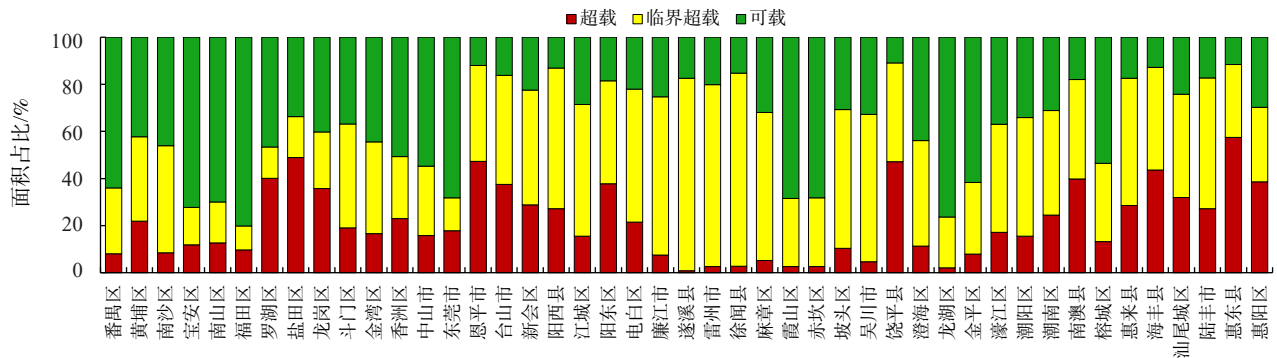


图7 陆域各县（市、区）不同农业生产功能承载状态所占县域面积比

Fig.7 The proportion of the area occupied by different agricultural production suitability in each county of the land area

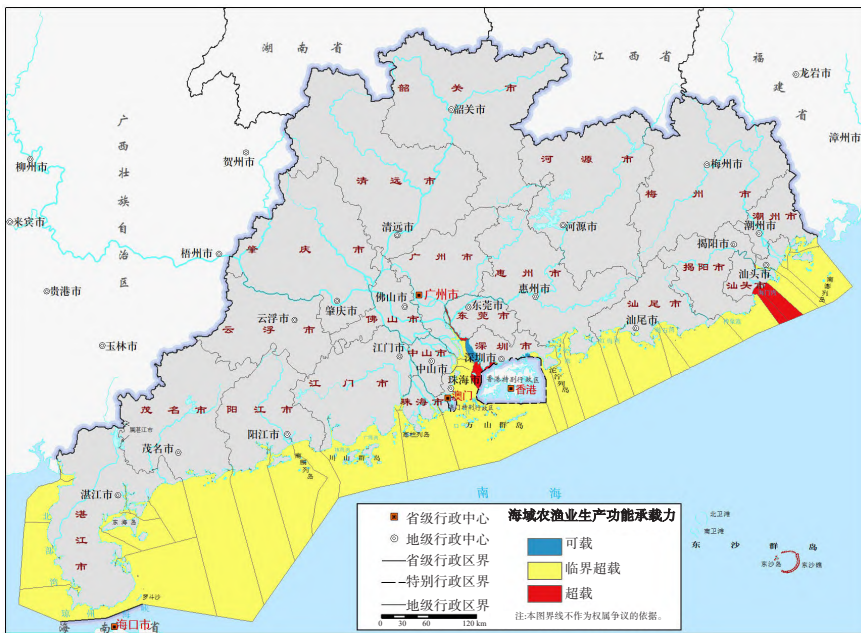


图8 海岸带海域农业生产承载状态空间分异

Fig.8 Spatial differentiation of agricultural production carrying status in sea area of coastal zones

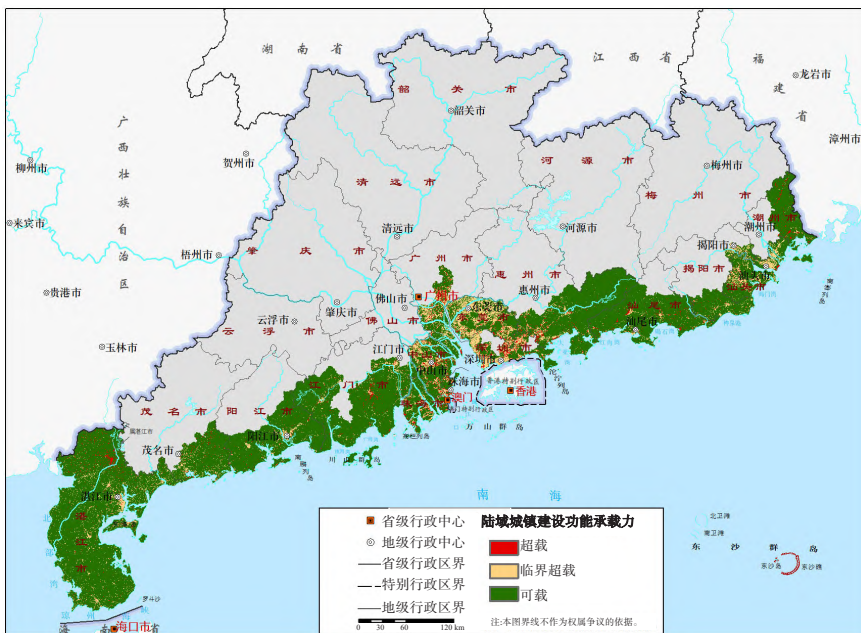


图9 海岸带陆域城镇建设承载状态空间分异

Fig.9 Spatial differentiation of urban construction carrying status in land area coastal zones

资源环境承载状态以可载为主。中部地区和东、西两翼地区资源环境承载状态差异明显，粤港澳大湾区附属海岸带区域，人类社会经济活动规模对资源环境产生的压力较大，相比其他地区，该区域超载和临界超载所占面积较多。

从陆域资源环境承载状态上看，陆域超载、临界超载和可载区域面积占比分别为2.94%、13.12%、83.94%，在县（市、区）尺度上，所有县（市、区）超载区域占比均在15%以内。其中，超载占比最高的3个县（市、区）依次是珠海市香洲区、汕头市龙湖和深圳市龙岗区，超载占比最低的3个县（市、区）依次是湛江雷州市、遂溪县和徐闻县。所有县（市、区）临界超载区域占比在3%~63%，其中，临界超载占比在60%以上的县（市、区）仅有2个，分别是揭阳市榕城区和汕头市龙湖区。所有县（市、区）可载区域占比均在29%以上，其中有12个占比达90%以上，占比最高的是湛江雷州市，达96.43%。从图12可以看出，大部分地区人类社会经济活动规模处在资源环境所能维持的阈限范围之内，资源环境承载状态以可载为主。一方面，广东省自然条件优越，经济发展水平较高，其自然资源本底特征决定了区域资源环境承载能力极高；另一方面，聚焦珠三角，由于经济发展、城市扩张及城市资源利用等因素的影响，该区域生态环境受到较大程度的威胁，人口高度集聚，资源消耗速率增快，土地资源紧张，有限的农业空间被进一步压缩，城镇开发程度极高，区域综合承载压力大；与此同时，在各大河流入海口，城镇化速率远高于其他地区，城镇开发

技术创新，发展海洋高科技产业，集约高效利用海洋，避免过度利用海洋，破坏海洋生态环境。

2.4 海岸带地区资源环境承载力综合评价

从图12、13可以看出，大部分地区人类社会经济活动规模处在资源环境所能维持的阈限范围内，

资源环境承载状态以可载为主。一方面，广东省自然条件优越，经济发展水平较高，其自然资源本底特征决定了区域资源环境承载能力极高；另一方面，聚焦珠三角，由于经济发展、城市扩张及城市资源利用等因素的影响，该区域生态环境受到较大程度的威胁，人口高度集聚，资源消耗速率增快，土地资源紧张，有限的农业空间被进一步压缩，城镇开发程度极高，区域综合承载压力大；与此同时，在各大河流入海口，城镇化速率远高于其他地区，城镇开发

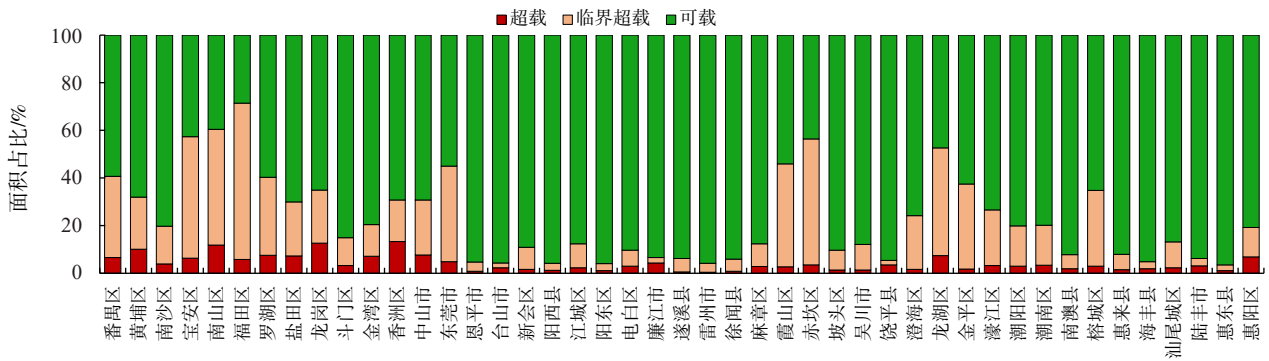


图10 陆域各县(市、区)城镇建设不同承载状态所占面积比例

Fig.10 The proportion of the area occupied by different carrying states of urban construction in each county of the land area



图11 海岸带海域空间开发承载状态空间分异

Fig.11 Spatial differentiation of space development carrying status in sea area coastal zones

市和坡头区、深圳市宝安区和龙岗区、汕头市潮南区和澄海等地,有10个呈超载状态,如广州市黄埔区和番禺区及南沙区、深圳市南山区和盐田区、汕头市龙湖区和金平区等地。广东省海岸带海域资源环境承载能力整体趋势良好,呈中间区域较差,东西两翼较好的特征,在江河入海口区域环境压力较其他区域大,但面积占比小。聚焦珠江口区域,可以发现,该区域海域空间开发强度已接近饱和,岸线开发程度较高,区域经济贡献度大,虽然无居民海岛开发程度较低,但其开发利用方式较为直接,历史遗留问题仍未解决,海岛资源保护意识较为淡薄,重开发轻保护及随意开发等现象突出;

逐步饱和,而高强度人类活动对区域生态、农业产生巨大的压力,故各大河流入海口区域资源环境承载力逐步达到临界状态。总体而言,针对当前资源环境可载区域及临界超载区域,可以进行一定程度的合理开发,因地制宜,进一步促进广东省自然资源高水平保护和高效率利用;对于超载区域则需要进行严格管控,有效改进资源利用模式,提高资源利用效率。

从海域资源环境承载状态上看,大部分县(市、区)以可载为主,全区有26个县(市、区)呈可载状态,有8个呈临界超载状态,如湛江廉江

农渔业等海域水产品产量捕捞量过大,虽然政府试点控制捕捞量在一定程度上限制农渔业的生产,但总量已濒临极限;同样的,快速的经济增长和高强度的人类活动对珠江口的生态环境产生较大压力,人类社会经济活动规模逐步超过生态环境所能维持的阈限,水质无法满足当前功能区需求。这都导致珠江口海域资源环境承载能力超载。整体而言,广东省海域生态环境大部分处于良好状态,农渔业捕捞量能控制在一定范围内,仍有较大的海域开发空间。在保证生态环境稳定的前提下,可以有选择地进行进一步开发利用,优化海洋资源要素市场化配

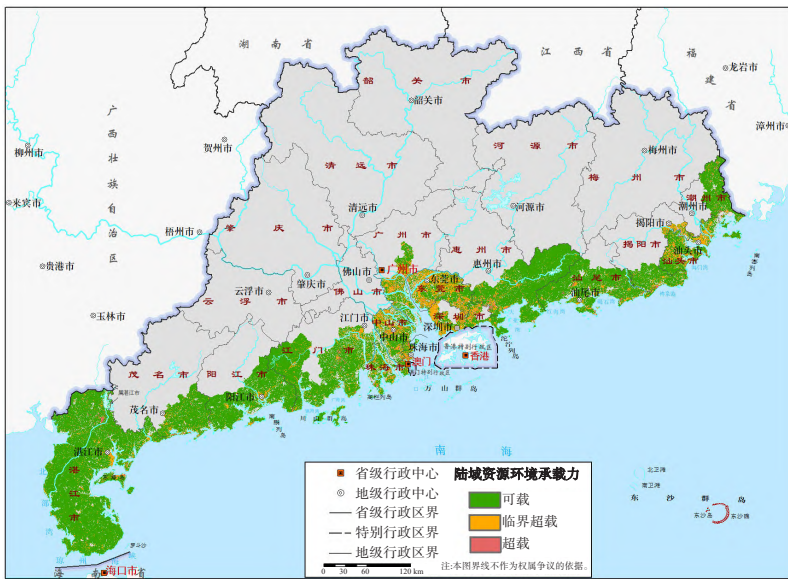


图 12 海岸带陆域资源环境承载力综合评价结果
Fig.12 Comprehensive evaluation results of resource and environment carrying capacity in land area coastal zones



图 13 海岸带海域资源环境承载力综合评价结果
Fig.13 Comprehensive evaluation results of resource and environment carrying capacity in sea area coastal zones

省海岸带地区资源环境承载力评价指标体系。基于评价指标体系，集成整合多尺度空间数据，开展2019年度广东省海岸带资源环境承载能力综合评价，定量揭示其资源环境承载状态，得出以下主要结论：

1) 在陆域方面，生态保护、农业生产和城镇建设功能导向下的陆域承载状态均以可载和临界超载为主要特征，面积占比分别为83.94%和13.12%，其中城镇建设功能导向可载区域面积占比最高，其次是生态保护。而各功能导向下的陆域超载面积占比以农业生产最高，其次是生态保护和城镇建设，其中生态保护超载区域主要分布在珠三角地区，空间上呈东西两翼要优于中部地区的特征，不适宜开展农业生产区域主要分布在潮州市饶平县、惠州市惠东县和惠阳区等地区，而城镇建设超载区域主要分布在深圳市南山区和龙岗区、珠海市香洲区等地区。在海域方面，生态保护和农业生产功能导向下的海域承载状态均以临界超载为主要特征，分别达26个和37个县（市、区），而城镇建设功能导向下的海域承载状态以可载为主要特征，呈可载状态面积占比96.82%左右，而呈临界超载和超载状态面积占比分别为0.84%和2.34%。

2) 综合评价结果显示，2019年广东省海岸带地区资源环境承载状态整体良好，大部分地区人类社会经济活动规模处在资源环境所能容纳的范围，个别地区人类社会经济活动规模超过资源环境所能承受的阈限，主要分布在珠三角地区。在可持续发展模式下，广东省海岸带地区资源环境承载状态仍有较大的发展空间。在保证

资源环境稳定的前提下，可载区域可有选择地进一步开发利用，优化资源要素配置，构建资源高水平保护和高效率利用的新型管理模式。

3.2 讨论

本文从生态保护、农业生产和城镇建设三大核心功能开展评，定量揭示了其资源环境承载状态。

置，构建海洋资源高水平保护和高效率利用的新型管理模式。

3 结论与讨论

3.1 结论

以广东省海岸带地区为研究对象，从生态保护、农业生产和城镇建设功能导向出发，构建广东

依据生态保护承载状态评价结果可知, 超载区域主要分布珠三角地区, 国土空间生态修复和国土综合整治工程的确定和时序安排, 可以优先在超载的地区开展。在未来国土空间的规划过程中, 对于不适宜开展农业生产的区域, 退耕还林等工程的实施可以优先开展; 而对农业生产承载能力潜力较大的区域, 可考虑将其作为永久基本农田的优选区域; 对于城镇建设陆域超载区域, 城镇建设可优先在可载区域开展, 而针对超载区域, 可进行一定程度的城市更新, 进一步优化城市空间配置。此外, 对于临界超载地区, 应加强资源环境承载力监测预警机制的建设, 确保人类社会经济活动与资源环境的良性循环, 预防超载。

在识别不同区域资源环境承载状态空间分异特征的基础上, 可考虑建立海岸带资源环境监测预警长效机制。在超载区域实施严格的区域限批, 临载和可载区域建立生态保护补偿机制和发展全补偿机制, 综合管控和单项指标管控并行, 进一步提升资源环境承载能力的综合监管、动态评估和决策支持, 为国土空间规划提供基础信息。

然而, 本研究也存在一些客观限制及问题: 1) 农业生产功能导向下的陆域承载能力, 多从自然资源本底特征考虑, 与规划用地存在一定差异, 海域承载状态评价本应采用渔业资源综合承载指数, 即通过游泳动物指数和鱼卵仔稚鱼指数加权平均得到, 但因缺乏相关数据, 采用海水产品总量的变化作为评价指标, 评价结果还有待进一步完善。2) 在生态保护、农业生产和城镇建设的单功能评价过程中, 主要采用“短板效应”法, 即采用最小指标因子作为承载力评估值, 其优点是计算强度小, 可操作性高, 但未考虑到各评价指标对区域资源环境承载能力的影响程度。3) 采用赋值法对海岸带地区资源环境承载力进行综合集成评价, 超载、临界超载和可载的赋值以及划分阈值采用专家打分, 该方法充分结合海岸带地区的实际情况, 对赋值和阈值进行多次反复调整后确定, 但依旧会受人为因素的影响, 未来需在进一步提高数据精度的同时, 探寻更加合理的阈值划分方法, 以得出更加精准有效的结果。

当前国内外关于资源环境承载力理论和方法的研究尚不成熟, 还处于争论和探索过程中, 仍有大量尚未解决的问题和争论甚至质疑。关于资源环境承载力的评价方法多样且存在差异, 主要有生态足迹系列研究、人口论系列研究和能值系列研究等,

但这些方法并非针对开放的、区域尺度资源环境承载力评价而提出(牛方曲等, 2018)。此外, 还有综合指数法、比较法等方法, 各类方法对资源环境与社会经济要素相互作用的机理性探索较为薄弱, 在具体政策指导意义上可操作性较弱。因此, 未来关于资源环境承载力评价的理论基础和技术方法还需不断加强研究。

参考文献 (References):

- Bai X M, Shi P J, and Liu Y S. 2014. Society: Realizing China's Urban Dream. *Nature*, 509: 158-160.
- 陈效述, 王恒. 2009. 1982—2003年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化. *地理学报*, 64(1): 84-94. [Chen Xiaoqi, and Wang Heng. 2019. Spatial and Temporal Variations of Vegetation Belts and Vegetation Cover Degrees in Inner Mongolia from 1982 to 2003. *Acta Geographica Sinica*, 64(1): 84-94.]
- 樊杰, 王亚飞, 汤青, 周侃. 2015. 全国资源环境承载力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程. *地理科学*, 35(1): 1-10. [Fan Jie, Wang Yafei, Tang Qing, and Zhou Kan. 2015. Academic Thought and Technical Progress of Monitoring and Early-Warning of the National Resources and Environment Carrying Capacity (V2014). *Scientia Geographica Sinica*, 35(1): 1-10.]
- 封志明, 李鹏. 2018. 承载力概念的源起与发展: 基于资源环境视角的讨论. *自然资源学报*, 33(9): 1475-1489. [Feng Zhiming, and Li Peng. 2018. The Genesis and Evolution of the Concept of Carrying Capacity: A View of Natural Resources and Environment. *Journal of Natural Resources*, 33(9): 1475-1489.]
- 封志明, 游珍, 杨艳昭, 施慧. 2021. 基于三维四面体模型的西藏资源环境承载力综合评价. *地理学报*, 76(3): 645-662. [Feng Zhiming, You Zhen, Yang Yanzhao, and Shi Hui. 2021. Comprehensive Evaluation of Resource and Environment Carrying Capacity of Tibet Based on a Three-Dimensional Tetrahedron Model. *Acta Geographica Sinica*, 76(3): 645-662.]
- Gabb W M. 1873. On the Topography and Geology of Santo Domingo. *Trans. Am. Philos. Soc.*, 15: 49-259.
- 郭轲, 王立群. 2015. 京津冀地区资源环境承载力动态变化及其驱动因子. *应用生态学报*, 26(12): 3818-3826. [Guo Ke, and Wang Liqun. 2015. Change of Resource Environmental Bearing Capacity of Beijing-Tianjin-Hebei Region and Its Driving Factors. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26(12): 3818-3826.]
- Guvensoy L, Alphan. 2016. Detecting Coastal Urbanization and Land Use Change in Southern Turkey. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 24(2): 97-107.
- 广东省统计局. 2020. 广东统计年鉴. 北京: 中国统计出版社. [Guangdong Provincial Bureau of Statistics. 2020. *Guangdong Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press.]
- Holben B N. 1986. Characteristics of Maximum-Value Composite

- Images from Temporal AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417-1434.
- 洪华生, 丁原红, 洪丽玉, 熊小京. 2003. 我国海岸带生态环境问题及其调控对策. *环境污染治理技术与设备*, (1): 89-94. [Hong Huasheng, Ding Yuanhong, Hong Liyu, and Xiong Xiaojing. 2003. Coastal Zone Eco-Environmental Problems and Their Mitigation Countermeasures in China. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, (1): 89-94.]
- 惠甜甜, 刘长星, 王圣杰, 郭一帆. 2021. 基于乘法集成法和模糊综合评价法的矿山地环境综合评价. *能源与环保*, 43(7): 31-37. [Hui Tiantian, Liu Changxing, Wang Shengjie, and Guo Yifan. 2021. Comprehensive Evaluation of Mine Geological Environment Based on Multiplicative Integration Method and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method. *China Energy and Environmental Protection*, 43(7): 31-37.]
- 蒋辉, 罗国云. 2011. 资源环境承载力研究的缘起与发展. *资源开发与市场*, 27(5): 453-456. [Jiang Hui, and Luo Guoyun. 2011. Overview on Research of Resource Environmental Bearing Capacity. *Resource Development and Market*, 27(5): 453-456.]
- 蒋辉, 罗国云. 2011. 可持续发展视角下的资源环境承载力——内涵、特点与功能. *资源开发与市场*, 27(3): 253-256. [Jiang Hui, and Luo Guoyun. 2011. Research of Resource Environmental Bearing Capacity Based on Sustainable Development: Content Characteristics and Functions. *Resource Development and Market*, 27(3): 253-256.]
- Kuleli T. 2015. The Socio-Economic Significance of the Turkish Coastal Environment for Sustainable Development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5): 4477.
- 李鹏. 2021. 海岸带地理环境雷达遥感监测关键问题研究. *测绘学报*, 50(4): 565. [Li Peng. 2021. Key Issues on Coastal Geographical Environment Monitoring with Radar Remote Sensing. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 50(4): 565.]
- 刘文政, 朱瑾. 2017. 资源环境承载力研究进展: 基于地理学综合研究的视角. *中国人口·资源与环境*, 27(6): 75-86. [Liu Wenzheng, and Zhu Jin. 2017. Research Progress of Resources and Environmental Carrying Capacity: From the Perspective of Thecomprehensive Study of Geography. *China Population, Resources and Environment*, 27(6): 75-86.]
- 骆永明. 2016. 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. *中国科学院院刊*, 31(10): 1133-1142. [Luo Yongming. 2016. Sustainability Associated Coastal Eco-Environmental Problems and Coastal Science Development in China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 31(10): 1133-1142.]
- 马赞, 甘泉, 黄勤, 杨渺. 2017. 四川省资源环境承载力监测预警的实践与探索. 北京: 科学出版社. [Ma Yun, Gan Quan, Huang Qin, and Yang Miao. 2017. *Practice and Exploration of Monitoring and Early Warning of Resources and Environment Carrying Capacity in Sichuan Province*. Beijing: Science Press.]
- 牛方曲, 封志明, 刘慧. 2018. 资源环境承载力评价方法回顾与展望. *资源科学*, 40(4): 655-663. [Niu Fangqu, Feng Zhiming, and Liu Hui. 2018. A Review on Evaluating Methods of Regional Resources and Environment Carrying Capacity. *Resources Science*, 40(4): 655-663.]
- 秦海旭, 段学军, 赵海霞, 于忠华, 孙瑞玲, 孟菲. 2020. 南京市资源环境承载力监测预警研究. *长江流域资源与环境*, 29(12): 2727-2736. [Qin Haixu, Duan Xuejun, Zhao Haixia, Yu Zhonghua, Sun Ruiling, and Meng Fei. 2020. Research on Monitoring and Early Warning of Carrying Capacity of Resources and Environment in Nanjing. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 29(12): 2727-2736.]
- Liu Rongjuan, Pu Lijie, Zhu Ming, Huang Sihua, and Yu Jiang. 2020. Coastal Resource-Environmental Carrying Capacity Assessment: A Comprehensive and Trade-Off Analysis of the Case Study in Jiangsu Coastal Zone, Eastern China. *Ocean and Coastal Management*, 186: 105092.
- 沈黎达, 李瑶, 李东臣, 范津津, 胡潭高. 2019. 复杂下垫面城市暴雨内涝汇水区划分方法研究. *水资源与水工程学报*, 30(6): 50-58, 67. [Shen Lida, Li Yao, Li Dongchen, Fan Jinjin, and Hu Tangao. 2019. Study on Dividing Method of Rainstorm Waterlogging Catchment Area in Urban Area with Complex Underlying Surface. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 30(6): 50-58, 67.]
- 宋泽明, 宁凌. 2020. 基于DPSIR-TOPSIS模型的我国沿海省份海洋资源环境承载力评价及障碍因素研究. *生态经济*, 36(8): 154-160, 212. [Song Zeming, and Ning Ling. 2020. Evaluation and Obstacle Factors of Marine Resources and Environment Carrying Capacity of Coastal Provinces and Cities in China Based on DPSIR-TOPSIS Model. *Ecological Economy*, 36(8): 154-160, 212.]
- Stow D, Petersen A, Hope A, Engstrom R, and Coulter L. 2007. Greenness Trends of Arctic Tundra Vegetation in the 1990s: Comparison of Two NDVI Datasets from NOAA AVHRR Systems. *International Journal of Remote Sensing*, 28: 4807-4822.
- Sun T, Feng Z, Yang Y, Lin Y, and Wu Y. 2018. Research on Land Resource Carrying Capacity: Progress and Prospects. *J. Resour. Ecol.*, 9: 331-340.
- 孙才志, 闫晓露, 王泽宇, 曹强. 2018. 辽宁省海岸带资源承载力与环境脆弱性. 北京: 科学出版社. [Sun Caizhi, Yan Xiaolu, Wang Zeyu, and Cao Qiang. 2018. *Resources Carrying Capacity and Environmental Vulnerability of Liaoning Coastal Zone*. Beijing: Science Press.]
- 孙永胜, 佟连军. 2021. 吉林省限制开发区域资源环境承载力综合评价. *自然资源学报*, 36(3): 634-645. [Sun Yongsheng, and Tong Lianjun. 2021. Comprehensive Evaluation of Resource and Environment Carrying Capacity of Limited Development Regions in Jilin Province. *Journal of Natural Resource*, 36(3): 634-645.]
- 谭琨, 严直慧, 赵祖军, 普军伟, 李思楠, 苗培培, 赵筱青.

2021. 基于模糊评价的喀斯特山区文山市资源环境承载力评价. 水土保持研究, 28 (1): 218-227. [Tan Kun, Yan Zhihui, Zhao Zunjun, Pu Junwei, Li Sinan, Miao Peipei, and Zhao Xiaoqing. 2021. Evaluation of Resource and Environmental Carrying Capacity of Wenshan City in Karst Area Based on Fuzzy Mode. *Research of Soil and Water Conservation*, 28(1): 218-227.]
- Won N I, Kim K H, Kang J H, Park S R, Lee H J. 2017. Exploring the Impacts of Anthropogenic Disturbance on Seawater and Sediment Microbial Communities in Korean Coastal Waters Using Metagenomics Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(2): E130.
- 王佳韡, 伍世代, 王强, 曾月娥, 林宝民, 伍博炜. 2019. 南方山地丘陵区资源环境承载力监测预警技术方法探讨——以福建省为例. 地理科学, 39 (5): 847-856. [Wang Jiawei, Wu Shidai, Wang Qiang, Zeng Yue'e, Lin Baomin, and Wu Bowei. 2019. Early-Warning Technical Methods of the Resources and Environment Carrying Capacity in Southern Mountainous Region: A Case Study of Fujian Province. *Scientia Geographica Sinica*, 39(5): 847-856.]
- 王亮, 刘慧. 2019. 基于PS-DR-DP理论模型的区域资源环境承载力综合评价. 地理学报, 74 (2): 340-352. [Wang Liang, and Liu Hui. 2019. The Comprehensive Evaluation of Regional Resources and Environmental Carrying Capacity Based on PS-DR-DP Theoretical Model. *Acta Geographica Sinica*, 74(2): 340-352.]
- 王秦, 李伟. 2020. 区域资源环境承载力评价研究进展及展望. 生态环境学报, 29 (7): 1487-1498. [Wang Qin, and Li Wei. 2020. Research Progress and Prospect of Regional Resources and Environment Carrying Capacity Evaluation. *Ecology and Environmental Sciences*, 29(7): 1487-1498.]
- 徐孝勇, 王艳冲. 2015. 基于状态空间法的重庆市区域环境承载力研究. 重庆师范大学学报(自然科学版), 32 (6): 127-133. [Xu Xiaoyong, and Wang Yanchong. 2015. Research into Chongqing Regional Environmental Carrying Capacity Based on the State-Space Method. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 32(6): 127-133.]
- 杨正先, 索安宁, 张振冬, 苏岫, 卫宝泉. 2018. “短板效应”理论在资源环境承载力评价中的应用及优化研究. 海洋环境科学, 37 (4): 602-607. [Yang Zhengxian, Suo Anning, Zhang Zhendong, Su Xiu, and Wei Baoquan. 2018. Application and Development Countermeasures of “Buckets Effect” in the Assessment of Resources and Environment Carrying Capacity. *Marine Environmental Science*, 37(4): 602-607.]
- 叶属峰. 2012. 长江三角洲海岸带地区综合承载力评估与决策: 理论与实践. 北京: 海洋出版社. [Ye Shufeng. 2012. *Evaluation and Decision Making of the Comprehensive Bearing Capacity of the Yangtze River Delta Coastal Zone: Theory and Practice*. Beijing: China Ocean Press.]
- 张林波, 李文华, 刘孝富, 王维. 2009. 承载力理论的起源、发展与展望. 生态学报, 29 (2): 878-888. [Zhang Linbo, Li Wenhua, Liu Xiaofu, and Wang Wei. 2009. Carrying Capacity: Origin, Development and Prospective. *Acta Ecologica Sinica*, 29 (2): 878-888.]
- 张晓浩, 吴玲玲, 黄华梅. 2021. 广东省海岸线整治修复的成效、问题与对策. 海洋湖沼通报, 43 (4): 140-146. [Zhang Xiaohao, Wu Lingling, and Huang Huamei. 2021. Achievements, Problems and Countermeasures of Coastline Renovation and Restoration in Guangdong Province. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 43(4): 140-146.]
- 张晓霞, 陶平, 程嘉熠, 邵秘华, 朱京海. 2016. 海岛近岸海域资源环境承载力评价及其应用. 环境科学研究, 29 (11): 1725-1734. [Zhang Xiaoxia, Tao Ping, Cheng Jiayi, Shao Mihua, and Zhu Jinghai. 2016. Method and Application of Resource and Environment Carrying Capacity Assessment for Island Offshore Sea Areas. *Research of Environmental Sciences*, 29(11): 1725-1734.]
- 钟蕊, 刘春杉, 陈鑫祥. 2021. 广东省大陆海岸线分形特征及空间分异. 广东海洋大学学报, 41 (4): 70-76. [Zhong Rui, Liu Chunshan, and Chen Xinxiang. 2021. Fractal Characteristics and Spatial Heterogeneity of Continental Coastline in Guangdong Province. *Journal of Guangdong Ocean University*, 41(4): 70-76.]
- 周侃, 樊杰. 2015. 中国欠发达地区资源环境承载力特征与影响因素——以宁夏西海固地区和云南怒江州为例. 地理研究, 34 (1): 39-52. [Zhou Kan, and Fan Jie. 2015. Characteristics and Influence Factors of Resources and Environment Carrying Capacity in Underdeveloped Areas of China. *Geographical Research*, 34(1): 39-52.]
- 朱凤武, 高永年, 鲍桂叶. 2015. 江苏沿海地区土地综合承载力指标预警与短板要素识别. 长江流域资源与环境, 24 (S1): 15-22. [Zhu Fengwu, Gao Yongnian, and Bao Guiye. 2015. Determination of Short Board Factors and Early Warning of Land Comprehensive Carrying Capacity in the Coastal Areas of Jiangsu Province. *Resources Environment in the Yangtze Basin*, 24(S1): 15-22.]

作者贡献声明:

- 刘小丁:** 论文构思, 选题与总体研究思路设计, 论文撰写与修改;
- 唐力明:** 选题与总体研究思路设计, 对论文进行审阅与修改;
- 孙端、李伊黎、许敏端、康昕怡、谭宾、肖红、赵桔超、冯功学、许耿然:** 数据资料收集与处理, 分析解译数据, 参与论文撰写与修改;
- 赵耀龙、陈伟莲:** 选题与总体研究思路设计, 对论文进行审阅与修改。

Comprehensive Evaluation of Resources and Environmental Carrying Capacity in Guangdong Coastal Zone

Liu Xiaoding^{1,3}, Tang Liming^{1,3}, Sun Duan^{1,3}, Li Yili^{1,3}, Xu Minduan^{1,3}, Kang Xinyi^{1,3}, Tan Bin^{1,3}, Xiao Hong⁴, Zhao Juchao^{2,3}, Feng Gongxue^{1,3}, Zhao Yaolong^{2,3}, Chen Weilian⁵, and Xu Gengran^{1,3}

(1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department of Guangdong Province, Guangzhou 510663, China; 2. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; 3. Key Laboratory of Natural Resources Monitoring in Tropical and Subtropical Area of South China, Ministry of Natural Resources, Guangdong Science and Technology Collaborative Innovation Center for Natural Resources, Guangzhou 510663, China; 4. Guangdong Surveying and Mapping Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510663, China; 5. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Guangdong Province is actively building a national marine ecological civilization construction demonstration area, and it is crucial to conduct research and assessment on the resources and environmental carrying capacity of the coastal zones. Under the guidance of the "double evaluation" of the territorial space planning, this study takes the coastal areas of Guangdong Province, namely the 45 coastal counties and the sea areas within the scope of the marine functional areas of Guangdong Province as the research scope. It proceeded from the functional orientation of ecological protection, agricultural production, and urban construction to construct the evaluation index system of the resources and environmental carrying capacity of the coastal zone of Guangdong Province. In 2019, based on the evaluation index system, a comprehensive evaluation of the resources and environmental carrying capacity of the coastal zone of Guangdong Province was performed using integrate and integrate multi-scale spatial data, remote sensing, geographic information system, and other technical means and its resource and environmental carrying status were quantitatively revealed. The results showed that approximately 84% of the land area in the coastal zone and more than 1/2 of the sea areas (cities, districts) have overall good comprehensive bearing status of the resources and environmental carrying capacity, which is mainly characterized by loadability. The scale of human socio-economic activities in most regions is within the range of the resources and environmental carrying capacity; however, in some regions it exceeds the threshold, particularly in regions distributed in the Pearl River Delta. Specifically, under the guidance of the ecological protection function, 60.05% of the land area and 14 counties (cities, districts) of the sea area are in a loadable state, mainly distributed in the east and west wings of the urban agglomeration in the Greater Bay Area of Guangdong, Hong Kong, and Macao. Under the guidance of the agricultural production function, the carrying capacity of land agriculture is relatively severe, mainly critical overload, while the number of counties (cities, districts) that can be carried by sea agricultural production is relatively small. Compared with the functions of ecological protection and agricultural production, the area of the loadable area under the urban construction function is the highest, with 86.93% of the land area and 29 counties (cities, districts) of the sea area in the loadable state, and only 3.01% of the land area and 10 counties (cities, districts) of the sea area in the overloaded state. Guangdong Province is a major province of marine economy. As an important place for economic activities in the coastal zone, the ocean is a strategic place to promote the high-quality development of Guangdong Province. Under the mode of sustainable development, there is still a large scope for the development of resources and environmental carrying capacity in the coastal zone of Guangdong Province. On the premise of ensuring the stability of resources and environment, the loadable area can be further developed and utilized selectively, the allocation of resource elements can be optimized, and a new management mode of high-level protection and efficient utilization of resources can be built. Thus the research results provide a basis for the compilation of territorial space planning and the optimization of territorial space development and protection pattern in Guangdong Province.

Keywords: carrying capacity of resources and environment; ecological protection; agricultural production; urban construction; coastal zone; Guangdong Province