

DOI: 10.5846/stxb202004281024

智尹, 张育庆, 王垚. 自然保护区生态承载力时空分异研究——以大连金石滩为例. 生态学报, 2021, 41(12): 4676-4684.

Zhi Y, Zhang Y Q, Wang Y. Spatio-temporal differentiation of ecological carrying capacity of the protected area: A case study of Jinshitan in Dalian. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(12): 4676-4684.

自然保护区生态承载力时空分异研究 ——以大连金石滩为例

智 尹^{1,2}, 张育庆^{1,2,*}, 王 垚^{1,2}

1 辽宁师范大学 人居环境研究中心, 大连 110629

2 辽宁师范大学 地理科学学院, 大连 110629

摘要: 监测自然保护区生态承载力, 对了解其时空分异规律及可持续发展有着重要意义。金石滩地质遗迹保护区是国家公园和风景名胜区的结合区域, 是生态保护与地区发展间矛盾冲突所在之处, 是多身份自然保护区的典型代表区域。以 1998、2003、2007、2012、2015、2018 年遥感影像和土地利用数据为基础, 选取金石滩这个兼具保护与开发多种功能的自然保护区为研究区域, 从弹性生态支撑系统、资源环境供容系统、社会经济协调系统 3 方面构建指标体系, 运用模糊综合评价模型研究金石滩生态承载力的时空分异规律。结果表明: (1) 在 3 个准则层中, 弹性生态支撑力和资源环境供容力呈现出持续降低的剧烈下降趋势, 社会经济协调力呈现先降后升、之后平稳发展的趋势。(2) 金石滩生态承载力整体来看从强承载力演变为较弱承载力, 1998—2018 年自 0.7572 变为 0.2940, 近 30 年来承载力等级降低。(3) 海陆生态承载力完全不同, 陆地为强、较强承载力, 海岸为弱、较弱承载力, 自北部陆地向南部海岸逐渐减弱呈现极其不平衡的海陆空间分异。通过对金石滩 1998—2018 年生态承载力分析, 能够反映区域的生态承载力变化情况, 可为其他自然保护区的生态承载力评估和可持续发展提供参考。

关键词: 自然保护区; 生态承载力; 模糊综合评价; 生态评估; 金石滩

Spatio-temporal differentiation of ecological carrying capacity of the protected area: A case study of Jinshitan in Dalian

ZHI Yin^{1,2}, ZHANG Yuqing^{1,2,*}, WANG Yao^{1,2}

1 Human Settlements Research Center, Liaoning Normal University, Dalian 110629, China

2 School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 110629, China

Abstract: Monitoring the ecological carrying capacity of nature reserves is of great significance to understand its spatio-temporal differentiation and sustainable development. Jinshitan Geoheritage Reserve is a combination area of national park and scenic spot. It is a place where contradictions and conflicts exist between ecological protection and regional development. It is also a typical representative area of multi-status nature reserves. Based on the remote sensing data and the land use data of 1998, 2003, 2007, 2012, 2015, and 2018, this paper selects Jinshitan, a nature reserve with multiple functions of protection and development, as the research area. An evaluation system of ecological carrying capacity is constructed from three aspects: elastic ecological support, resource and environment capacity, and socio-economic coordination. We evaluate the spatial and temporal difference of the ecological carrying capacity of Jinshitan by using the fuzzy comprehensive evaluation. The results show that: (1) in the three criteria layers, the elastic ecological support force and the capacity of resources and environment show a sharp downward trend, while the social and economic coordination

基金项目: 国家自然科学基金(41901187); 辽宁省教育厅人文社科研究经费项目(WQ2019010)

收稿日期: 2020-04-28; **网络出版日期:** 2021-04-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyuqing@lnnu.edu.cn

force shows a trend of decreasing first, then increasing, and developing steadily. (2) The ecological carrying capacity of Jinshitan has changed from high to low. From 0.7572 to 0.2940 from 1998 to 2018, the carrying capacity level has decreased in recent 30 years. (3) The ecological carrying capacity of sea and land is totally different, the land is high, and the coast is low. The coastal area is gradually weakened from the north land to the south coast, showing extremely unbalanced spatial differentiation of sea and land. Through the analysis of ecological carrying capacity of Jinshitan from 1998 to 2018, it can reflect the changes in the ecological carrying capacity of the region, provide reference for the ecological carrying capacity assessment and sustainable development of other nature reserves.

Key Words: protected area; ecological carrying capacity; fuzzy comprehensive evaluation; ecological assessment; Jinshitan

自 1956 年我国广东省建立了第一个自然保护地——鼎湖山自然保护区,我国自然保护地事业不断完善,初步建立了种类多样的自然保护地体系^[1]。党的十九大进一步提出“中国要加大生态系统保护力度,将生态文明战略地位进一步提高,同时建立以国家公园为主体的自然保护体系”,建立健全自然保护体系成为我国推进生态文明建设的重要任务^[2]。探究在国家生态安全中占据重要地位的自然保护地承载力水平,是检验该地资源环境是否人地关系和谐的有效手段,也是当前自然地理学的热点研究^[3-4]。

我国自然保护地主要包括国家公园、自然保护区和自然公园三类。其中,有许多自然保护地具有多重身份,如金石滩自然保护地:既是国家公园,具有以保护区域生态环境、维护生态系统为主的功能;同时又是风景名胜,起着开发风景资源促进社会经济发展的作用,这种拥有多重身份的自然保护区更需要社会各界去关注^[5-6]。正是因为同时肩负了环境保护和经济发展的使命,该地成为保护与发展矛盾冲突的区域,是自然与人类社会交错影响的复合系统。在快速城市化的今天,多身份自然保护地受人类活动影响强烈,过度开发当地资源、破坏当地生态环境、超负荷运行基础设施等诸多不合理的人类活动均导致该区域环境质量下降,体现了现阶段众多自然保护地重开发而轻保护的特点^[7-9]。自然保护地可持续发展平衡被打破,开发强度大于保护强度,成为威胁区域生态安全格局的一个主要问题。

生态承载力是一个集生态系统-资源环境-社会经济的复杂系统,其内涵体现在三大子系统的 3 种能力,即弹性生态子系统的支撑能力、资源环境子系统的供容能力和社会经济子系统的协调能力^[10-12]。生态承载力是衡量区域生态与社会经济可持续发展的关键,其评估为协调一个区域的保护与发展关系提供重要依据。现有生态承载力研究内容不断丰富,研究对象主要是国家、省际、区域、城市、流域、山地、特殊地理环境地带等不同尺度的区域^[13-17],但李苗苗等^[18]研究统计截止 2018 年 12 月 31 日以辽宁省自然保护地为研究对象的不足十篇。生态承载力研究方法具有多样性,但均有其各自的局限性:Rees 等^[19-20]致力将生态足迹法应用于生态承载力研究,但其适用范围一般在国家或国际间;毛汉英等^[21]运用状态空间法计算环渤海区域承载力,其方法在一定时间尺度的区域内均适用,但易忽略人的主观能动作用^[22];模糊综合评价模型^[23-24]适于直观反映指标权重与指标值间的相互关系,可按各自研究对象特点进行定量分析,比较适合本文微尺度的金石滩地质遗迹保护区。在生态承载力指标构建方面,因生态系统是一个集生态、经济、社会的复杂系统,目前学者选取的指标主要涉及资源、环境、社会、经济发展等方面,鲜有学者将各个方面的指标融合考虑,还未形成普适的指标体系^[25-28]。

综上所述,目前关于生态承载力的研究,缺乏乡镇一级等小尺度区域研究;缺乏以兼具保护与发展功能的自然保护地类型为研究对象;缺乏结合遥感解译、社会经济等多源数据开展定量研究。本文的研究对象是具有多类型自然保护地身份的金石滩,在遥感影像和土地利用数据的基础上,从弹性生态支撑系统、资源环境供容系统、社会经济协调系统 3 方面构建指标体系,对金石滩 1998—2018 年的生态承载力进行核算,评估该区域发展是否在其可承载范围内,判定其可持续发展程度,为协调金石滩多类型自然保护地的保护与发展提供参考。

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域

金石滩地处大连市金普新区东部沿海,该区属暖温带季风气候,冬暖夏凉,气候宜人,辖葡萄沟村、河嘴子村、龙山村、满家滩村、什字街村、陈家村、庙上村 7 个行政村。早在 1986 年政府批准建立县级自然保护区,1987 年晋升为地质遗迹市级自然保护区,1988 年金石滩被确定为国家级风景名胜区,2005 年被评为国家地质公园。金石滩地质景观独特,珍奇地貌众多,成立地质遗迹保护区,起到景观资源的保存与保护功能;同时风景优美,景点众多,旅游业发达,促进该区域社会经济发展。金石滩是国家公园和风景名胜区的结合区域,是生态保护与地区发展之间矛盾冲突的区域,因此将金石滩作为多类型自然保护地案例研究具有一定典型性(图 1)。

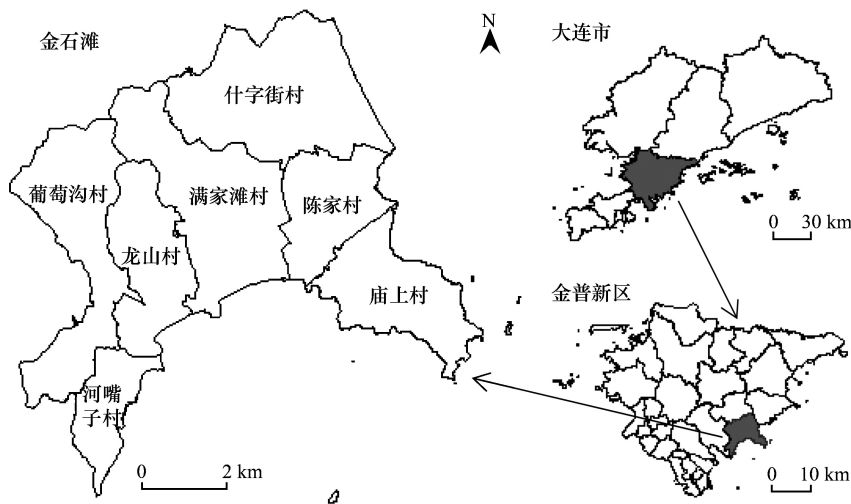


图 1 研究区域位置图
Fig.1 The location of the study area

1.2 数据来源

本文以 1998、2003、2007、2012、2015、2018 年遥感解译的土地利用数据为基础(图 2),并结合《金普年鉴》、《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》各生态环境、社会经济统计数据(表 1)。土地利用类型根据本文指标体系计算所需的土地类型分为:耕地、园地、林地、草地、水域及水利设施用地、建设用地和未利用土地(图 2)。

表 1 数据来源与类别
Table 1 Data sources and types

类别 Types	来源 Sources	年份 Years	处理 Processing
土地利用数据 Land use data	地理空间数据云	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	Landsat 系列影像遥感 解译分辨率: 30 m
气候条件 Climate condition	《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》、《金普年鉴》	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	统计计算
空气质量条件 Air quality condition	《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》、《金普年鉴》	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	统计计算
水质条件 Water quality condition	《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》、《金普年鉴》	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	统计计算
人口数据 Population data	《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》、《金普年鉴》	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	统计计算
经济数据 Economic data	《大连经济技术开发区 大连出口加工区 大连金石滩国家旅游度假区年鉴》、《金普年鉴》	1998、2003、2007、 2012、2015、2018	统计计算

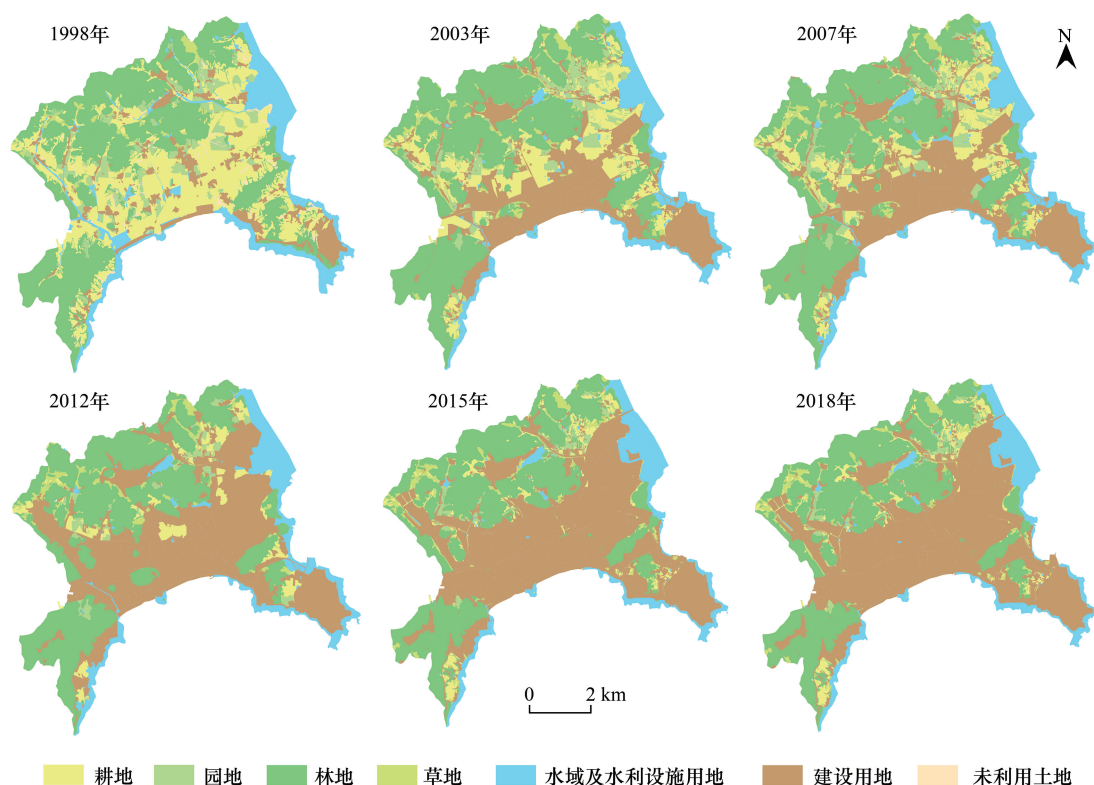


图2 土地利用类型

Fig.2 Land use types

1.3 研究方法

1.3.1 指标构建

具备多重自然保护地身份的金石滩在剧烈频繁的人类活动和复杂多变的环境因子影响下,成为地质遗迹保护和国家级风景名胜二合一的区域,故选取指标需反映该地生态系统承载能力。在熊建新等^[29]、苏飞等^[30]、裴鹰等^[31]研究的基础上,本文从弹性生态支撑力、资源环境供容力和社会经济协调力3个方面构建指标体系:弹性生态支撑力用以表征金石滩自然保护地生态系统的自我维持与修复能力,能从根本上反映生态系统内各自然要素的支持状况,从生境质量指数等5个方面构建指标层;资源环境供容力反映区域内资源环境利用现状,从空气质量达标率等5个方面构建指标层;社会经济协调力反映金石滩社会经济发展的协调程度,从游客人次等5个方面构建指标。依据科学性的指标体系构建原则,参考《生态环境状况评价技术规范(发布稿)(HJ192—2015)》中“6.3 自然保护区生态保护状况评价指标及计算方法”以及前人研究文献^[32-35],同时结合金石滩自然保护地自身特征。因金石滩是地质遗迹保护区类型,而非野生动物保护区类型,去除外来物种入侵度干扰、添加游客人次干扰,综合考虑筛选出15项能反映区域生态系统特征、内涵丰富且便于测度的指标(表2)。

评价指标体系中,生境质量指数、植被覆盖指数、水域面积占比、空气质量达标率、水质达标率的计算均参考《生态环境状况评价技术规范(发布稿)(HJ192—2015)》,其他指标依据其概念和统计方法计算获得,指标的正负性质参考何念鹏等^[36]、周宏浩等^[37]的研究。

1.3.2 数据处理与权重

指标数据标准化:各项指标数据的计量方式不统一,因此应对原始数据进行标准化处理。本文采用极差正规化法对原始数据进行标准化处理,消除数据间的量纲影响^[38-39]。公式如下:

$$\text{正向指标: } X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \lambda_{\min}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{负向指标: } X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \lambda_{\max}}{\lambda_{\min} - \lambda_{\max}} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$$

式中: X_{ij} 为指标原始数据, $\lambda_{\min}$ 为指标原始数据最小值, $\lambda_{\max}$ 为指标原始数据最大值, X'_{ij} 为标准化后的指标值。

表 2 金石滩生态承载力评价指标体系

Table 2 The evaluation index system of ecological carrying capacity in Jinshitan

目标层 Target layer	准则层 Criteria layer	权重 Weight	指标层 Indicator layer	权重 Weight	指标含义 Indicator meaning	指标性质 Indicator quality
生态承载力 (A_1) Ecological carrying capacity	弹性生态支撑力 (B_1)	0.3225	生境质量指数 (C_1)	0.0625	生态环境质量	(+)
			植被覆盖指数 (C_2)	0.0703	植被覆盖程度	(+)
			年降水量/年蒸发量 (C_3)	0.0645	湿润程度	(+)
			水域面积占比 (C_4)	0.0658	水域条件	(+)
			高程 (C_5)	0.0594	地形条件	(—)
	资源环境供容力 (B_2)	0.3411	空气质量达标率 (C_6)	0.0661	空气质量	(+)
			水质达标率 (C_7)	0.0632	水体质量	(+)
			人均耕地面积 (C_8)	0.0721	耕地资源	(+)
			人均林地面积 (C_9)	0.0668	林地资源	(+)
			人均建设用地面积 (C_{10})	0.0729	建设用地压力	(—)
	社会经济协调力 (B_3)	0.3364	游客人次 (C_{11})	0.0675	游客压力	(—)
			人口密度 (C_{12})	0.0659	人口压力	(—)
			人均 GDP (C_{13})	0.0673	居民生活水平	(+)
			环境保护投入占比 (C_{14})	0.0686	环境保护投入	(+)
			社会保障投入占比 (C_{15})	0.0671	社会保障投入	(+)

“(+)”代表正向指标;“(—)”代表负向指标

指标权重处理:权重确定方法主要分为主观赋权法和客观赋权法两类,两种方法各有优劣。在吸纳前人经验的同时,结合数据本身的属性,本文通过层次分析法^[40]与熵值法^[41]分别计算指标权重,尽量避免其缺点,充分发挥其优势,计算其组合权重,采用主客观组合赋权的方法。

1.3.3 评价模型

本文主旨在于直观反映指标权重与指标值的相互关系,将指标体系与模糊综合评价模型相结合,对金石滩自然保护区生态承载力进行评估^[42]。具体公式如下:

$$RECC_b = \sum_{i=1}^m (\omega_i \times C_{ij}) \quad (1)$$

$$RECC = \sum_{b=1}^n (\omega_b \times RECC_b) \quad (2)$$

式中, $RECC_b$ 代表各目标层指标值, ω_i 代表指标权重, C_{ij} 代表指标标准化后的值。RECC 代表生态承载力, ω_b 代表目标层的权重值。

1.3.4 生态承载力等级划分

生态承载力等级划分参考前人研究成果^[43-44],并根据本研究区域实际情况,将生态承载力评价结果取值范围[0,1]分为4个等级(表3),对生态承载力评估结果进行等级划分。

2 结果分析

2.1 生态承载力时间分异

由图3得出,①金石滩在近30年来生态环境遭受严重破坏,弹性生态支撑力一直在降低,生态系统自我修复能力大大减弱,弹性生态支撑力在1998年到2003年的时间里下降最为明显,从0.2631下降至0.1221,区

域开发起步阶段对生态的弹性恢复能力损害最为严重;2015—2018 年时段,弹性生态支撑力下降速度缓慢,生态系统整体情况上看有一定的恢复效果。②金石滩在开发利用当地资源飞速发展旅游业的同时,该地资源环境也在承担与之对应的负面后果,资源环境供容力从 2007 年的 0.1935 飞速下降至 2012 年 0.0992。③社会、经济和人口是衡量一个地区是否和谐发展的指标,此三要素共同决定社会经济协调力。金石滩社会经济协调力呈现先降后升、之后平稳态势且整体波动变化小。其中,自 2003 年以来社会经济协调力从 0.1291 平稳增长至 0.1705,表明社会各界对保护生态的重视行动有一定的作用。

表 3 金石滩生态承载力评价分级标准

Table 3 Evaluation classification standards of ecological carrying capacity in Jinshitan

标准 Standards	弱承载力 Low level	较弱承载力 Lower level	较强承载力 Higher level	强承载力 High level
生态承载力 Ecological carrying capacity	[0,0.25]	(0.25,0.5]	(0.5,0.75]	(0.75,1]

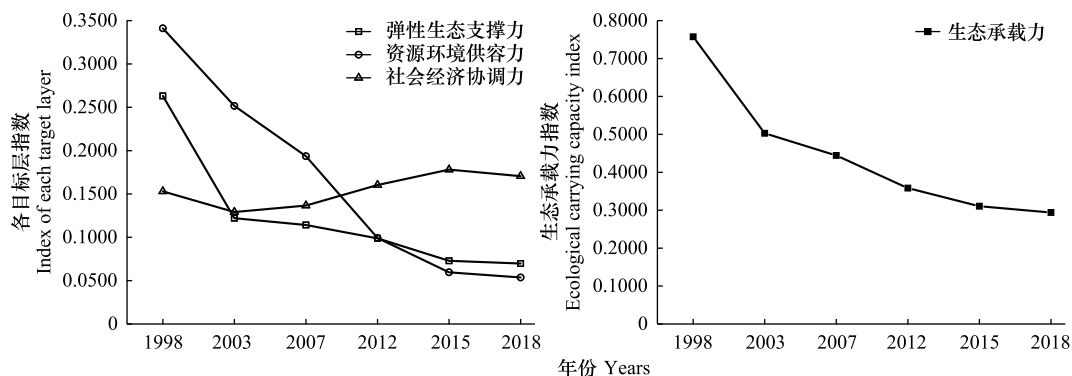


图 3 金石滩生态承载力变化

Fig.3 The change trend of ecological carrying capacity in Jinshitan

根据模糊综合评价模型对 1998—2018 年金石滩生态承载力水平进行测算。由图 3 可知,金石滩自然保护区生态承载力从 1998 年的 0.7572 降至 2018 年的 0.2940,呈现出“强承载水平-较强承载水平-较弱承载水平”态势,该区生态系统发生紊乱,环境质量快速降低,生态承载能力持续减弱。伴随城镇化发展,建设用地急剧增长导致大量耕地、林地等自然资源被占用,以及旅游业的快速发展对当地环境带来的冲击是导致生态承载力持续走低的主因。2012—2018 年生态承载力下降幅度变缓,由 0.3582 降至 0.2940,主要得益于社会经济协调力,社会各界对保护生态做出的贡献小有成效。整体来看,金石滩生态承载力变化的决定性因素是弹性生态支撑力与资源环境供容力,其与生态承载力发展趋势一致,而社会经济协调力先减后增,是生态承载力的调节性因素。

2.2 生态承载力空间分异

在土地利用数据基础上,根据实际情况结合统计数据和指标权重,利用 ArcGIS 软件得到金石滩生态承载力等级分布(图 4)。从近 30 年总体来看,金石滩承载力自北部内陆向南部海岸逐渐减弱,内陆与海岸生态承载力情况完全不同,呈现出极不平衡的空间分异,伴随来的是弱承载范围迅速激增和强承载范围快速缩减:1998 年,金石滩生态承载力以强承载水平为主,沿海的河嘴子村、庙上村和满家滩村开始出现较强承载水平分布区域;到 2003 年,弱承载范围开始连区成片,该区承载力等级显著降低,主要表现为强承载向较强承载演变。具体来看,河嘴子村和龙山村的沿海区域表现出较弱承载水平,满家滩村和庙上村的沿海区域表现出弱承载水平。1998 年后为加强金石滩与大连市市区联系从而吸引游客促进当地旅游发展,开始修建轻轨快车道并于 2002 年建成,轻轨快车的占地修建与之伴随的建设用地快速扩张是此阶段金石滩生态承载力变化剧烈

的主要原因。

金石滩生态承载力空间分异在 2003—2012 年表现明显,金石滩地区的北部和陈家村与庙上村交界之处表现出强承载力,且强承载范围一直在加速缩小,主要原因是该地区植被覆盖较高,林地、草地资源丰富;较弱承载范围自南部海岸一路扩张至北部,弱承载力则牢牢占据金石滩南部中心位置,尤其是满家滩村和庙上村南部。弱承载范围扩张趋势与建设用地一致,说明人类开发活动对当地生态环境资源造成很大干扰。2015—2018 年,金石滩生态承载力以弱承载水平为主,等级下降速度减缓,且空间分异趋于稳定。主要原因为:该阶段已是经济开发的成熟阶段,建设用地占据了金石滩中部与南部绝大多数地区,森林、草地资源分布范围很小,生态承载力等级分布已稳定。

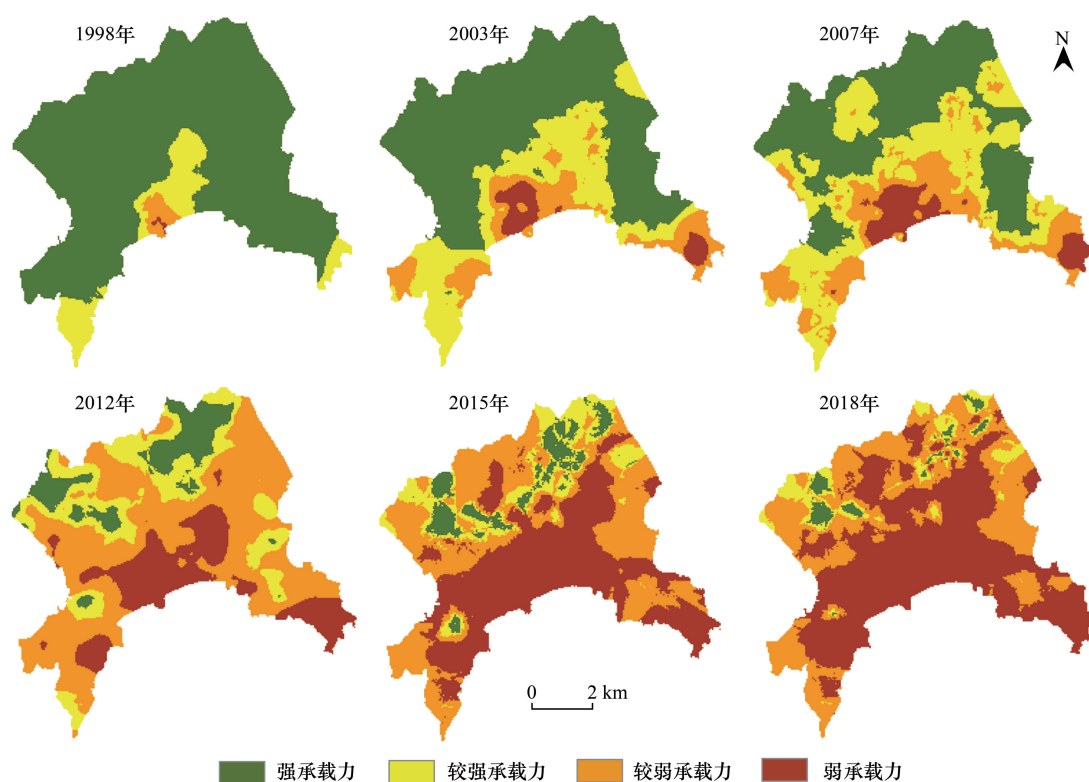


图4 金石滩生态承载力等级分布

Fig.4 Ecological carrying capacity level distribution of Jinshitan

3 结论与讨论

3.1 结论

本文从弹性生态支撑系统、资源环境供容系统、社会经济协调系统 3 方面构建指标体系,运用模糊综合评价模型,对金石滩多身份自然保护地生态承载力的时空分异进行评估,以期监测自然保护地生态环境变化,促进自然保护地可持续利用与发展,望能为其他自然保护地的生态承载力评估及发展的科学决策提供参考。结论如下:

(1)从金石滩自然保护地生态承载力总体来看,1998—2018 年间金石滩生态承载力表现出先快后慢的下降趋势,先后经历“强承载水平—较强承载水平—较弱承载水平”三个阶段。

(2)从金石滩生态承载力准则层评估来看,弹性生态支撑力和资源环境供容力呈现持续降低的剧烈下降趋势,社会经济协调力呈现先降后升、之后平稳发展的趋势。其中,弹性生态支撑力和资源环境供容力与生态承载力变化趋势一致,是生态承载力变化的基础。

(3) 金石滩生态承载力呈现极其不平衡的海陆空间分异, 陆地为强、较强承载力, 海岸为弱、较弱承载力, 自北部陆地向南部海岸逐渐减弱。海陆生态承载力水平完全不同, 与之伴随的是弱承载范围迅速激增和强承载范围快速缩减。

3.2 讨论

本文以多身份自然保护地为研究对象, 探讨具有多种类型、多种功能自然保护地生态承载力的评估方法, 反映该区域生态承载力变化情况及可承载能力, 以期为促进多类型自然保护地的可持续发展服务。在目前关于生态承载力的研究中, 不同的生态承载力研究方法各有侧重, 结果也会不同。但在长时序范围内, 研究得到的生态承载力时空分异特征具有一定的科学性和准确性, 能够反映区域的生态承载力变化情况。由于本文指标体系构建是专门针对金石滩地质遗迹保护区, 可能对野生动物保护区提供的参考意义不大, 不过给同类型自然保护地研究提供了新思路。

金石滩自然保护地在近 20 年的发展中, 强烈的人类开发活动是生态承载力持续走低的主因, 对资源和环境加大保护力度是金石滩可持续发展的重点, 处于生态承载力等级弱、较弱的南部沿海地区更是应将环境、经济与社会的可持续发展作为今后发展的方向。未来研究可将生态承载力时空分异的影响机制作为重点, 定量研究其影响因素, 因地制宜提出改善措施。

参考文献 (References):

- [1] 侯鹏, 杨旻, 翟俊, 刘晓曼, 万华伟, 李静, 蔡明勇, 刘慧明. 论自然保护地与国家生态安全格局构建. 地理研究, 2017, 36(3): 420-428.
- [2] 张文彬, 胡健, 马艺鸣. 支撑力和压力脱钩视角下中国生态承载力评价. 经济地理, 2020, 40(2): 181-188.
- [3] Jaung W, Carrasco L R. Travel cost analysis of an urban protected area and parks in Singapore: a mobile phone data application. Journal of Environmental Management, 2020, 261: 110238.
- [4] 吕一河, 傅微, 李婷, 刘源鑫. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望. 地理科学进展, 2018, 37(1): 130-138.
- [5] 杨俊, 裴颖, 席建超, 葛全胜, 李雪铭. 基于 BDI 决策的 MAS-CA 模型黄淮海滨城镇格局模拟研究——以大连金石滩为例. 地理科学, 2016, 36(3): 410-416.
- [6] Yang J, Sun J, Zhao H D, Xi J C, Li X M. Spatio-temporal differentiation of residential land for coastal town: a case study of Dalian Jinshitan. Chinese Geographical Science, 2016, 26(4): 566-576.
- [7] Kauano É E, Silva J M C, Diniz Filho J A F, Michalski F. Do protected areas hamper economic development of the Amazon region? An analysis of the relationship between protected areas and the economic growth of Brazilian Amazon municipalities. Land Use Policy, 2020, 92: 104473.
- [8] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 杨绪红, 曹帅, 徐翠兰, 隋雪燕, 刘敏, 周寅康. 江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究. 地理科学, 2019, 39(5): 817-826.
- [9] 杨屹, 樊明东. 中国丝绸之路经济带沿线省份生态足迹时空差异及公平性分析. 生态学报, 2019, 39(14): 5040-5050.
- [10] 金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 张萌, 张红玉. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例. 生态学报, 2015, 35(14): 4852-4859.
- [11] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 邓素婷, 谢雪梅. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异. 地理科学, 2014, 34(9): 1108-1116.
- [12] 纪学朋, 白永平, 杜海波, 王军邦, 周亮. 甘肃省生态承载力空间定量评价及耦合协调性. 生态学报, 2017, 37(17): 5861-5870.
- [13] Zhen L, Xu Z R, Zhao Y, Wang J J, Hu Y F, Wang J L. Ecological carrying capacity and green development in the “belt and road” initiative region. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(6): 569-573.
- [14] Jin M M, Xu Z R. Characteristics of agricultural and livestock products trade flows between China and the “belt and road” initiative region: from the perspective of biocapacity. Journal of Resources and Ecology, 2019, 10(6): 584-597.
- [15] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 万义良, 宋雄伟. 洞庭湖区土地生态系统的的服务价值时空变化. 地理研究, 2019, 38(4): 844-855.
- [16] Chi Y, Zhang Z W, Wang J, Xie Z L, Gao J H. Island protected area zoning based on ecological importance and tenacity. Ecological Indicators, 2020, 112: 106139.
- [17] 牛方曲, 封志明, 刘慧. 资源环境承载力综合评价方法在西藏产业结构调整中的应用. 地理学报, 2019, 74(8): 1563-1575.
- [18] 李苗苗, 夏万才, 王猛, 栾晓峰. 基于文献计量的中国自然保护地监测研究. 生态学报, 2020, 40(6): 2158-2165.
- [19] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. Environment and Urbanization, 2016, 4(2): 121-130.
- [20] Rees W E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. Population and Environment, 1996, 17(3): 195-215.
- [21] 毛汉英, 余丹林. 环渤海地区区域承载力研究. 地理学报, 2001, 56(3): 363-371.

- [22] 赵东升, 郭彩霞, 郑度, 刘磊, 吴绍洪. 生态承载力研究进展. 生态学报, 2019, 39(2): 399-410.
- [23] 陆志强, 李吉鹏, 章耕耘, 马丽. 基于可变模糊评价模型的东山湾生态系统健康评价. 生态学报, 2015, 35(14): 4907-4919.
- [24] 肖光进, 刘建秋. 多因素决策的模糊评价模型. 统计与决策, 2007, (9): 12-14.
- [25] 张学渊, 魏伟, 颜斌斌, 郭泽呈, 周俊菊. 西北干旱区生态承载力监测及安全格局构建. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2389-2402.
- [26] 沈威, 鲁丰先, 秦耀辰, 谢志祥, 李阳. 长江中游城市群城市生态承载力时空格局及其影响因素. 生态学报, 2019, 39(11): 3937-3951.
- [27] Yang J, Guan Y Y, Xia J H, Jin C, Li X M. Spatiotemporal variation characteristics of green space ecosystem service value at urban fringes: a case study on Ganjingzi District in Dalian, China. Science of the Total Environment, 2018, 639: 1453-1461.
- [28] 张盛, 王铁宇, 张红, 李奇锋, 周云桥, 宋帅. 多元驱动下水生态承载力评价方法与应用——以京津冀地区为例. 生态学报, 2017, 37(12): 4159-4168.
- [29] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 游雪姣. 洞庭湖区生态承载力时空动态模拟. 经济地理, 2016, 36(4): 164-172.
- [30] 苏飞, 莫潇杭, 童磊, 郑珂, 曹铁蓉. 旅游地社会-生态系统适应性研究进展. 地理科学, 2020, 40(2): 280-288.
- [31] 裴鹰, 杨俊, 李冰心, 李雪铭, 葛雨婷. 城市边缘区生态承载力时空分异研究——以甘井子区为例. 生态学报, 2019, 39(5): 1715-1724.
- [32] 谷伟璠, 丁疆辉, 李奥梦. 保定市生产性生态承载力与生态功能耦合协调度时空分异. 生态学报, 2020, 40(20): 7175-7186.
- [33] 王亮, 刘慧. 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, 2019, 74(2): 340-352.
- [34] 李通, 闫敏, 陈博伟, 张丽, 宋茜茜. 海南岛海岸带土地利用强度与生态承载力分析. 测绘通报, 2020, (9): 54-59.
- [35] 王焱. 自然保护地生态承载力动态演变[D]. 辽宁师范大学, 2020.
- [36] 何念鹏, 徐丽, 何洪林. 生态系统质量评估方法——理想参照系和关键指标. 生态学报, 2020, 40(6): 1877-1886.
- [37] 周宏浩, 陈晓红. 东北地区可持续生计安全时空分异格局及障碍因子诊断. 地理科学, 2018, 38(11): 1864-1874.
- [38] 杨亮洁, 杨永春. 甘肃省资源环境承载力时空分异. 生态学报, 2017, 37(20): 7000-7017.
- [39] 包蕊, 邱莎, 唐明方, 邓红兵. 基于 DPSIR 模型的锡林郭勒盟生态承载力评价. 生态经济, 2020, 36(8): 139-145.
- [40] 杨阳, 蔡怡敏, 白艳莹, 陈卫平, 杨秀超. 区域生态系统健康动态评价——以毛集生态实验区为例. 生态学报, 2016, 36(14): 4279-4287.
- [41] 魏媛, 李静静. 喀斯特山区土地资源生态承载力评价与障碍因素诊断——以贵州省为例. 生态经济, 2020, 36(10): 195-199.
- [42] 王焱. 自然保护地生态承载力时序变化及驱动因素分析. 国土与自然资源研究, 2019, (6): 58-59.
- [43] 杨晓俊, 方传珊, 侯叶子. 基于生态足迹的西安城市生态游憩空间优化研究. 地理研究, 2018, 37(2): 281-291.
- [44] 岳东霞, 陈冠光, 朱敏翔, 郭晓娟, 周妍妍, 李凯, 王东, 郭建军, 曾建军. 近 20 年疏勒河流域生态承载力和生态需水研究. 生态学报, 2019, 39(14): 5178-5187.