

DOI: 10.5846/stxb201907151499

王静, 翟天林, 赵晓东, 宋子秋, 袁昕怡, 孔雪松. 面向可持续城市生态系统管理的国土空间开发适宜性评价——以烟台市为例. 生态学报, 2020, 40(11): 3634-3645.

Wang J, Zhai T L, Zhao X D, Song Z Q, Yuan X Y, Kong X S. Land development suitability evaluation for sustainable urban ecosystem management—Taking Yantai as an example. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(11): 3634-3645.

面向可持续城市生态系统管理的国土空间开发适宜性评价

——以烟台市为例

王 静^{1,*}, 翟天林¹, 赵晓东¹, 宋子秋², 袁昕怡¹, 孔雪松¹

¹ 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079

² 烟台市自然资源与规划局土地利用规划站, 烟台 264003

摘要: 国土空间开发适宜性评价是国土空间规划编制的基础和前提。面向可持续城市生态系统管理目标, 基于生态保护红线和永久基本农田的“底线”思维, 以资源环境禀赋为基础, 构建了本底约束—综合限制—承载力评价—多空间适宜评价的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价的逻辑框架和指标体系, 并以烟台为例, 设置城市生态系统保护的不同情景, 综合运用特尔斐法及多要素空间叠置等方法, 开展了城市资源环境承载力与国土空间开发适宜性评价的推广应用。研究表明: ①资源环境对烟台经济社会发展的阻碍与限制总体较小, 高限制区面积仅占烟台国土面积的 6.09%。②烟台市不同区县之间的资源环境承载力差异较大。从西北部向东南, 烟台市资源环境承载力呈现出逐渐提高的变化趋势。③面向可持续城市生态系统管理情景, 烟台市各县市国土空间开发建设适宜性差异显著, 适宜建设区范围为 2380 km²。面向城市生态系统一般保护情景, 烟台市适宜建设区面积达 2610 km², 不适宜建设开发区与适宜建设开发区数量结构为 1.12:1, 未来国土空间开发利用潜力较大。两种情景下烟台市国土空间开发适宜性适宜建设区面积均大于现状建设用地面积, 为城市未来发展提供了用地保障, 同时确保了烟台市水资源安全和生态安全。研究结果可为烟台市国土空间优化以及相关地区政府部门重大决策、战略部署等提供决策信息支持和技术服务。

关键词: 国土空间开发适宜性评价; 可持续城市生态系统管理; 国土空间规划; 烟台市

Land development suitability evaluation for sustainable urban ecosystem management—Taking Yantai as an example

WANG Jing^{1,*}, ZHAI Tianlin¹, ZHAO Xiaodong¹, SONG Ziqiu², YUAN Xinyi¹, KONG Xuesong¹

¹ School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Land Use Planning Station, Yantai Natural Resources and Planning Bureau, Yantai 264003, China

Abstract: The suitability evaluation of land development is the basis and premise for the preparation of territorial spatial planning. This study is to explore an evaluation method and application for resources-environment carrying capacity and land development suitability toward to sustainable urban ecosystem management. Based on the “bottom line” thinking of ecological protection red line and permanent basic farmland, this study proposed a logical framework and index system for evaluation of resources and environment carrying capacity and land development suitability with background constraint—integrated restriction—capacity evaluation—multi-space suitable evaluation. Taking Yantai as an example, this study set up

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD1100801)

收稿日期: 2019-07-15; 修订日期: 2019-10-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wjing0162@126.com

different scenarios of urban ecosystem protection, and comprehensively used Delphi method and multi-element space overlay method to carry out the study of evaluation of resources and environmental carrying capacity and land development suitability. The results showed that: (1) The restriction of resource and environment to Yantai's economic and social development was weak, and the areas with high-restriction only accounted for 6.09% of land area. (2) The resources and environmental carrying capacity varied greatly among different districts and counties in Yantai, showing a gradually increasing trend from the northwest to the southeast. (3) Under the scenario of sustainable urban ecosystem management, there were significant differences in the land development suitability for urban land use. The suitable construction area was only 2380 km². Under the scenarios of traditional management of urban ecosystem, the suitable construction area of Yantai was 2610 km². The quantity structure of unsuitable construction area and suitable construction area was 1.12:1. Yantai had great potential in the development and utilization of land space. In both scenarios, the suitable construction area in Yantai City was larger than the current construction area, which provided land security for the future development and ensured the water resources security and ecological security. The results can provide decision-making information support and technical services for the optimization of land space in Yantai, as well as major decision-making and strategic deployment of government departments in relevant regions.

Key Words: land development suitability evaluation; sustainable urban ecosystem management; territorial spatial planning; Yantai

国土空间是承载人类生产生活的地域空间,是人类生存和发展的重要物质基础,是国民经济与社会发展的重要生产要素^[1-2]。空间规划具有战略性、综合性和地域性,是可持续发展不可缺少的公共管理工具^[3]。各级各类空间规划在支撑城镇化快速发展、促进国土空间合理利用和有效保护方面发挥了积极作用,但我国城市发展也面临原有的粗放型发展模式难以为继、资源约束趋紧、生态环境保护压力加大、城乡区域发展不平衡、用地集约水平不高等一些深层次矛盾和问题,亟待整体谋划新时代国土空间开发保护格局^[4]。《中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》明确要求,要提高国土空间规划科学性,在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的基础上,科学有序统筹布局生态、农业、城镇等功能空间。通过资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价,科学认知国土空间格局分异的自然规律和社会经济规律,开展国土空间规划分区,已经成为国土空间规划的关键基础性工作^[5-7]。

资源环境承载力评价主要用于判断在一定的时期和一定的区域范围内资源、环境、生态条件等对人类活动的承载能力,是对自然禀赋、生态本底和资源开发利用的限制性的相对客观评价。早期资源环境承载力研究单项承载力研究为主^[8-10]。由于生态环境破坏问题日益严重,其研究内容开始向资源环境综合承载力评价方向发展。常用的方法包括主成分分析、系统动力学、综合指数评价方法、生态足迹法、状态-压力-响应模型(PSR, Pressure-State-Response)等^[11-13],研究区域多集中在农业区、典型流域、城市群、自然保护区及生态脆弱区、草原、海洋等^[14-19]。国土空间开发适宜性评价是在资源环境承载力评价基础上,通过综合考虑国土空间开发利用需求和发展方向,判断评估国土空间自然条件对城镇开发、农业生产、生态保护三类利用方式的适宜程度。国土空间开发适宜性评价主要研究方法有多指标决策叠置分析方法、公众参与式综合评价、物元模型等^[20-22]。研究内容由早期农业用地适宜性评价、建设用地适宜性评价发展到对面向多目标的国土空间需求和建设用地匹配程度的供需分析^[22]。常用到的评价单元多为县域,较少从格网尺度开展评价^[23],相较于县域尺度,格网尺度能够较好的从微观尺度反映评价结果在空间上的连续变化,便于开展土地利用格局优化与精细管理^[24]。评价指标多集中在生态环境状态、灾害风险等方面^[25-26],指标选择与赋值越来越细化;宏观尺度的资源环境承载力评价和国土空间开发适宜性评价与微观尺度评价相结合,逐渐成为新的发展趋势^[27]。但是,由于资源环境承载力和国土空间开发适宜性内涵的复杂性,以及对当前城市尺度的资源环境承载力和国土空间开发适宜性认知的差异性,对其内涵和理论基础探讨不足。目前已有资源环境承载力和国土空间开

发适宜性评价的逻辑框架架构和指标体系构建等方面有待进一步完善^[28]。

在生态文明建设背景下,国土空间规划是构建人类活动与自然发展相协调的物质循环系统,形成和维持健全的生态系统,建设有地区特色的景观,强调地域的自然生态性,以空间管控提升开发质量,突出水资源安全保障,注重生态规律与生态环境保护。因此,城市国土空间规划走向可持续生态系统综合管理成为必然,城市国土空间管理的最终目的即实现可持续城市生态系统管理。可持续城市生态系统管理的重点是立足资源环境禀赋,以资源环境承载力为基础,通过开展国土空间开发适宜性评价,优化国土空间类型、功能及其结构空间配置,调控人类活动影响,维护和恢复城市生态系统健康,提升城市生态系统功能,复合社会经济与生态保护效能,引导人口、产业集聚和环境可持续发展,实现可持续国土空间开发、利用、保护与管理。因此,对城市资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价逻辑框架架构和指标体系构建提出更高要求。

本文在已有研究基础上,建立了本底约束—综合限制—承载力评价—多空间适宜评价的城市资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价逻辑框架;以烟台市为例,在辨析烟台市陆域国土空间开发、利用和保护的限制性因子基础上,开展城市资源环境承载的综合限制性评价,并综合考虑城市生态系统生境风险、生态系统服务和海岸带生境风险等生态支撑条件,开展烟台市资源环境承载力状态评价;在此基础上,针对农业适宜性、生态保护重要性及建设适宜性,进行国土空间开发建设适宜性综合评价,以期烟台市国土空间规划以及相关政府部门决策提供信息支持和服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

烟台市地处山东半岛东部,介于京津冀和长江三角洲两大经济区之间,下辖4区、1县、7个县级市,是环渤海地区重要的港口城市。烟台市气候属暖温带大陆性季风气候,具有明显的海洋性气候特征,四季分明。烟台市区内地形中部高、南北低,是典型的山地-丘陵-平原复合区,易发生地质灾害。随着烟台市城市进程不断加快,大量工业区的兴起和港口、码头开发建设,与其他海滨城市相比,烟台市工业用地比例相对较大,对生态环境构成较大负面影响,城市生态空间急剧减少,环境污染愈发严重;同时烟台市水资源匮乏,据统计,烟台全境半数以上县区人均水资源占有量不足 500 m³,处于严重缺水,对未来的国土空间开发利用提出了更高要求,严重影响城市生态系统可持续发展。

1.2 数据来源

烟台市高程数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)的 ASTERGDEM V2,分辨率为 30 m;基于 DEM 数据使用 ArcGIS 坡度计算工具得到烟台市坡度;植被覆盖数据由 2017 年 Landsat8 遥感数据计算获取;烟台市土地利用变更调查数据、基本农田保护数据、农用地分等成果、规划禁止建设区与地质遗迹等来源于烟台市自然资源与规划局;生态保护红线成果来源于烟台市环保局;地质灾害数据和地下水资源数据来源于《2017 年烟台市地质灾害排查报告》等成果;土壤地球化学环境质量分级数据来源于中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。烟台市分县区的人口、GDP、水资源量、大气污染、地表水和地下水污染数据等来源于烟台市统计年鉴。基于土地利用变更调查数据,利用 InVEST 模型和谢高地等^[29]等提出的生态服务计算方法,获得烟台市生境风险和生态系统服务数据等生态支撑数据。

1.3 城市资源环境承载力与国土空间开发适宜性评价的逻辑框架构建

资源环境承载力评价是国土空间开发适宜性评价的基础。当前,现存的国土空间经历了人类长时间的开发利用,不是在白纸上首次开发利用,国土空间开发利用已对生态环境产生了巨大影响。因此,当前的城市资源环境承载能力评价应强化底线约束,应突出自然资源开发利用的限制性要素和“短板”要素,充分考虑国土空间开发利用所产生的不利影响。在评价中,首先要辨析影响城市国土空间开发利用的限制性因素,依据区域的单因子限制性影响,考虑资源环境禀赋与人类社会经济活动作用关系复杂,为综合反映区域的限制性影响,应开展多层次、全要素限制性影响综合评价^[30]。同时,在考虑城市生态系统的支撑能力基础上,开展城市

资源环境的承载能力的评估。

面向可持续城市生态系统管理的目标,城市国土空间规划方法将改变传统规划模式,创新“反规划”逆向思维与现有规划方法进行结合的方法。城市国土空间开发、利用和保护是以生态系统整体性保护和耕地保护为基础,以生态保护红线和永久基本农田为“底”,强化通过空间要素统筹和空间管制实现全要素的底线控制。因此,城市国土空间开发适宜性评价,依据资源禀赋、环境容量、生态环境状况等,在满足城市生态保护和农业生产两类利用方式基础上,以此判断评估城市国土空间对城镇开发的适宜性,以期进行城市国土空间开发、利用和保护,明确不同区域的功能定位和发展方向。城市资源环境承载力与国土空间开发适宜性评价的逻辑框架见图 1。

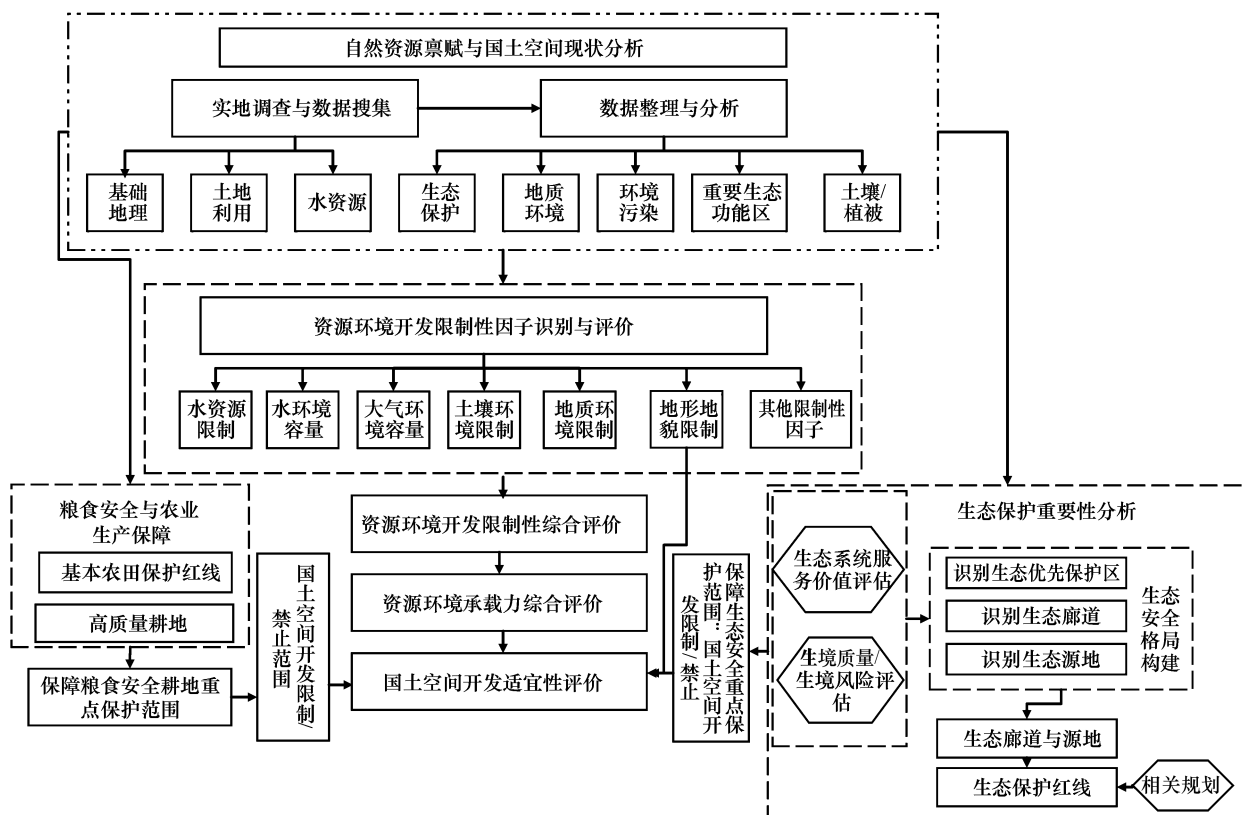


图 1 面向可持续城市生态系统管理的资源环境承载力与国土空间开发适宜性评价逻辑框架

Fig.1 Logical framework for sustainable urban ecosystem management-oriented evaluation of resources and environment carrying capacity and suitability of land space development

基于以上逻辑框架,结合烟台市实际状况,具体步骤如下:

(1) 烟台市资源环境开发利用限制性综合评价

结合烟台市实际,通过分析烟台市国土空间开发、利用和保护所存在的主要问题,参考相关研究成果^[31-34],从水资源、环境安全、自然灾害安全等方面,确定影响烟台市国土空间开发利用的主要限制性因素,包括水资源、大气环境与水环境质量及地质灾害等。评价单元以县区为评价单元。

选择人均水资源占有量、地下水资源量等指标,按照国际公认缺水标准等级划分,结合烟台实际,采用自然断点法,利用 GIS 空间分析技术通过叠加分析获得烟台市水资源限制性分级结果。根据烟台市地质灾害易发程度分区结果,将地质灾害高易发区对应与高限制区,低易发区对应于低限制区,获得烟台市地质灾害限制性分级结果。根据土壤地球化学环境质量分级结果,污染程度越大,级别越大,限制性越高,以此获得土壤环境影响的限制性分级结果。依据环境影响控制方程,选择单位 GDP 的大气 SO_2 、 NO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 环境容量,

以及单位 GDP 的水体 COD 和氨氮的环境容量作为大气环境与水环境质量影响的指标,通过空间叠加分析,开展大气和水环境影响的限制性评价;将标准化后的大气和水环境影响限制性结果利用自然断点法进行分级,得到大气和水环境影响的限制性分级结果,其中级别越大,限制性越高。综合烟台市水资源限制性分级图、大气环境影响限制性分级图、水环境影响限制性分级图、土壤环境的限制性、地质环境限制性分级图,等权重叠加计算得到烟台市资源环境开发利用限制性综合评价结果,将结果分为高限制,较高限制,较低限制和低限制 4 个等级。

(2) 烟台市资源环境的承载力评价

基于烟台市资源环境开发利用限制性综合评价结果,并考虑区域资源环境开发利用的城市生态系统支撑能力,基于土地利用变更调查数据,利用 InVEST 模型和谢高地等^[29]提出的生态服务计算方法,获得城市陆域生态系统生境风险、生态系统服务价值和海岸带生境风险等空间分布,作为烟台市城市生态系统支撑条件,开展烟台市资源环境承载力状态评价,分析烟台市资源环境的承载能力。评价单元为 30 m×30 m 栅格单元。

根据水资源、大气环境影响、水环境影响、土壤环境、地质灾害的限制性分级从高到低 1—4 级,对应其承载能力分别赋分为 1—4 分。同时,对生态系统生境风险、生态系统服务价值进行分级,生态系统生境风险从高到低,分为 1—4 级并分别对应承载力 1—4 分;生态系统服务价值则从低到高分 1—4 级,并分别对应承载力 1—4 分。最后,选用层次分析法确定不同指标权重,最终计算不同评价单元的承载力状态指数分值。

(3) 烟台市国土空间开发适宜性评价

为保障烟台市生态安全,生态保护红线范围内的地区严禁开发;法律法规重点保护的禁止开发地区,如重要的生态屏障和具有重要文化、科研价值的自然景观保护地(如地质遗迹及地质景观)等严禁开发。基于烟台市生境风险和生态系统服务价值空间分布,从生态系统完整性和生态系统风险角度,识别生态廊道和源地,构建烟台市生态安全格局,并与基本农田保护红线、自然保护区规划等,以及具有较大环境风险的生态敏感区等衔接,确定烟台市一级与二级保护的生态廊道和生态源地保护范围,作为烟台市城市生态系统的高生态价值区域地区禁止或限制开发;同时,烟台市高植被覆盖区等生态状况较好的地区限制开发,以上区域均为城市生态保护重要性区域。

同时,为保障烟台市粮食安全和农业生产,基本农田保护红线范围内的地区严禁开发,严禁占用永久基本农田。并且根据农用地分等成果,确定高等级耕地,也应纳入城市国土空间开发限制或禁止范围,以上区域纳入烟台市粮食安全重点保护范围。

在综合考虑烟台市国土空间开发建设主要限制因子(包括水资源、大气环境、水环境和地质环境的限制)基础上,也考虑地形地貌对城镇开发的影响。通常高程较高的地区,城市建设成本较高,且容易引发地质灾害;坡度越大,越不适宜建筑开发。并以此构建烟台市国土空间开发建设适宜性评价指标体系(表 1)。根据资源环境开发利用的限制性综合评价结果,结合城市生态保护重要性区域、粮食安全重点保护范围,并考虑基于自然地理条件的建设适宜性评价结果,通过综合评判,将烟台市国土空间划分为适宜建设区、较适宜建设区、较不适宜建设区和不适宜建设区。评价单元为 30 m×30 m 栅格单元。

2 结果与分析

2.1 资源环境开发利用限制性分析

烟台市水资源低限制区域主要包括市域中部的栖霞市和东部的牟平区;高限制区域主要分布在烟台市主城区芝罘区及长岛县,见图 2。烟台市地质灾害较高限制区包含采空塌陷、地裂缝为主地质灾害易发区,及地质断层影响缓冲区,该区主要分布于莱州、招远、栖霞、蓬莱、牟平等地;较低限制区是崩塌、滑坡、泥石流为主的防治区,主要位于芝罘区、蓬莱市等地;低限制区主要海水入侵区,主要分布于滨海平原、入海河流下游的莱州、招远、龙口、芝罘、蓬莱、牟平等滨海平原人员相对集中地段,海阳中部分地区也属于该类型,见图 2。

表 1 烟台市国土空间开发建设适宜性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for suitability of land space development and construction in Yantai			
准则层 Criteria Layer	因子层 Factor Layer	分级 Classification	分级描述 Hierarchical description
自然条件限制 Natural condition restriction	高程	低于 200 m	无限制
		200—500 m	弱限制
		高于 500 m	限制
	坡度	0—8°	无限制
		8—25°	弱限制
		25° 以上	限制
水资源限制 Water resource restriction	人均水资源量	0—250 m ³ /人	严重缺水
		250—500 m ³ /人	较严重缺水
		500—750 m ³ /人	中度缺水
		750—1000 m ³ /人	轻微缺水
	地下水资源	0—0.55 亿 m ³	严重缺水
		0.55—1.08 亿 m ³	较严重缺水
		1.08—1.48 亿 m ³	中度缺水
		>1.48 亿 m ³	轻微缺水
环境影响限制 Environmental impact restriction	水环境污染影响(标准化)	0—0.083	1 级
		0.083—0.189	2 级
		0.189—0.553	3 级
		0.553—1	4 级
	大气环境污染影响(标准化)	0.275—0.351	1 级
		0.351—0.466	2 级
		0.466—0.553	3 级
		0.553—1	4 级
	土壤地球化学环境限制	污染指数≤1	1 级
		1<污染指数≤3	2 级
		3<污染指数≤5	3 级
		污染指数>5	4 级
地质环境限制 Geological environmental restriction	地质灾害易发区	高易发区	高限制
		中易发区	较高限制
		低易发区	较低限制
		非易发区	低限制
生态保护重要性 Importance of ecological protection	生态保护红线	生态保护红线	禁止
		一级生态源地和廊道	禁止/限制
		二级生态源地和廊道	限制
		其他生态保护区	弱限制
	植被覆盖	植被覆盖度>60%	限制
		非建设用地植被覆盖度<10%	限制
		10%<植被覆盖度<60%	弱限制
		植被覆盖度<10%	无限制
粮食安全保障 Food security	基本农田	永久基本农田	禁止
		一般农用地	禁止/限制
		一般耕地(低于县域平均利用等)	弱限制
		园地、设施农用地	弱限制

烟台市水环境影响限制性高及较高的区域偏多,区域面积比例也较大,见图 2。水环境影响高限制性区域分布在芝罘区、福山区、莱山区、莱州市、龙口市和长岛县 6 个地区;限制性较低的区域仅栖霞市。烟台市大

气环境影响限制性高的区域较多,面积比例较大,芝罘区、龙口市、莱州市、长岛县和招远市属于高大气环境响应限制,总面积占烟台市国土面积的 33.49%;栖霞市和海阳市,分布在烟台市中部偏南的区域,植被覆盖度较高,同时受来自黄海的季风影响较大,空气流动性较好,大气环境影响限制性最低,见图 2。烟台市土壤地球化学环境质量分级(图 2)结果表明,烟台市全域的土壤地球化学环境质量整体属于清洁等级,此等级面积占比达到 82.39%。烟台市仍零星分布着土壤地球化学环境质量中度污染和重度污染地区,两者面积仅占 0.88%。

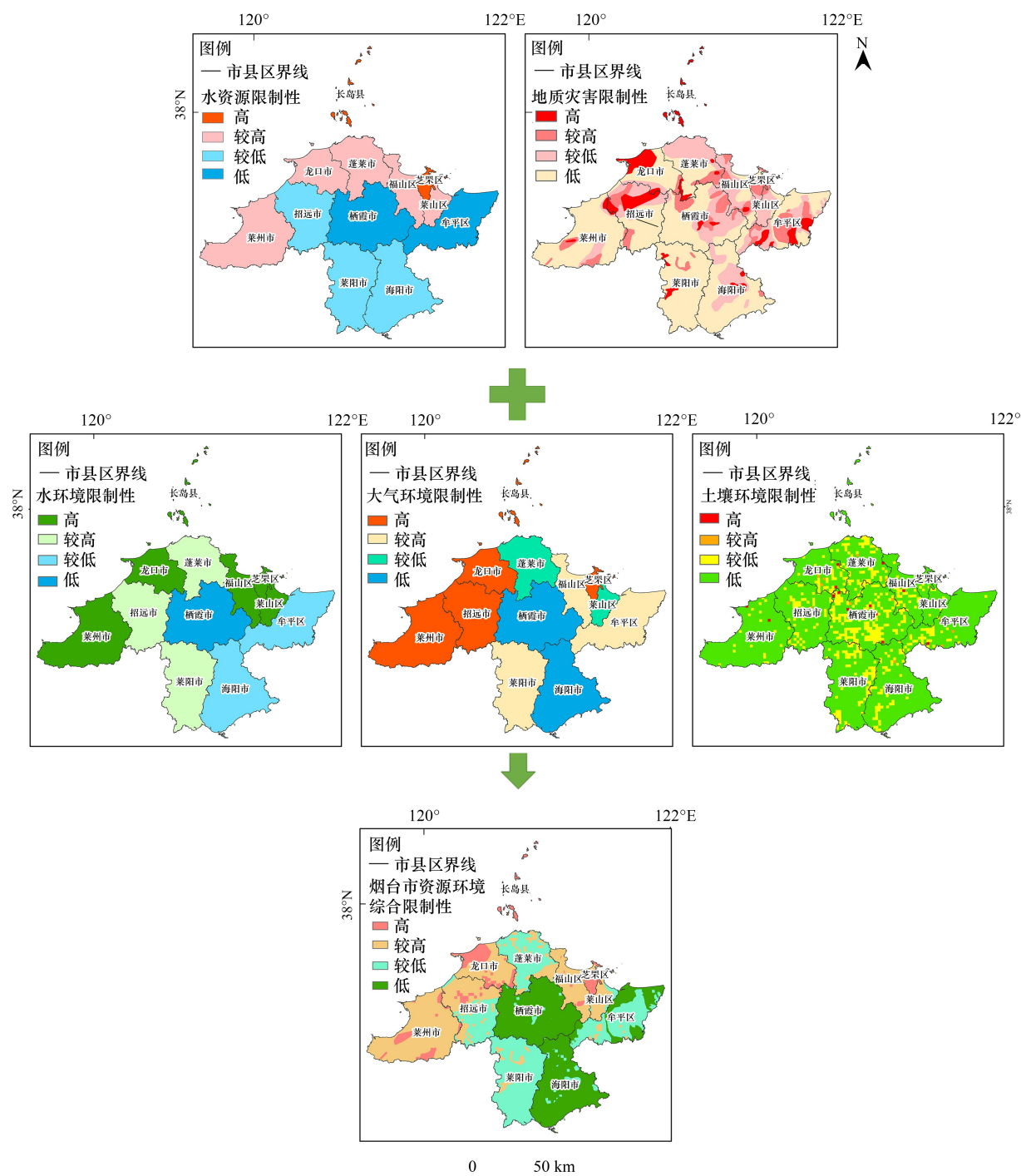


图 2 烟台市资源环境开发限制性评价

Fig.2 Restricted evaluation of resources development and utilization in Yantai City

综合评价城市资源和环境限制性要素,对评价区域可持续性、促进该区可持续发展具有重要意义^[35]。结果表明,烟台市 61.48% 的区域为低或者较低限制区域,高限制区域仅占全市国土面积的 6.09%,资源环境对烟台经济社会发展的阻碍与限制总体较小,见图 2。烟台市资源环境开发高限制区域零散分布于芝罘区,龙口市和莱州市的部分地区;较高限制区主要分布在烟台市主城区、莱州市、龙口市、招远市及蓬莱市部分区域,占烟台市国土面积的 35.18%,与莱州市、龙口市和烟台市主城三区的行政区划面积较一致,该区是烟台市主要的经济活动和人类活动分布区,由于环境污染的胁迫和资源约束的趋紧,资源环境开发限制性较高。低限制区主要位于中部的栖霞市,南部海阳市和东部的牟平区,该部分地区自然本底较好,水资源较丰沛,受人类活动影响较小,资源环境开发限制性低。

2.2 资源环境承载力评价

由图 3 可以看出,烟台市资源环境承载力不同区县之间差异较大,从西北部沿海地区向东推移的过程中,烟台市资源环境承载力呈现出逐渐提高的变化趋势,在一定程度上符合其地形地貌与产业布局。资源环境承载力低值区多集中在莱州市、龙口市与烟台市主城区,高值区大都分布在栖霞市和东部边缘地带。栖霞市、海阳市与牟平区的资源环境承载力较高,与其产业分布和地形地貌有一定的关系。这些地区多为丘陵,海拔较高,产业布局以林果业为主,是烟台市主要生态空间分布地。在未来发展过程中应继续加强资源环境严格保护,在保障不破坏生态环境前提下推进绿色发展,践行绿水青山就是金山银山的理念。芝罘区、福山区与莱山区,以及烟台市西北部沿海地区资源环境承载力较低。东北部三区为烟台市中心城区,是烟台市的城镇空间集聚地,城市发展水平较高;西北部沿海地区的产业布局以第二产业为主,工业与建筑业较为发达,资源环境承载力相对较低。在未来的发展中应当适当调整和优化产业布局,改善城市生态功能和支撑条件,提升整体承载能力,进而推进区域可持续发展。此外,长岛县的资源环境承载力处于较低水平,生态环境基底较为脆弱。该地区由于临海易受海洋侵蚀,应加强海岸带保护,提高生态环境承载能力。

2.3 国土空间开发建设适宜性评价

根据烟台市资源环境开发利用的限制性综合评价结果,面向可持续城市生态系统管理的重点,设置两类保护情景,一类情景是面向可持续城市生态系统管理的严格保护情景,即城市生态保护红线、一级与二级保护的生态廊道和生态源地范围,以及永久基本农田和高等级耕地范围,均纳入国土空间开发的禁止区域;另一类情景是城市生态系统一般保护情景,即城市生态保护红线、一级生态廊道和生态源地范围,以及永久基本农田,纳入国土空间开发的禁止区域。比较分析可持续城市生态系统管理两类保护情景下的烟台市国土空间开发适宜性状况,为国土空间规划方案优选提供决策支持。

面向可持续城市生态系统管理的烟台市国土空间开发建设适宜性评价结果如图 4。从空间分布上看,适宜建设区范围主要位于各区县的中心城区,少量零散分布在中心城区周围。较适宜建设区的分布比较分散,镶嵌在不适宜建设区和较不适宜建设区之间。较不适宜建设区相对较为集中,主要分布在栖霞市、招远市、蓬莱市和福山区。不适宜建设区多为生态功能或农业功能极其重要或极为敏感的区域,包括自然保护区、森林公园、湿地公园、国际重要湿地、海岸生态防护林带、基本农田保护区以及烟台市的河流湖泊水库等区域,主要集中在烟台中西部,如莱阳、莱州和海阳等地。一般保护情景下的烟台市国土空间开发建设适宜性状况

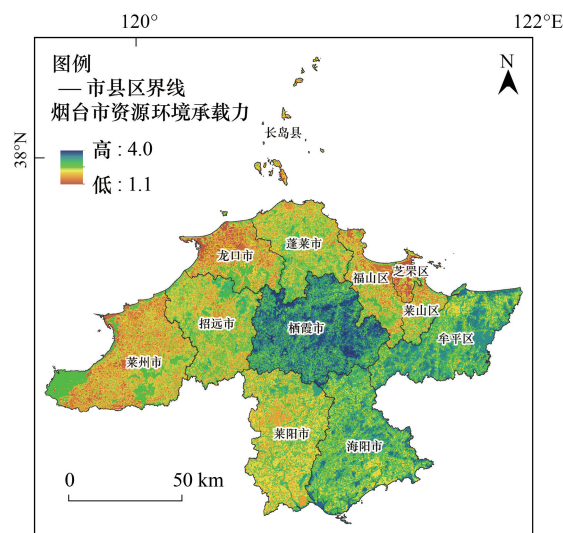


图 3 烟台市资源环境承载力状态指数空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of resources and environment carrying capacity state index in Yantai City

(图4),适宜建设区和不适宜建设区呈现出显著的“小集聚”,而较适宜建设区和较不适宜建设区则呈现出“大分散”的空间分布特征。适宜建设区主要以片状形式分布于主城区和各县市区的中心城区,破碎化的适宜建设区主要分布在栖霞市和牟平区,主要是由于这两个行政区山地面积占比较大,阻碍了建设地块状开发建设。通过对比,一般保护情景下烟台市国土空间适宜建设区范围有所增大,增加明显的区域多集中在海阳市、莱山区和栖霞市,增加的地类主要为低等级耕地、交通用地和采矿用地。不适宜建设区范围有所缩减,其中龙口市、莱阳市与栖霞市减少面积较大,主要缩减了生态保护重要性程度相对较低的园地和灌木林地。较不适宜建设区面积明显大于生态系统保护情景,增加面积主要集中在龙口市、芝罘区和蓬莱市。两种情景的较适宜建设区面积相差较小,仅莱州市、海阳市和栖霞市稍有增加。

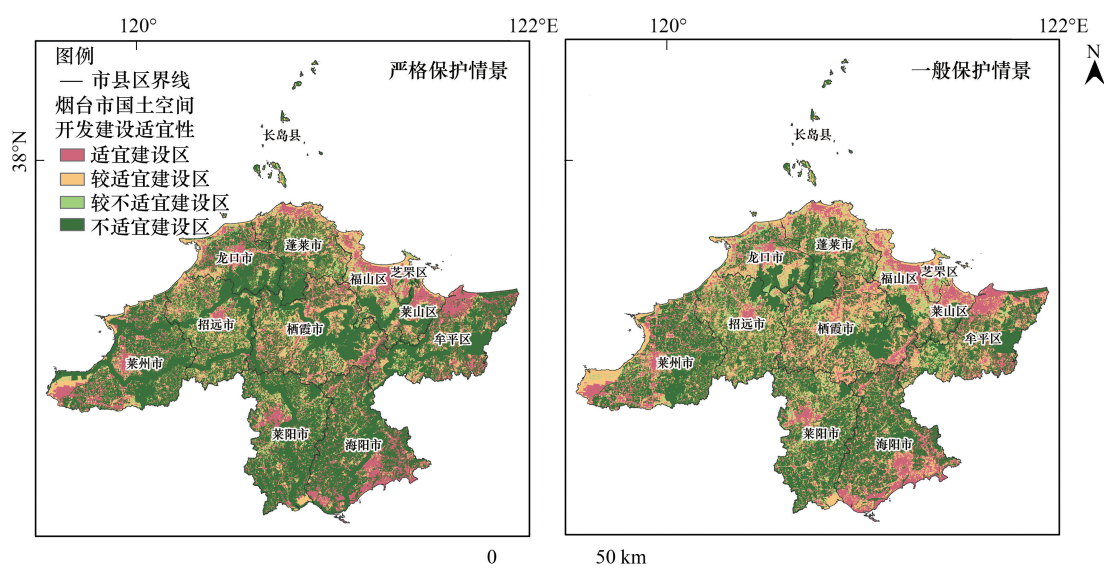


图4 不同情景下国土空间开发建设适宜性状况

Fig.4 The suitability of land space development and construction under different scenarios

对上述两种情景下的烟台市各区县国土空间开发建设适宜性进行分区统计,如图5所示。面向可持续城市生态系统管理的严格保护情景,适宜建设区面积较小,仅 2380 km²,不适宜建设区面积较大。其中,长岛、莱阳、栖霞和牟平不适宜建设区比例最高,均超过 60%。栖霞市是烟台市的重要生态屏障和永续水源地,土地开发受到限制,适宜建设区仅占国土面积的 15.95%;长岛县四面环海,是山东省生物多样性保护重点海洋生态功能区,严格管制各类开发活动,岛上无适宜建设区。芝罘区、福山区开发潜力较小,未来应以内部挖潜为主,提升中心城区城市品质,加快提升文化、商业金融、现代服务业、高新技术等产业发展步伐。莱阳市和莱阳市等以不适宜建设为主,应坚持在保护中发展,在发展中保护,重点发展生态环境良好、绿色产业兴旺的生态功能区和兼具丰富文化内涵、独特山水景观的风景区。

对比一般保护情景下的烟台市国土空间开发建设适宜性状况,适宜建设区面积有所增加,达 2610 km²,占烟台市国土空间面积的 18.86%,较适宜建设区面积占 28.26%。不适宜建设开发区(不适宜建设区和较不适宜建设区)与适宜建设开发区(适宜建设区与较适宜建设区)数量结构为 1.12:1。烟台市 2017 年建设用地总面积为 2328 km²,与烟台市现状建设用地规模相比,烟台市有充足的建设用地后备资源。龙口市、招远市、蓬莱市等地,较适宜建设区比例均超过 1/3,开发潜力较大,未来烟台应沿海岸带向东西方向发展,重点打造高新技术产业带、机械制造业带和临港产业带。

本文建立的面向可持续城市生态系统管理的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价逻辑框架,秉承“绿水青山就是金山银山”的理念,依据区域资源环境禀赋,通过识别城市国土空间开发利用的限制性因素,

强化城市生态系统整体性保护和永久基本农田保护,从理论上兼顾了生态安全和粮食安全与城市发展需求。面向可持续城市生态系统管理的严格保护情景和一般保护情景,适宜建设区面积均大于现状建设用地面积。同时,通过引导城市优先利用盐碱地、裸地等未利用地和废弃地,合理拓展了城市建设用地新空间。在不占用耕地保障粮食安全背景下,为城市发展保留了相对充足的较适宜建设用地规模,为城市未来发展提供了用地保障。两种情境下,罗山、艾山、昆嵛山、牙山等重要生态功能区,王屋水库、门楼水库等城市的重要水源保护地,均位于不适宜建设区内,确保了烟台市水资源安全和生态安全。研究结果验证了上述逻辑框架的合理性。

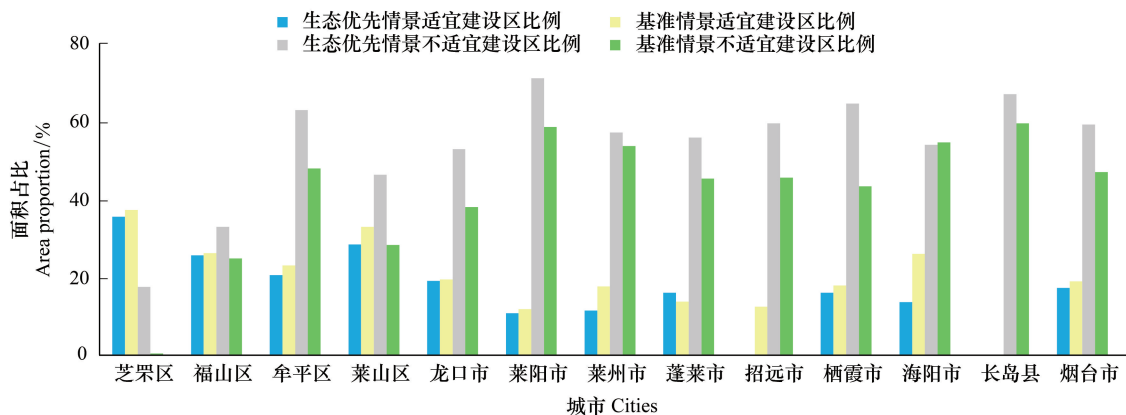


图5 不同情景下烟台市国土空间开发建设适宜性状况比较

Fig.5 Comparison of suitability of land space development and construction in Yantai under different scenarios

2.4 面向可持续城市生态系统管理策略

可持续城市生态系统管理的关键是调控人类活动影响,维护和恢复城市生态系统健康,引导人口、产业集聚和环境可持续发展,实现可持续国土空间开发、利用、保护与管理。核心是揭示人类社会干扰背景下的生态系统的持续性和适应性^[36],促进自然-经济-社会复合系统的可持续发展。面向可持续城市生态系统管理需求,本研究通过分析国土空间开发适宜性评价结果,针对生态保护、农业生产、城镇建设等不同类型国土空间开发利用适宜性区域提出烟台市城市生态系统差异化管理策略:

烟台市国土空间开发适宜建设区应加快推进城镇化,优化配置各类资源要素,改变功能过度集中于烟台芝罘老城的单一中心结构,扩大城市规模,优化提升芝罘核心区,改善人居环境,减少城市发展对生态环境的影响;实施差异化的城区发展策略,在优化结构、提高效益、降低消耗、保护环境的基础上推动城市快速发展,提高城市吸引力和创新能力。较适宜建设区应提高城市土地利用效率,合理控制建设规模,优化城市功能和空间布局,防止过度开发,避免对生态环境造成破坏,有序利用海岸线、海岛等重要资源;通过城市建设集聚开发,严格控制国土开发强度,严守生态保护红线和基本农田保护红线,保障蓝绿空间网络。较不适宜建设区应大力发展苹果、梨、樱桃等水果种植和特色农业及特色产业,适度发展旅游和农林产品加工等产业,转移或关闭污染产业,加大田、水、路、林、村综合整治。不适宜建设区应禁止大规模开发,严格保护北部和南部的滨海生态涵养与海洋保护带,严格保护“胶东屋脊”和城市生态廊道,构建生态安全格局,降低人类活动对资源环境的不良影响,保护生物资源和生态环境;打造生态样板城市,将烟台市建设以历史、人文、山海为特色的滨海绿色宜居旅游城市,实现人与自然的和谐共生。

3 结论与讨论

本研究面向可持续城市生态系统管理的目标,基于生态保护红线和永久基本农田的“底线”思维,贯穿通过空间要素统筹和空间管制实现全要素的底线控制的思想,以自然资源禀赋和环境容量等为基础,通过资源环境开发利用的限制性分析和生态系统支撑条件分析,提出城市资源环境承载力限制下的国土空间开发适宜

性评价逻辑框架,并以烟台为例,开展了城市资源环境承载力与国土空间开发适宜性评价的实践应用。研究表明:①烟台市资源环境开发限制性总体偏低,低限制区域或者较低限制区域面积较大,多集中在烟台市中南部;高限制区域面积较小,仅占全市国土面积的 6.09%,零散分布于芝罘区,龙口市和莱州市的部分地区。②受地形地貌与产业布局影响,烟台市资源环境承载力空间差异显著,呈现明显西北低东南高的格局;低值区域主要位于莱州市西南部、龙口市及烟台市主城区,高值区主要位于栖霞市和东部边缘地带。③面向可持续城市生态系统管理的严格保护情景和一般保护情景,烟台市国土空间开发适宜性适宜建设区面积均大于现状建设用地面积,为城市未来发展提供了用地保障,并确保了烟台市水资源安全和生态安全。严格保护情景下国土空间适宜建设区范围为 2380 km²,长岛、莱阳、栖霞和牟平不适宜建设区比例均超过 60%。一般保护情景下适宜建设区面积为 2610 km²,适宜建设区和不适宜建设区呈现出显著的“小集聚”。通过引导城市发展优先利用盐碱地、裸地等未利用地和废弃地,合理拓展城市建设用地新空间,为城市发展保留了相对充足的较适宜建设用地规模,研究结果同时也验证了上述逻辑框架的合理性。

新时期国土空间规划是以生态文明思想为核心价值观,必须秉持“底线思维”,通过识别城市发展限制性“短板”要素,明确资源环境承载压力,以此判定国土空间开发、利用、保护对城镇开发、农业生产、生态保护三类方式的适宜程度,合理确定未来国土空间开发利用规模和结构布局。科学、合理的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价逻辑框架和指标体系构建及其量化表达是市县国土空间规划的关键。本文面向可持续城市生态系统管理,以资源环境禀赋为基础,建立了本底约束—综合限制—承载力评价—多空间适宜评价的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价的逻辑框架和指标体系,从大气、土壤、水环境污染影响与经济发展相互作用角度,并考虑城市资源环境开发利用的限制性因子,开展城市资源环境承载力评价;在此基础上,设置城市生态系统保护的不同情景,开展国土空间开发适宜性评价,为生态文明建设背景下的自然资源统一管理和国土空间优化及规划编制提供了参考。但面对城市复杂的自然、社会、经济复合系统,对城市生态系统的资源环境承载力和国土空间开发适宜性认知不同,评价指标体系选取、评价指标权重设定等仍难免存在一些主观性,评价的逻辑框架架构与推广应用有待于进一步深入。目前,资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价研究仍缺乏科学的逻辑思路和统一的方法体系,评价多偏重于静态研究。未来仍需不断强化评价的理论、方法和应用研究,有关指标的阈值界定与关键参数确定仍有待突破。

参考文献 (References):

- [1] 赵小娜, 宫雪, 田丰昊, 李明玉. 延龙图地区城市土地生态适宜性评价. 自然资源学报, 2017, 32(05): 778-787.
- [2] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展. 生态学报, 2008, 28(12): 6305-6311.
- [3] 王向东, 刘卫东. 中国空间规划体系:现状、问题与重构. 经济地理, 2012, 32(5): 7-15.
- [4] 孟旭光, 强真, 郝庆, 侯华丽, 安翠娟, 吴尚昆. 新时期国土规划的功能定位与编制思路. 中国国土资源经济, 2011, 24(04): 29-31.
- [5] 纪学朋, 黄贤金, 陈逸, 王丹阳, 宋娅娅. 基于陆海统筹视角的国土空间开发建设适宜性评价——以辽宁省为例. 自然资源学报, 2019, 34(03): 451-463.
- [6] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 潘韬, 李鹏. 百年来的资源环境承载力研究:从理论到实践. 资源科学, 2017, 39(03): 379-395.
- [7] 樊杰. 资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价方法指南. 北京:科学出版社, 2019.
- [8] 于广华, 孙才志. 环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征. 生态学报, 2015, 35(14): 4860-4870.
- [9] 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.
- [10] 黎明, 李百战. 重庆市都市圈水资源承载力分析与预测. 生态学报, 2009, 29(12): 6499-6505.
- [11] 陈慧, 冯利华, 孙丽娜. 南京市水资源承载力的主成分分析. 人民长江, 2010, 41(12): 95-98.
- [12] Nakajima E S, Ortega E. Carrying capacity using emergy and a new calculation of the ecological footprint. Ecological Indicators, 2016, 60: 1200-1207.
- [13] Zhang Z, Lu W X, Zhao Y, Song W B. Development tendency analysis and evaluation of the water ecological carrying capacity in the Siping area of Jilin Province in China based on system dynamics and analytic hierarchy process. Ecological Modelling, 2014, 275: 9-21.
- [14] 王德怀, 李旭东. 山地流域资源环境承载力与区域协调发展分析:以贵州乌江流域为例. 环境科学与技术, 2019, 42(03): 222-229.
- [15] 王雅敬, 谢炳庚, 李晓青, 赵卫权, 王金艳, 罗海波. 喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡. 生态学报, 2017, 37(21): 7030-7038.

- [16] 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.
- [17] 郭轲, 王立群. 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, 2015, 26(12): 3818-3826.
- [18] 于贵瑞, 徐兴良, 王秋凤, 宜树华, 虞强, 曾晓东. 全球变化对生态脆弱区资源环境承载力的影响研究. 中国基础科学, 2017, 19(06): 19-23.
- [19] Cupul-Magaña A L, Rodríguez-Troncoso A P. Tourist carrying capacity at Islas Marietas National Park: An essential tool to protect the coral community. Applied geography, 2017, 88: 15-23.
- [20] 喻忠磊, 张文新, 梁进社, 庄立. 国土空间开发建设适宜性评价研究进展. 地理科学进展, 2015, 34(09): 1107-1122.
- [21] Demesouka O E, Anagnostopoulos K P, Siskos E. Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. European Journal of Operational Research, 2019, 272(2): 574-586.
- [22] 吴艳娟, 杨艳昭, 杨玲, 张超, 游珍. 基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价——以宁波市为例. 资源科学, 2016, 38(11): 2072-2081.
- [23] 唐常春, 孙威. 长江流域国土空间开发适宜性综合评价. 地理学报, 2013, 67(12): 1587-1598.
- [24] 肖长江, 欧名豪, 李鑫. 基于生态-经济比较优势视角的建设用地空间优化配置研究——以扬州市为例. 生态学报, 2015, 35(3): 696-708.
- [25] 郭月婷, 廖和平, 徐建刚. 三峡库区农村居民点用地适宜性评价. 农业工程学报, 2012, 28(5): 252-259.
- [26] 樊杰. 中国主体功能区划方案. 地理学报, 2015, 70(2): 186-201.
- [27] 樊杰, 陶岸君, 陈田, 张文忠, 高晓路, 徐勇, 王传胜. 资源环境承载能力评价在汶川地震灾后恢复重建规划中的基础性作用. 中国科学院院刊, 2008(05): 387-392.
- [28] 黄贤金, 周艳. 资源环境承载力研究方法综述. 中国环境管理, 2018, 10(06): 36-42.
- [29] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(08): 1243-1254.
- [30] 岳文泽, 代子伟, 高佳斌, 陈阳. 面向省级国土空间规划的资源环境承载力评价思考. 中国土地科学, 2018, 32(12): 66-73.
- [31] 杨清可, 段学军, 王磊. 基于水环境约束分区的产业优化调整——以江苏省太湖流域为例. 地理科学, 2016, 36(10): 1539-1545.
- [32] 许明军, 杨子生. 西南山区资源环境承载力评价及协调发展分析——以云南省德宏州为例. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1726-1738.
- [33] 刘海猛, 方创琳, 黄解军, 朱向东, 周艺, 王振波, 张蔷. 京津冀城市群大气污染的时空特征与影响因素解析. 地理学报, 2018, 73(01): 177-191.
- [34] 封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国人口分布的水资源限制性与限制度研究. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1637-1648.
- [35] 张达, 何春阳, 邬建国, 黄庆旭. 京津冀地区可持续发展的主要资源和环境限制性要素评价——基于景观可持续科学概念框架. 地球科学进展, 2015, 30(10): 1151-1161.
- [36] 向芸芸, 杨辉, 陈培雄, 周鑫, 陈全震, 曾江宁. 基于生态适宜性评价的海洋生态系统管理——以温州市洞头区为例. 应用海洋学学报, 2018, 37(04): 108-116.