

国土空间规划中的承载力反思:概念、理论与实践

郝庆^{1,2,3}, 邓玲¹, 封志明^{2,3}

(1. 中国自然资源经济研究院, 北京 101149; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 自然资源部资源环境承载力评价重点实验室, 北京 101149)

摘要: 资源环境承载力是国土空间规划的科学基础和约束条件。通过梳理承载力概念、理论和实践应用的发展, 指出其在研究应用中存在概念边界模糊、评价偏向于指标计算、承载力传导机制研究不足等问题。国土空间规划体系改革, 以及新时代生产生活和发展方式变革对国土空间规划提出了新的要求。支撑空间规划编制的承载力评价应进一步明确承载力的概念内涵、明晰承载力内在机制、构建承载力评价体系; 在实践应用中应当根据国土空间规划和空间治理的新变化新需求, 支撑空间规划的新目标、切合空间治理的新模式、顺应空间治理的新手段, 为确定国土空间开发利用与保护修复的主要指标、战略部署, 以及指标约束传递与地域功能传导等提供科学依据。

关键词: 承载力; 空间规划; 空间治理; 适宜性评价; 传导机制

资源环境承载力一般指在自然生态环境不受危害且维系良好生态系统前提下, 一定地域的资源禀赋和环境容量所能承载的最大人口与经济规模^[1]。在 20 世纪 50 年代之前, 以研究资源承载力为主, 主要探讨一个国家或者区域内自然资源对人口(生物种群)生存和发展的支撑能力; 20 世纪 60-70 年代, 在考虑资源要素的同时, 开始探讨环境系统对人类经济社会活动的制约作用, 承载力的本质由绝对上限走向相对平衡; 20 世纪 90 年代以后, 承载力研究由分类走向综合与集成, 一方面继续关注限制性因素对人口增长和经济社会可持续发展的制约作用, 另一方面关注人类活动产生的资源消耗、环境排放、生态占用等对生态系统稳定性的影响。历经百余年的发展, 承载力已经成为衡量区域人口、资源环境与经济社会可持续发展的重要判据, 以及指导国土开发利用与保护整治, 提升区域空间治理能力和治理体系现代化的科学基础与约束条件^[1]。在中国, 资源环境承载力是备受政府及社会各界高度关注的科学命题和政治议题^[2]。特别是党的十八大之后, 中央提出推进生态文明建设, 进一步明确了资源环境承载力在国土空间开发利用中的基础性、约束性作用。《关于加快推进生态文明建设的意见》等中央文件均明确提出将资源环境承载力作为编制实施国土空间规划的重要科学基础。

编制国土空间规划、实施国土空间治理, 既是建设美丽中国, 创造良好生产生活环境, 维护全球生态安全的现实需要, 也是建成现代化强国的基础和表征^[3], 需要在尊重自然规律、经济规律、社会规律的前提下, 统筹考虑区域的资源环境本底与发展需求, 合理确定国土空间开发的规模、强度和时序等。资源环境承载力这一关乎区域资源环境与人口经济最大负荷的科学命题, 也成为事关空间治理与空间规划科学性的重要基础。近

收稿日期: 2019-03-22; 修订日期: 2019-06-30

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20010201)

作者简介: 郝庆(1982-), 男, 河北邢台人, 博士, 副研究员, 研究方向为国土空间规划与资源环境承载力, 以及资源开发与区域发展等。E-mail: haoq.16b@igsnrr.ac.cn

些年来,在城市规划、土地利用规划、市县级“多规合一”试点、省级空间规划试点等工作中,均将资源环境承载力评价作为一项重要的基础性工作,在确定耕地保护总量、用水总量,以及重大建设项目选址等方面发挥了重要作用。但承载力理论仍处于分散化、泛化状态,存在概念界定不一致、内在运行机制不明确等缺陷^[4]。在实践中,多数地方开展的承载力评价应用主要停留在战略引导层面,对优化资源配置、设定生态环境准入标准、调整国土空间开发结构以及实施国土空间管制等方面的支撑力度不够。

为此,本文结合当前正在开展的国土空间规划编制工作,重新审视承载力的概念内涵、理论方法与实践应用,提出完善承载力研究应用的相关建议,进而提升承载力的科学性和实用性。

1 承载力研究应用进展

1.1 承载力概念演化

“承载力”一词源自美国,原始概念是指容器所能容纳或吸收物体的数量。如,1840年代在德克萨斯的法案中用于描述船舶的装载能力^[5-6]。美国学者Price^[7]认为与资源环境相关的“承载力”概念可能来源于牧场管理者,因为他们需要在实际工作中了解牧场所能承载的最大牲畜数量。19世纪末20世纪初承载力概念在管理驯养草食动物^[8]、研究野生草食性动物^[9]以及其他野生动物^[10]等方面得到应用,并被引入到生物学、生态学教科书中,其含义是指在不损害环境质量的情况下,特定区域所能容纳的某种生物个体存活的最大数量,主要是从理论上研究生物种群数量增长极限和粮食制约下的人口总量问题。实际上,在承载力概念被引入到生物学、生态学之前,就出现有关种群数量增长和人口增长研究。如,1798年Malthus^[11]在《人口学原理》中提出人口增长极限理论,并成为承载力概念的基础。1838年比利时人皮埃尔-弗朗索瓦·维尔斯特^[12](Pierre-Francois Verhulst)用微分方程表达了人口(种群)增长极限理论。1953年,美国生态学家Odum^[13]用“逻辑斯蒂增长曲线”(Logistic growth curve)对种群(包括人类)增长规律进行了精确的数学图形表达(图1),首次用“承载力”这一科学术语来命名“逻辑斯蒂增长曲线”增长渐近线的常数(K)。数学方程和数学图形的表达使增长极限理论和承载力概念得以迅速传播。

根据上述理论,一些学者测算了全球及不同国家和地区的人口增长上限,发展和形成了基于粮食生产的土地资源承载力。此后,水资源、能源等也被作为人口增长的限制性因素,衍生出水资源承载力、能源承载力等概念。总体上,早期的承载力属于资源承载力范畴,表征了一个国家或区域内资源对人口生存和发展的支撑能力。

第二次世界大战后全球人口和经济快速增长,带来了一系列资源环境问题。20世纪60-70

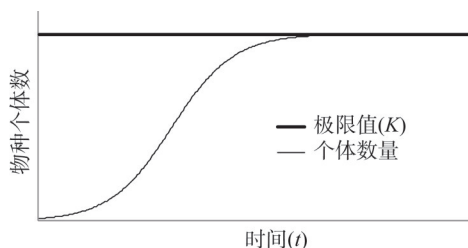


图1 增长极限和逻辑斯蒂增长曲线

Fig. 1 Growth limit and Logistic growth curve

年代承载力再次受到广泛关注,开始应用于研究人类活动引起的资源环境危机。各界探讨影响地球承载力的限制性因素既包括食物、耕地、不可再生资源等传统的资源要素;也包括环境要素,以及影响气候变化、生态系统平衡等其他未知限制因素。1968年,日本

学者将“环境承载力”引入环境科学,成为污染物总量控制的理论基础。环境承载力实质就是环境容量,表征了环境系统所承受人类经济社会活动干扰,并保持自身稳定的能力。

为应对全球环境恶化、发展不平衡等问题,1992年6月,联合国在巴西召开环境与发展大会,明确了人与自然和谐发展的理念,制定了可持续发展框架。承载力作为影响可持续发展的重要科学基础和约束条件,在1990年代中后期再次引起了全球各地学者的热议。一些学者提出承载力本质上是一种综合性的、动态变化的、复杂的关系;并认为受多方面因素影响以及由于人类创造和生物进化的不可预知性,仅计算人口数量的承载力意义不大,应该用生态系统弹性(生态承载力)来表征当前人口规模或人口经济密度与生物圈关系,确保经济社会发展对生态系统的影响不超过其保持自身稳定的弹性^[14]。生态承载力更多关注资源消耗、环境变化和人类的经济社会活动对生态系统产生的影响,表征了生态系统在保持平衡状态下,所能承载的人口规模和经济社会发展规模。生态系统具有自我调节功能,人类活动对生态系统又具有强烈的正负能动反馈机制,因此生态承载力也更为复杂。

近些年来,承载力研究在理论和研究方法上没有根本性的突破^[4],但出现了生态足迹、行星边界^[15]等一些新的概念,全球学者开始从不同的视角研究全球及区域的承载力问题,并考虑“公平与正义”、生活水准等对全球资源环境承载力与可持续发展的影响^[16],开展了全球及西班牙、加拿大^[17]等国家和地区的案列研究,为高消费社会与“稳态经济”(steady-state economy)条件下保持地球系统的稳定性管理提供了参考。

总体上看,承载力研究在发展过程中,逐步由分类走向综合,由关注单一资源约束发展到人类对资源环境占用的综合评估。资源环境承载力是一种综合与集成评价,是从分类到综合的承载力概念统称,既关注单项资源或环境要素的限制性约束,又强调人类对区域资源利用与占用、生态退化与破坏、环境损益与污染的综合影响。

1.2 承载力理论方法

资源环境承载力在发展过程中,其理论基础和评价技术方法也日趋综合和多样化^[18]。从研究范式的角度看^[19],主要有下面几种(表1):

1.2.1 基于限制性因子研究范式

该研究范式假设在特定封闭区域存在限制人口无限增长的限制性因素,且资源消耗与人口数量线性相关,评价的目的是寻求稀缺资源限制的人口增长上限。限制性资源包括耕地(粮食)、水资源、能源、建设用地等。数学公式如下:

$$P = \frac{F}{C} \quad (1)$$

式中: P 为区域可承载的总人口; F 为总资源量(耕地、水资源、建设用地等); C 为人均资源消耗量。

1.2.2 基于多因素综合的研究范式

该研究范式认为区域是个开放系统,资源环境承载力各要素之间存在密切联系和补偿作用,某一要素的不足可以通过区际之间的交换得以补充,区域的劣势要素可以通过发挥优势要素得以补偿。数学公式如下:

$$E = \sum_{k=1}^n w_k f_k \quad (2)$$

式中: w_k 为第 k 个影响要素的权重; f_k 为第 k 个影响要素的评价得分。

1.2.3 限制性因子+多因素综合的复合型研究范式

该研究范式认为开放系统的各区域也存在不可交换，且绝对限制性因子。在承载力评价中，绝对限制性因子只有“禁止”或“允许”两种状态，一般给予“0”或“1”的赋值；可交换与相互补偿的相对限制性因子影响处于“禁止”和“允许”之间，可以给予“0~1”的赋值。数学公式如下：

$$E=\prod_{j=1}^m F_j \times \sum_{k=1}^n w_k f_k$$
 (3)

式中： F_j 为第 j 个绝对限制性因子的评价得分。

表 1 承载力研究范式比较
Table 1 Comparison of research methods of carrying capacity

	限制性因子评价	多因素综合评价	限制性因子+多因素复合评价
研究系统	封闭系统	开放系统	存在无法流动要素的开放系统
研究假设	短板制约	要素联系与补偿	限制性因子+适宜性因子要素综合
研究目的	承载上限	区域综合发展能力	一定限制条件下的区域开发建设能力
影响因素	资源总量、人均消费量	指标体系、权重	指标体系、指标属性界定、权重
评价属性	增长极限	区域综合发展能力	适宜性评价
评价类型	总量评价	状态评价	空间评价
评价单元	封闭单元 (一般为较大空间尺度)	开放系统 (一般以行政区为主)	公里网格、宗地等较小地域单元

1.3 承载力实践应用

1.3.1 国外承载力的实践应用

早期的承载力研究主要是衡量“人粮”“人水”等人地关系，用于制定人口政策和土地、水等自然资源开发利用政策^[20]。例如，1965年Allan^[21]提出以粮食为指标的土地承载力计算公式后，基于以粮食为主要限制性因子的土地承载力研究得到推广应用。联合国粮农组织（FAO）在1977年开展了117个发展中国家的土地潜在人口支撑能力研究，认为到20世纪末，在传统耕作方式下，至少有64个国家无法依靠本国土地资源养活本国预期人口。该评价结果影响了一些国家的人口政策、农业发展政策等。

主要发达国家在20世纪50-60年代起开始出现人口低速增长、甚至负增长之后，对基于“人粮”关系的承载力研究较少。特别是在主要发达国家进入后工业化时代后，各国空间规划不再以大规模的国土空间开发为主题，而是在宏观尺度上关注发展滞后区等特定地区、在微观尺度上关注国土空间精细化治理等问题。受此影响，承载力实践应用也发生改变，一方面在旅游景区、生态保护区等特定地区开展生物物理承载力（如保护地生物物种）、旅游承载力研究。如欧盟于2000年开展了《欧洲旅游目的地承载能力的界定、测量和评价》项目；美国开展了佛罗里达群岛承载力监测预警等工作。另一方面开展面向城市内部空间治理、城市更新的承载力研究。如美国阿灵顿市于2014年开展了《承载力：成熟城市的新模式》研究，该研究选择了自然环境（Natural Environment）、建成环境（Built Environment）和政策环境（Policy Environment）三类对城市发展具有影响的因素，在单项评估的基础上，进行综合集成，识别了城市开发适宜性高的地区，将其作为未来城市重点发展地区（focus areas），也是未来城市开发和城市更新需要重点投入的地区。上述评价成果应用于《阿灵顿市未来远景综合规划》。

对发展中国家而言,承载力在空间规划、城市发展等领域应用较多。如印度开展了服务城市规划的承载力研究;印度尼西亚2007年修订的空间规划法要求以承载力评价作为编制空间规划的基础,并将其承载力分为资源支撑能力(Supportive Carrying Capacity, SCC)和环境容纳能力(Assimilative Carrying Capacity, ACC),分别作为空间规划中涉及资源与环境方面的依据^[22]。

总体上,多数发达国家和发展中国家都根据其空间规划和空间治理的主要任务,开展了承载力评价,并应用于工作实践。

1.3.2 国内承载力的实践应用

1980年代中期以后,中国开展了三次具有代表性的土地承载力研究,全面评估了土地资源承载力的总量、类型及空间分布等,为国家制定土地、农业、人口等领域的战略规划与政策提供了科学依据。此后,基于土地粮食生产能力的人口承载力评价在土地利用规划、耕地保护、基本农田划定等重大决策中发挥了重要作用,影响至今。

进入21世纪后,承载力评价开始应用于空间规划编制之中^[23]。例如,2002年天津市国土规划试点中开展了资源环境承载力评价;2007年国务院要求以资源环境承载能力为基础编制主体功能区规划;2010年启动的《全国国土规划纲要》编制工作也将资源环境承载力作为重要科学基础。另一方面,国内自然灾害频发,从决策层到普通民众普遍认识到资源环境承载力评价对于地区人口规模、产业布局、城市规划等具有重要指导作用。2008年汶川发生特大地震后,中央要求根据资源环境承载力评价,编制灾后重建规划,指导灾区恢复重建工作。此后的玉树、舟曲、芦山等灾后恢复重建工作都把资源环境承载力作为重要基础和依据。

党的十八届三中全会以后,中央积极推进生态文明建设和生态文明体制改革。建立资源环境承载能力监测预警机制,推动资源环境承载力的综合评价与集成应用成为一项重要基础性工作。2014年8月,国家发展改革委、国土资源部、环境保护部、住房城乡建设部联合开展的市县级“多规合一”试点工作中提出,将资源环境承载能力作为规划引导人口、城镇、产业、基础设施等发展与布局的基础。2017年1月,中央印发的《省级空间规划试点方案》进一步明确将资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价^①等作为划分国土空间功能分区、实施空间用途管制的基础。2019年5月,中央印发的《关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见》再次明确将资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价作为编制国土空间规划的科学基础。按照中央的要求,新组建的自然资源部积极推动资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价(简称“双评价”)的技术方法研究与评价规程研制,并在广东、江苏、重庆、宁夏等省级行政区和青岛、广州、苏州、涪陵区、固原市等市县级地区开展了试评价工作。目前,自然资源部已经完成上述地区的试评价工作,并形成了《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南》。2019年5月28日,自然资源部印发的《关于全面开展国土空间规划工作的通知》明确要求各地要尽快完成“双评价”工作,并作为编制国土空间规划的基础。此外,在党的十八届三中全会以后启动编制的《京津冀协同发展规划纲要》《长江经济带国土空间规划》等重大规划以及河北雄安新区建设中也开展了资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价工作。

^① 《省级空间规划试点方案》中要求开展的基础评价包括陆海全覆盖的资源环境承载力能力基础评价、针对不同主体功能定位的差异化专项评价、国土空间开发网络化适宜性评价,以及环境影响评价。

2 承载力研究应用反思

2.1 承载力概念内涵的科学性与规范性

2.1.1 承载力概念的科学性

依据增长极限思想,一些学者根据不同的限制要素开展了全球可承载人口研究,计算结果从10亿到100亿不等。Cohen^[24]对比不同学者关于地球承载力的观点和结论后指出,无法预测地球承载能力,因为气候变化、能源消费结构变化、科技发展等都可能是影响地球承载力的限制性因素。很多学者,特别是部分人类生态学家对承载力的科学性产生了质疑,有人认为由于人类创新和生物进化的不可预知性,承载力与人口增长的相关性有限^[7],仅仅进行人口数量的承载力研究意义不大^[14],甚至质疑承载力的科学性^[25]。

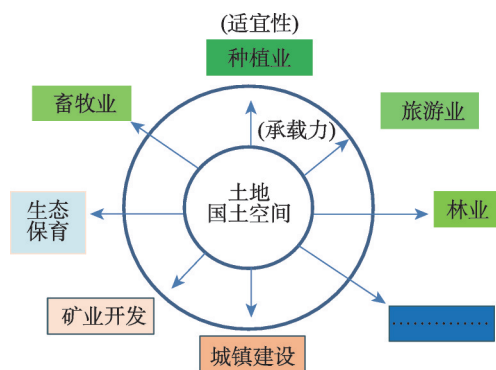
理论上,人类生存和发展所占据的地理空间是有限的^[26]、所消耗的物质都是由地球提供的^[27]。资源的有限性决定了地球存在承载上限,承载力这一表征当前人口规模或人口经济密度与资源环境关系的指标是真实存在的^[14]。但受制于人类对资源环境要素消耗占用的动态性以及资源环境系统自身的动态性,难以准确衡量增长极限。因此,有人建议应当让“承载力”概念回归到自然本质,研究视角由传统的“地→人”转变成为“人→地”^[28],将“承载力”看作是人类一切经济社会活动对资源消耗的极限、对环境系统排放的极限、对生态系统胁迫的极限。从衡量人口经济规模的增长极限转变为监测资源环境系统的稳定性、可持续利用性。研究视角的转化为客观评价承载力提供了可能,也有助于提升承载力概念的科学性。

2.1.2 承载力概念的规范性

当前,“承载力”受到地理科学、资源科学、环境科学、生态学以及土地资源管理、城乡规划等多学科、多领域的关注。基于不同学科背景、思维方式和时空尺度形成的承载力概念与理论方法存在较大差异,影响了承载力的实践与应用。加之,“承载力”已由一个科学概念发展为受到普遍关注的政府议题和公众话题,概念内涵不断被拓展,呈现媒体化与泛化的现象。在一些地方开展的相关评价中,环境承载力与环境容量、区域资源环境综合承载力与区域可持续发展能力等在本质上没有区别。

在实践工作中,普遍认为资源环境承载力评价是对资源环境本底特征的综合评价,适宜性评价是对国土空间进行城镇建设、农业生产、生态保护适宜程度的评价;承载力评价是适宜性评价的前提、适宜性评价是承载力评价的延伸。但从本质上看,承载力与适宜性具有内在统一性,都是包含数量与方向的向量概念,首先需要确定承载的对象或者开发利用的目的,然后才能评价承载力的大小或者适宜程度的高低(图2)。

实质上,资源环境承载力是从分类到综合的承载力概念统称,是包括各类资源要素承载力、环境要素承载力、生态承载力以及各要素承载力综合与集成评价的集合概念。



注:箭头方向表示适宜类型;箭头长短表示适宜程度。

图2 承载力与适宜性逻辑关系

Fig. 2 Logical relationship between carrying capacity and suitability

在编制空间规划的实践工作中,开展承载力评价的主要目的是通过开展土地、水、生态、环境、灾害等要素的单项评价和集成评价,了解区域的资源禀赋和环境本底,分析区域发展的优势与制约因素;通过开展面向生态保护、农业生产、城镇建设等不同功能的适宜性评价,为空间功能分区与用途管制提供技术支撑。评价内容主要有四个方面:一是开展资源环境本底评价,包括人居环境适宜性评价、地质环境稳定性评价、生态功能重要性与生态脆弱性评价等;二是开展土地资源、水资源、水环境、大气环境等资源类或环境类单要素承载力评价;三是在单要素评价的基础上进行承载力的综合与集成评价;四是根据特定的国土空间开发利用指向开展国土空间开发适宜性评价。

2.2 承载力评价的常见误区

2.2.1 误区1:重指标计算,轻机制研究

各类承载力评价方法都离不开指标(体系)的构建与计算,但基于缺乏表征意义指标体系形成的评价结果会降低承载力的科学性。以生态重要性为例,通常采用物种判别法、净初级生产力法(NNP)等,直接将区域的物种数量或者净初级生产能力传导为生态重要性。在此评价方法下,西藏东南部地区水热条件好、地形复杂,物种数量和净初级生产能力远高于高寒气候条件下的西藏西北部地区。但是这种差别难以表征其在维护国家生态安全格局中的地位。

造成上述误区的主要原因是承载力的传导机制研究不足。在资源承载力中,承载体与承载客体之间作用机制清晰,如“耕地—食物—人口”。承载体与承载客体的线性关系为基于限制性因子的研究范式提供了理论支撑。但“人地系统”是由多种要素通过复杂的相互作用和内在机理性联系构成的复杂系统^[29],存在复杂的作用机制、反馈机制和动力机制,在环境承载力、生态承载力以及资源环境承载力综合与集成评价中,承载力的主体与客体不再是单纯的线性关系,有些指标之间是不可替代的、有些要素是无法进行区际交换的^[30]。多因素综合的承载力研究范式对指标间内在机制性的替代关系、补偿关系研究不足。

2.2.2 误区2:缺乏时空尺度转化

传统承载力评价多是单一空间尺度的静态评价,缺乏必要的时空尺度转化,不能很好满足空间规划的实际需求。例如,传统承载力评价往往关注人口或经济规模的增长极限(或最优规模)。当评价尺度由全球或国家尺度转换为区域尺度以后,由于资源环境要素在区域间的交换和流动造成承载人口或经济规模的上限在实践中指导意义不大。在空间规划编制中主要是对土地、水资源等承载主体要素的配置管控,而非对人口或经济规模的限制。由此造成承载力评价与国土空间规划编制的脱节。如在多数空间规划中划定的集聚开发区往往与资源环境要素限制区存在较大的空间重叠,承载力的区域空间差异尚未成为资源配置中增量、存量、流量合理安排与部署的主要依据。其次,以往资源环境承载力评价主要集中于宏观区域尺度,对于小尺度区域开展精细化的评价研究较少,承载力在设定节地、节水、节能、节矿等空间准入标准与准入门槛方面发挥的基础作用不足,不能完全支撑国土空间用途管制的需求。

2.2.3 误区3:评价体系缺乏区域特色

承载力评价的区域特征和阶段特征不够明显,针对性不足。在开展国土空间规划编制中,机械的依据普适性技术规程开展评价,容易出现评价结果与实际不符,评价结果针对性不强等问题。例如,在一些地方开展农业生产功能指向的土地资源承载力评价

时,首先,将坡度划分为若干个等级,并以坡度分级结果为基础,结合土壤质地,划分农业耕作条件高、中、低等若干个类型。

该评价认为坡度越低越适合耕种、土壤的粉砂含量越低农业耕作条件越好。但在具体操作中,浙江、福建等地指出茶园就是需要一定的坡度,宁夏等地指出当地瓜果种植所需的土壤质地条件与玉米等大宗粮食作物所要求的土壤条件差别很大。

2.2.4 误区4:忽视指标的内在属性

指标体系是承载力评价的重要内容,包括资源要素、环境要素与生态要素等指标。随着经济社会发展,中国不断加强交通、水利、电力、能源等基础设施建设,远距离调配资源能力和跨区域配置资源的能力不断增强,除空间位置固定的土地资源外,其他自然资源对经济社会发展的约束作用在不断降低。从环境排放看,传统上用“环境洛伦兹曲线”(inverted U-shaped curve)模型来描述经济社会发展与环境质量之间的关系,但是环境质量与经济社会发展有着更为复杂的联系^[4]。大气污染物、水环境污染物以及工业固体废弃物排放受政策、产业结构、科技投入等社会经济因素的影响比较大。例如,2015年以后,中国加大环境保护与污染防治力度,主要大气污染物和水环境污染物排放大幅度减少。不同的资源环境类指标在经济社会发展中支撑作用不同,指标的本质属性也有区别。如在流动性方面,有空间位置固定的土地资源、跨区域流动的矿产资源、在一定流域内流动的水环境污染物等要素;在指标变化情况方面,有地质稳定性、建设用地资源等相对的慢变量,也有大气污染物、废水中氨氮等快变量。

2.2.5 误区5:评价结果应用的局限性

国土空间规划是综合平衡经济社会发展需求与资源环境基础的综合决策过程。承载力是影响确定国土空间规划目标指标、实施国土空间开发利用与保护修复等的重要基础和依据,但不是强制性和唯一的决定性因素。其原因是现有的承载力理论体系和评价方法还不够完善,评价结果并不能完全准确地表征区域的资源环境本底状况和国土空间开发适宜情况。一些地方数据的不完整、不精确等,也会进一步影响承载力评价结果的准确性和应用性。但从当前国土空间规划工作现状看,有的地方过于强调承载力的决定性作用,机械的依据承载力评价结果编制国土空间规划,容易陷入“环境决定论”误区^[31];有的规划编制单位过度迷信正在研制的《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南》,期望通过程序化的承载力评价解决国土空间规划编制中的指标确定、功能分区等工作。科学合理的承载力评价固然有助于提高国土空间规划编制的科学性,但应当正视承载力理论与技术方法的不足,以及在实际应用中的局限性。

2.3 承载力评价误区的根源

忽略承载力评价的尺度因素可能是影响承载力评价准确性与应用性的主要根源。在时间尺度上,资源环境要素的总量和人均资源环境消耗占用量一般给定统一的数值,对动态性考虑不足。但受社会经济发展、科技进步等因素影响,承载力是动态变化的。在空间尺度上,承载力评价的对象既包括微观的土地单元,又包括以土地为实体、以地域为表现形式的国土空间。不同时空尺度下,承载力的传导机制、评价方法、评价指标、评价阈值等有所不同。例如,对于全国尺度的土地承载力评价,主要衡量土地对粮食安全的保障能力,针对的是大宗粮食作物生产能力的评价;而在较小尺度上开展的面向农业开发的土地适宜性评价,则需要考虑不同农作物对种植条件的差别化,评价指标和标

准应有所差别,体现区域特色。但现有的承载力评价未能充分考虑空间治理的层次性、系统性,对空间治理的尺度转化和功能传导支撑不足。

因此,需要重视“尺度”这一核心要素,明确不同空间尺度和时间尺度上承载力主体和客体的作用机理与传导机制,根据其演化状态,建立承载力评价的规则,构建评价指标体系,并确定评价的标准和依据。例如,在传统的土地资源承载力评价中,一般采用以粮食为指标的土地承载力计算方法,在中国一般将人均年消耗粮食的标准定为400 kg。但是随着经济社会的发展,特别是人口年龄结构、食物消费结构、消费习惯的改变,将会影响土地承载力^[32]。现在一般将人均年消耗粮食标准提高到430~450 kg。另外,在西藏自治区等牧区开展土地承载力评价,还需要将肉类的生产和消费纳入到承载力评价指标体系中^[33]。需要构建和完善承载力评价体系,根据区域实际,结合不同群体的利益诉求、价值选择等,选取适宜的评价指标和权重,满足不同时空尺度空间规划与治理需求。并注重建立评价结果的可回溯机制,确保评价结果可回溯到具体的指标,增强承载力评价结果的实用性。

3 承载力支撑国土空间规划的应用建议

未来在区域开放性、资源环境要素流动性、生态系统临近干扰性、人类对自然的主动改造性、经济社会与资源环境之间的关系复杂性和动态变化性等因素的影响下,资源环境承载力评价将日趋复杂。需要适应建立和完善国土空间规划体系改革的要求,摒弃重指标计算、轻机制研究的做法,注重研究承载力的内在机制、深刻理解指标体系对承载力的表征作用,创新和发展承载力评价技术体系,提升评价结果科学性与实用性,满足新时期国土空间治理的需求。

3.1 构建承载力评价技术体系

3.1.1 明确承载力评价的应用导向

根据国土空间规划编制实施的业务化需要,一方面,继续开展土地、水资源、水环境、生态、灾害等单要素评价,了解资源环境的承载状态与潜力。为总量控制目标指标的确定、分解提供科学依据,并以总量控制倒逼资源开发利用方式转变,直接指导节地、节水、节能、节矿以及环境污染排放等标准与准入门槛的制定和调整。通过比较识别区域发展的短板要素,以“底线思维”体现区域发展劣势与制约因素,为国土空间分类保护确定数量底线、排污上限和空间红线,进而为空间用途管制提供依据。

另一方面,加强资源环境综合承载力研究,综合判定经济社会发展的适宜地区、适宜开发类型、适宜开发程度等,以资源环境综合承载力为基础,明确地域功能、划定功能分区,并确定各功能分区的空间准入类型与准入标准,实现承载力应用由单纯评价向与目标规划、空间分析、决策支持相结合的方向发展。

3.1.2 建立多尺度多单元的评价体系

中国将推动建立分级分类的国土空间规划体系。宏观尺度的国家级和省级国土空间规划重点明确人口规模、城乡建设规模等与资源环境承载力在总量规模上的匹配关系,为制定约束性管控总量目标服务。中观尺度的市县空间规划重点明确区域内不同地域的主要功能,划定城镇、农业、生态空间和生态保护红线、永久基本农田保护红线、城镇开发边界(“三区三线”),明确开发保护格局,实施空间用途管制。微观尺度的乡镇国

土空间规划和详细规划，重点是确定土地利用类型及开发强度，了解每宗土地的开发建设适宜性，指导具体的开发建设行为^[34]。

不同层级的国土空间规划对承载力评价的要求有所不同。同一层级的国土空间规划因承载力评价的目的不同，评价单元也会有所差别。以宏观尺度国土空间规划的承载力评价为例。面向土地食物生产的土地承载力评价，应当将整个区域假定为封闭系统，以全域为评价单元；面向支撑经济社会发展潜力的国土空间开发适宜性评价，应当以区县为评价单元；面向具体开发建设活动的农业开发适宜性、人居环境适宜性评价需要以一定尺度的格网（栅格）为基本单元，衡量土地支撑农业开发、城乡建设的现状及潜力。为此，需要按照空间规划层次性、系统性的要求，建立由“宏观—中观—微观”空间尺度和评价单元构成的承载力评价框架体系（图3）。

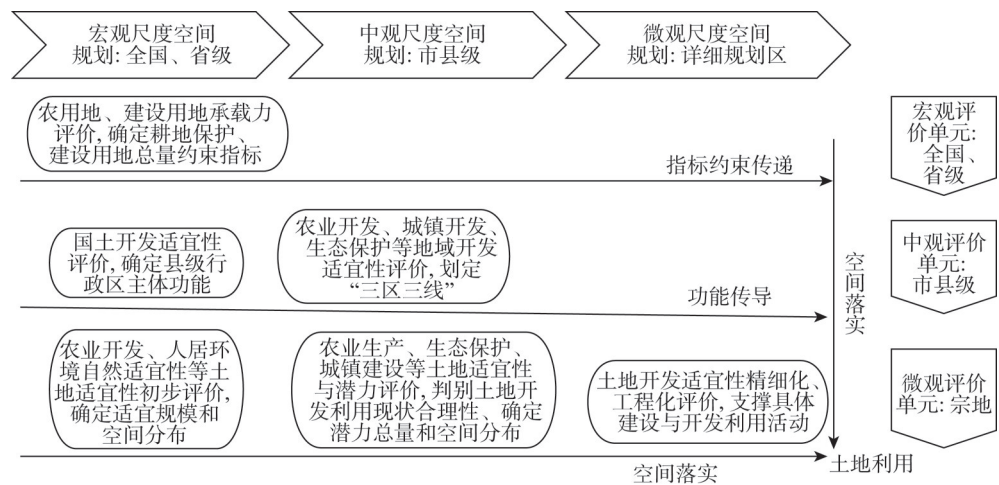


图3 承载力评价框架体系

Fig. 3 Carrying capacity evaluation framework system

不同类型的承载力需要采用不同的评价范式，并差异化地应用于指标约束传递、地域功能传导和空间用途管制，满足不同空间尺度、不同空间治理任务的需求。但受制于理论方法、技术手段、数据可得性的影响，承载力评价结果不可能完全真实地反映区域的真实状况，加之国土空间规划是多方面综合决策的结果，在实际应用中不能机械地根据承载力评价结果编制空间规划，应视情况将其作为约束性、参考性或强制性应用（表2）。

3.2 适应国土空间规划编制新要求

未来中国需要改变传统的生产、生活及发展方式，发挥全球生态文明建设引领者的作用，推动生态文明建设再上新台阶。国土空间规划需要适应新时代的新变革和新要

表2 承载力和适宜性评价方法及应用

Table 2 The method and application of carrying capacity evaluation

承载力名称	评价单元	评价范式	应用方向
农地人口承载力	整个区域	限制性因素法	总量指标约束
国土空间开发适宜性	次级区域	多因素综合法	空间发展指引
土地开发建设适宜性	土地（栅格）	复合型评价法	强制性空间管制
.....

求,促进和引领生产、生活及发展方式的转变,形成绿色高质量的发展模式。作为支撑国土空间规划编制的承载力评价也需要主动适应上述变革的要求。

3.2.1 支撑国土空间规划新目标

生态文明建设再上新台阶下的空间规划需要塑造高质量发展、高品质生活、低扰动生态的国土空间。承载力评价的目的是通过衡量经济社会发展需求与资源环境本底的关系,促进资源利用方式和经济社会发展方式的转变,形成绿色发展方式。承载力评价应该有别于传统资源粗放利用发展方式下的评价模式,评价指标的选取中应当充分考虑高质量发展、高品质生活的需要。例如,基于食物安全供给的承载力评价,不能沿袭传统的以解决温饱为目的的评价,而应当考虑人民群众膳食结构的变化、考虑土壤污染等对绿色农产品生产的影响,为人民群众提供安全、优质的农产品。通过构建由结构类指标、绩效类指标、绿色类指标等组成的评价指标体系,表征高质量绿色发展模式下经济社会发展的结构变革、动力变革和效率变革,促进国土空间规划新目标的实现。

3.2.2 契合国土空间治理新模式

未来国土空间规划将进入存量时代,空间开发模式将由大规模的外延扩张向内部挖潜提升转变;空间治理模式由以往“自上而下”层层下达指标向“上下结合”转变,由逐级控制的指令性、计划性管理向更多发挥地方各级政府管理主动性转变^[34]。空间规划一方面需要通过层级化、系统化的规划体系,落实国家重大发展战略,强化对资源消耗总量、环境排放总量的控制;另一方面需要加强空间治理的精确性、灵活性,满足新业态对国土空间多样化、个性化需求。承载力评价需要适应国土空间治理体系化的要求,分级分类开展评价,保障控制性指标的约束传递和地域功能的层级传导,引导微观的国土空间管制和土地利用落实宏观的战略部署。承载力评价还需要适应国土空间规划进入存量时代的趋势,满足空间治理地方化、精细化的需求。各地在坚持高质量绿色发展的前提下,可以根据特殊的自然要素和人文要素,编制各具特色的空间规划,也应当因地制宜构建符合区域特色的承载力评价指标体系,并考虑流量政策和存量政策。如,需要考虑城市更新改造、容积率提升等对城市建设用地承载力变化的影响。

3.2.3 顺应国土空间治理新手段

传统的空间规划侧重对规划基期的分析和静态规划目标描绘,忽视过程优化与调控,缺乏公众参与,影响部门协调。智慧社会下空间信息技术的发展为空间规划的变革提供了机遇,推动空间规划由蓝图规划转向过程规划、由静态目标规划转向动态控制规划^[35]。相应的承载力评价也需要由静态评价转向动态评价。一方面,关注科技进步对资源利用、环境治理以及产业发展、空间开发格局的影响,关注科技进步在承载力中的“门槛效应”。例如,节水农业的发展将有助于提升现有水资源的承载能力。另一方面,新的技术手段为实施资源环境承载力的动态监测预警提供了可能,在空间规划和治理中将监测预警作为调整优化区域功能定位和经济社会发展模式的主要依据,推动空间规划和空间治理的过程化和动态监测实施化。

4 结论

资源环境承载力与国土空间规划联系紧密,统一于生态文明建设与可持续发展体系之中。承载力评价从国土空间开发的限制性“短板”要素与综合承载能力入手,通过揭

示限制性要素及限制程度,识别国土空间开发适宜类型与适宜程度,为科学合理确定空间开发利用与保护修复的重大目标指标、划定国土空间功能分区、实施差别化空间用途管制等提供科学依据^[30]。科学合理的空间规划有利于优化空间开发格局、节约高效利用资源、改善提升环境质量,从总体上提升区域的资源环境承载能力与可持续发展能力。当前,中国正在建立国土空间规划体系并监督实施,将编制实施国土空间规划作为加快形成绿色生产生活方式、推进生态文明建设的关键举措,以及实现高质量发展和高品质生活、保障国家战略有效实施的重要手段。需要通过科学的承载力评价,刻画区域的资源环境本底,预测和防范潜在的风险,对未来国土空间开发利用提供科学依据。国土空间规划和空间治理的现实变革与需求为承载力研究指明了方向,需要着眼于“从决策到科学”,按照实践业务化需求,进一步明晰承载力概念内涵、完善承载力机理性研究、构建与国土空间规划体系相适应的承载力评价体系,丰富和完善承载力评价内容与指标体系。在具体的承载力评价过程中,注重因地制宜,通过深入研究、多方调研等方式,扩大公众参与度,提升指标选取、权重和阈值确定的科学性,更好支撑和服务国土空间规划,实现“从科学到决策”的转化。

参考文献(References):

- [1] 封志明, 杨艳昭, 闫慧敏, 等. 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(3): 379-395. [FENG Z M, YANG Y Z, YAN H M, et al. A review of resources and environment carrying capacity research since the 20th century: From theory to practice. Resources Science, 2017, 39(3): 379-395.]
- [2] 邓伟. 山区资源环境承载力研究现状与关键问题. 地理研究, 2010, 29(6): 959-969. [DENG W. Discussion on mountain area resource and environment carrying capacity. Geographical Research, 2010, 29(6): 959-969.]
- [3] 樊杰. 我国空间治理体系现代化在“十九大”后的新态势. 中国科学院院刊, 2017, 32(4): 396-404. [FAN J. Perspective of China's spatial governance system after 19th CPC national congress. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2017, 32(4): 396-404.]
- [4] 封志明, 李鹏. 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, 2018, 33(9): 1475-1489. [FENG Z M, LI P. The genesis and evolution of the concept of carrying capacity: A view of natural resources and environment. Journal of Natural Resources, 2018, 33(9): 1475-1489.]
- [5] SAYRE N F. The genesis, history, and limits of carrying. Annals of the Association of American Geographers, 2008, 98 (1): 120-134.
- [6] GABB W M. On the topography and geology of santo domingo. Transactions of the American Philosophical Society, 1873, 15(1): 49-259.
- [7] PRICE D. Carrying capacity reconsidered. Population & Environment, 1999, 21(1): 5-26.
- [8] WOOTON E O. Carrying Capacity of Grazing Ranges in Southern Arizona. Washington: Govt. Print. Off., 1916.
- [9] LEOPOLD A. Game management. Journal of Range Management, 1933, 18(2): 241-242.
- [10] ERRINGTON P L. Vulnerability of Bob-White populations to predation. Ecology, 1934, 15(2): 110-127.
- [11] MALTHUS T R. An essay on the Principle of Population (1st ed. of 1798). London: Pickering, 1986.
- [12] VERHULST P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Corre-Spondance Mathematique et Physique, 1838, 10: 113-121.
- [13] ODUM E P. Fundamentals of Ecology. Philadelphia: Thomson Brooks/Cole, 1971.
- [14] ARROW K, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment. Science, 1995, 268(5210): 520.
- [15] RICHARDSON K. A safe operating space for humanity. Nature, 2009, 461(7263): 472-475.
- [16] O'NEILL D W, FANNING A L, LAMB W F, et al. A good life for all within planetary boundaries. Nature Sustainability, 2018, 1(2): 88-95.

- [17] FANNING A L, O'NEILL D W. Tracking resource use relative to planetary boundaries in a steady-state framework: A case study of Canada and Spain. *Ecological Indicators*, 2016, (69): 836-849.
- [18] 牛方曲, 封志明, 刘慧. 资源环境承载力评价方法回顾与展望. *资源科学*, 2018, 40(4): 655-663. [NIU F Q, FENG Z M, LIU H. A review on evaluating methods of regional resources and environment carrying capacity. *Resources Science*, 2018, 40(4): 655-663.]
- [19] 靳相木, 李陈. 土地承载力研究范式的变迁、分化及其综论. *自然资源学报*, 2018, 33(3): 526-540. [JIN X M, LI C. Paradigm shift in the study of land carrying capacity: An overview. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(3): 526-540.]
- [20] PEARL R, REED L J. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1920, 6(6): 275-288.
- [21] ALLAN W. *The African husbandman*. Münster: Lit Verlag, 1965.
- [22] SANTOSO E B, ERLI H K D M, AULIA B U, et al. Concept of carrying capacity: Challenges in spatial planning: Case study of East Java province, Indonesia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, 135: 130-135.
- [23] FENG Z, SUN T, YANG Y, et al. The progress of resources and environment carrying capacity: From single-factor carrying capacity research to comprehensive research. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(2): 125-134.
- [24] COHEN J E. How many people can the earth support?. *Population Research*, 1996, 51(4): 25-39.
- [25] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望. *地理研究*, 2013, 32(1): 133-145. [SHI Y S, YIN C Y, WANG H F, et al. Research progress and prospect on urban comprehensive carrying capacity. *Geographical Research*, 2013, 32(1): 133-145.]
- [26] RIVOLIN U J. Global crisis and the systems of spatial governance and planning: A European comparison. *European Planning Studies*, 2017, 25(6): 994-1012.
- [27] VITOUSEK P M, EHRLICH P R, EHRLICH A H, et al. Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience*, 1986, 36(6): 368-373.
- [28] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Focus*, 1992, 6(2): 121-130.
- [29] 陆大道. “未来地球”框架文件与中国地理科学的发展: 从“未来地球”框架文件看黄秉维先生论断的前瞻性. *地理学报*, 2014, 69(8): 1043-1051. [LU D D. The framework document of "Future Earth" and the development of Chinese geographical science: The foresight of Academician Huang Bingwei's statement. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(8): 1043-1051.]
- [30] HUI C. Carrying capacity of the environment. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2015, 3: 155-160.
- [31] 郝庆, 封志明, 赵丹丹, 等. 自然资源治理的若干新问题与研究新趋势. *经济地理*, 2019, 39(6): 1-6. [HAO Q, FENG Z M, ZHAO D D, et al. Some new problems and research trends in natural resource governance. *Economic Geography*, 2019, 39(6): 1-6.]
- [32] SMIL V. Who will feed China?. *China Quarterly*, 1995, 143(143): 801-813.
- [33] 郝庆, 封志明, 杨艳昭, 等. 西藏土地承载力的现实与未来: 基于膳食营养当量分析. *自然资源学报*, 2019, 34(5): 911-920. [HAO Q, FENG Z M, YANG Y Z, et al. Evaluation on land carrying capacity of Tibet based on dietary nutrients: Present and prospects. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(5): 911-920.]
- [34] 郝庆. 对机构改革背景下空间规划体系构建的思考. *地理研究*, 2018, 37(10): 1938-1946. [HAO Q. Study on the construction of spatial planning system under the background of institutional reform. *Geographical Research*, 2018, 37(10): 1938-1946.]
- [35] 席广亮, 甄峰. 过程还是结果: 大数据支撑下的城市规划创新探讨. *现代城市研究*, 2015, 22(1): 19-23. [XI G L, ZHEN F. Processes or results: The exploration of the urban plan innovation supported by big data. *Modern Urban Research*, 2015, 22(1): 19-23.]

Carrying capacity reconsidered in spatial planning: Concepts, methods and applications

HAO Qing^{1,2,3}, DENG Ling¹, FENG Zhi-ming^{2,3}

(1. Chinese Academy of Natural Resource Economics, Beijing 101149, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Key Laboratory of Carrying Capacity Assessment for Resource and Environment, MNR, Beijing 101149, China)

Abstract: Resource and environment carrying capacity is the scientific basis and developing constraints of spatial planning. This paper combs the development of the concept, theory and practical application of carrying capacity, and points out the existing problems in research and application, such as concept's obscurity boundary, evaluation biased index calculation, and insufficient research on carrying capacity transmission mechanism. The reform of the spatial planning system and the changes in production modes, lifestyles and development modes in the new era have put forward new demands on spatial planning. It is necessary to explore and innovate the carrying capacity evaluation which is supporting the spatial planning: (1) Further clarify the conceptual connotation of carrying capacity and form a concept set; (2) Study the internal mechanism of carrying capacity and clarify the formation mechanism of carrying capacity; (3) Construct a multi-space scale, multi-evaluation unit's carrying capacity evaluation system to meet the needs of multi-level spatial planning. In practice, it should provide a scientific basis for determining the main indicators and main tasks of spatial planning according to spatial planning and spatial governance changes, supporting new goals of spatial planning, adapting to new modes of spatial governance, and taking new approaches to spatial governance.

Keywords: carrying capacity; spatial planning; spatial governance; suitability evaluation; transmission mechanism