

生态承载力研究进展

李开林

西南林业大学

DOI:10.32629/eep.v9i7.3258

[摘要] 评价生态承载力有助于生态系统稳定,保障区域可持续发展。笔者对国内外相关文献进行查阅并总结后,依次介绍了生态承载力概念起源、内涵。还有自然植被第一性生产力(NPP)估测法、生态足迹法、状态空间法、综合指标评价法和系统模型法等5种主要研究方法,也系统概括了方法的优缺点和适用范围并做比较,对于存在的问题,最后也指出未来生态承载力研究应着力于构建科学统一的理论体系,并且要加强模型的集成优化与动态模拟预警能力,重视空间尺度的选取对评价结果的影响,以期为区域的精准化生态治理和差异化政策制定与决策提供一个有力支撑。

[关键词] 概念; 生态承载力; 方法; 模型优化

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A

Research Progress on Ecological Carrying Capacity

Kailin Li

Southwest Forestry University

[Abstract] Evaluating ecological carrying capacity helps maintain the stability of ecosystems and ensure regional sustainable development. After reviewing and summarizing relevant domestic and foreign literature, the author successively introduced the origin and connotation of the concept of ecological carrying capacity. Also, five main research methods were presented, including the estimation method of primary productivity of natural vegetation (NPP), the ecological footprint method, the state space method, the comprehensive index evaluation method, and the system model method. The advantages, disadvantages, and application scopes of these methods were systematically summarized and compared. Regarding the existing problems, it was finally pointed out that future research on ecological carrying capacity should focus on constructing a scientifically unified theoretical system, and strengthen the integration optimization and dynamic simulation warning capabilities of models, attach importance to the influence of the selection of spatial scale on the evaluation results, in order to provide a strong support for precise ecological governance and differentiated policy formulation and decision-making at the regional level.

[Key words] Concept; Ecological carrying capacity; Methods; Model optimization

引言

“十五五”规划的提出,是我国步入高质量发展新阶段的标志,规划将绿色发展的理念融入到生产生活的方方面面,实现美丽中国生态建设目标的力度明显加强^[1],生态承载力是生态保护的调节器。然而当前研究仍面临概念定义尚未统一、研究方法存在局限、对空间格局和尺度选取考量尚显不足等问题。对此,本文提出了一些建议和展望,对于推动生态文明建设,落实“双碳”目标具有重要的决策参考。

1 生态承载力的起源与内涵

生态承载力,是人口增长与资源环境矛盾长期探索的结果。这个概念的萌芽,可以追溯到1798年发表的《人口原理》,但直

到1921年,“承载力”一词才正式被提出^[2]。之后,Odum、Meadows等人相继将承载力研究的视角从动物种群拓展到人类社会。到20世纪末,人们逐渐意识到环境在恶化,生物多样性也在日益锐减,于是,可持续发展理念被提出。不少学者认为Catton^[3]定义的环境承载力可以看作研究生态的承载力,生态承载力概念因此出现。到今天,生态承载力的定义在学术界仍然有不同表述,但它的核心内涵始终没变,即它具有在一定时空范围内呈动态演变、存在明确上限阈值,而且受多种因素共同影响的复合属性。

2 主要研究方法

2.1 自然植被第一性生产力估测法

因全球气候变化加剧,为了揭示植被受气候影响的生产力变化,侧面评估生态系统健康。1975年德国生态学家Leith^[4]提出估测植被生产力的方法,为研究碳循环、科学管理利用植被资源提供科学依据。目前应用模型有三类:光合机理模型、植物生理过程模型和气候统计模型。包括CASA、BEPS、CENTURY、Miami、Chikugo等模型。早期应用较广泛的是由周广胜和张新时提出的模型,公式如下:

$$NPP=RDI2 \cdot \frac{r(1+RDI+RDI^2)}{(1+RDI)(1+RDI^2)} \exp(-\sqrt{9.87+6.25RDI})$$

其中: $RDI=(0.629+0.237PER-0.00313PER^2)^2$

$$PER=PET/r=58.93 \times \frac{BT}{R}$$

$$BT=\sum_{i=1}^n t/365 \text{ 或 } \sum_{i=1}^n T/12$$

式中:RDI为辐射干燥度,r为年降水量(mm),NPP为自然植被净第一性生产力($t/(hm^2 \cdot a)$),PER为可能蒸散率,PET为年可能蒸散量(mm),BT为年平均生物温度($^{\circ}C$),t为小于 $30^{\circ}C$ 与大于 $0^{\circ}C$ 的日均温;T为小于 $30^{\circ}C$ 与大于 $0^{\circ}C$ 的月均温。

2.2生态足迹法

因全球人口激增,资源消耗巨大,社会迫切需要一种直观、可量化的方法来判断人类活动有没有超出地球的承载极限。于是,1992年生态经济学家William Rees及其学生Wackernagel^[5]提出一种“生态账户”的核算方式,即将一定人口与经济水平下维持消费及容纳废弃物所需的各类物质转化为生物生产面积,并与区域实际供应面积对比,实现了生态承载力评估的简易化,易于操作。应用层面,生态足迹及其改进模型已被广泛应用于生态风险评价、土地合理规划和自然资本核算等方面^[6]。公式如下:

$$EF=\sum_{i=1}^n w_i(cc_i)=\sum_{i=1}^n (ac_i/p_i)$$

$$EC=\sum_{i=1}^n w_i(ep_i)=\sum_{i=1}^n (\frac{ae_i}{p_i})$$

式中:n为消费商品或生产生物的类型, cc_i 为第i种消费商品的生产足迹, ac_i 为第i种消费商品的消费总量, p_i 为第i种商品的生物生产单位面积产量, ep_i 为第i种生物资源的生产足迹, ae_i 为第i种资源生物生产总量, w_i 为第i种消费品或生物资源土地类型生产力权值,EF为某一地区的生态足迹总量,EC为地区生态承载力供给。

2.3状态空间法

在预测区域未来是否可持续发展的承载状况上,生态足迹等传统方法在指标选取、动态预测等方面还存在一定局限性。2001年,毛汉英、余丹林提出了基于三维空间的新思路,即将资源、环境与生态等要素构成的综合承载力视为空间点状要素,所有点共同拟合成一个综合的空间曲面^[7]。通过比较相对位置判断区域承载状态,弥补了传统静态评价、指标选取单一的不

足。这个方法综合性强,可以实现多时间序列的动态对比,目前常和主客观赋权法、系统动力学等多种模型结合,在不同的地理单元开展相关的综合应用研究^[8]。公式如下:

$$RCC=|M|=\sqrt{\sum_{i=1}^n W_i X_{ir}^2}$$

式中:RCC为区域承载力的大小;M为代表区域承载力的有向矢量的模数, W_i 为 X_i 轴的权, X_{ir} 为区域人类活动与资源处于理想状态时在状态空间中的坐标值($i=1,2\cdots,n$)。

2.4综合指标评价法

随着研究区域的多样化和复杂化,指标选取原则和精度要求也越来越高。2001年,高吉喜提出生态承载力综合指标评价的思想,基于承载载体与承载对象的关系,提出了承载压力度、压力指数和承载指数三级评价体系,综合评价区域生态承载力现状^[9]。现在应用比较广泛的是DPSIR模型,它综合考虑了指标选取的全面性,涵盖人类社会和自然生态等多个领域。除了能够体现人类生产生活对自然环境造成的影响,还能反映政府采取的相应政策。常与TOPSIS模型、主客观赋权法结合,实现对区域生态承载力的评价^[10]。模型结构如图1所示:

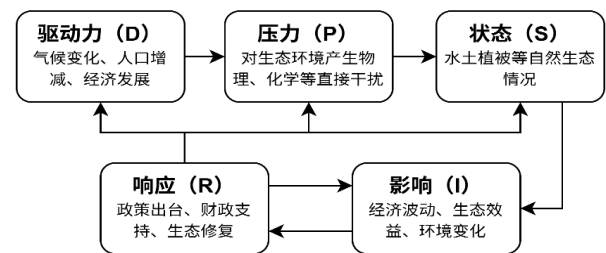


图1 DPSIR指标模型

2.5系统模型法

表1 主要研究方法的优缺点及适用范围

方法	优点	缺点	适用范围
自然植被第一性生产力估测法	数据易获取、计算简便	只在植被角度进行研究,未考虑人类社会经济活动及外部环境变化的影响	植被丰富的大中尺度地区
生态足迹法	核算统一、直观易懂	生态系统的调节功能和人类社会贸易等活动的考量不足,计算精度较低	省市区及以上大尺度地区
状态空间法	精度较高,综合性强	建模困难、数据需求量大,无具体生态承载力值	中小尺度地区
综合指标评价法	覆盖全面、凸显区域特点	指标较多,不易获取,缺乏动态预测能力	结构功能复杂的中小尺度地区
系统模型法	动态预测,系统性强	模型构建复杂,对数据要求较高,结果验证困难	中大尺度的动态模拟

因传统静态方法难以准确刻画系统内部的动态反馈机制,有学者将数学模型应用进来,来实现对区域的动态仿真与模拟预测,揭示长期演变趋势。系统模型呈现出阶段性完善,从18世纪末的理论基础,到20世纪统计学、系统动力学体系的建立,最后计算机的空前发展。现在主要有灰色预测模型、BP神经网络

预测模型、系统动力学模型、人工神经网络模型、层次分析模型、线性回归模型等。可以处理多变量、非线性、动态演化的复杂系统问题,能够推演承载力的变化趋势,并进行有针对性的多情景预测^[11]。

生态承载力各研究方法的优缺点及适用范围对比如表1所示:

3 存在的主要问题

3.1 理论体系不完善

生态承载力的概念定义至今仍缺乏统一的认识,相关理论框架层面的研究还不够充分,这在一定程度上制约了它在区域可持续发展评价中的深入应用。所以,迫切需要加强理论体系的完善,来推动核心概念的统一化和适用边界的清晰化。

3.2 研究方法有局限性

方法已经从静态评价到动态模拟的发展,但动态仿真的模型构建十分复杂,易出现数据缺失和融合困难的问题,虽然有学者已尝试进行过多方法的结合应用,但优势还不明显。未来需要加强模型间的集成优化,探索出适合当地特点的动态模拟分析方法。

3.3 空间尺度的选取问题

在选取生态承载力尺度时,应该遵循科学合理。自然生态分布涉及的影响范围,经常和人为划定的边界不能完全重合,选取时就容易错位。另外,尺度选取过大,局部信息可能被掩盖,若过小,宏观规律又不易把握。最终都会削弱评价结果的适用性。

4 未来发展趋势

4.1 构建科学理论体系

要深化对生态承载力概念本身的理解,并搭建科学、统一的理论体系。一方面,要把它和生态系统服务等概念区分开。另一方面,要建立一个兼顾普适性与情景化需求的理论框架,最后为了提高评价的可靠性,需要制定统一又灵活的要素选择原则。

4.2 方法的集成与优化

需要加强方法的集成与优化,探索一个精度更高、易操作的动态预测模型。可以根据优势互补原则,发挥“3S”技术优势,将长时间跨度的影像数据与机器学习算法结合,助力形成简便高效的评价模型,让生态治理和长远发展更有科学依据。

4.3 空间尺度的拓展分析

要构建一个多尺度协同分析框架,打破传统行政单元的划分,使局部细节与宏观规律可以有效衔接,进而提高评价结果精度。此外,今后还应加大对村域生态承载力的研究,这对完善承载力评价的尺度体系、基层治理决策,都有着重要的现实意义。

5 结语

生态承载力被看作衡量区域可持续发展的关键指标,其研究已从早期相对单一的概念,逐步演变为涵盖多要素、多情景的综合动态评价。面对日益复杂的人地关系和增加的环境压力,未来应着力构建科学统一的理论体系,优化模型的耦合,探索兼具高精度与易操作的动态预警模型,同时,加大空间尺度的拓展与协同分析,为地方生态保护和社会经济的平稳发展,提供可以参考的经验,从而助力区域发展实现绿色转型与生态文明建设的纵深推进。

【参考文献】

[1]国务院印发《美丽中国建设“十五五”规划》[J].环境科学与管理,2026,51(7):1.

[2]Park E R.Sociology and the Social Sciences[J].American Journal of Sociology,1921,26(4):401-424.

[3]Catton W R.Carrying-capacity and the death of a culture—a tale of 2 autopsies[J]. Sociological Inquiry,1993,63(2):202-223.

[4]Helmut Lieth,Robert H.Whittaker. Primary Productivity of the Biosphere[M].Springer,Berlin, Heidelberg:DOI:10.1007/978-3-642-80913-2.

[5]Rees E W.Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J].Environment & Urbanization,1992,4(2):121-130.

[6]李晶,付宇进,张瑄瑄,等.京津冀城市群三维生态足迹分异机制及多元时空匹配特征[J/OL].应用生态学报,1-16[2026-07-30].

[7]毛汉英,余丹林.区域承载力定量研究方法探讨[J].地球科学进展,2001,(4):549-555.

[8]张祺,张娇凤,王文渊,等.基于系统仿真的港口生态承载力动态评价模型[J].大连海事大学学报,2017,43(1):91-100.

[9]高吉喜.可持续发展理论探索.北京:中国环境科学出版社,2001:20-23.

[10]刘婧,张爱儒.基于DPSIR-TOPSIS模型的生态承载力时空分异研究:以柴达木生态功能区为例[J/OL].环境科学与技术,1-14[2026-07-30].

[11]李涛,李国平,薛领.基于系统动力学模型的多城市综合承载力系统仿真模拟——以京津保为例[J].河北经贸大学学报,2026,47(3):65-76.

作者简介:

李开林(2001--),女,汉族,四川广安人,在读硕士,主要研究方向:植物多样性保护与利用。