

# 生态承载力研究和应用进展\*

向芸芸 蒙吉军\*\*

(北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要** 生态承载力研究是解决资源-环境矛盾、实现区域可持续发展的重要基础,也是地理学、生态学和经济学关注的热点与前沿领域。本文在综述国内外相关研究成果的基础上,阐述了生态承载力的概念内涵,即对复合生态系统支持力和压力的表征;评述了常用的研究方法,即净初级生产力估测法、生态足迹法、供需平衡法、综合指标评价法和系统模型法;介绍了目前较为关注的流域、生态脆弱区、城市、农业区和旅游区生态承载力的研究进展;总结了目前生态承载力研究存在的缺乏科学完整的研究体系、阈值的生态学指示意义不明确、动态演化与预测研究不够深入、空间尺度与格局分异涉足较少等问题;并据此提出未来应在作用机理、模型构建和实践应用方面加强研究。

**关键词** 生态承载力;研究方法;应用进展;展望

**中图分类号** X24 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)11-2958-08

**Research and application advances in ecological carrying capacity.** XIANG Yun-yun, MENG Ji-jun\*\* (*Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(11): 2958-2965.

**Abstract:** The study of ecological carrying capacity is an important basis for the settlement of resource shortage and environment deterioration and the realization of regional sustainable development, and also, one of the hot spots in geography, ecology, and economics. After reviewing the related research achievements, this paper elucidated the connotation of ecological carrying capacity, *i. e.*, a representation of the supporting function and compressive stress of complex ecosystem, introduced the universal measuring methods of ecological carrying capacity, *e. g.*, net primary productivity (NPP), ecological footprint (EF), balance of supply and demand, evaluation with comprehensive indices, and systematic modeling, and presented the research progress in the ecological carrying capacity of the regions being more concerned, including watersheds, ecological fragile areas, cities, agricultural areas, and tourism areas. The deficiencies in current studies, such as the shortage of complete scientific research system, the ambiguity of threshold value's ecological meaning, the lack of time series study, and the absence of spatial pattern analysis, were summarized, and accordingly, the development trends in action mechanisms, model construction, and practical application were prospected.

**Key words:** ecological carrying capacity; research method; application advance; prospect.

随着人口数量的急剧增加和经济规模的高速发展,人地矛盾日趋尖锐,造成了资源短缺、环境污染和生态破坏等问题,严重制约了区域经济和社会发展。人们开始了对资源消耗与供给能力、生态破坏与可持续承载能力的思考,关注“自然-经济-社会”

复合系统的可持续发展。可持续发展应该建立在生态持续承载的基础上,人类活动必须限制在生态系统的弹性范围之内(Lester & Hal, 1994; 沈渭寿等, 2010)。生态承载力研究作为度量可持续发展的核心工具之一,其理论及方法备受国内外学者的关注,成为生态学、地理学与环境科学的交叉前沿领域(高鹭和张宏业, 2007)。早期研究源于马尔萨斯的人口增长理论,基于种群承载力构建了承载力研究

\* 国家科技支撑课题(2012BAC16B04)和国家自然科学基金项目(40871048)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: jijunm@pku.edu.cn

收稿日期: 2012-05-08 接受日期: 2012-08-15

的框架,后从环境/资源承载力扩展到生态承载力,研究领域从单一自然要素逐渐扩大到了整个生态经济系统,力求在生态环境保护与资源持续利用之间,寻求适度承受能力的动态平衡临界点(Pearl, 1927; Seidl & Tisdell, 1999)。20世纪40年代以来,国内许多学者以“土地生产潜力”、“人口承载能力”、“资源环境支持能力”等为切入点,先后在干旱区、城市重要经济区、典型流域、重要农业区、湿地、自然保护区及其他生态脆弱区开展了大量研究(中国土地资源生产能力及人口承载量研究课题组, 1991; 高吉喜, 2001; 张传国和方创琳, 2002; 邓波和龙瑞军, 2003; 沈渭寿等, 2010)。

生态承载力既是对生态系统自身水平的表征,也是判断社会经济与生态系统协调与否的重要依据(高吉喜, 2001),为生态环境管理决策提供了有效工具。但受众多因素和时空条件的制约,对其研究具有很大的不确定性,如何定量评价和模拟预测区域生态承载力成为目前的难点。近年来,随着生态承载力研究的对象由简单到复杂,由物质性资源到功能性资源,由外在现象到内部机制,研究方法也相应由单一到复合、由描述统计到综合建模,体现出多角度、系统化、机制化和多元化的特色(王开运等, 2007)。本文在综述现有研究成果的基础上,梳理了生态承载力概念的演化及内涵,总结了目前常用的研究方法及其主要应用方向,讨论了目前研究中存在的不足,并对生态承载力的研究方向进行了展望。

## 1 生态承载力的概念

### 1.1 生态承载力概念的演化

承载力(carrying capacity)原为力学中的概念,指物体在不产生任何破坏时的最大负载,现已演变为对发展的限制程度进行描述的最常用术语(邓波和龙瑞军, 2003)。1921年, Park 和 Burgess(1920)在人类生态学领域首次使用了此概念,表征环境限制因子对人类物质增长过程的重要影响。随着人口膨胀、资源短缺、环境污染与生态破坏等问题的出现,承载力研究范围逐渐扩展,衍生出一系列概念,如种群承载力、载畜量、土地承载力、环境承载力、资源承载力、生态承载力等(Smaal *et al.*, 1998; 谢高地等, 2011),表征特定系统对某种承载对象的容纳能力。生态承载力概念的提出,使承载力研究从生态系统中的单一要素转向整个生态系统,更多地关注生态系统的完整性、稳定性和协调性。

### 1.2 生态承载力的内涵

早期生态承载力的研究,多基于生态系统对承载对象的容纳能力,体现为一种平衡的状态。从种群生态学视角,在食物供应、栖息地、气候、竞争等因子共同影响下,生态系统中任何种群的数量均存在一个阈值(Smaal *et al.*, 1998; Hudak, 1999)。生态系统亦存在“维持和调节系统能力的阈值”(李金海, 2001),超过此阈值,生态系统将失去平衡,以致遭到破坏。随着复合生态系统理论的提出和完善,生态承载力研究越来越强调人类的主导能动作用,“在生态系统结构和功能不受破坏的前提下,生态系统对外界干扰特别是人类活动的承受能力”(沈渭寿, 2010),表现为“生态系统的自我维持、自我调节能力,资源与环境子系统的供容能力及其可维育的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数量”(高吉喜, 2001)。其中,资源承载力是基础条件,环境承载力是约束条件,生态弹性力是支持条件。但是,在一定社会经济条件下,生态系统维持其服务功能和自身健康的潜在能力并非固定不变,而是与社会经济发展水平直接相关(隋昕和齐晔, 2007)。因此,生态承载力应考虑社会经济因素以及由此造成的动态性,并与管理目标紧密结合,以最大人类经济社会发展负荷(包括人口总量、经济规模及发展速度等)为承载对象(张林波, 2009)。此外,生态承载力还具有明确的空间尺度性(王开运等, 2007),体现为生态系统结构和过程的空间差异性。

可以看出,虽然目前关于生态承载力还没有统一的定义,但其内涵至少包括3个方面:1)以包括人类在内的复合生态系统为研究对象;2)既考虑自然系统的自我维持和调节能力(即资源与环境的可持续供给与容纳能力),也考虑人类社会活动对系统的正负能动反馈;3)具有显著的时空尺度依赖性。

## 2 生态承载力的研究方法

近年来,生态承载力研究主要从两个角度开展:一是压力角度,即用种群数量、环境污染强度、人口数量等指标来表征承载力;二是支持力角度,即以资源供给量或环境容量指标直接表征。具体测度又分为两类:1)绝对指标,即从定义出发根据可利用资源的多少和环境容量的大小来确定的可支撑的人口和社会经济发展规模;2)相对指标,即将承载力无

量纲化,用综合指数来衡量,确定其是否在合理阈值内。综合国内外相关研究,主要方法有净初级生产力估测法、生态足迹法、供需平衡法、综合指标评价法和系统模型法等。

### 2.1 净初级生产力估测法

净初级生产力(net primary productivity, NPP)反映了某自然生态系统的恢复能力。一般来说,特定区域 NPP 是可测定的,且在一个中心位置上下波动。通过实测,判定现状生态质量偏离中心位置的程度,以此作为自然系统生态承载力的阈值,并据此确定区域的开发类型和强度(邓波和龙瑞军,2003)。如李金海(2001)以生态系统 NPP 的背景值确定了自然生态系统承载力的阈值,并据此研究了河北省丰宁县的生态承载力状况。

### 2.2 生态足迹法

生态足迹(ecological footprint, EF)的基本思想是以具有等价生产力的生物生产性土地面积为衡量指标,定量表征人类活动的生态负荷和自然系统的承载能力,从而判断系统是否安全(刘红等,2006)。Global Footprint Network 按照收入对不同国家和地区进行分组,基于生态足迹方法研究了不同组的生态承载力及相应的可持续发展状态(谢高地等,2011);Hubacek 和 Giljum(2003)将投入产出分析引入到生态足迹模型中,考虑产品与服务所涉及中间部门的生态空间需求,对提高传统核算模型的结构性、准确性和完整性具有重要的意义。国内学者也采用生态足迹法研究了不同尺度区域的生态承载力(戴科伟等,2006;谭庆等,2008),并进行动态预测(董泽琴和孙铁珩,2004)。

### 2.3 供需平衡法

区域生态承载力体现了一定时期、一定区域生态系统对社会经济发展和人类生存、发展和享乐需求在量与质方面的满足程度。因此,可用区域生态系统提供资源量与当前发展模式下社会经济需求之间的差量关系、以及现有的生态环境质量与当前人们所需求的质量之间的差量关系来衡量(高吉喜,2001)。若差值 $>0$ ,表明区域生态承载力有盈余;差值等于 $0$ ,表明区域生态承载处于临界状态;差值 $<0$ ,表明区域生态承载力超载。这种方法多用于流域的生态承载力评价(王中根和夏军,1999)。

### 2.4 综合指标评价法

由于生态承载能力涉及资源环境和社会经济等多方面因素,可通过构建指标体系模拟生态系统的

层次结构,根据指标间相互关联和重要程度,对参数的绝对值或者相对值逐层加权并求和,最终在目标层得到某一绝对或相对的综合参数来反映生态系统承载状况。指标体系的构建主要源自可持续发展思想的系统理论,如从生态弹性能力、资源承载能力和环境承载能力进行构建(高吉喜,2001);或者引入欧式几何中三维状态空间轴的概念,从承压、压力和区际交流来构建(余丹林等,2003)。指标的综合多采用权重求和法(付强和李伟业,2008)和状态空间法(陈乐天等,2009),权重的确定则有德尔菲法、层次分析法、熵值法、因子分析法等。近年来,随着对复合生态系统承载过程研究的深入,越来越多的计量方法被引入到指标的评价中,构建的指标体系也愈具针对性。如基于可承载隶属度的模糊综合评价方法(朱一中等,2003);测度可持续发展状态的多因素关联分析法(夏军等,2004)。

### 2.5 系统模型法

数理模型是模拟和反映区域生态承载状况的常用方法。从早期的线性规划模型到现在广泛应用的模糊目标规划模型、系统动力学模型、门槛分析模型、空间决策支持系统等,极大提高了承载力研究的定量化水平。经典模型如全球经济模型和提高人口承载能力的备选方案模型(邢永强等,2007)。近年来,Jusup 和 Klanjsek(2007)在菲律宾 Cape Bolinao 地区评价海域生态承载力时提出了海洋生物养殖与自然环境间的仿真交互模型;杨怡光(2009)建立了武汉城市圈人口数量与生态承载力的动力学仿真模型;彭再德等(1996)构建了基于灰色关联度和灰色预测的区域环境承载力评价模型;张林波(2009)基于不同政策情景建立了系统动力学-多目标规划整合模型(SD-MOP)。

因研究区生态背景不同,上述研究方法的适用性也存在差异:1) NPP 估测法和供需平衡法具有简明、易懂、操作性强的特点,但很难体现承载力的动态性,且无法表明人类社会活动对承载力的反馈;2)生态足迹法直观简单,但模型参数弹性不够,且缺乏对生态系统的净化功能及土地多功能性的度量;3)综合评价法和系统模型法考虑因素较全面、灵活,适用于结构功能复杂的区域,但所需资料较多,数据可得性往往成为瓶颈。因此,一些学者在上述方法的基础上提出了改进思路。如 Zhao 等(2005)应用能值分析理论对生态足迹的计算进行了改进,称为能值足迹法,克服了传统生态足迹法参

数不稳定、将复杂系统功能单一化的缺点;张万顺等(2011)对比了基于模糊数学的隶属度方法和系统动力学方法,发现前者更加简明易懂,在数据获取与方法上更具操纵性;王开运等(2007)提出了融合地理信息系统和决策支持系统的空间决策支持系统模型(SDSS),将多目标规划、组合建模和地理空间分析结合起来。

### 3 国内生态承载力的主要研究方向

生态承载力反映了人类活动与生态安全之间的平衡关系,是辨识地理环境中可能被人类活动改变的关键成分和功能、确定人类活动影响环境阈值的重要依据。近年来,国内学者从生态系统的结构和功能出发,对以下几类生态系统的生态承载力进行了研究。

#### 3.1 流域生态承载力

流域生态承载力是水资源承载力、环境承载力以及生态承载力的有机结合(张万顺等,2011)。研究内容包括3个方面:1)基于水资源属性的供需平衡分析;2)基于水体纳污能力的环境容量分析;3)基于流域生态系统稳定性的生态弹性力分析。目前研究多从流域生态承载力的相对量(流域生态承载状况)和绝对量(流域生态承载能力)两个角度展开。相对量的度量多采用综合指标评价法(张万顺等,2011),从水资源供给/需求状况、水污染排放/净化状况和生态稳定性来遴选评价指标,描述流域生态系统对社会经济发展的承载状态。绝对量的研究多采用系统模型法,以流域生态环境的良性循环和生态系统功能的持续发挥为约束条件,确定可持续支撑的最大社会经济规模(沈渭寿等,2010)。近年来,也有学者将相对量与绝对量的研究结合起来,综合社会稳定、经济发展与生态保护目标函数,通过绝对量的最优化获得流域生态建设指标,再基于综合评判模型得到不同情景下的承载力相对值,实现对流域生态承载力的评价和方案优选(朱一中等,2005)。

#### 3.2 生态脆弱区生态承载力

生态脆弱区内生态系统敏感性强,系统稳定性弱;生态弹性力小,抵御外界干扰能力差;自然恢复能力差;环境容量小,生态承载能力低(蒙吉军,2011a)。由于直接描述此类地区生态系统稳定性较为困难,现有研究多通过区域景观格局及生态特征的分析,建立生态承载力评价模型,确定人类活动强

度的最大阈值(沈渭寿等,2010)。鉴于生态足迹模型在研究生态格局可持续性方面的优越性,一些学者将其引入生态脆弱区承载力研究(刘森等,2007),通过长时间序列分析、经验模态分解、能值分析、元胞自动机和CLUE-S模型空间分析等方法,确定区域生态承载状态及演变趋势;戴科伟等(2006)提出了区域总生态承载力和可利用生态承载力的概念,为生态足迹分析方法应用于小尺度生态脆弱区的承载力研究提供了方法框架;还有学者基于生态脆弱区的关键问题,以不同土地利用类型的合理数量为衡量指标,通过确定各生态系统的生态荷载来表征生态承载力(蔡海生等,2007;沈渭寿等,2010)。

#### 3.3 城市生态承载力

人类不仅是城市生态系统简单的施压者,也是承载力的共同创造者。城市生态承载力受社会系统建设能力、经济系统发展能力、人工智能管理能力及文化因素的影响(张林波,2009)。近年来,城市生态承载力主要通过人口数量、生态足迹及相对承载力来表征,采用了系统动力学模型、投入产出分析、综合指标分析等方法。如靳玮等(2010)提出了城市适度人口规模的多目标决策方法;李翔等(2005)以经济可持续性为目标,从资源消费、能源消费、水资源消费、环境负荷等方面对珠海市生态足迹进行了预测;徐琳瑜等(2005)借鉴生物免疫学理论构建了城市生态系统复合承载力“蛋体模型”,利用灰色关联度和熵理论构建了广州市生态承载力计量模型。此外,还有学者对城市群生态承载力进行了研究。如沈渭寿(2010)以资源占用和环境污染为准则层,从自然环境、社会经济、系统开放和管理政策4个方面构建了长三角城市群生态承载力的综合评估模型;赵卫等(2011)针对海峡西岸经济区敏感的生态环境、强烈的发展愿景和以产业转移为主的后发优势战略,确定了其生态承载力的判定标准和衡量对象,运用多目标规划构建了生态承载力评价模型。

#### 3.4 农业生态承载力

农业生态承载力源于土地承载力,即“在一定生产条件下,土地资源的生产能力及在一定生活水平下承载的人口数量”(蒙吉军,2011b)。早期研究侧重于区域内农业用地(尤其是耕地)在一定生产和生活条件下所能养活的人口限度,较少考虑土地系统作为农业生产系统的重要组分,与社会经济系

统的相互关系,同时也缺乏对农业活动与生态环境的协调分析。典型研究如 FAO 于 1977 年开展的发展中国家土地潜在人口承载能力的研究,以及中国科学院 1991 年完成的“中国土地资源生产能力及人口承载力研究”。随着生态环境问题的日益严重,土地综合承载功能也开始凸显,研究重点逐渐转向农业区的生态可持续性,关注农业机械化、规模化与能源、土地资源和环境保护的有机结合,从单一的生产功能承载力扩展到生态服务功能承载力,从农业可持续发展的角度建立起了农业生态承载力的评价指标体系和综合评价模型,并通过情景分析为农业区社会和经济提供最优的发展模式(沈渭寿等,2010)。

### 3.5 生态旅游承载力

生态旅游承载力源于“旅游环境承载力”,即“在旅游地环境的现存状态和结构组合不发生对当代人(包括旅游者和当地居民)及未来人有害变化(如环境美学价值的损毁、生态系统的破坏、环境污染、舒适度减弱等过程)的前提下,一定时期内旅游地所能承受的旅游活动强度(包括游客密度、旅游用地和旅游收益强度)”(崔凤军和刘家明,1998)。研究对象为旅游环境系统,包括环境承载量、资源承载量、心理承载量和经济承载量等内容,传统研究多以旅游地所容纳的游客量作为承载力值。随着对旅游区环境系统研究的深入,学者们逐渐认识到不同旅游形式呈现不等量的承载力值,且旅游活动一旦超出其阈值便会使旅游地遭到破坏,乃至衰落。因此,旅游活动强度被纳入到生态旅游承载力的评估体系,度量方法也由最初的限制因子法发展到旅游承载力指数、旅游生态足迹模型、多目标综合模型等。如董巍等(2004)从生态弹性能力、旅游支持度、旅游资源价值等方面对金华生态旅游承载力进行了研究;文传浩等(2002)建立了自然保护区生态旅游承载力的综合指标评价体系;杨春宇等(2006)则进行了生态旅游承载力的预警研究。另外,学者们也关注旅游者和旅游地居民的心理承载力,如周兴年(2003)引入“边际满意度”概念,提出了旅游心理满意度模型;胡希军等(2005)采用民意调查方法进行了金华旅游社会承载力研究。

## 4 存在的问题

目前,关于生态承载力的阈限性,各学科已形成共识,其制约因素则从自然资源的供给能力、环境系

统的净化能力扩展到生态系统的弹性力、人类活动的调控能力、社会经济的发展能力等。理清了生态承载力与资源承载力、环境承载力、生产承载力以及生活承载力之间的相互关系,研究方法也从定性描述发展到定量分析和机制探讨的综合,越来越趋近于生态承载力问题的科学本质。但现阶段研究还存在以下几个方面的不足。

1) 缺乏科学完整的研究体系。生态承载力研究是集评价、预测、规划与决策于一体的综合研究,需要构建科学完整的研究体系。近年来,尽管在理论上已明确了研究的对象和问题,但研究精度还需深入。如多从资源、环境与社会 3 个独立子系统来研究,但对复合系统中各子系统间的关联考虑较少;对社会经济的量化关注了其消极的一面,却忽视了其具有提高承载力的积极的一面。另外,目前尚未构建起通用的标准方法体系。随着研究的深入,越来越多的理论(如生物免疫、尺度推译等)和方法(如情景分析、多模型组合等)被引入,但普适性还有待商榷;况且,采用不同方法得到的结果差异也较大,或者即使采用同一种方法,由于参数选择、模型构建等方面的差异,所得到的承载力估算结果也不同,难以为决策提供切实可行的依据。

2) 阈值的生态学指示意义不明确。承载力阈值体现了生态系统对社会经济良性发展的一种支持能力,是衡量社会经济活动与自然生态环境之间是否平衡的标尺。早期将“阈值”简单理解为“容量”,通过研究生态系统所提供的资源和环境所能容纳的人口或种群数量作为阈限标准,具有很大的局限性。近年来,考虑因子效应的复合,用综合指数来反映阈限性,可在时间序列上进行生态承载力的纵向比较,但仅针对结果和现象,缺乏机制和过程的深入探讨,生态学指示意义不明确。尤其是采用不同方法研究时,阈值边界或标准不同导致所指示的生态学意义存在差异,也就很难进行横向对比。如同样是用生物生产性土地面积来反映阈限性,传统 EF 模型和改进后的 EEF 模型计算的绝对数值差异很大(王明全等,2009),就是由于两种模型中生物生产性土地面积所指的生态学背景不明确,导致结果缺乏指示意义。

3) 动态演化与预测研究不够深入。生态承载力是生态系统的承载能力与承载对象压力的综合体现,既与生态系统演替紧密相关,又与承载对象之间

存在复杂的反馈机制。目前,虽有学者通过长时间序列的生态足迹来追踪生态承载力的动态,但多是基于抽象的指标数值,运用统计学建立拟合与预测模型,缺乏动态演替内在机制的分析,自然也就无法真正实现动态模拟。生态承载力预测是以区域持续发展为目标,既要考虑研究区现状,又要纳入规划目标、政策和科技发展潜势等,是一个典型的半结构化的多层次和多目标的群决策问题,具有很大的不确定性(王开运等,2007)。因此,从机制上理解复合生态系统内部的结构和功能,综合考虑生态承载力与人口、土地利用结构、社会经济强度等的交互关系,建立动力学模型来模拟区域生态承载力的演化趋势,还有待进一步的研究。

4)空间尺度与格局分异研究涉足较少。全球化背景下,自然生态系统与社会经济系统日益紧密地交织在一起(Young *et al.*, 2006)。复合生态系统的等级级联特征要求生态承载力研究必须要选择适当的尺度及对应的方法(王开运等,2007)。大尺度研究提出宏观生态问题,再基于小尺度展开机制研究,最终实现以可持续发展为目标的尺度推译。但现有研究:一是对宏观尺度的研究较少。虽然研究对象是一些特定的生态系统(如流域、城市、农业区等),但贸易流通等导致的人类生态位置与时空位置的差异,决定了研究必须放在区域大背景上加以考虑。如对城市生态承载力的研究,张林波(2009)认为应先客观计算出全球生物物理承载力,再根据城市所占用的资源及所造成影响的份额将承载力值分配到城市。二是格局分异研究较薄弱。生态承载力供给与自然资源禀赋、土地资源格局等密切相关,具有明确的空间分异特性。但传统的研究多强调整体概念,掩盖了区域内部的空间差异性。近几年,虽有学者将RS、GIS等应用于生态承载力研究(岳东霞等,2007),但也局限于行政单元的空间分异。因此,如何既在宏观上满足大尺度复杂系统的建模要求,微观上又能实现更为精确的格局度量,最终提供区域可持续发展的决策,还有待进一步加强。

## 5 展 望

深入复合生态系统机理的研究,揭示人类活动与生态系统的反馈机制。生态承载力涉及了社会、经济、资源、环境等要素,各要素之间存在着复杂的

非线性关系。从系统角度出发,开展多因素、多层次的交叉综合研究,理清系统内部因素间的反馈方式,构建人类干扰强度衡量模式,模拟其动态过程。如引入隶属度函数来表征“可承载”与“不可承载”的程度;构建SD-MOP模型模拟复合生态系统的作用机制;基于景观格局与过程研究区域不同功能区承载力的时空动态性(张艳芳和任志远,2006)。

构建区域生态承载力集成模型。单个模型往往难以实现对复合生态系统的模拟,如计算模型难以兼顾动态预测,而动态分析则缺乏管理决策功能(王开运等,2007),因此,建立反映承载力本质特征的集成模型成为迫切要求。理想的复合模型应当具有以下特征:1)包含自然、经济、环境、资源等优化目标;2)包括环境容纳能力和资源支持能力在内的约束条件;3)将经济建模组织为一个将资源进行转换和分配以满足人类需求和期望的过程;4)概括资源、环境和经济相互联系的整合方法;5)实现复合生态系统的数字化;6)实现动态模拟(Cohen, 1995; David, 1999; 王开运等, 2007)。需构建的核心模块如投入产出模块、多目标情景决策分析模块、生态承载力综合评判模块和空间决策模块等。情景分析能较好考虑到人的主观能动性,预测复合生态系统的演变趋势。空间决策分析则在空间分异、亚区域和亚系统分析中有独到的优势。因此,加强集成模型内部的耦合、衔接是未来生态承载力研究的一个重点。

加强生态承载力的应用研究。生态承载力研究的目的在于可持续发展战略的实施,形成系列可行的决策方案,建立具有适应性的管理系统(Fikret *et al.*, 2003)。如从经济、资源与环境相协调的角度研究城市生态承载力,为制定人口政策提供依据;基于情景分析,为生态建设、城市规划调整、土地优化提供依据;通过长期定位监测,进行脆弱生态系统健康网络诊断与安全预警,构建集实时监测-定量评估-动态预测-分级预警-适时发布-综合调控于一体的管理系统,为环境决策与管理提供依据;对城市(群)、自然保护区、水源保护区等区域,结合土地利用规划、生态功能区划等确定产业发展的可利用生态空间和适宜规模;研究旅游地承载力演变趋势,采取调控策略选择最佳旅游方式;根据流域生态承载力的变化趋势,制定污染物总量控制和分阶段控制的详细方案。

## 参考文献

- 蔡海生, 朱德海, 张学玲, 等. 2007. 鄱阳湖自然保护区生态承载力. 生态学报, **27**(11): 4751-4757.
- 陈乐天, 王开运, 邹春静, 等. 2009. 上海市崇明岛区生态承载力的空间分异. 生态学杂志, **28**(4): 734-739.
- 崔凤军, 刘家明. 1998. 旅游环境承载力理论及其实践意义. 地理科学进展, **17**(1): 86-91.
- 戴科伟, 钱 谊, 张益民, 等. 2006. 基于生态足迹的自然保护区生态承载力评估——以鹞落坪国家级自然保护区为例. 华中师范大学学报(自然科学版), **40**(3): 462-466.
- 邓 波, 龙瑞军. 2003. 区域生态承载力量化方法研究述评. 甘肃农业大学学报, **38**(3): 281-289.
- 董 巍, 刘 昕, 孙 铭, 等. 2004. 生态旅游环境承载力评价与功能分区研究——以金华市为例. 复旦学报(自然科学版), **43**(6): 1024-1029.
- 董泽琴, 孙铁珩. 2004. 生态足迹研究: 辽宁省生态足迹计算与分析. 生态学报, **24**(12): 2735-2739.
- 付 强, 李伟业. 2008. 三江平原沼泽湿地生态承载能力综合评价. 生态学报, **28**(10): 5002-5010.
- 高 鹭, 张宏业. 2007. 生态承载力的国内外研究进展. 中国人口·资源与环境, **17**(2): 19-26.
- 高吉喜. 2001. 可持续发展理论探讨——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社.
- 胡希军, 朱丽东, 马永俊, 等. 2005. 金华市旅游社会承载力研究. 经济地理, **25**(4): 590-592.
- 靳 玮, 徐琳瑜, 杨志峰. 2010. 城市适度人口规模的多目标决策方法及应用. 环境科学学报, **30**(2): 438-443.
- 李 翔, 许兆义, 孟 伟. 2005. 城市生态承载力研究. 中国安全科学学报, **15**(2): 3-7.
- 李金海. 2001. 区域生态承载力与可持续发展. 中国人口·资源与环境, **11**(3): 76-78.
- 刘 红, 王 慧, 张兴卫. 2006. 生态安全评价研究述评. 生态学杂志, **25**(1): 74-78.
- 刘 森, 胡远满, 常 禹, 等. 2007. 生态足迹改进方法及其在区域可持续发展研究中的应用. 生态学杂志, **26**(8): 1285-1290.
- 蒙古军. 2011a. 土地评价与管理(第2版). 北京: 科学出版社.
- 蒙古军. 2011b. 综合自然地理学(第2版). 北京: 北京大学出版社.
- 彭再德, 杨 凯, 王 云. 1996. 区域环境承载力研究方法初探. 中国环境科学, **16**(1): 6-9.
- 沈渭寿, 张 慧, 邹长新, 等. 2010. 区域生态承载力与生态安全研究. 北京: 中国环境科学出版社.
- 隋 昕, 齐 晔. 2007. 黄河流域青海片生态承载力动态评价. 生态学杂志, **26**(3): 406-412.
- 谭 庆, 汪正祥, 雷 耘, 等. 2008. 湖北省近20年生态足迹演化. 生态学杂志, **27**(6): 974-977.
- 王开运. 2007. 生态承载力复合模型系统与应用. 北京: 科学出版社.
- 王明全, 王金达, 刘景双, 等. 2009. 基于能值的生态足迹方法在黑龙江和云南二省中的应用与分析. 自然资源学报, **24**(1): 73-80.
- 王中根, 夏 军. 1999. 区域生态环境承载力的量化方法研究. 长江职工大学学报, **16**(4): 9-12.
- 文传浩, 杨桂华, 王焕校. 2002. 自然保护区生态旅游环境承载力综合评价指标体系初步研究. 农业环境保护, **21**(4): 365-368.
- 夏 军, 王中根, 左其亭. 2004. 生态环境承载力的一种量化方法研究——以海河流域为例. 自然资源学报, **19**(6): 786-794.
- 谢高地, 曹淑艳, 鲁春霞, 等. 2011. 中国生态资源承载力研究. 北京: 科学出版社.
- 邢永强, 冯进城, 窦 明. 2007. 区域生态环境承载能力理论与实践. 北京: 地质出版社.
- 徐琳瑜, 杨志峰, 李 巍. 2005. 城市生态系统承载力理论与评价方法. 生态学报, **25**(4): 771-777.
- 杨春宇, 邱晓敏, 李亚斌, 等. 2006. 生态旅游环境承载力预警系统研究. 人文地理, **21**(5): 46-50.
- 杨怡光. 2009. 武汉城市圈的生态承载力动态仿真研究. 管理学报, **6**(S): 16-20.
- 余丹林, 毛汉英, 高 群. 2003. 状态空间衡量区域承载状况初探——以环渤海地区为例. 地理研究, **22**(2): 201-210.
- 岳东霞, 杜 军, 刘俊艳, 等. 2011. 基于RS和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价. 生态学报, **31**(9): 2550-2558.
- 张传国, 方创琳. 2002. 干旱区绿洲系统生态-生产-生活承载力相互作用的驱动机制分析. 自然资源学报, **17**(2): 181-187.
- 张林波. 2009. 城市生态承载力理论与方法研究——以深圳市为例. 北京: 中国环境科学出版社.
- 张万顺, 齐 迪, 幸 娅, 等. 2011. 区域水生态承载力的量化研究与应用. 武汉大学学报(工学版), **44**(5): 560-564.
- 张艳芳, 任志远. 2006. 区域生态安全定量评价与阈值确定的方法探讨. 干旱区资源与环境, **20**(2): 11-16.
- 赵 卫, 沈渭寿, 张 慧, 等. 2011. 后发地区生态承载力及其评价方法研究——以海峡西岸经济区为例. 自然资源学报, **26**(10): 1789-1800.
- 中国土地资源生产能力及人口承载量研究课题组. 1991. 中国土地资源生产能力及人口承载量研究. 北京: 中国人民大学出版社.
- 周兴年. 2003. 旅游心理容量——以武林源黄石寨景区为例. 地理与地理信息科学, **19**(2): 102-104.

- 朱一中, 夏军, 谈戈. 2003. 西北地区水资源承载力分析预测与评价. *资源科学*, **25**(4): 43-48.
- 朱一中, 夏军, 王纲胜. 2005. 张掖地区水资源承载力多目标情景决策. *地理研究*, **24**(5): 732-740.
- Cohen JE. 1995. Population growth and earth's human carrying capacity. *Science*, **269**: 341-346.
- David P. 1999. Carrying capacity reconsidered. *Population and Environment*, **21**: 5-26.
- Fikret B, Johan C, Carl F. 2003. Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change. New York: Cambridge University Press.
- Hubacek K, Giljum S. 2003. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprint) of international trade activities. *Ecological Economics*, **44**: 137-151.
- Hudak AT. 1999. Rangeland mismanagement in South Africa: Failure to apply ecological knowledge. *Human Ecology*, **27**: 55-78.
- Jusup M, Klanjsek J. 2007. Estimating ecological carrying capacity for finfish mariculture// Abstracts of EcoSummit 2007: Ecological Complexity and Sustainability: Challenges & Opportunities for 21st Century's Ecology. Beijing: Ecological Society of China: 210.
- Lester RB, Hal K. 1994. Full House: Reassessing the Earth's Population Carrying Capacity. New York: Norton.
- Park RE, Burgess EW. 1921. Introduction to the Science of Sociology. Chicago: University of Chicago Press.
- Pearl R. 1927. The growth of populations. *Quarterly Review of Biology*, **2**: 532-548.
- Seidl I, Tisdell CA. 1999. Carrying capacity reconsidered: From Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics*, **3**: 395-348.
- Smaal AC, Prins TC, Dankers N, et al. 1998. Minimum requirements for modeling bivalve carrying capacity. *Aquatic Ecology*, **31**: 423-428.
- Young OR, Berkhout F, Gauopin GC, et al. 2006. The globalization of socio-ecological systems: An agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, **16**: 304-316.
- Zhao S, Li Z, Li W. 2005. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling*, **185**: 65-75.
- 
- 作者简介** 向芸芸,女,1989年生,硕士研究生,主要从事资源环境管理、土地变化科学研究。E-mail: xiangyunyun@126.com
- 责任编辑** 刘丽娟
-