

生态承载力的概念及其研究方法

顾康康

安徽建筑工业学院建筑与规划学院, 安徽 合肥 230022

摘要: 生态承载力研究是可持续发展科学领域关注的热点问题, 是判定可持续发展的重要分析手段, 对生态承载力的概念和评价方法的研究有利于可持续发展科学的发展与完善。对国内外相关研究中的生态承载力概念进行了总结, 并深入探讨了不同学者对于生态承载力概念达成的共识及存在的分歧, 在此基础上提出了生态承载力概念的内涵。依据生态承载力评价的思路, 将国内外生态承载力评价方法分为 3 类, 第 1 类是指标体系评价法, 第 2 类是以能量、物质流为基础的产品周期评价, 第 3 类是综合性评价。上述评价方法在处理复杂系统问题上都有各自的优缺点, 需要评价者根据评价目的采用互补的方式对方法进行集成, 加强综合集成的方法在生态承载力评价中的应用。最后, 结合生态承载力研究的发展趋势, 分析了目前生态承载力研究的不足, 提出了生态承载力中主动因子与被动因子、生态承载力预测及其与区域规划的结合、经济发展和科技进步对生态承载力的影响、生态承载力方法改进等亟待开展的研究内容。

关键词: 生态承载力; 评价方法; 可持续发展; 研究展望

中图分类号: X171

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 02-0389-08

20 世纪 60 年代晚期至 70 年代早期, 由于人口和经济的快速增长, 人类对自然的破坏增大使人们认识到可持续性发展的重要性。环境与发展问题是可持续发展的核心问题, 其根源在于人类社会经济活动对自然资源超常规地利用而削弱或破坏了生态环境系统功能, 引发了一系列生态环境问题直接威胁到人类自身的生存与发展。该问题的实质体现在社会经济活动超过了自然生态系统的承载能力。因此, 生态承载力作为评价可持续发展能力的重要手段之一, 其理论及研究方法受国内外可持续发展研究者的关注, 成为生态学与资源学、环境科学、经济学研究的交叉前沿领域^[1]。21 世纪议程 (1992) 提出“持续发展战略的基础必须是准确评估地球负载能力和对人类活动的恢复能力”^[2]。许多国际性科学计划和机构也把生态承载力研究作为可持续发展研究的重要组成部分, IUCN/UNEP/WWF (1991) 认为“可持续发展是生存不超过维持生态系统承载力的情况下, 改善人类的生活品质”^[3]。在全球变化的背景下, 不同学者从社会—生态指标^[4-5]、生态系统服务价值^[6-8]、生态足迹^[9-11]等方面对生态承载力进行了深入地研究, 使得生态承载力研究成为全球环境变化及可持续性科学领域关注的热点问题和重要的分析工具。目前, 生态承载力研究也逐渐成为国内可持续发展研究的重要组成部分, 关于生态承载力的研究大量涌现, 笔者在 CNKI 网站以生态承载力为关键词或题目进行了调查, 1997 年相关文献仅为 18 篇, 2011 年达到 2 519 篇。

目前, 生态承载力的概念和评价方法是生态承载力研究的一个重要研究内容, 同时也是生态承载力研究面临的一个挑战, 生态承载力研究的发展很大程度上取决于能否建立一个通用的生态承载力概念框架及切实可行的生态承载力评价方法。由于生态承载力研究目前正处于起步研究阶段, 不同研究领域对“生态承载力”这一概念的理解尚存在差异, 加之生态系统的复杂性, 使生态承载力评价研究面临很多困难, 这极大的限制了生态承载力研究在决策制定中应用。本文在阅读大量国内外文献的基础上, 对生态承载力的概念及其构成要素进行了深入探讨, 归纳和分析了目前国内外生态承载力评价研究中运用的主要方法, 并指出了生态承载力评价中应遵循的基本原则及亟待开展的研究内容。

1 生态承载力的概念

1.1 承载力的概念

关于承载力概念的起源可以追溯到马尔萨斯时代, 马尔萨斯是第一个看到环境限制因子对人类物质增长过程有重要影响的科学家, 他的资源有限并影响人口增长的理论不仅反映了当时社会形式, 而且对后来的科学都产生了广泛的影响^[12]。1921 年, 美国的 Park 和 Burgess 就在有关的人类生态学杂志中, 提出了承载力的概念, 即某一特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合), 某种生物个体存活的最大数量^[13]。随着土地退化、资源短缺、环境污染和人口膨胀等问题的出现, 承载力被广泛应用于和生态有关

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41101566)

作者简介: 顾康康 (1982 年生), 男, 博士, 研究方向为城市生态规划与区域可持续发展。E-mail: kangkanggu@163.com

收稿日期: 2011-11-17

的各个研究领域。如“水资源承载力研究”^[14-15]，“土地资源承载力研究”^[16-17]，“矿产资源承载力研究”^[18-19]，随着研究的深入，许多承载力的研究已经不仅仅是局限于某一种资源，因为生态系统中的各个对象都处在相互影响和制约当中，承载力的研究更开始注重综合性研究，如“环境承载力研究”^[20-21]，“相对资源承载力研究”^[22-23]，“土地人口承载力研究”^[24-25]，“旅游承载力研究”^[26-27]，“矿产资源人口承载力”等^[28]。

随着人类经济发展和城市化进程的加速，资源流失与资源短缺日益突出，环境污染和生态破坏日益严重，制约经济持续发展的重大问题之一就是生态破坏。为此，许多科学家认为应该保持生态系统的完整性，控制人类的活动，使其处于生态系统承载能力范围之内，才能实现系统与区域的可持续发展，于是“生态承载力”的概念应运而生，即只要人类对自然系统的压力处于地球生态系统的承载力范围内，地球生态系统就是安全的、人类社会的经济发展就处于可持续的范围之内。由此可见，承载力概念从出现至今，已在形式和意义上发生了深刻变化（表 1）。承载力概念的演化与发展是对发展中出现问题的反应与变化结果，是人类对自然界改造和发展的必然结果。

1.2 生态承载力的概念

国外相关研究报道大多数都是从种群生态学角度出发的。Bailey J. A. 从动物生态学角度将承载力区分为“经济承载力”和“生态承载力”，经济承载力属于牧场管理学的概念，由动物种群生产力的管理目标、动物的质量和生境的状况来定义，而生态承载力则属于野生动物管理学范畴，是指在无狩猎等干扰下种群与环境所达到的平衡点，在无狩猎或正常水平的狩猎对种群数量无多大影响的情况下，生态承载力仅由有限的生境资源决定^[29]。A. C. Smaal, T. C. Prins 等认为生态系统承载力是在特定时间内特定生态系统所能支持的最大种群数。Andrew, T. Hudak 给出的生态承载力定义是指在特定时期内，植被所能提供的最大种群数量。这 2 种定义内涵是一致的，都是在现有状况下生态系统

所能容纳的最大种群数量^[30]。

国内学者于 20 世纪 90 年代初开始对生态承载力进行研究。杨贤智给出的生态环境承载力定义是生态系统的客观属性，是其承受外部扰动的能力，也是系统结构与功能优劣的反映^[31]。王中根，夏军根据环境承载力理论，认为区域生态环境承载力是指在某一时期某种环境状态下，某区域生态环境对人类社会经济活动的支持能力，它是生态环境系统物质组成和结构的综合反映^[32]。王家骥认为生态承载力是自然体系调节能力的客观反映，地球上不同等级自然体系均具有自我维持生态平衡的功能，这是由于系统功能的核心是生物，生物有适应环境变化的功能，生物的适应性是其细胞、个体、种群和群体在一定环境下的演化过程中逐渐发展起来的生物学特性，是生物与环境相互作用的结果^[33]。高吉喜将生态承载力定义为：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；并指出资源承载力是生态承载力的基础条件，环境承载力是生态承载力的约束条件，生态弹性力是生态承载力的支持条件^[4]。程国栋在对水资源承载力进行研究时认为：(生态)承载力是指生态系统所提供的资源和环境对人类社会系统良性发展的一种支持能力，由于人类社会系统和生态系统都是一种自组织的结构系统，二者之间存在紧密的相互联系，相互影响和相互作用，因此，生态承载力研究的对象是生态经济系统，研究其中所有组分的和谐共存关系^[34]。杨志峰等提出了基于生态系统健康的生态承载力定义：在一定社会经济条件下，自然生态系统维持其服务功能和自身健康的潜在能力。生态承载力不是固定不变的，它是相对于某一具体历史发展阶段和社会经济发展水平而言的，集中体现了自然生态系统对社会经济系统发展强度的承受能力和一定社会经济系统发展强度下自然生态系统健康发生损毁的难易程度^[7]。

根据前人的研究成果，笔者将生态承载力定义为“在一定时间、一定空间范围内，生态系统在自我调节以及人类积极作用下健康、有序地发展，生

表 1 承载力概念的演化与发展

Table 1 The evolution and development of carrying capacity concept

名称	出现背景	承载力意义
种群承载力	生态学发展	生态系统对生活其中的种群的可承载数量
土地承载力	人口膨胀、土地资源紧缺	一定条件下区域土地资源的生产能力以及可承载的人口数量
水资源承载力	水资源紧缺、水环境污染	某一区域水资源可承载的人口数量和工农业生产活动强度
环境承载力	环境污染	环境对污染物的容纳能力以及对人类开发强度的支持能力
资源承载力	资源短缺	资源的数量和质量对该空间内人口的基本生存和发展的支撑能力
生态承载力	生态恶化	生态系统的自我维持、自我调节能力，资源与环境对社会经济活动强度的支撑能力及可承载的具有一定生活水平的人口数量

态系统所能支持的资源消耗和环境纳污程度,以及社会经济发展强度和一定消费水平的人口数量。”概念包括3层含义:一是生态系统自我调节以及人类的积极作用;二是资源的消耗程度和环境的纳污能力;三是社会经济发展强度和人类消费所带来的压力。其中,前2层含义代表生态承载力的支持部分,第3层含义代表生态承载力的压力部分。如果支持部分大于压力部分则生态系统不超载,属于健康、有序状态,反之生态系统超载,属于不健康、无序状态。

2 生态承载力评价方法

对于承载力的量化,国内外提出了许多直观的、较易操作的定量评价方法及模式。本文依据生态承载力评价思路的不同将生态承载力评价方法分为3类。第1类是指标体系评价法,第2类是以能量、物质流为基础的产品周期评价,第3类是综合性评价。

2.1 指标体系评价法

2.1.1 联合国可持续发展委员会(UNCSD)制订的指标体系

1996年,由联合国可持续发展委员会及联合国政策与可持续发展部牵头,联合国统计、联合国开发计划署、联合国环境规划署、联合国儿童基金会和亚太经社理事会参加,在“经济、社会、环境和机构4大系统”的概念模型和“驱动力—状态—响应”概念体系基础上,结合《21世纪议程》中各章节内容提出了一个初步的可持续发展核心指标体系框架^[35]。该套指标体系包括3类指标,即“驱动力—状态—响应”指标体系。其中,驱动力指标用来表示人类的一些有可能造成区域发展不可持续的社会经济活动;状态类指标则对一定时间内,组成区域人地系统的各子要素状态加以描述;响应类指标对应人类为提高区域人地系统的可持续发展能力,针对驱动力类指标所反映的系统问题而采取的对策、措施。这套指标体系共有132个不同类别的具体指标,其中驱动力类指标42个,状态类指标53个,响应类指标37个。该套指标体系由于指标数量较大,在一些统计工作开展并不充分的国家和地区,有些指标甚至无法获得确切的数据。在指标分类、指标所包含的信息量以及指标体系的可操作性方面仍存在一定的缺陷,但它的构建为其他国家和国际组织构建相应的指标体系提供了良好的参考依据和框架思路。

2.1.2 高吉喜生态承载力综合评判法

高吉喜认为承载力概念可以理解为载体媒体对承载对象的支持能力。如果要想确定一个特定生态系统承载情况,首先必须知道载体媒体的客观承

载能力大小,被承载对象的压力大小,然后才可了解该生态系统是否超载或低载。所以研究者提出承载指数、压力指数和承压度用以描述特定生态系统的承载状况^[4]。生态承载力的支持能力大小取决于3个方面,分别是生态弹性力、资源承载力和环境承载力,所以生态承载指数包括生态弹性指数、资源承载指数和环境承载指数,生态弹性指数主要是指生态系统的抗干扰能力和受干扰后的恢复能力。生态系统压力指数是通过可承载的人口数量和响应的生活只来反映的,不同类群人口的生活质量权重值是不同的。生态系统承载压力度为承载指数与压力指数的比值,其结果与1进行比较,大于1则区域生态承载力盈余,反之超载。

该方法引入承载指数、压力指数和承压度描述特定生态系统的承载状况,方法思路直观,科学性较强;对区域生态承载力采用分级评价的方法,使结果更加明了,具有针对性。但模型包含的指标仅仅是资源和环境指标,并没有经济指标,并没有把经济活动体现到指标当中去,无法真实反映各种经济活动下的生态承载力,也无法反映人类的活动以及生活质量的变化对生态承载力的影响。

2.1.3 生态足迹模型

生态足迹模型是加拿大学者 Mathis Wackernagel 于1992年提出的一种依据人类社会对土地的连续依赖性,定量测度区域可持续发展状态的一种新理论和方法^[36]。生态足迹计量分析的重点是生态足迹计算。按照数据的获取方式,通常采用2种方法。第1种是自下而上法,即通过发放调查问卷、查阅统计资料等方式先获得人均的各种消费数据;第2种方法是自上而下法,根据地区性或全国性的统计资料查取地区各消费项目的有关总量数据,再结合人口数得到人均的消费量值。按照生态足迹理论,可将地球表面的生态生产性土地可分为5大类:化石能源地、可耕地、牧草地、林地、建设用地和水域。生态足迹模型由于其具有较完善、科学的理论基础和简明的指标体系,以及普适性的方法,很快作为一种新的理论方法用于定量分析世界各地的可持续发展问题。然而,随着模型的深入研究,一些弊端也逐渐显现出来:(1)在考虑资源的消费时,只注意了资源的直接消费而未考虑间接消费,同时也忽略了资源开发利用中其它的重要影响因素。如工业城市化的推进挤占耕地和土地退化情况;(2)没有体现环境质量的变化对生态系统产生的影响;(3)对于资源的供给,水资源方面只包括了海洋,而没有包括地下水和其他淡水资源;(4)生态足迹模型是一个静态模型,它只是一种关于现实情况的衡量,因此模型不能反映人类活

动的方式的改变、产业结构的调整以及技术的进步等因素的影响; (5) 只是对生态系统可持续性的分析, 没有经济社会技术发展可持续性的分析。

2.1.4 状态空间法

状态空间法主要用于区域承载力的定量化研究。状态空间是欧氏几何空间用于定量描述系统状态的一种有效方法。通常由表示系统各要素状态微量的三维状态空间轴组成。利用状态空间法中的承载状态点, 可表示一定时间尺度内区域的不同承载状况。不仅不同的人类活动强度对资源环境的影响程度差别十分悬殊, 而且不同的资源环境组合所对应的人类活动强度也不相同。所有状态空间中由不同资源环境组合形成的区域承载力点构成了区域承载力曲面。任何低于该曲面的点代表某一特定资源环境组合下, 人类的经济社会活动低于其承载能力, 而任何高于该曲面的点则表明人类的经济社会活动已超出该选定资源环境组合的能力。毛汉英等人利用状态空间法测定了环渤海地区的生态承载力^[37], 此方法也是需要建立一定的指标体系, 同样不能得到具体的生态承载力大小, 仅对是否超载做出评价。

2.1.5 资源与需求的差量方法

王中根认为区域生态承载力体现了一定时期、一定区域的生态环境系统, 对区域社会经济发展和人类各种需求(生存需求、发展需求和享乐需求)在量(各种资源量)与质(生态环境质量)方面的满足程度^[32]。衡量区域生态环境承载力某地区现有的各种资源量与当前发展模式下社会经济对各种资源的需求量之间的差量关系, 以及该地区现有的生态环境质量与当前人们所需求的生态环境质量之间的差量关系入手。此方法将生态承载力的指标体系分为 2 大类, 社会经济系统类和生态环境系统类, GDP 利用工业、农业和第 3 产业产值代替, 资源类指标的计算及预测根据社会经济发展计划确定, 环境质量的计算利用生态环境质量评价指标体系计量方法计算。该方法此方法理论相对而言比较简单, 但某些指标的确定需要运用其它稍复杂的方法, 而且这个指标体系中并没有环境污染的具体指标, 也没有将其体现到其他指标中去, 经济类指标选取过于简单, 仅仅是工业产值, 其它的诸如人口状况及人类消费状况没有体现, 无法反映人类的活动以及生活质量的变化对生态承载力的影响。

2.2 产品周期评价

2.2.1 能值理论

能值分析是由美国著名生态学家 H. T. Odum 综合系统生态、能量生态和生态经济学原理于 20 世纪 80 年代后期和 90 年代创立的以能量为核心的

系统分析方法, 能值(emergy)的含义为某种流动或贮存的能量中所包含的另一种能量的数量。能值分析以同一种能量类别单位—太阳能值来分析生态系统中不同的能量流和物质流, 通过一系列能值指标来反映系统结构特征和效率^[38]。能值分析方法的提出, 克服了传统经济学与能量分析方法无法在统一的尺度上对不同质的资源价值进行量化计算的局限, 给出了有关系统发展过程中的环境贡献与资源利用可持续性的信息^[39]。尽管能值评价方法解决了区域可持续发展评价中的一些问题, 但在实际应用过程中仍存在许多问题和不足, 有待进一步完善。由于太阳能值和太阳能值转换率的数值依赖于到达特定状态所选择的路径, 尽管自然产品和服务的太阳能值转换率因自然生态系统的高度自组织化而相对稳定, 工业产品和服务的太阳能值转换率往往随所选择的原材料、生产方式、途径和效率的不同而变化^[40], 因此, 对于人类经济系统的资源或产品使用单一的转换率是不准确的^[41], 也降低了研究的精度。另外, H. Haberl 等认为能值分析面临的巨大挑战是难以提出系统可持续性的阈值, 无法准确判定系统的持续性与否, 而只能基于不同空间单元的横向比较与不同时期的纵向比较, 判断系统可持续性程度的高低与升降^[42]。冯霄等认为能值分析不能区分本地资源中的可再生和非可再生资源流的问题^[43]。

2.2.2 生命周期理论

生命周期评价指“对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价, 具体包括互相联系、不断重复进行的 4 个步骤: 目的与范围的确定、清单分析、影响评价和结果解释”^[44]。生命周期评价是一种用于评估产品在其整个生命周期中, 即从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置, 对环境影响的技术和方法。作为新的环境管理工具和预防性的环境保护手段, 生命周期评价主要应用在通过确定和定量化研究能量和物质利用及废弃物的环境排放来评估一种产品、工序和生产活动造成的环境负载; 评价能源材料利用和废弃物排放的影响以及评价环境改善的方法。生命周期评价是生态承载力评价的有效工具, 可以评估生态系统对污染废弃物的负载能力, 但生态承载力评价不仅考虑污染物的环境负载, 还考虑一定生活水平的人口和一定规模的经济负载。

2.2.3 物质流分析

物质流分析是指在一定时空范围内关于特定系统的物质流动和贮存的系统性分析。主要涉及的是物质流动的源、路径及汇。根据质量守恒定律, 物质流分析的结果总是能通过其所有的输入、贮存

及输出过程来达到最终的物质平衡^[45]。物质流分析从实物的质量出发,通过追踪人类对自然资源和物质的开发、利用及遗弃过程,研究可持续发展问题,即通过对自然资源和物质的开采、生产、转移、分配、消耗、循环、废弃等过程的分析,揭示物质在特定区域内的流动特征和转化效率,找出环境压力的直接来源,作为区域发展的可持续性指标,进而提出相应的减少环境压力的解决方案,为区域可持续发展目标的制定提供科学依据。

2.3 综合性评价

2.3.1 自然植被净第一性生产力估测法

自然植被净第一性生产力反映的是某一自然体系的恢复能力。自然植被净第一性生产力作为表征植物活动的关键变量,是陆地生态系统中物质与能量运转研究的重要环节,其研究将为合理开发、利用自然资源及对全球变化所产生的影响采取相应的策略和途径提供科学依据^[46]。它的研究在国外已有很久的历史,1975年Lieth等首先开始对植被净第一性生产力的模型进行研究,此外,Ulittaker, Uchijima等也对植被净第一性生产力进行了研究,建立了一些模型。根据模型的难易程度,对各种调控因子的侧重及对净第一性生产力调控机理解释的不同,模型分为3类:气候统计模型、过程模型和光能利用率模型。我国的净第一性生产力研究起步较晚,研究过程中一般采用周广胜、张新时根据水热平衡联系方程及植物的生理生态特点建立的自然植被的净第一性生产力模型。国内众多学者对自然植被净第一性生产力估测方法进行了具体阐述,并将其应用与实践,他们普遍认为特定的生态区域内第一性生产者的生产能力在一个中心位置上下波动,而这个生产能力是可以测定的。同时与背景数据进行比较,偏离中心位置的某一数据可视作生态承载力的阈值。但是,该方法从生物生产力角度研究生态承载力,不能反映环境质量的变化以及人类各种社会经济活动对生态承载力产生影响,不适合城市生态系统生态承载力的评价。

2.3.2 系统动力学

系统动力学是一种以系统科学、信息反馈控制理论为基础,以仿真技术为手段,分析、模拟和预测动态复杂系统的研究方法。系统动力学模型本质上是带时滞的微分方程组,能方便地处理非线性和时变现象,进行长期、动态、战略性的仿真分析。系统动力学从系统的内部要素和结构分析入手,通过一阶微分方程组来反映系统各个模块的变量之间的因果回馈关系,进而建立系统仿真模型。系统动力学模型以现实存在为前提,通过改变系统的参数和结构,模拟不同发展方案下人口总量、经济发

展与生态承载力之间的动态变化关系。在实际应用中,对不同发展方案可以借助系统动力学模型进行仿真模拟,并对决策变量进行预测,然后将这些决策变量视为环境承载力的指标体系,再运用综合评价方法进行比较,得到最佳的发展方案及相应的承载能力。应用系统动力学法进行长期发展情况模拟时,由于参变量不好掌握,有时易导致不合理的结论。因此,系统动力学方法大多应用于中短期发展情况的模拟。

2.3.3 生态脆弱性分析

生态脆弱性分析从最初的自然生态系统脆弱性研究发展到人地耦合系统脆弱性的研究,主要关注区域脆弱性的程度、形成机理及其改善途径。其中,自然灾害、气候变化等自然科学领域认为脆弱性是系统由于灾害等不利影响而遭受损害的程度或可能性,侧重研究单一扰动所产生的多重影响,将脆弱性定义为“系统或系统的一部分在灾害事件发生时所产生的不利响应的程度”^[47];贫穷、可持续生计等社会科学领域认为脆弱性是系统承受不利影响的能力,注重对脆弱性产生的原因进行分析,将脆弱性定义为“社会个体或社会群体预测、处理、抵抗不利影响(气候变化),并从不利影响中恢复的能力”^[48]。由此可见,生态脆弱性评价是生态承载力评价的有益补充,尤其对脆弱性产生的驱动因素能够给出准确的分析。但脆弱性分析侧重于风险性、适应性和恢复力方面的研究,无法给出生态系统对于环境污染物、资源消耗、具有一定生活水平的人口的承载能力,即生态承载力阈值。因此,生态脆弱性评价需要与其他方法结合,才能更好的进行生态承载力分析。

2.3.4 遥感与地理信息系统分析

遥感(RS)是借助地球人造卫星,以物理、数学、地学分析为基础的综合性的技术,具有宏观、综合、动态和快速的特点,可作为数据采集的主要手段之一。遥感用于区域变化,尤其是人类活动对土地覆盖、土地利用的研究已经成为一个重要的手段,达到很精细的程度。地理信息系统技术(GIS)是一种以空间数据库为核心,采用空间分析方法和空间建模方法,适时提供多种空间和动态的资源与环境信息的计算机技术系统。利用GIS技术结合RS手段可以对区域环境开发、人类活动对区域生态承载力的影响进行透彻的分析。对影响的累积、生态承载力的大小可以在区域、局域和局部进行多层次的转换,并进行细致地分析。GIS的分析手段能通过展现空间“拥挤”和“破碎”效应来分析生态承载力在人类开发活动累积影响下的空间结构变化。

目前,随着生态承载力研究的深入,生态承载

力评价方法也日益多样化、复杂化,但生态承载力评价还应从简单的评价方法入手,在对评价区域的生态承载力有了一个整体认识的基础上,再选用复杂的评价方法进行深入细致的评价分析。同时,生态承载力评价不仅要给评价区域的生态承载力给出科学合理的度量,同时还要将这种定量评价与国家、地方的规划相结合,转化为指导实践的有用信息传达给决策者。此外,生态承载力评价的客体都是具有动态开放性的多结构、多层次、多形态的高度复杂的系统,但生态承载力评价不能面面俱到,需要抓住复杂系统的关键过程及机制展开生态承载力评价。上面介绍的生态承载力评价方法在处理复杂系统问题上都有各自的优缺点,需要评价者根据评价目的采用互补的方式对方法进行集成,加强综合集成的方法在生态承载力评价中的应用。

3 结论与展望

生态承载力理论与方法研究是可持续发展理论的重要组成部分,生态承载力的不断提高是可持续发展的必要条件。由于生态承载力概念的模糊以及生态系统的复杂性,生态承载力的评价方法尚不成熟,使得生态承载力研究在实践中的应用受到了限制。上述研究可以看出:(1)生态承载力研究对象趋向多元化,研究领域呈现交叉综合趋势;(2)以单要素承载力研究的局限性越来越突出,已不能适应生态系统资源开发与发展的要求,因此生态承载力将从单学科、单因子研究趋向多学科合作,开展人口、经济、资源、环境、生态多因素多层次的交叉研究;(3)对于生态承载力的研究还没有统一的模型及指标体系。

未来生态承载力的研究应注重以下几方面:(1)构建系统的指标体系,其中全面包括人口、经济、资源、环境、生态5类指标,其中社会人口、经济的发展是主动因素;资源、环境、生态等3项是被动因素。对被动因素要研究它们的承受能力,人口和经济的发展不能超过它们的承受能力,要正确把握“人与自然的协调”和“经济与环境的协调”理论;(2)加强生态承载力的动态模拟研究,实现对生态承载力潜力的估算和动态变化过程预测;(3)将产业结构调整和技术水平的进步也体现到生态承载力的计算与估测中;(4)准确筛选具体区域与生态承载力密切相关的指标以简化模型计算的方法研究。

参考文献:

- [1] COHEN J E. Population growth and earth's huamn carrying capacity[J]. Science, 1995, 269: 341-346.
- [2] United Nations Conference on Environment and Development. The earth summit's Agenda for change[R]. Agenda 21 and Other Rio
- Agreements. United Nations Conference on Environment and Development, 1992, Geneva, Switzerland.
- [3] IUCN/UNEP/WWF. Caring for the Earth: A Strategy for Sustainable Living[R]. Gland, 1991, Switzerland.
- [4] 高吉喜. 可持续发展理论探索—生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- GAO Jixi. Theory explore of sustainable development—ecological carrying capacity theory、method and application [M]. Beijing: China Environment Science Press, 2001.
- [5] 孟爱云, 濮励杰. 城市生态系统承载力初步研究: 以江苏省吴江市为例[J]. 自然资源学报, 2006, 21(5): 768-774.
- MENG Aiyun, PU Lijie. A Preliminary Study on the Evaluation of Urban Ecosystem Carrying Capacity—A Case Study from Wu jiang City, Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2006, 21(5): 768-774.
- [6] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- OUYANG Zhiyun, WANG Xiaoke, MIAO Hong. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607-613.
- [7] 杨志峰, 隋欣. 基于生态系统健康的生态承载力评价[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 586-594.
- YANG Zhifeng, SUI Xin. Assessment of the ecological carrying capacity based on the ecosystem health[J]. Acts Scientiae Circumstatiae, 2005, 25(5): 586-594.
- [8] 朱泽生, 孙玲. 东台市滩涂生态系统服务价值研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 878-882.
- ZHU Zesheng, SUN Ling. Ecosystem services value of coastal tidal zone in Dong tai City of Jiangsu Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(5): 878-882.
- [9] BICKNELL K B, BALL R J, CULLEN R, et al. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy[J]. Ecological Economics, 1998, 27: 149-160.
- [10] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375-390.
- [11] YUE D X, XU X F, LI Z Z, et al. Spatiotemporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991-2015: Down from the environment cliff[J]. Ecological Economics, 2006, 58: 393-406.
- [12] SEIDL I, TISDELL C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity[J]. Ecological Economics, 1999, 31: 395-348.
- [13] 郭秀锐, 毛显强, 冉圣宏. 国内环境承载力研究进展[J]. 中国人口-资源与环境, 2000, 10(3):28.
- Guo Xiurui, Mao Xianqiang, Ran Shenghong. Research Progress in Environmental Carrying Capacity in China [J]. China Population Resources and Environment, 2000, 10(3):28.
- [14] 姚治君, 王建华, 江东, 等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J]. 水科学进展, 2002, 13(1):111-115.
- YAO Zhijun, WANG Jianhua, JIANG Dong, et al. Advances in study on regional water resources carrying capacity and research on its theory[J]. Advances In Water Science, 2002, 13(1):111-115.
- [15] FENG L H, ZHANG X C, LUO G Y. Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China[J]. Math Comput Simul. (2008), doi: 10. 1016/ j. matcom. 2007. 11. 018
- [16] 王书华, 毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价: 中国东部沿海地区案例研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 248-254.

- WANG Shuhua, MAO Hanying. Design and evaluation on the indicator system of land comprehensive carrying capacity[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(3): 248-254.
- [17] 王旭光, 高玉慧, 王英华, 等. 黑龙江省土地承载力与农业可持续发展[J]. *国土与自然资源研究*, 2001(2): 30-32.
- WANG Xuguang, GAO Yunhui, WANG Yinghua, et al. Land capacity and agricultural sustainable development in Hei Long Jiang Province[J]. *Territory & Natural Resources Study*, 2001(2): 30-32.
- [18] 余敬, 姚书振. 矿产资源可持续力及其系统构建[J]. *地球科学: 中国地质大学学报*, 2002, 27(1):85-89.
- YU Jing, YAO Shuzhen. Mineral Resources Sustainable Power and System Construction[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2002, 27(1): 85-89.
- [19] 吕贻峰, 李江风, 周伟, 等. 阳新县矿产资源现状优势评价及资源承载力分析[J]. *长江流域资源与环境*, 1999,8(4):386-390.
- LU Yifeng, LI Jiangfeng, ZHOU Wei, et al. Assessment on the superiority and bearing capacity of mineral resources in yang xin county[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(4):386-390.
- [20] 唐剑武, 叶文虎. 环境承载力的本质及其定量化初步研究[J]. *中国环境科学*, 1998, 8(3): 227-230.
- TANG Jianwu, YE Wenhui. Study on environmental bearing capacity and its quantification [J]. *China Environmental Science*, 1998, 8(3): 227-230.
- [21] CANG H. Carrying capacity, population equilibrium, and environment's maximal load[J]. *Ecological Modelling*, 2006, 192(1): 317-320.
- [22] 黄宁生, 匡耀求. 广东相对资源承载力与可持续发展问题[J]. *经济地理*, 2000,20(2): 52-56.
- HUANG Ningsheng, KUANG Yaoqiu. The carrying capacity of resources and the problems of sustainable development in Guangdong Province [J]. *Economic Geography*, 2000, 20(2): 52-56.
- [23] 王宗明, 张柏, 何艳芬, 等. 吉林省相对资源承载力动态分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2004,18(2): 5-10.
- WANG Zongming, ZHANG Bai, HE Yanfen, et al. Analysis of Dynamic Changes of Relative Carrying Capacity of Resources in Jilin Province[J]. *Journal of Arid Land Resources & Environment*, 2004, 18(2): 5-10.
- [24] 朱国宏. 关于中国土地资源人口承载力问题的思考[J]. *中国人口·资源与环境*, 1996, 6(3):18-22.
- ZHU Gouhong. About china's land resources and population bearing capacity [J]. *China Population, Resources and Environment*, 1996, 6(3): 18-22.
- [25] 王宝山, 丁安国, 王赞国, 等. 区域土地人口承载力预测模型研究[J]. *焦作工学院学报*, 1998,17(2): 121-125.
- WANG Baoshan, DING Anmin, WANG Zanguo, et al. Study on the Model of Regional Land Supporting Capability for Population[J]. *Journal Of JIAOZUO Institute Of Technology*, 1998, 17(2): 121-125.
- [26] SAVERIADES A. Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus[J]. *Tourism Management*, 2000, 21: 147-156.
- [27] SIMON F J G, NARANGAJAVANA Y, MARQUES D P. Carrying capacity in the tourism industry: a case study of Hengistbury Head [J]. *Tourism Management*, 2004, 25: 275-283.
- [28] 王玉平. 矿产资源人口承载力研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 1998, 8(3): 19-22.
- WANG Yuping. population carrying capacity of mineral resources[J]. *China Population, Resources and Environment*, 1998, 8(3): 19-22.
- [29] 李晓文, 肖笃宁, 胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划各预案对指示物种生态承载力的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(5):709-715.
- LI Xiaowen, XIAO Duning, HU Yuanman. The effects of different land-use scenarios on habitat carrying of indicator species in the Liao he River Delta wetlands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(5): 709-715.
- [30] 王宁, 刘平, 黄锡欢. 生态承载力研究进展[J]. *中国农学通报*, 2004, 20(6): 278-281.
- WANG Ning, LIU Ping, HUANG Xihuan. Research Progress in Ecological Carrying capacity[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(6): 278-281.
- [31] 杨贤智. 环境管理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 150-155.
- YANG Xianzhi. *Environment manages*[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990, 150-155.
- [32] 王中根, 夏军. 区域生态环境承载力的量化方法研究[J]. *长江职工大学学报*, 1999, 16(4): 9-12.
- WANG Zhonggen, XIA Jun. Quantitative Analysis on Bearing Capacity of Ecological Environment[J]. *Journal of Chang Jiang Engineering Vocational College*, 1999, 16(4): 9-12.
- [33] 王家骥, 姚小红, 李京荣. 黑河流域生态承载力估测[J]. *环境科学研究*, 2000, 13(2): 44-48.
- WANG Jieji, YAO Xiaohong, LI Jingrong. Assessment for Ecological Carrying Capacity of Heihe River Basin[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(2):44-48.
- [34] 程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(4): 361-367.
- CHENG Guodong. Evolution of the Concept of Carrying Capacity and the Analysis Framework of Water Resources Carrying Capacity in Northwest of China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4): 361-367.
- [35] 张志强, 程国栋, 徐中民. 可持续发展评估指标、方法及应用研究[J]. *冰川冻土*, 2002, 24(4): 344-360.
- ZHANG Zhiqiang, CHENG Guodong, XU Zhongmin. Review of Indicators and Methodologies for Measuring Sustainable Development and Their Applications[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(4): 344-360.
- [36] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(6):776-781.
- WANG Shuhua, MAO Hanying, WANG Zhongjing. Progress in research of ecological footprint all over the world[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(6):776-781.
- [37] 毛汉英, 余丹林. 环渤海地区区域承载力研究[J]. *地理学报*, 2001, 56(3):363-371.
- MAO Hanying, YU Danlin. Regional Carrying Capacity in Bohai Rim[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3):363-371.
- [38] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [39] Geber U, Bjorklund J. The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment systems—a case study[J]. *Ecological Engineering*, 2001, 18: 39-59.
- [40] Bakshi B R. A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering[J]. *Computers and Chemical Engineering*, 2000, 24: 1767-1773.
- [41] 李双成, 傅小锋, 郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(4): 297-304.
- LI Shuangcheng, FU Xiaofeng, ZHENG Du. Emery analysis for evaluating sustainability of Chinese economy[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(4): 297-304.
- [42] Haberl H, Fischer-Kowalskia M, Krausmann F. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy

- Flow Accounting(MEFA) can offer[J]. Land Use Policy, 2004, 21: 199-213.
- [43] 冯霄, 闵淑玲, 代玉利, 等. 多产品工业系统的能值分析[J]. 过程工程学报, 2005, 5(3):317-321.
FENG Xiao, MIN Shuling, DAI Yuli. Emergy Analysis of Industrial Multi-product Systems[J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2005, 5(3): 317-321.
- [44] Ross S, Evans D. Use of life cycle assessment in environmental management[J]. Environmental Management, 2002, 29(1): 132-142.
- [45] Paul H, Helmut R. Practical Handbook of Material Flow Analysis. Boca Raton London New York Washington, D C: Lewis Publishers, 2004: 1-318.
- [46] 王家骥, 姚小红, 李京荣. 黑河流域生态承载力估测[J]. 环境科学研究, 2000, 13(2): 44-48.
WANG Jieji, YAO Xiaohong, LI Jingrong. Assessment for Ecological Carrying Capacity of Heihe River Basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(2): 44-48.
- [47] DOW K. Exploring differences in our common futures: the meaning of vulnerability to global environmental change[R]. Geoforum, 1992, 23:417-436.
- [48] VOGEL C. Vulnerability and global environmental change[R]. World Commission of Environment and Development, LUCC Newsletter 3, 1998.

Concepts and assessment methods of ecological carrying capacity

GU Kangkang

School of Architecture and Urban Planning, Anhui University of Architecture, Hefei 230022, China

Abstract: Ecological carrying capacity (ECC) is a research frontier in the domain of sustainability science, and it also is an important measure to analyze sustainable development. The research of definition and assess method of ECC is beneficial to the development and perfection of sustainability science. The different definitions of ECC were analyzed by abroad and domestic, and the convergences and divergences among these definitions were discussed; based on which, the exact meaning of ECC was summarized. In addition, the methods used in ECC assessment were reviewed, and these methods were classified into three categories according to their assessing process. First is indicators system analysis, second is product life cycle analysis, and third is comprehensive analysis. There are respective weakness and strengths of these methods to deal with complicated system problems, which should be integrated in a mutually compensatory way according to the evaluation purposes to enforce the application of comprehensive integrated method in ECC assessment. Finally, according to the new trends in ECC research, some issues which should receive more attention in the ECC assessment research could be brought forward, such as the active and passive factors in ECC, the coupling between ECC forecast and region planning, the influence to ECC by economy development and science progress, and the improving of ECC methods.

Key words: ecological carrying capacity; assessment methods; sustainable development; research prospect