

# 承载力理论的起源、发展与展望

张林波<sup>1,2</sup>, 李文华<sup>2</sup>, 刘孝富<sup>1,\*</sup>, 王 维<sup>1</sup>

(1. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:**承载力一直是生态研究的热点、难点和理论前沿。论述了承载力研究起源发展进化历程, 绘制了承载力研究起源发展进化图, 将承载力研究的发展分为起源奠基、应用探索和理论深化 3 个阶段, 分阶段总结了承载力研究的主要特点、所涉及的学科领域以及争论的不同观点。承载力理论起源于人口统计学, 种群生物学和应用生态学, 在起源奠基阶段, 承载力研究主要是以非人类生物种群增长规律研究为主, 完成了一个科学概念或理论所必需的定义内涵、数学表达公式以及科学机理等等的积累; 1953 年至 20 世纪 80 年代中后期为承载力研究的探索争论阶段, 在全球资源环境危机背景下, 承载力开始应用于解决人类经济社会面临的急迫的资源环境问题, 并在应用探索过程中引起大量争论; 从 20 世纪 80 年代后期承载力研究进入理论深化阶段, 人类承载力研究不再简单地套用生物种群承载力理论方法, 认识到人类承载力除受资源环境等自然因素的影响外, 人类自身文化社会因素也对承载力产生巨大影响, 并尝试着将这些因素纳入到承载力方法之中, 从而使人类承载力研究从非人类生物种群承载力理论方法中脱胎出来, 成为真正意义上的人类承载力研究。

**关键词:**承载力; 文化承载力; 进化树; 增长极限; 展望

文章编号: 1000-0933 (2009)02-0878-11 中图分类号: Q988, X14 文献标识码: A

## Carrying capacity: origin, development and prospective

ZHANG Lin-Bo<sup>1,2</sup>, LI Wen-Hua<sup>2</sup>, LIU Xiao-Fu<sup>1,\*</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>

1 Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China

2 China Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 0878 ~ 0888.

**Abstract:** Carrying capacity (CC) research has been one of the most appealing, sophisticated topics as well as a theoretical frontier in modern ecology. Based on literature review on CC research history, the Evolutionary Tree Map of CC research was mapped, which divided the CC research history into three phases: discipline emergence, exploring application and deepening theory, then generated main characters, concerned disciplines and diverse views in different phases of CC research, respectively. CC rooted from human demography, population biology and applied ecology. In its emergence phase, CC research, focused on the growth law of non-human being biological population, archived its scientific definition, mathematic functions and discipline mechanism, all of which consist of the basis of a new scientific theory. The second phase of CC research ranged from 1953 to middle and late 1980s. Under the background of global crisis of resource and environment, CC focused upon its application to resolve the constraint of environment and natural resources that human society were suffering from, accompanying with amount of discipline debates simultaneously. Since late 1980s, CC research stepped into the deepening theory phase when CC research was not always confined by the theories and methods of biological population CC any more. Otherwise, people realized that human CC was impacted not only by natural factors such as natural resources and environment, but also heavily by cultural and social factors of human itself. Thus, these anthropogenic factors were admitted to CC research, which help the classical CC research to bring about human CC research while separating from the theories and methods of the non-human biological population CC research.

基金项目: 中国环境科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务专项资助项目(2007KYYW28)

收稿日期: 2007-08-19; 修订日期: 2008-04-01

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuxf@craes.org.cn

The second phase, application and argument phase, was characterized by the application of CC to human social-economy activity and numerous arguments on human growth limit. In 1986, one year before "Our Common Future" released by WCED, Hardin put forward a concept of cultural carrying capacity which means human carrying capacity is influenced by not only natural factors but also cultural factors, such as technological innovation, trade, consumption preference and life style etc. Then, the evolution of CC developed into the third phase. Inspire by the concept cultural carrying capacity, ecologists recognized that human carrying capacity is totally different with animal's, cultural or social factors should be integrated into assessment method of human carrying capacity.

**Key Words:** carrying capacity; cultural carrying capacity; evolutionary tree; growth limit; prospect

承载力 (carrying capacity) 是衡量人类经济社会活动与自然环境之间相互关系的科学概念,是人类可持续发展度量和管理的依据<sup>[1,2]</sup>。这个概念非常形象化、具体化地将所有生物与自然之间最基本的关系概括出来,使之成为生命科学中最为重要的概念之一<sup>[3]</sup>和生态学的第一戒律<sup>[4]</sup>,也成为地球系统科学中 23 个有关全球可持续发展的 Hilbert 问题之一<sup>[5]</sup>。

承载力理论起源于人口统计学、应用生态学和种群生物学<sup>[6-11]</sup>,最早可以追溯到 1798 年的马尔萨斯人口论。在 200 多年的发展过程中承载力理论取得了长足的发展,各个时期生态学及其它相关学科最新、最前沿的理论研究成果都被吸纳和应用于承载力的分析与研究,其应用范围也越来越广,从以生物种群增长规律研究逐渐转向人类经济社会发展面临的实际问题。但与此同时承载力理论方法也反复不断地受到批评、质疑甚至否定,承载力研究也几乎涉及到或引发了各个时期生态学最激烈的学术争论,这些争论在 200 多年的时间里一直没有停息过<sup>[7,12-17]</sup>。

本文考证论述了承载力研究起源发展进化的历程,绘制了承载力研究起源发展进化图,将承载力研究的发展分为起源奠基、应用探索和理论深化 3 个阶段(图 1)<sup>[18-27]</sup>,并系统总结了每个阶段承载力理论研究的主要特点、所涉及的主要学科领域以及争论的主要观点,在此基础上,本文指出了承载力未来研究的主要方向和重点。

## 1 承载力理论的起源奠基

承载力理论起源于人口统计学、应用生态学和种群生物学<sup>[6-11]</sup>。在人口统计学方面,1798 年 Malthus 人口理论为承载力理论起源奠定了坚实的基础,比利时数学家 Verhulst<sup>[19]</sup>和美国学者 Pearl 及其同事 Reed<sup>[20]</sup>分别独立提出的 Logistic 方程为承载力理论提供了数学表达公式;在应用生态学方面,20 世纪 20 年代美国西部牧场最大载畜量管理及野生动物种群保护实践的需要促使承载力概念被明确提出;在种群生物学方面,20 世纪早期开展的实验室环境下和野外生物种群数量增长研究为承载力理论提供了大量实证。这些研究和随后 Odum《生态学基础》<sup>[25]</sup>一书以及罗马俱乐部发表的《增长的极限》<sup>[27]</sup>都成为承载力研究起源和理论发展过程中的重要里程碑。

从 1798 年英国学者马尔萨斯提出人口论<sup>[18]</sup>一直到 1953 年 Odum<sup>[25]</sup>的《Fundamentals of Ecology (第一版)》一书出版是承载力的起源奠基阶段,在这一阶段世界各国的学者分别从人口统计学、种群生物学和应用生态学的角度,对生物在某一资源环境约束下的种群数量增长规律进行了描述,提出了生物种群增长的数学表达式,分析研究了生物种群增长的调控机理,并开展了大量的实证研究,这一阶段的一些研究成果成为了世界各国教科书的经典案例和基础理论。

马尔萨斯 (Reverend Thomas Robert Malthus, 1766 ~ 1834) 1798 年发表了《An Essay on the Principle of Population》,认为粮食线性增长赶不上人口的几何增长或指数增长,人类将面临饥饿和营养不良,最终产生疾病、饥荒或战争等后果,从而对人口数量产生抑制作用,因此人口数量将不可能无限制地增长下去<sup>[16,28,29]</sup>。马尔萨斯人口论反映了生物(人类)与自然环境(粮食)之间的关系,认为生物具有无限增长的趋势,而自然因

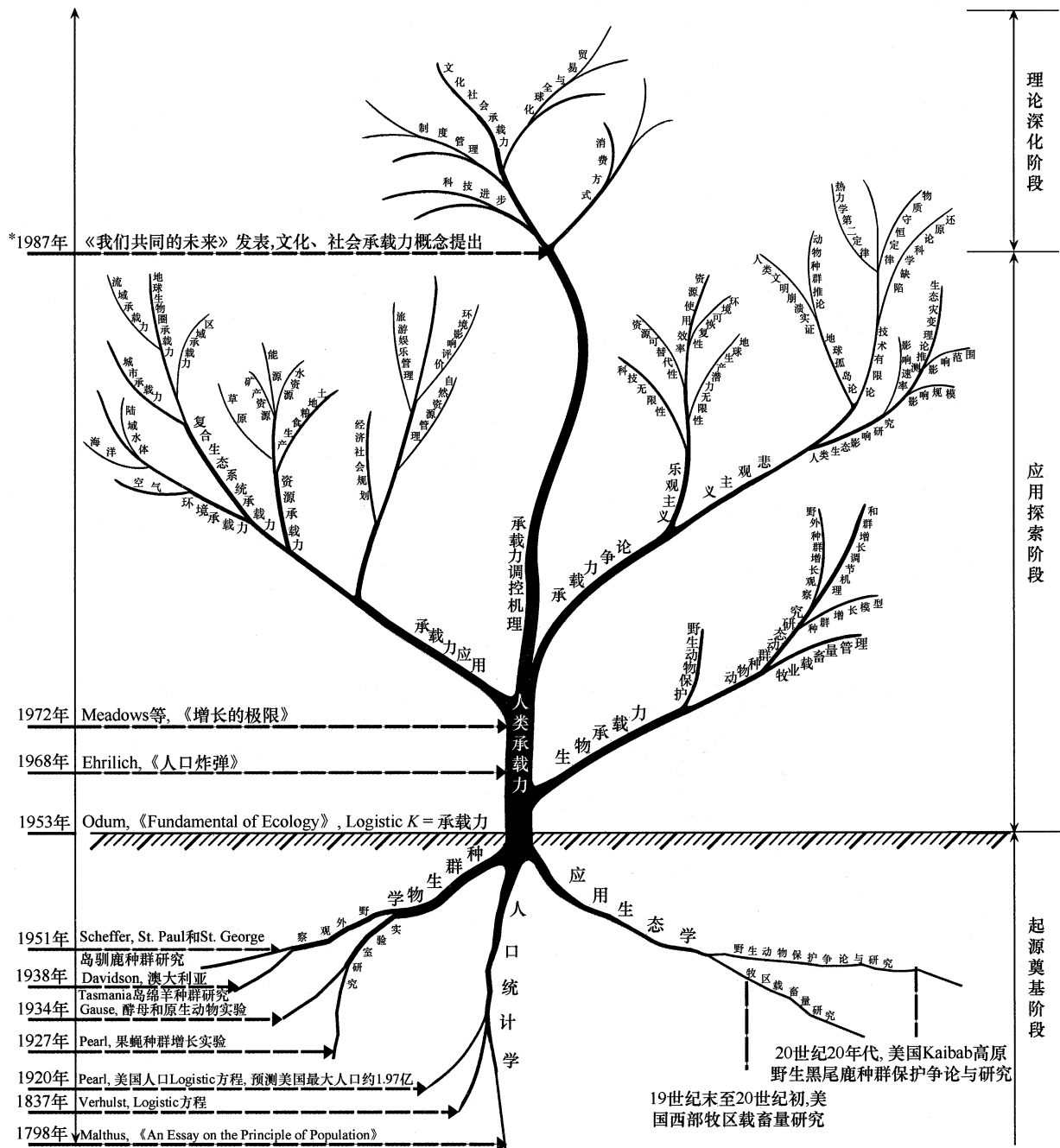


图1 承载力研究起源与发展进化树<sup>[18-27]</sup>

Fig. 1 Evolutionary Tree of Carrying Capacity<sup>[18-27]</sup>

素是有限的,生物的增长必然受到自然因素的制约。马尔萨斯人口论中隐含的这些假设条件构成了承载力理论的基本要素和前提,后来的承载力研究学者都是基于这样一些基础假设条件,因此马尔萨斯人口理论为承载力理论起源奠定了第一块坚实的基石。

承载力起源的另外一个里程碑是承载力理论数学表达式逻辑斯蒂方程(Logistic equation)的提出。1838年比利时数学家 Pierre F. Verhulst 第1次用 Logistic 数学公式表达了马尔萨斯人口理论<sup>[6, 28]</sup>,为承载力理论提供了数学模型(图2)<sup>[19]</sup>,并用19世纪初法国、比利时、俄罗斯和英国艾塞克斯(Essex)20a的人口数据

\* 1987年,以挪威首相布伦特兰为主席的联合国世界与环境发展委员会发表了一份报告《我们共同的未来》。

检验了方程结果,这些国家和地区的实际人口数据与逻辑斯蒂方程吻合结合比较理想<sup>[10]</sup>。大约一个世纪以后,1920年美国的 Raymond Pearl 教授及其同事 Lowell J. Reed 在并不知道 Verhulst 研究工作的情况下同样独立地提出了 logistic 增长曲线方程。

在随后的 20 世纪早期,世界各地的科研人员分别利用实验室或野外条件下的生物种群数据开展了逻辑斯蒂方程拟合与实证研究,如昆虫<sup>[21]</sup>、微生物<sup>[22]</sup>和绵羊<sup>[23]</sup>、驯鹿<sup>[24]</sup>等,发现在实验室培养环境下的生物种群数量增长能够较好地遵循 Logistic 曲线特征,而野生生物种群则很难找到符合 Logistic 曲线增长特征的例子<sup>[9, 11, 30]</sup>,例如 Scheffer<sup>[24]</sup>对美国阿拉斯加州西南部白令海峡区域普里比洛夫群岛 (Pribilof Islands) 中 St. Paul 和 St. George 两个岛上驯鹿种群的研究(图 3)。

以上这些为承载力起源打下了坚实工作基础,但并没有明确提出承载力这个概念,而多以“饱和水平 (saturation level)”<sup>[19]</sup>“上限 (upper limits)”“最大种群数量 (maximum populations)”或“S 型曲线渐近线 (Asymptotes)”<sup>[20, 31]</sup>来表示生物在环境约束下的最大种群数量<sup>[32, 33]</sup>。真正促使承载力概念提出的是 19 世纪末至 20 世纪初美国西部牧区载畜量管理和野生生物种群保护等应用生态学领域的研究。1870 年至 1890 年之间美国西部畜牧业的快速发展使牧场开始恶化,牧场主和美国农业部的研究人员开始使用承载力这个词来表示在一个有限的放牧区域和时间内不对牧场资源产生危害时的最大牲畜数量。20 世纪 20 年代美国 Kaibab 高原上黑尾鹿种群数量保护的研究与争论过程中也明确使用了承载力概念<sup>[32]</sup>。

从那以后一直到 1953 年,承载力概念和逻辑斯蒂方程在生态学研究并没有联系在一起<sup>[7]</sup>。Odum 1953 年第 1 次把承载力的概念和逻辑斯蒂曲线的理论最大值常数联系起来,将承载力概念定义为“种群数量增长的上限”<sup>[32]</sup>,即逻辑斯蒂方程中的常数  $K$ 。从此生物在自然条件制约下的种群数量增长规律就统一在承载力这样一个形象直观的概念下面。在以后的承载力工作中,理论分析时学者们用逻辑斯蒂方程常数  $K$  表示承载力的数学意义,而在管理和解决实际问题时常用承载力概念。

在起源奠基阶段,承载力完成了一个科学概念或理论所必需的定义内涵、数学表达式以及科学机理等等的积累,为以后的进一步研究打下了坚实的基础。但这一阶段承载力的研究基本特点是以非人类生物种群增长规律的理论探讨为主,并没有真正用于解决人类面临的实际问题。在 1834 年马尔萨斯去世后的一个多世纪里,由于农业技术的进步,人类粮食生产基本与全球人口缓慢的增长相适应,世界人口增长并没有出现他所担心的最坏结果<sup>[34]</sup>,因此在很长一段时间里世界人口问题没有再得到更为广泛的注意,承载力研究也就并没有真正投入到解决人类面临的实际问题当中去。

## 2 承载力理论的应用探索

1953 年至 20 世纪 80 年代中后期这一段时间可以看作是承载力理论发展的探索阶段。20 世纪六七十年

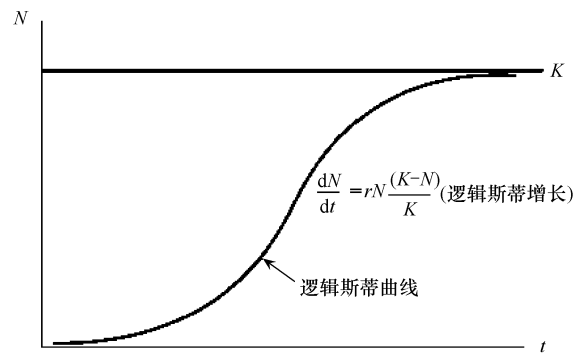


图 2 逻辑斯蒂增长曲线

Fig. 2 Logistic Population Growth Curve

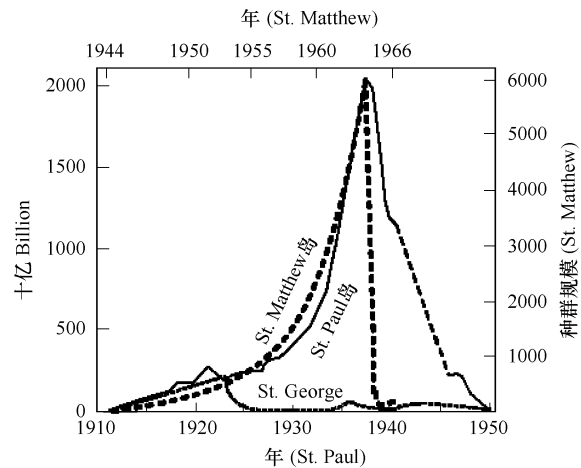


图 3 St. Paul, St. George 和 St. Matthew 岛驯鹿种群数量动态

Fig. 3 Reindeer Population Growth in St. Paul, St. George and St. Matthew Island

代爆发了全球性资源环境危机,生态学开始积极参与解决人类发展与自然界之间的关系问题<sup>[35]</sup>,作为生态学前沿的承载力研究不再仅囿于自然的环境和实验室中,不再仅局限于单纯的理论研究,而是由以非人类生物种群增长规律和粮食制约下的人口问题为主转向以研究资源环境制约下的人类经济社会发展问题为主。区别于承载力研究的起源奠基阶段,在全球资源环境危机背景下应用于解决人类社会面临的资源环境问题<sup>[11,28]</sup>和在应用探索中争论是这一阶段承载力发展的特点。1972年罗马俱乐部发表的《增长的极限》<sup>[36]</sup>和随后20世纪70年代后期和80年代初期,联合国粮农组织(FAO)、教科文组织(UNESCO)、和经济合作与发展组织(OECD)等先后开展的承载力研究和澳大利亚的人口承载力研究是这期间较有影响的承载力研究工作<sup>[37,38]</sup>。

1972年罗马俱乐部发表的《增长的极限》中虽然并没有明确使用承载力这样一个概念,但这项研究却是这一阶段以及整个人类承载力研究过程中一个极为重要的里程碑,这是因为《增长的极限》延续了马尔萨斯人口论的思想脉络<sup>[39]</sup>,认为地球生产粮食的土地、可供开采的资源和容纳环境污染能力的有限性不能支持人类经济的无限增长,与马尔萨斯人口论所不同的只是《增长的极限》不仅仅只考虑了粮食对人类社会的制约,而是综合考虑了当代人口、自然资源、农业生产、工业生产和环境污染等多种因素,并利用系统动力学原理构建了著名的“世界模型”对人类社会未来的命运进行了预测,指出如果人类社会仍然按这种指数方式继续增长下去,世界经济将会在今后一百年内发生崩溃。《增长的极限》推动了承载力的应用、研究和发展,促使承载力这个概念被广泛应用于不同的科学领域<sup>[40]</sup>,从野生生物种群到人类,一直到生态系统至整个地球<sup>[41]</sup>,如全球与区域最大可支持人口数量<sup>[42]</sup>、城市<sup>[43]</sup>、流域<sup>[44]</sup>和区域规划<sup>[45,46]</sup>、农业、旅游和娱乐管理<sup>[47-53]</sup>、自然资源管理、森林管理<sup>[11,37,41]</sup>、环境影响评价<sup>[54]</sup>等各个领域。人类承载力所考虑的制约因素也不仅仅再只是马尔萨斯时期的粮食问题,而是扩展到人类社会已经普遍面临的土地资源<sup>[55]</sup>、水资源、矿产资源、能源、环境、生态系统退化等问题,衍生发展出了土地承载力、水资源承载力、矿产资源承载力、能源承载力、环境承载力、生态弹性力以及生态系统承载力等相关研究<sup>[56]</sup>,并从单要素制约承载力发展到多要素制约的系统承载力<sup>[57,58]</sup>。

《增长的极限》发表的同时也引起了关于地球是否存在增长极限的激烈争论<sup>[10,26,37,59]</sup>。争论的一方是被称为乐观派或丰饶派的经济学家,认为人类经济社会的增长是无限的,而争论的另一方是以生态学家为主的悲观派或毁灭派,认为人类经济社会前所未有的发展已经或者将会超过地球的承载力,并可能对地球造成毁灭性的影响。在承载力发展的这一时期,争论的双方以资源问题为焦点,针对技术进步能否提高人类承载力展开了针锋相对的、非黑即白式的推论或说理式争论。

美国马里兰大学 Julian L. Simon<sup>[60,61]</sup>是这一时期技术乐观派的代表性人物,以他为代表的西方经济学家对《增长的极限》的观点提出了强烈批评。这些经济学家从历史的经验推论技术增长具有无限性,认为人类历史上曾经遇到过的困难都已经通过技术进步得到了解决,人类社会现在面临的和未来将要遇到的所有资源环境问题都可以通过技术进步加以解决<sup>[62-68]</sup>。在人类需求的欲望和市场机制的驱动下,这种无限的技术进步潜力可以使人类能够而且正在发现新材料、新能源,可以不断地提高人类的资源利用效率,也可以将人工资本无限地替换自然资源,通过替换或更新使人类获得清洁的空气、水、肥沃的土壤、便宜的化石燃料和没有污染的地球服务功能<sup>[1]</sup>。

而同一时期的生态学家则认为地球存在增长的极限是不证自明的,从地球的封闭性、自然界动物承载力超载的实例和人类所造成的前所未有的生态影响3个方面分析推论人类社会经济的增长存在极限,地球承载力是确实存在的。1966年,美国经济学家 K. E. Boulding 在其对后来循环经济理论产生巨大影响的《即将到来的地球宇宙飞船经济学》一文中,形象地将地球这个封闭的行星比喻为人类航行于茫茫宇宙之中所搭乘的一艘飞船,地球这艘宇宙飞船上的资源环境是有限的,人口和经济的增长最终将会使封闭飞船内的有限资源耗尽<sup>[69]</sup>。Hardin 等一些学者则将地球比喻为人类的生命之舟、地球孤岛<sup>[4,70-72]</sup>或一个与外界完全无法进行物质能量交换的封闭玻璃或塑料容器<sup>[73]</sup>等分析地球承载力。动物承载力超载崩溃的实例也为生态学家支持

地球承载力的有限性提供了论据,认为人类虽然一次次绝望地寻找不同于其它生物物种的区别,但在本质上人类与 St. Paul、St. George 和 St. Matthew 等岛屿上的驯鹿没有区别,最大的不同只是相对于地球这个孤岛而言,人类的破坏力比动物更大。以此为基础,生态学家推断,如果经济社会发展超过了地球的承载力,人类最终的命运可能与那几个岛上的驯鹿一样<sup>[4]</sup>。对人类已经造成的前所未有的生态影响的担忧则是生态学家认为地球存在承载力的另外一个方面,例如斯坦福承载力研究项目估算出人在已经直接使用或破坏了大约 40% 的陆地净初级生产力<sup>[74]</sup>。在这一时期人类登月等航天成就扩展了科学家思考问题的角度,开始将地球作为一个完整的系统加以考虑,在国际范围内启动了全球生态学的研究,如 20 世纪 70 年代联合国教科文组织(UNESCO)的人与生物圈计划(MAB)、国际科联 IGBP、IHDP 计划等等,全球生态学在宏观时间尺度上与气象学、古生物学、古地质学、冰川学等学科的综合研究成果,使生态学家们初步认识到了人类已经和正在对整个地球造成的巨大的破坏与影响,其可能造成的后果也是无法类比和预测的,这更加加深了生态学家对于地球承载力的忧虑,认为人类的经济社会活动可能已经超过、正在超过或即将超过地球承载力<sup>[75-80]</sup>。

从 1953 年至 20 世纪 80 年代中后期这一段时间里,人类承载力研究大多是简单地套用生物种群承载力理论方法,往往只是考虑粮食、能源等某一种自然因素对人类承载力的制约<sup>[81]</sup>,而忽略了人类自身文化社会因素对承载力的巨大影响,因此以实验室条件下生物种群规律建立起来的承载力理论在应用于人类社会时大多是不成功的,不能有效地指导人类经济社会的实践<sup>[82]</sup>。这些承载力研究实际应用更多意义上是唤醒和推动了人类承载力意识的兴起,20 世纪 60 年代的 IBP 研究计划恰巧是对以资源为基础的承载力的体现。人类承载力在实际解决人类现实问题过程中出现的问题及其所引发的争论促使人们开始反思并认识到单纯建立在自然资源基础上的承载力理论本身存在的缺陷和不足,并认真思考、吸纳经济学家批评中的合理观点。

### 3 承载力理论的深化发展

从 20 世纪 80 年代中后期至今,在理论研究方面,文化承载力或社会承载力概念使人类承载力研究开始从非人类生物种群承载力脱胎出来,不再简单地套用生物种群承载力理论方法,而成为真正意义上的人类承载力。除考虑资源环境等自然因素的影响外,人类承载力研究开始分析研究科技进步、生活方式、价值观念、社会制度、贸易、道德和伦理价值、品味和时尚、经济、环境效应、文化接受力、知识水平和机构的管理能力<sup>[4, 6]</sup>等人类自身文化社会因素对承载力的影响,并尝试着将这些因素纳入到承载力方法之中;在应用方面,可持续发展理念的普及,特别是综合考虑人类文化社会因素的生态足迹方法的提出,推动了人类承载力更加广泛地应用于人类社会各个尺度、各个领域的实践活动;与此同时,关于人类增长的极限或地球承载力的争论并没有随着时间的推移而停息,而是一直延续到今天,争论的内容也扩展到了更为广泛的领域。

事实上,从马尔萨斯在其第二版《人口原理》中就已经提到人口数量与生活质量有关,意识到人类承载力受自身文化社会因素的影响。但一直到 1980 年代中后期之前,人类文化社会因素对承载力的影响被有意或无意地忽视掉了。从 1986 年开始 Harding<sup>[4]</sup>详细分析了人类生活质量对承载力的影响,认为人类承载力与生活质量负相关,人类承载力是受制度、建筑物、风俗习惯、发明和知识等一切与人类有关的因素影响的文化承载力,文化承载力总是小于生物承载力<sup>[4, 83]</sup>。1992 年,Daily 和 Ehrlich<sup>[84]</sup>提出了一个相似的概念——社会承载力( $K_s$ ),以区别于生物物理承载力( $K_b$ ),认为生物物理承载力是指在特定技术能力情况下生物物理条件可以支持的最大人口数量,社会承载力则是指在各种社会系统条件下(特别是与资源消费有关的社会模式)可以支持的最大人口数量。在任何水平技术条件下,社会承载力都将小于生物物理承载力(图 4)<sup>[10]</sup>。文化承载力和社会承载力两个概念在本质上是一样的,都认识到了人类承载力与传统生态学承载力的不同——人类承载力不仅仅是单纯的人口总数或生物学问题,而是与科技、文化、消费、贸易、价值观念以及社会政治和法律制度等人类文化社会因素联系在一起<sup>[10, 85]</sup>。人类文化社会因素一方面可以极大地提高人类自身的承载力,如科技进步、社会制度和贸易等。另一方面,人类的价值观念、消费方式等因素会使人类承载力低于特定技术条件下的最大生物物理承载力。

在认识到人类承载力受人类自身文化社会因素影响之后,生态学家开始尝试着将这些影响因素纳入到方

法之中。Daily 和 Ehrlich<sup>[84]</sup>用  $IPAT$  公式表达了文化社会因素对人类承载力的影响。其中,  $I$  为人类造成的环境影响, 也即人类承载力;  $P$  为人口总量;  $A$  为平均消费水平;  $T$  为科技进步。人类承载力是人口总量、平均消费水平和科技进步三者的函数,  $I = PAT$ ; Meyer 和 Ausubel 构建了  $K$  值可以动态提升的双 logistic 曲线方程(见图 5)<sup>[82]</sup>, 描述科技进步对承载力的影响, 并用所构建的方程分析了英国和日本这两个岛屿国家的人口增长。1992 年加拿大生态经济学家 William Rees 及其博士生 Wackernagel 提出的生态足迹(ecological footprint)方法由于综合考虑了人均消费水平、技术进步及贸易等因素, 并用直观明了的概念模型将复杂人类文化社会影响因素简单化、定量化, 成为迄今为止人类承载力和可持续发展的众多指标中最受生态经济学界关注和推崇的一个指标, 围绕和涉及生态足迹概念、方法及其模型的研究纷纷开展, 推动了人类承载力研究广泛应用于从全球、国家和地区、城市、家庭到个人各个尺度、各个领域。

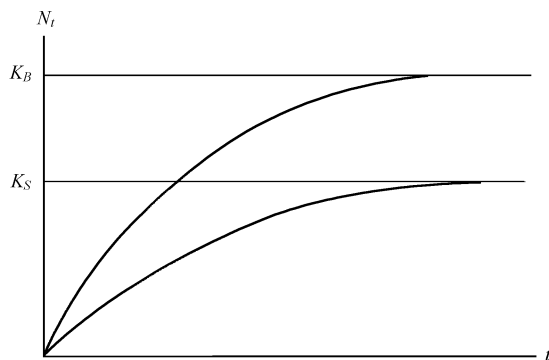


图 4 生物物理承载力( $K_B$ )和社会承载力( $K_S$ )<sup>[10]</sup>

Fig. 4 Biophysics( $K_B$ ) and social( $K_S$ ) carrying capacity<sup>[10]</sup>

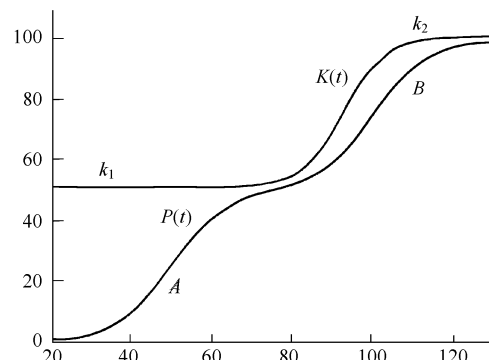


图 5 可动态提升的双逻辑斯蒂增长曲线<sup>[82]</sup>

Fig. 5 Bi-logistic growth from logistically increasing carrying capacity<sup>[82]</sup>

关于人类增长的极限或地球承载力的争论并没有随着时间的推移而停息, 而是一直延续到今天。这一时期新的科学发展和研究成果分别为乐观派和悲观派的论点都提供了有力的证据和武器, 但是任何一方新的观点与证据都会导致另外一方的反驳与批评。与上一个阶段的争论所不同的是, 在这一阶段争论的双方不再仅停留在从历史对未来的推论和说理式的辩论, 而是在数据分析基础上拿出了令人信服和具有说服力的论据和观点; 争论的内容也从承载力是否存在和技术是否具有无限性的简单争论扩展到了更为广泛的领域, 如环境库兹涅茨曲线、贸易及全球化的环境影响所引发的新的争论; 争论双方也不再是阵线分明, 而是在不同的领域、不同的分支观点上, 有些经济学家可能不再是乐观主义, 而有些生态学家也不再是悲观主义; 争论的双方也开始认识到人类承载力是否存在并不是一个非黑即白的问题, 而是非常复杂的、可能并没有对错的问题<sup>[81, 86]</sup>。

#### 4 承载力发展总结与展望

综观承载力理论研究的发展历史, 承载力理论自起源以来, 特别是可持续发展概念提出以来, 不仅一直是生态学研究热点、难点和理论前沿, 而且更是由一个生态科学命题上升到了关系到人类未来命运的哲学问题。但直到今天, 承载力仍然处于争论和探索过程之中, 仍有大量尚未解决的问题和争论, 在理论和方法上仍然不成熟, 这使本应该在实践中得到广泛而有效应用的承载力概念更多地是作为一种纯理论性的研究和探索性的尝试, 而不能有效地为人类可持续发展的实践活动提供指导和依据。经过 200 多年的发展仍然吸引着各国学者孜孜以求地不断加以研究和完善, 开展承载力研究具有重要的理论意义<sup>[87]</sup>。

##### 4.1 承载力理论自起源后一直是生态学研究热点、难点和理论前沿

在承载力研究发展的过程中, 生态学及其它相关学科最新、最前沿的理论研究成果都被吸纳和应用于承载力的分析与研究, 例如盖娅假说、耗散结构理论、生态灾变理论、生态系统健康理论、生态系统服务功能价值评估分析、环境库兹涅茨曲线分析、史前文明环境考古研究、能值分析理论、生态系统复杂理论等等。在这一

过程中,承载力研究所涉及的内容逐渐由生态科学、环境科学、资源科学扩展到了地球系统科学、生态经济学、考古学、物理学、科学哲学等各个领域。

承载力理论研究的应用范围也越来越广,从以非人类生物种群的增长规律研究逐渐转向人类经济社会发展面临的实际问题,从食物、环境或资源某一单要素制约承载力发展到多要素制约的系统承载力,应用范围从野生动物管理逐渐扩展到人类经济社会活动的各个尺度和领域。在可持续发展理念被全球各国普遍接受的今天,几乎任何一项人类开展的宏观性经济社会实践活动中都需要这样一个科学理论加以指导,在区域经济发展、城市规划、区域开发等实践中有着巨大的需求和吸引力。

承载力研究也几乎涉及到或引发了各个时期生态学最激烈的学术争论,“在 20 世纪,马尔萨斯主义每年都会被其评论者埋葬,并出人意料地在第 2 年又被重新挖出来”<sup>[88]</sup>。就如 Costanza 所指出的那样:“没有其它任何问题会象经济增长、承载力和环境问题一样使经济学家和生态学家的观点如此截然不同”<sup>[87]</sup>。从马尔萨斯人口论开始,每一项重要的承载力研究成果几乎都伴随着同样强烈的悲观派的掌声和乐观派的批判,《增长的极限》更是引发了关于科技进步、环境库兹涅茨曲线、贸易及全球化的环境影响的大量争论。随着时间的推移,关于人类增长极限或地球承载力的争论并没有停息,而是一直延续到今天,争论的内容愈加广泛而激烈。

#### 4.2 承载力理论在发展过程中已经由一个生态科学命题上升到了关系到人类未来命运的哲学问题

从承载力研究起源发展的历史来看,承载力不仅是生态科学问题,更是关系到人类未来命运的哲学问题。最初为承载力理论奠基的马尔萨斯人口论就是关于人类与自然关系的哲学思考。虽然在随后很长一段时间里承载力研究更多地只是生物学领域的一个纯理论问题,但在理论研究中存在的大量激烈争论,都会引发对人类自身定位、人类生物学本质、人类道德价值观、人类在地球演化过程中的地位、科学本质、人类宇宙观等问题的思考,这些争论和思考最后都会上升到对人类未来命运的哲学思考,从而使承载力研究不再只是生物学或生态学领域的简单理论问题,而且还是一个涉及人与自然关系的哲学问题。

#### 4.3 承载力研究仍将是生态学研究的长期热点,需要在发展一种全新的研究思路和范式

承载力研究虽然经过了两百多年的发展,但其理论和方法目前仍然只是处于研究的启蒙阶段,还存在太多尚未解决的问题和难点,这些疑问在现有科研基础和认知水平的条件下尚不能得到充分的或客观的解答,其中的任何一个问题或难点的解答都有可能需要大量研究工作才能论述清楚,或许关于承载力争论只能有待于另外一个重大科学突破或新的科学范式的出现才能得以解决和平息。因此在未来很长一段时间内,关于承载力的争论仍将继续下去,人类可持续发展理论仍将使承载力成为生态学及相关领域研究的长期热点。

承载力研究的不成熟性不应成为放弃承载力研究的借口。一方面,承载力研究应该更深入地研究和探讨自然运行机制和社会文化因素对承载力的影响,以期在未来能够真正解决制约承载力客观精确估算的关键问题;但在当前的一段时间里,承载力研究更重要的是另外一个方面,应该根据人类目前已经获得的地球自然运行规律和人类社会文化特点发展一种全新的、不同于自然生物承载力的研究思路和研究范式,以便在现有知识水平条件下结合可持续发展实践和管理的需求,通过主观与客观相结合的方法寻找一种更为有效和可操作的承载力估算方法,使承载力研究能够真正运用于当前人类可持续发展的实践之中。

#### References:

- [ 1 ] Abernethy V D. Carrying capacity: the tradition and policy implications of limits. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 2001, 2001: 9—18.
- [ 2 ] Young C C. Defining the Range: The Development of Carrying Capacity in Management Practice. *Journal of the History of Biology*, 1998, 31(1): 61—83.
- [ 3 ] Mayr E. *This Is Biology-The Science of the Living World*. London: Harvard University Press, 1997.
- [ 4 ] Hardin G. Cultural Carrying Capacity: A Biological Approach to Human Problems. *BioScience*, 1986, 36(9): 599—606.
- [ 5 ] Clark W C, Crutzen P J, Schellnhuber H J. Science for Global Sustainability: Toward a New Paradigm. In: Schellnhuber H J, Crutzen P J, Clark



- W C, *et al.* Earth System Analysis for Sustainability. Cambridge, MA; The MIT Press, 2004.
- [ 6 ] Cohen J E. How many people can the earth support? New York; W. W. Norton & Co. , 1995.
- [ 7 ] Dhondt A A. Carrying capacity: a confusing concept. *Acta Oecologica/Oecologia Generalis*, 1988, 9(4) : 337 — 346.
- [ 8 ] Graymore M. Journey to Sustainability; Small Regions, Sustainable Carrying Capacity and Sustainability Assessment Methods. Griffith University, 2005.
- [ 9 ] Price D. Carrying capacity reconsidered. *Population and Environment*, 1999, 21(1) : 5 — 26.
- [ 10 ] Seidl I, Tisdell C. Carrying Capacity Reconsidered; From Malthus' Population Theory to Cultural Carrying Capacity. *Ecological Economics*, 1999, 31 : 395 — 408.
- [ 11 ] Clarke A L. Assessing the Carrying Capacity of the Florida Keys. *Population & Environment*, 2002, 23(4) : 405 — 418.
- [ 12 ] Edwards R Y, Fowle C D. The concept of carrying capacity. *Transactions of the 20th North American Wildlife Conference*. 1955. 589 — 602.
- [ 13 ] Dasmann R F. *Wildlife Biology*. New York; John Wiley, 1964.
- [ 14 ] Smith R L. *Elements of ecology*. 3 ed. New York; HarperCollins, 1992.
- [ 15 ] Barrett G W, Odum E. The Twenty-First Century: The World at Carrying Capacity. [ URL: <http://journals.allenpress.com/jnl/serv/?request=get-abstract&issn=0006-3568&volume=50&page=363>, 2000; 50, 363 — 368.
- [ 16 ] Trewavas A. Malthus foiled again and again. *Nature*, 2002, 418 : 668 — 670.
- [ 17 ] Monte-luna P, Brook B W, Zetina-rejon M J, *et al.* The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 2004(13) : 485 — 495.
- [ 18 ] Malthus T R. *An essay on the principle of population*. London; Pickering, 1798.
- [ 19 ] Verhulst P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Corresp. Math. Phys*, 1838, 10 : 113 — 121.
- [ 20 ] Pearl R, Reed L J. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1920, 6(6) : 275 — 288.
- [ 21 ] Pearl R. The growth of populations. *Quarterly Review of Biology*, 1927, 2(4) : 532 — 548.
- [ 22 ] Gause G F. *The Struggle for Existence*. Baltimore; Williams & Wilkins, 1934.
- [ 23 ] Davidson J. On the growth of the sheep population in Tasmania. *Transactions of Royal Society of South Australia*, 1938, 62(2) : 342 — 346.
- [ 24 ] Scheffer V B. The Rise and Fall of a Reindeer Herd. *Scientific Monthly*, 1951, 73 : 356 — 362.
- [ 25 ] Odum E P. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia; W. B. Saunders, 1953.
- [ 26 ] Ehrlich P R. *The population Bomb*. New York; Ballantine Books, 1968.
- [ 27 ] Meadows D. *The limits of growth*. The Commercial Press, 1984.
- [ 28 ] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered; from Malthus' population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics*, 1999, 31(3) : 395 — 408.
- [ 29 ] Clarke A L. Assessing the carrying capacity of the florida keys. *Journal of Population and Environment*, 2002, 23(4) : 405 — 418.
- [ 30 ] Krebs C J. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. San Francisco, California; Benjamin/Cummings, 2001 : 695.
- [ 31 ] Pearl R. *The biology of population growth*. New York; Alfred A. Knopf. , 1925.
- [ 32 ] young C C. Defining the range: The development of carrying capacity in management practice. *Journal of History of Biology*, 1998(31) : 61 — 83.
- [ 33 ] Monte-luna P D, Brook B W, Zetina-rejon M J, *et al.* The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* ,2004(13) : 485 — 495.
- [ 34 ] Butler C D. Human carrying capacity and human Health. *PLoS Medicine*, 2004, 1(3) : 192 — 194.
- [ 35 ] Li W H. Ecological thought of sustainable development. *Journal of Sichuan Teachers College Natural Science Edition*, 2000, 21(3) : 215 — 220.
- [ 36 ] Meadows D H, Meadows D L, Randers J, *et al.* *The limits to Growth: a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York; Universe Books, 1972.
- [ 37 ] Jiang W C. *Research on Urban Water Resources Carrying Capacity: Theory and Application*. Chongqing; Chongqing University, 2004.
- [ 38 ] Li G. *Study on Population Carrying Capacity for the State-owned Forest Region in Heilongjiang Province*. Haerbin; Northeast Forestry University. 2002.
- [ 39 ] Del Monte- Luna P, Brook B W, Zetina-rejo M J, *et al.* The carrying capacity of ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(6) : 485 — 495.
- [ 40 ] Maserang C H. Carrying capacities and low population growth. *Journal of Anthropological Research*, 1977, 33(4) : 474 — 492.
- [ 41 ] Catoon W R. The world's most polymorphic species; Carrying capacity transgressed two ways. *Bioscience*, 1987(37) : 413 — 419.
- [ 42 ] Bernard F E, Thom D J. Population pressure and human carrying capacity in selected locations of Machakos and Kitui Districts. *Journal of Developing Areas*, 1981, 15(3) : 381 — 406.

- [43] Meier R L. Urban carrying capacity and steady state considerations in planning for the Mekong Valley region. *Urban Ecology*, 1978, 3(1): 1—27.
- [44] Gilliland M W, Clark B D. The lake tahoe basin: a systems analysis of its characteristics and human carrying capacity. *Environmental Management*, 1981, 5(5): 397—407.
- [45] Freyberg D L, Converse A O. Watershed carrying capacity as determined by waterborne waste loads. *J Urban Anal*, 1974, 2(1): 3—20.
- [46] House P W. The carrying capacity of a region: a planning model. *OMEGA*, 1974, 2(5): 667—676.
- [47] Schreyer R, Roggenbuck J W. The influence of experience expectations on crowding perceptions and social-psychological carrying capacities. *Leisure Sciences*, 1978, 1(4): 373—394.
- [48] Lindsay J J. Use of natural recreation resources and the concept of carrying capacity. *Tourism Recreation Research*, 1984, 9(2): 3—6.
- [49] Jackson I. Carrying capacity for tourism in small tropical Caribbean Islands. *Industry & Environment*, 1986, 9(1): 7—10.
- [50] Lindsay J J. Carrying capacity for tourism development in national parks of the United States. *Industry & Environment*, 1986, 9(1): 17—20.
- [51] Pearce D G, Kirk R M. Carrying capacities for coastal tourism. *Industry & Environment*, 1986, 9(1): 3—7.
- [52] Sowman M R. A procedure for assessing recreational carrying capacity of coastal resort areas. *Landscape & Urban Planning*, 1987, 14(4): 331—344.
- [53] O'reilly A M. Tourism carrying capacity: concept and issues. *Tourism Management*, 1986, 7(4): 254—258.
- [54] Jensen A L. Assessing environmental impact on mass balance, carrying capacity and growth of exploited populations. *Environmental Pollution Series A: Ecological and Biological*, 1984, 36(2): 133—145.
- [55] Brush S B. The concept of carrying capacity for systems of shifting cultivation. *American Anthropologist*, 1975, 77(4): 799—811.
- [56] Gao J X. Sustainable development theory study-ecological carrying capacity theory, approach, and application. Beijing: China Environmental Science Press, 2001: 57—58.
- [57] Marten G G, Sancholuz L A. Ecological land-use planning and carrying capacity evaluation in the Jalapa region (Veracruz, Mexico). *Agro-Ecosystems*, 1982, 8(2): 83—124.
- [58] Hegenbarth J L. Carrying capacity study of hatteras island. Baltimore, MD, USA: ASCE, 1985.
- [59] Marchetti C. A Check on the Earth-Carrying Capacity for Man. *Energy*, 1979, 4(6): 1107—1117.
- [60] Simon J L. *The Ultimate Resource*. Princeton: Princeton University Press, 1981.
- [61] Simon J L, Kahn H. *The Resourceful Earth: A Response to Global 2000*. 1st ed. Oxford: Basil Blackwell, 1984: 585.
- [62] Barnett H J, Morse C. *Scarcity and Growth: The economics of Natural Resource Availability*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1963.
- [63] Jorgenson D, Griliches Z. The explanation of productivity change. *Review of Economics and Statistics*, 1967, 34: 250—282.
- [64] Nordhaus W D. World dynamics: measurement without data. *Economic Journal*, 1973, 83: 1156—1183.
- [65] Brown G M, Field B C. Implications of alternative measures of natural resource scarcity. *Journal of Political Economy*, 1978, 86: 229—244.
- [66] Fisher A C. Measurements in Natural Resource Scarcity. *Scarcity and Growth Reconsidered*, Smith V K, Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1979.
- [67] Catton W R. *Overshoot: The ecological basis of revolutionary change*. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1980.
- [68] Simon J L. Resources, population, environment: an oversupply of false bad news. *Science*, 1980(208): 1431—1437.
- [69] Boulding K E. *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. Environmental Quality in a Growing Economy, Jarrett H, Baltimore: Hopkins University Press, 1966, 3—14.
- [70] Hardin G. Living on a lifeboat. *BioScience*, 1974, 24(10): 561—568.
- [71] John C J. Sustainability Ethnic: Tales of Two Cultures. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 2004: 39—43.
- [72] Williams R S. A modern earth narrative: what will be the fate of the biosphere?. *Technology in Society*, 2000, 22(3): 303—339.
- [73] Rees W E. Revisiting carrying capacity: area-based indicators of sustainability. *Population and Environment*, 1996, 17(3): 195—215.
- [74] Vitousek P, Ehrlich P, Ehrlich A, *et al.* Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, 1986, 36: 368—374.
- [75] Detwyler T R. *Man's Impact on Environment*. New York: McGraw Hill, 1971.
- [76] Higgins G M. *Potential Population Supporting Capacities of Lands in the Developing World*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1982.
- [77] Ehrlich P R. Human ecology for introductory biology courses: an overview. *American Zoologist*, 1985, 25(2): 379—394.
- [78] Brown L. *The Changing World Food Prospect: the Nineties and Beyond*. Washington, D C: Worldwatch Institute, 1988.
- [79] Ehrlich P R, Ehrlich A H. *Earth*. New York: Franklin Watts, 1988.
- [80] Ehrlich P R, Daily G C, Ehrlich A H, *et al.* *Global Change and Carrying Capacity: Implications for Life on Earth*. Washington, DC: National Academy Press, 1989. 16—26.

- [81] Cohen J E. Population, economics, environment and culture; an introduction to human carrying capacity. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34 (6): 1325 — 1333.
- [82] Meyer P S, Ausubel J H. Carrying capacity: a model with Logistically varying limits. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 61 (3): 209 — 214.
- [83] Hardin G. Carrying capacity and quality of life. *Environmental Science: Sustaining the Earth*, Miller G T, Wadsworth, 1991, 195 — 196.
- [84] Daily G C, Ehrlich P R. Population, sustainability, and earth's carrying capacity: a framework for estimating population sizes and lifestyles that could be sustained without undermining future generations. *BioScience*, 1992: 42, 761 — 771.
- [85] Curran S, Kumar A, Lutz W, *et al.* Interactions between coastal and marine ecosystems and human population systems: perspectives on how consumption mediates this interaction. *Ambio*, 2002, 31 (4): 264 — 268.
- [86] Costanza R. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 1995, 15 (2): 89 — 90.
- [87] Zhang L B. *Ecological Carrying Capacity Theory and Assessment Method of Urban Ecosystem — Shenzhen as a case study*. Beijing: China Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, 2007.
- [88] Hardin G. The feast of malthus. *Social Contract*, 1998: 181 — 187.

#### 参考文献:

- [27] 梅多斯. 增长的极限. 北京: 商务印书馆, 1984.
- [35] 李文华. 可持续发展的生态学思考. *四川师范学院学报*, 2000, 21 (3): 215 ~ 220.
- [37] 姜文超. 城镇地区水资源极限承载力及其量化方法与应用研究. 重庆: 重庆大学, 2004.
- [38] 李广. 黑龙江省国有林区人口承载力问题研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.
- [56] 高吉喜. 可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2001: 185.
- [87] 张林波. 城市生态承载力理论与方法研究——以深圳为例. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2007.