

文章编号: 0559-9350 (2004) 01-0038-08

水资源承载力内涵的新认识

龙腾锐, 姜文超, 何强

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要: 本文概要总结了当前水资源承载力认识所存在的主要问题, 认为可持续发展的内涵未能与水资源承载力有效地结合。依据生态系统服务理论和水生态系统承载的效用与价值, 对水资源——人类系统做了简要的生态经济分析, 认为应将水生态系统作为水资源承载力中的承载主体, 并以水生态系统的整体性和全部生态经济服务为基础开展研究。根据可持续发展理论的可持续原则、可持续性和发展概念等, 较详细地探讨了水资源承载力在生态、技术、社会经济和时空等方面的内涵, 并给出了基于这些内涵的水资源承载力定义及相应的模型。

关键词: 承载力; 水资源承载力; 内涵; 生态经济分析; 可持续发展; 可持续性

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

日益严峻且高度综合的水问题, 提出了水资源承载力研究的现实必要性和迫切性^[1]。自 20 世纪 80 年代以来, 水资源承载力在我国得到了大量的关注和研究^[2], 并逐渐以专门条文的形式出现于一些资源百科全书上^[3], 在近期我国西北地区水资源承载能力的研究中, 其有关理论又得到了新的发展^[4-6]。然而, 水资源承载力迄今仍是一个外延模糊、内涵混沌的概念, 其内涵的界定尚存在一定的分歧和不足^[2,6]。本文以生态经济分析和可持续发展理论为基础, 提出了对水资源承载力内涵的新认识。

1 承载力概念的起源与发展

承载力 (carrying capacity, 有时亦译为 bearing capacity) 是一个起源于古希腊时代的古老概念, 在生态学中一般被定义为“某一生境 (habitat) 所能支持的某一物种的最大数量”^[7], 它所包含的极限思想与“公地” (the commons) 及其潜在的过度利用联系在一起, 最早出现于亚里士多德的一些著作^[8,9], 并已在农业中应用了几个世纪^[10]。18 世纪末期, Malthus 发表了著名的《人口原理》, 为承载力概念赋予了现代性内涵, 并带来了深远的影响^[11,12]: 一方面, 通过对古典经济学的影响, 对 20 世纪的人口学和经济学研究产生了重要影响; 另一方面, 通过对 Darwin 的影响, 为其以后生物学和生态学的发展带来了重要影响, 导致 19 世纪末期承载力概念在这两个领域得到广泛的应用。19 世纪 80 年代后期至 20 世纪初期, 承载力概念开始在畜牧场管理中得到明确的应用, 如美国农业部 1906 年年鉴就曾采用这一概念, 稍后, 认识到这一概念的有用性, 野生动物学家也将其引入到野生动物管理领域中^[13,14]。1920 年, 生物学家 Pearl 与其助手 Reed 通过生物学试验, 总结出了实验室中生物数量增长的对数方程 (Logistic equation), 并证明了北美地区的人口增长也存在类似的关系。1922 年, Hadwen 和 Palmer 在美国农业部公报中也应用了这一概念^[15]。1953 年, Odum 在其颇具影响的《生态学原理》 (Fundamentals of Ecology) 中, 将承载力概念与对数增长方程特别是其中的常数 k 相联系, 赋予承载力概念较精确的数学形式^[13,16]。另外, 在人类生态学领域, Park 和 Burgess 于 1921 年在有关研究中应

收稿日期: 2002-08-15

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (59838300)

作者简介: 龙腾锐 (1939-), 男, 湖南邵阳人, 教授, 主要从事水资源利用与保护及水污染控制方面的研究。

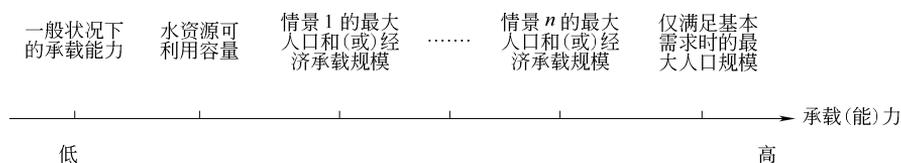
用了承载力概念，认为可根据某一地区的食物资源来确定该区的人口容量^[17]，带动了土地承载力领域的研究。20世纪60、70年代，自然资源耗竭和环境恶化等全球性问题的爆发，引起地球承载能力及相关命题研究的广泛开展，其中尤以 Meadows 等人所著的《增长的极限》为杰出代表。20世纪70年代后期和80年代初期，联合国粮农组织（FAO）和教科文组织（UNESCO）先后组织了承载力的大型研究，提出了一些承载力定义和量化方法^[17]。80年代后期，可持续发展概念和思想得以提出，承载力被认为是它的一个固有方面，并与之相结合而获得新的发展。1995年，诺贝尔经济学奖获得者 Arrow 与其他国际知名的经济学家和生态学家一起，在 Science 上发表了“经济增长、承载力和环境”一文^[18]，在学界和政界均引起极大的反响，美国生态学会（Ecological society of America）更是以此为主题，在1996年的 Ecological Applications 上组织了由众多专家参加的国际性研讨论坛（No. 1, pp12-32），引起了承载力研究的新热潮。目前，承载力概念在人口、自然资源管理及环境规划和管理等领域都得到了广泛的应用和研究。在上述发展过程中，大量的承载力定义和量化模型得以提出，Hardin 和 Daily 等还进一步提出了生物物理承载力（Biophysical carrying capacity）、文化承载力（Cultural carrying capacity）和社会承载力（Social carrying capacity）等概念^[19,20]。总体上，承载力的应用可分为生物学和生态学、应用生态学和人口生态学等三大方面^[11]；从研究方法上，又可分为特殊实证承载力（Specific empirical carrying capacity）、一般实证承载力（General empirical carrying capacity）和理论承载力（Theoretical carrying capacity）等三类^[21]；从具体应用上，还可主要归纳为自然资源或环境对人口的承载力、某生境对特定生物的承载力和娱乐旅游承载力等三类，其中尤其是在土地承载力的概念、内涵和量化模型等方面取得了丰硕的成果^[17,22]。概括而言，（自然资源或环境对人口的）承载力是一个与资源禀赋、技术手段、社会选择和价值观念等密切相关的、具有相对极限内涵和伦理特征的概念，它本质上是不固定的、非静态的和非单一关系的（Single relationship）^[18,23~25]。应当指出，承载力概念在获得广泛应用和发展的同时，也在不同领域内均因为可操作性问题受到了众多的批评，有很多学者认为它具有固有的模糊性和不确定性而建议废弃之（如文献 [26, 27]）。

2 对当前水资源承载力认识的简要分析

水资源承载力是承载力概念与水资源领域的自然结合，但与土地承载力相比，它在国外的专门研究较少，常常仅是在可持续发展问题中得到泛泛的讨论。国外往往使用“可持续利用水量”^[28]、水资源的生态限度或水资源自然系统的极限^[29]、水资源紧缺程度指标^[30,31]等来表述类似的涵义，且一般直接指天然水资源数量的开发利用极限。

我国的水资源承载力研究在一定程度上吸收了国外承载力研究的成果，其中在概念上主要借鉴了 FAO 和 UNESCO 对资源承载力的定义，在量化方法上则吸收了《增长的极限》中提出的系统动力学方法。结合水资源的特殊性、我国国情、水资源学科的发展和研究人员特定的学科背景，水资源承载力在我国也得到了独立的发展。总体上看，水资源承载力尚未取得公认的定义和认识^[2,4,6]，目前大致主要有4种类型的定义方式^[2]：抽象的“能力”；用水能力（容量）；人口和（或）社会经济发展规模；外部作用。它们对应了图1所示的一个由低到高的“概念空间”。

在上述4种定义方式中，第3种占主流地位^[6]，随着近年来量化及与宏观社会经济相联系的需要不断增加，这种定义方式越来越普遍。坦率地讲，水资源承载力研究目前业已取得丰富的成果，特别



注：情景 n 为对情景 1 采用了一定的改进手段。

图1 水资源承载（能）力的理解层次（示意）

是在基于特定方案、水资源供需平衡和产值核算等方面的量化方法上已经发展得相对完善，最近还加强了生态环境需水量方面的研究。但是，当前的水资源承载力研究在研究视角、研究内容和量化方法上仍主要是资源承载力方法的继续，随着近年来生态经济学和可持续发展理论的发展，上述方面都显示出越来越大的局限性，主要表现在：内涵分析和量化计算始终侧重于水资源量，在承载对象上则偏重于生活性与生产性的人类经济用途及相应的经济收益，忽视了水资源在生态系统层次上的完整效用价值，因此，尽管声称以可持续发展为原则，并且逐渐加强了生态（环境）需水量方面的约束，但在一定程度上仍反映了功利主义的环境伦理思想，是不彻底的和机械的可持续性；可持续发展内涵与水资源承载力的结合尚存在一定的问题，用水资源在各个部门的总产值表示经济规模是不完善的，甚至是与发展的内涵相悖的，“可持续性”与水资源承载力的“极限性”之间的关系未得到阐明，而且，所谓的可持续发展原则也显得不够具体；水资源承载力概念在应用中有一定的歧义性，技术手段在水资源承载力中的作用和地位尚未得到应有的重视和清楚的认识。比如，认为能够通过一定的技术手段增加水资源承载力，将会导致即使在同一时期内，一个“最优化”或“最大”的人口和（或）经济规模之外又有另外一个“更优化”和“更大”的承载规模（见图1），这样就很难说明哪一个才是“最优化”的或“最大”的——换言之，很难说明哪个才是“水资源承载力”，使得水资源承载力在某种意义上成为“特定方案背景下的水资源承载力”，这与水资源承载力的极限唯一性有一定的矛盾，并可能会带来实际应用和理论探讨的混淆及随之而来的可用性或可操作性问题。总之，水资源承载力在基础概念体系上的研究尚显不足，其研究视角和研究方法都有待拓宽。

3 水资源——人类系统的生态经济分析

水资源——人类系统是一个典型的生态经济系统，有必要采用生态经济学的方法进行分析。参照生态系统特别是水生态系统所提供的生态经济服务和价值^[32~35]，结合水循环和水资源管理^[29,36~38]，给出图2所示的简单模型。

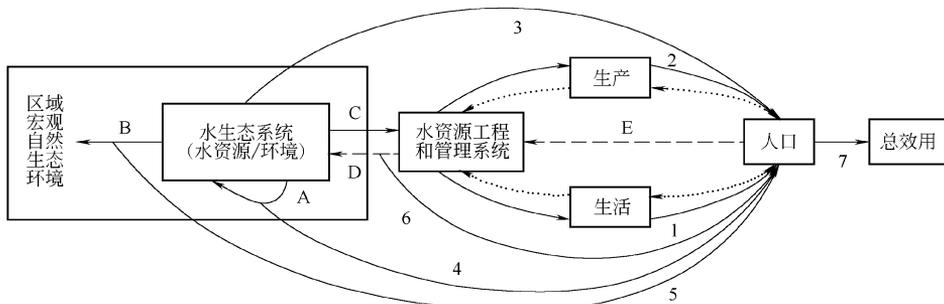


图2 水资源—人类系统的生态经济分析

根据图2，一个完善的水生态系统可以提供4种类型的生态功能或生态系统服务（ecosystem services）：生命支持功能；为生产提供资源基础；作为废物汇输送、降解生活或生产中产生的废物；提供舒适性服务等。这些服务最终为人类形成各种各样的效用或价值。因此，在水资源——人类系统中，既有传统分析所关注的物质流（水流以及其他资源流），又有效用或价值流、资金流和能量流。从生态系统的角度或生态经济学的观点看，水资源承载力的认识和研究必须建立在充分认识上述各个方面和保持水生态系统的稳定性、弹性、整体性及其与人类系统协调发展的基础之上。应当指出：水环境和水资源具有高度的统一性，其载体都是特定区域的水生态系统，正确理解水资源承载力不能人为地割裂它们，因此，水生态系统应当作为事实上的承载主体；人类可以对水资源工程和管理系

统及水生态系统进行有效的管理，以维持水资源系统和人类效用系统的健康运行，而且，水管理同时也是社会经济系统的构成部分之一；水资源的各种功能及其效用或价值具有整体性，完整的水资源承载力认识应当建立在这种整体性之上，而不应当局限于某一特定方面（如以货币收入表示的经济效用）；在生产单元内部，也存在着用水分配和优化配置问题。需要说明的是，效用本来是一个经济学概念，表示人们从其消费的商品中所获得的满意程度，这里用以表示水生态系统为人类带来的各种直接或间接的功用或价值，它潜在地与经济学建立了联系。

4 水资源承载力的内涵

4.1 生态内涵 水资源承载力的生态内涵具有两层涵义：第一，水资源所承载的综合效用具有生态上的极限，水资源的开发利用应以不超过这种极限为前提；第二，由于水资源承载力具有极限涵义，所以当达到水资源承载力时，也必然意味着这一生态极限得到充分的利用。而且，水资源承载力的生态极限应当建立在水生态系统的整体性上，它至少包括3个方面：水资源的开发利用量达到可更新水资源量；水环境质量符合设定的使用功能要求，污染物的浓度值和累积值都应处于极限值以下；

满足水生态系统的安全性和生物多样性的需求以及区域宏观生态环境的用水需求。上述3个方面基本上构成了当前生态环境需（用）水量的研究内容。水资源承载力的生态极限是水资源存在承载极限的根本原因，也是水资源承载力的一个基本构成部分，水资源承载力的认识与分析都应以此为起点。应当指出，由于水生态系统具有一定的弹性（resilience），所以水资源承载力的生态极限具有一定的动态性。同时，水资源承载力的生态极限还与一定的生态建设和环境保护目标有关。

4.2 技术内涵 水资源承载力并非一个纯粹客观的概念，而是与人类作用相关，具有主观性的一面。水资源承载力离不开特定的科学技术背景，这不仅在于水资源承载力的生态极限与特定的技术水平有关，而且在于通过优化水管理或者提高科学技术水平，可以提高水资源对社会经济的承载能力。不过，应当注意到，一般的水资源承载力定义中“在一定的技术水平下”的前提都包含了水管理这一方面，而由于水管理事实上也是社会经济的一部分（譬如它会涉及到社会经济结构），所以一般定义中的“……最大的人口或经济规模”也隐含了水管理这一方面。很显然，它同时既作为前提又作为承载对象会带来内在的矛盾，也会导致水资源承载力概念具有模糊性。因此，作为概念的水资源承载力应当区分出一般的技术水平和水管理2个方面，前者在特定的阶段对于社会经济而言具有一定的独立性和稳定性，后者则是水资源承载力的内在部分，当达到某一时期理想的水资源承载力时，就意味着达到了一种最优的水管理状态，换言之，一个具有极限涵义的水资源承载力内在地包括了水管理得到了最大程度的优化这一内涵。将水管理作为水资源承载力的内在部分，意味着对应的社会经济也是水资源承载力的内在部分，在一定的时期内，通过对社会总体技术或生产水平进行预测，就可以得到大致确定和唯一的水资源承载力，解释了水资源承载力的极限唯一性；通过提高不同时期的总体技术或生产力水平，可以提高水资源的承载能力，使水资源承载力在不同时期上具有跳跃性，又解释了水资源承载力在时间上的技术动态性。澄清这点非常重要，一方面，它决定了水资源承载力本身是否是一个内在一致的概念，而这对于建立水资源承载力的理论体系是基础性的；另一方面，它也同时决定了水资源承载力是否可测和可用：如果不能规定这种唯一性，水资源承载力就具有多个状态，这样就不大可能给出涵义明确、大小稳定的承载力，不但可能导致量化上的逻辑不一致性，而且可能导致在实用中不能给城市规划和决策以相对固定的参考依据。总之，水资源承载力具有特定的技术内涵，一方面，通过提高技术水平可以提高水资源的承载能力；另一方面，具有极限涵义的水资源承载力概念对应着最佳的水管理状态，当然，这通常只有在理想状态下才能发生。

4.3 社会经济内涵 承载力概念最吸引人之处在于它似乎可以给出一个不依赖于社会经济而存在的客观极限^[39]，水资源承载力同样如此。的确，如果水生态系统的生态极限可以确定并在此基础上实施水资源的开发利用和管理，将能够保证水生态系统的开发利用是可持续的，因此，从这个意义上讲，水资源承载力并不具有社会经济方面的特征，它只关心特定的社会经济系统是否超过了水资源和

人类社会经济系统界面上的水资源最大利用通量及废物最大排放通量，而并不关心社会经济系统内部的资源配置及人口规模和经济规模究竟如何，后者属于社会经济优化和水资源优化管理等另外的命题。不过，应当注意到，与水资源承载力的技术内涵类似，水生生态系统的生态极限往往并不能脱离特定区域人口的价值观和具体的效用需求而确定，而且在相同的水资源利用和污水排放水平下，通过社会经济系统的优化（如产业结构调整），社会经济容量或规模会有所不同，这就使得水资源承载力不可避免地又具有社会经济方面的内涵。因此，水资源承载力不仅有一个自然生态方面的最大规模，而且有一个社会经济方面的最大规模。而这又进一步依赖于对“规模”的构成内容以及“最大”的判断准则的把握。

前世界银行经济学家 Daly 认为，“规模可以认为是人口数与人均资源消费量的乘积^[40]”，这种规模是人类行为对自然生态系统的总外部作用（impact），它与总产值并没有太大的关系。当前主流的水资源承载力认识所说的规模则通常包括人口规模和经济规模两项，后者一般就是各用水部门的产值总和，在大多数情况下，它是通过给定特定的生活水平并在水资源在各个部门中优化配置的基础上加以确定的，一般而言，类似于受到广泛批评的传统的 GDP 指标，这种产值总和并没有包括图 2 中的 3、6 等生态经济服务的效用价值，因而在一定程度上是经济增长思维和方法的继续。可持续发展理论则认为，发展不是简单的经济增长，而是多维度的进步，是“人类在生存条件满足之后为其进一步的需求和愿望而付出的行为总和^[41]”，包括个人和社会所享效用的改善、教育、健康和总的生活质量的提高^[42]，具体到水资源领域，发展的内容应当包括图 2 所示的 1~6 的所有效用或价值。因此，本文认为，社会经济规模应是由各种效用构成的总效用的规模，而不仅仅是生产性的产值总和。

“最大”规模的确定依赖于对“生存”和“发展”这一对概念及“可持续性”内涵的认识。人类社会在水资源支撑条件下的活动可以区分出生存和发展两部分，前者意味着最低限度的饮用水供给、粮食供给和最小限度的生态环境价值享受等，后者则意味着除基本需求之外的、由各种直接或间接效用构成的物质和文化福利。根据可持续发展的原则，可持续发展的最终落脚点是人类社会，即改善人类的生活质量^[43]。因此，确定“最大”规模应当以发展为基本出发点，也就是说，水资源承载力不应对应着“最坏”的发展状态，而应对应着“最好”的发展状态。

可持续性是可可持续发展的一个核心概念。文献 [44] 总结出了 6 种可持续性定义，其中一个与经济有关的可持续性指“（人均的）效用或消费不随时间而下降”，文献 [45] 则认为，“可持续发展指不削弱无限期地提供不下降的人均效用的能力的发展”，这里的能力既包括自然资本方面的能力，也包括人造资本和人工资本方面的能力，因而实际上涉及到这几类资本之间的可替代性及可替代程度。不过，尽管这两种认识存在一定的分歧，但都基本上承认效用不下降（尤其是在本文所说的综合效用的意义上）是可可持续发展的一个必要条件。可见，可持续性既不要求、也不必然意味着人口规模和经济规模的增长，它只要求二者组合的人均效用水平是否在一定时间（甚至是无限期）上是持续的，它甚至也不要求和意味着效用水平必定是最大的或最优的。但后者却是水资源承载力的极限性所要求的。

综上所述，本文认为：水资源承载力具有社会经济方面的内涵，具有主观性的一面，社会经济系统的优化可以提高水资源的承载能力；社会经济的内容包括图 2 中所示的所有生态经济服务方面，而不局限于与传统的 GDP 指标相类似的生产性经济收益，换言之，综合效用应当作为承载的对象或客体；概念上的水资源承载力对应着最大的可持续人均效用水平，即对应着最大可能的可持续发展水平。当然，由于人类认知水平等因素的限制，这种最优发展水平一般是无法达到的，从而通常只能是相对最优的水平。

也许有人会说，有了人口和经济总量就有了人均水平，而如果仅有人均效用水平就不一定有人口和经济总量规模的概念。事实上，有了人均效用水平同样也就有了相对应的人口规模和经济规模，但是它们不是绝对的最大，而是可持续基础上的最大，这恰恰正是笔者所坚持的。我们也承认水资源承载力最终要以一定的人口总量规模为落脚点，但进一步认为这种人口规模是与最大的生活水平也就是人均综合效用水平相对应的，换言之，在可持续发展的前提下，“最大”的含义就是对应着最优的发展水平。除了强调效用构成成分的综合性之外，我们采用人均综合效用水平还隐含着这样的一种考

虑：区域开发和水资源管理政策不应将人口增长和经济总量增长作为自己的目标，而应将水生态系统功能的完整发挥和这些功能所造成的效用的人口上的分配作为重点考虑内容，即社会经济的发展目标应该是人均综合效用水平的提高。

4.4 时空内涵 水资源承载力还有一定的时空内涵：水资源承载力是一定区域尺度上的水生态系统自身的承载力。可持续发展地域公平性的原则要求，满足本地区的发展需求应以不损害、不掠夺其它地区的发展需求为前提^[46]，同时还要求可持续性应以一定的地域尺度为基础^[35]；不同的时空尺度，相同的水资源量的承载力是不同的^[47]；水资源承载的综合效用及其它约束因素如自然资源、劳动力资源和技术资源等都具有区域性；水资源承载力在时间上是一个将来的概念^[47]；水资源承载力是一个长期性的概念，即它是自然水生态系统同人类长期相互作用关系的反映，具有一定的时间尺度，在量化计算时，某些变量应当取特定时段上的平均值。

一个理想的水资源承载力概念应当同时具有上述内涵，如最优的发展水平就以最优的水管理为前提，从而表现出一定的整体性。根据上面的分析，水资源承载力可以被定义为“在一定的时期和技术水平下，当水管理和社会经济达到优化时，区域水生态系统自身所能承载的最大可持续人均综合效用水平或最大可持续发展水平”。用一个简单的公式表示就是： $CC = \max_f(EE, T, SE, P^{-1}) |_{t, R}$ ，其中： CC 为区域水资源承载力； EE 为生态环境因子； T 为技术因子； SE 为社会经济因子； t 为时间因子； R 为区域范围； P 为人口。它表明水资源承载力是生态、技术、社会经济和人口等因素的函数。

5 结语

承载力是一个起源于古希腊时代的古老概念，具有悠久的历史，但在长期发展过程中，它从来没有摆脱过模糊性和不确定性，使其始终作为一个概念或应用性结果存在而没有发展起自己的理论体系。水资源承载力同样如此，自20世纪80年代以来，它一直大致沿着水资源供需平衡分析和类似于传统GDP核算的产值加和的道路发展，也没有发展起来获得公认的基础理论体系，而且随着时间的推移，关于其内涵和概念的分歧看来不是减少了，而是增多了。我们认为，一个最主要的缺陷就是与可持续发展的结合存在一定的问题。本文从生态经济服务、效用和价值的角度对水资源——人类系统进行了简单的生态经济分析，认为水资源承载力认识应建立在生态系统，特别是水生态系统的整体功能和全部生态经济服务的基础之上，并结合可持续发展理论，如可持续原则、可持续性、生存和发展等概念，探讨了水资源承载力在生态、技术、社会经济和时空上的内涵，做出了沿着生态经济学和可持续发展的方向研究水资源承载力的新尝试，力求将可持续发展的若干理论内在化到水资源承载力认识中。根据这些认识，水资源承载力被定义为在一定的时期和技术水平下，当水管理和社会经济达到最优化时，一定区域的水生态系统自身所能承载的最大可持续人均综合效用水平（或最大可持续发展水平）。应该肯定，生态环境需（用）水量作为水资源承载力生态内涵的重要方面，是水资源承载力研究的一个正确方向，但对于建立起完善的水资源承载力基础理论体系来说，从概念上廓清水资源承载力固有的模糊性、动态性和相对极限的唯一性之间的矛盾仍是必要的。我们也意识到本文提出的解决办法仅是尝试性的，建立水资源承载力的基础理论体系必将任重而道远。

致谢：本文作者衷心感谢澳大利亚 Charles Sturt University 的 K. Lindberg 教授、美国 North Carolina State University 的 N. M. Haddad 博士和英国 Uninvershty of East Anglia 的 K. Brown 博士等热心提供资料！

参 考 文 献：

- [1] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水问题反思与水资源承载力研究 [J]. 中国给水排水, 2003, 19 (7): 20 - 23.
- [2] 龙腾锐, 姜文超. 水资源 (环境) 承载力的研究进展 [J]. 水科学进展, 2003, 14 (2): 249 - 253.
- [3] 何希吾. 水资源承载能力 EB/OL. 见: 中国资源科学百科全书·水资原学. 见水信息网: <http://www.>

- hwcc. com. cn/NewsR/News Display. asp ? Id = 31968.
- [4] 夏军, 朱一中. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (3): 262 - 269.
- [5] 中国水利水电科学研究院. 西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究 [EB/OL]. 水资源水信息网: [http: //tech. waterinfo. net. cn/NewsR/NewsDisplay. asp ? Id = 11245](http://tech. waterinfo. net. cn/NewsR/NewsDisplay. asp ? Id = 11245).
- [6] 张丽, 董增川. 流域水资源承载能力浅析 [EB/OL]. 水信息网: [http: //www. hwcc. com. cn/NewsR/News Display. asp ? Id = 53301](http://www. hwcc. com. cn/NewsR/News Display. asp ? Id = 53301).
- [7] 陈春生. 环境容量受力分析与都市成长管理之研究: 以台北都会区水资源个案为例 [J]. 国立台湾大学建筑与城乡研究学报, 1987, 3 (1): 133 - 144.
- [8] OECD. Sustainable Consumption and Production: Clarifying the Concepts [Z]. OECD Proceedings, 1997.
- [9] Hardin G. Carrying capacity as an Ethical Concept [J]. Soundings, 1976, 59: 120 - 137.
- [10] Environmental Stewardship & Planning. El Dorado County River Management Plan Carrying capacity White Paper [A]. In: A Report prepared for Department and Services [Z]. El Dorado County Placerville, California, 2000.
- [11] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. Ecological Economics, 1999, 31: 395 - 408.
- [12] Population Information Network, the United Nations Population Division, Department for Economic and Social Information and Policy Analysis. Population and the Environment in Developing Countries: A Literature Survey and bibliography [Z]. The United Nations Population Division, 1994.
- [13] Price D. Carrying capacity reconsidered [J]. Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies, 1999, 21 (1): 5 - 26.
- [14] Dijkman J. Carrying capacity: outdated concept or useful livestock management tool [A]. In: Electronic conference of livestock: coping with drought [Z]. FAO and Overseas Development Institute, UK, 1998. On: [http: //www. odi. org. uk/pdn/drought/dijkman. html](http://www. odi. org. uk/pdn/drought/dijkman. html).
- [15] Hadwen S, Palmer L J. Reindeer in Alaska [M]. U. S. Department of Agriculture Bulletin, 1922, 1089: 1 - 70.
- [16] Odum E P. Fundamentals of Ecology [M]. Philadelphia: W. B. Saunders, 1953.
- [17] 阮本清, 梁瑞驹, 王浩, 等. 流域水资源管理 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [18] Arrow K, Bolin B, Costanza R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment [J]. Science, 1995, 268: 520 - 521.
- [19] Hardin G. Cultural carrying capacity: a biological approach to human problems [J]. BioScience, 1986, 36 (9): 599 - 604.
- [20] Daily G C, Ehrlich P R. Socioeconomic equity, sustainability, and Earth's carrying capacity [J]. Ecological Applications, 1996, 6 (4): 991 - 1001.
- [21] Lockwood D R. Reconsidering carrying capacity [EB/OL]. on: [http: //www. itd. ucDavis. edu/~dale/studies/carrying. html](http://www. itd. ucDavis. edu/~dale/studies/carrying. html), 1998.
- [22] 郭秀锐, 毛显强. 中国土地承载力计算方法研究综述 [J]. 地球科学进展, 2000, 15 (6): 705 - 711.
- [23] Hardin G. Ethical implications of carrying capacity [EB/OL]. On: [http: //www. dieoff. com/page96. htm](http://www. dieoff. com/page96. htm).
- [24] Daily G C, Ehrlich P R. Population, sustainability, and Earth's carrying capacity [J]. BioScience, 1992, 42: 761 - 771.
- [25] Cohen J E. Population, economics, environmental and culture: an introduction to human carrying capacity [J]. Journal of Applied Ecology, 1997, 34: 1325 - 1333.
- [26] Buckley R. An ecological perspective on carrying capacity [J]. Annals of Tourism Research, 1999, 26 (3): 705 - 708.
- [27] Lindberg K, McCool S, Stankey G. Rethinking carrying capacity [J]. Annals of Tourism Research, 1997, 24 (2): 461 - 465.
- [28] Hunter C. Perception of the sustainable city and implications for fresh water resources management [J]. Int: J. Environment and Pollution, 1998, 10 (1): 84 - 103.
- [29] Falkenmark M, Lundqvist J. Towards water security: political determination and human adaptation crucial [J]. Natural Resources Forum, 1998, 21 (1): 37 - 51.
- [30] 波斯泰尔 (Postel S) 著, 吴绍洪, 张莉译. 最后的绿洲 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1998.
- [31] Falkenmark M, et al. 全球粮食危机的关键因素——水缺乏 (非正式讨论) [J]. Ambio, 1998, 27 (2): 148 - 154. (中文版)

- [32] Costanza R, d arge R, de Groost R, et al. The Value of the world s ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, (387): 253 - 260.
- [33] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. 应用生态学报, 1999, 10 (5): 635 - 640.
- [34] Loucks D P, Gadwell J S 著, 王建龙译. 水资源系统的可持续性标准 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [35] Loucks D P, Stakhiv E Z. Sustainable water resources management [J]. Journal of Water Planning and Management, 2000, 126 (2): 43 - 47.
- [36] da Cunha L V. Sustainable deveopment of water resources [A]. In: Bau, J. et al (Eds.), Proc. , Int. Symp. on Integrated Approaches of Water Pollution Problems [C]. Lisbon, Portugal, 1989. London: Elsevier, 1991. 3 - 30.
- [37] Falkenmark M. 环境与发展: 迫切需要对水进行正确的观察 [A]. 见: Biswass A K, Jellali M, Stout G. 主编, 郑丰, 邹永庆译. 21 世纪可持续发展的水战略 [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 19 - 26.
- [38] Hufschmidt M M. 可持续发展水政策 [A]. 见: Biswass A K, Jellali M, Stout G. 主编, 郑丰, 邹永庆译. 21 世纪可持续发展的水战略 [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 42 - 49.
- [39] Committee to Review the Florida Keys Carrying Capacity Study, National Research Council. Interim review of the Florida Keys Carrying Capacity Study [M]. Washington D. C. : National Academy Press, 2001.
- [40] 赫尔曼·E·戴利 (Daly H E), 肯尼思·N·汤森 (Townsend KN). 导论 [A]. 见: 赫尔曼·E·戴利, 肯尼思·N·汤森主编, 马杰等译. 珍惜地球: 经济学、生态学、伦理学 [C]. 北京: 商务印书馆, 2001. 3 - 14.
- [41] Niu W Y. Spatial system approach to sustainable development: a conceptual framework [J]. Environmental Managment, 1993, 17: 179 - 186.
- [42] 皮尔斯 (Pearce, D. W.), 活福德 (Warford, J. J.), 张世秋等译. 世界无末日——经济学、环境与可持续发展 [M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1996.
- [43] 王伟中. 地方可持续发展导论 [M]. 北京: 商务印书馆, 1999.
- [44] 罗杰·珀曼 (Perman R), 马越 (Ma Y), 詹姆斯·麦吉利夫雷 (McGilvray J) 等著, 侯元兆译著. 自然资源与环境经济学 (第二版) [M]. 北京: 中国经济出版社, 2002.
- [45] 诺伊迈耶 (Neumayer E) 著, 王寅通译. 强与弱: 两种对立的可持续性范式 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2002.
- [46] 中国科学院可持续发展研究组. 1999 中国可持续发展战略报告 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [47] 王建华, 江东, 顾定法, 等. 水资源承载力的概念和理论 [J]. 甘肃科学学报, 1999, 11 (2): 1 - 4.

Water resources carrying capacity: new perspectives based on eco-economic analysis and sustainable development

LONG Teng-rui, JIANG Wen-chao, HE Qiang
(Chongqing University, chongqing 400045, China)

Abstract: Current understandings of water resources carrying capacity are analyzed with reviewing the concept of carrying capacity, and it is found that the connotation of sustainable development has not been effectively and successfully combined with water resources carrying capacity. Based on the theories of ecosystem services and values carried by freshwater ecosystem, an eco-economic analysis on water resources—human system is performed and the aquatic ecosystem as a whole is adocated as the main carrying body. Conequently, studies on water resources carrying capacity should be carried out on the integrity of aquatic ecosystem and all of the utilities and values carried by the aquatic ecosystem. Furthermore, based on sustainable development, 4 connotations in ecological, technological, socioeconomic, and temporal and spatial aspects are discussed. Accordingly, water resources carrying capacity is defined as the maximum sustainable average comprehensive utility level that an aquatic ecosystem can support.

Key words: carrying capacity; water resources; eco-economic analysis; ecosystem service; sustainable development