生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷

彭 建[1,2], 吴健生[1,2], 蒋依依[1,2], 叶敏婷[1,2]

(1. 北京大学深圳研究生院数字城市与城市景观研究中心, 深圳 518055;
2. 北京大学环境学院, 北京 100871)

摘要: 可持续发展的生态评估是当前国际生态经济学与可持续发展研究的前沿问题之一, 生态足迹从生物生产的角度可以定量评估一个国家或地区发展的生态持续性程度, 是近年来发展迅速的一种生物物理量衡量方法。尽管生态足迹分析具有指标指示意义明确、评估结果全球可比与模型方法简便、资料易获取、可操作性强等优点, 但在理论方法上仍存在不足之处。综合国内外区域生态足迹分析的最新进展, 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的理论缺陷主要表现为以下 6 点: ①弱可持续性评价, 难以完整反映系统的可持续性状态; ②静态模型, 缺乏预测功能; ③长时间序列生态足迹研究的合理性有待商榷; ④全球平均生产力的相对性, 导致评估结果的非绝对性; ⑤过于强调土地的数量, 而忽略土地的质量; ⑥假定各类生物生产性土地类型的空间互斥性, 忽视兼业性。

关键词: 生态足迹分析; 区域可持续发展; 生态评估; 缺陷

文章编号: 1000-0933(2006)08-2716-07 中图分类号: S718 文献标识码: A

Shortcomings of applying ecological footprints to the ecological assessment of regional sustainable development

PENG Jian[1,2], WU Jian-Sheng[1,2], JIANG Yi-Yi[1,2], YE Min-Ting[1,2] (1. *Center of Digital City and Urban Landscape, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen* 518057, *China*; 2. *College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing* 100871, *China*). ***Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2716 ~ 2722.**

Abstract: Ecological assessment of sustainable development is one of the leading fields of international ecological economics and of researches on sustainable development. Ecological footprinting, which is a new biophysical method of ecological assessment, is developing rapidly. It quantifies the ecological sustainability of the development of a nation or an area from the standpoint of biological production. Ecological footprint analysis is superior to other biophysical methods of ecological sustainability assessment in three respects: firstly, the indices used have specific meanings; secondly, the model is easy to comprehend and readily applied to different contexts; and thirdly, the data required are widely obtainable, allowing global comparisons. However, ecological footprint analysis is not without its shortcomings. As case studies accumulate, the need to adjust theoretical models of ecological footprints is becoming increasingly apparent. Research on the theoretical shortcomings of ecological footprinting is an important preliminary to such adjustments. From a review of the latet research, we can identify six key issues in applying ecological footprint analysis to ecological assessment of regional sustainable development. First, the weakness of sustainability assessments makes it difficult to reflect the state of sustainability of the system as a whole. Second, as it is a steady state model, it lacks predictive power. Third, how to apply ecological footprint analysis over long time series is still being worked out. Fourth, the relativity of

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471002); 国家重点基础研究资助项目(G2000046807)

收稿日期: 2006-02-27; 修订日期: 2006-05-10

作者简介: 彭建(1976 ~), 男, 四川成都人, 博士生, 主要从事景观生态与土地利用研究. E-mail: jianpeng@hotmail.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40471002); The State Key Basic Research and Development Plan of China (No. G2000046807)

Received date: 2006-02-27; **Accepted date:** 2006-05-10

Biography: PENG Jian, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and land use. E-mail: jianpeng@hotmail.com

global mean productivity means that the results of assessment are relative rather than absolute. Fifth, too much weight is put on land quantity while land quality is overlooked. Sixth, the assumption that biologically productive land use types are mutually exclusive (i.e. do not overlap) ignores the possibility that they are compatible. Notwithstanding these theoretical shortcomings, the ecological footprint method can effectively assess the ecological sustainability of regional development, at least in terms of the supply and demand of biologically productive land, and at least at the global scale. However, at national, regional and local scales, the shortcomings will significantly affect the validity and accuracy of assessments. It is therefore necessary to adjust the theoretical model of the ecological footprint. An important and feasible approach to such improvement would be to add a quality dimension to the measurement units of global hectares, hectares of bioproductive land, and global average productivity of sea areas. Also, extending the analysis to the supply and demand of all kinds of biologically productive land could provide more information on ecological sustainability.

Key words: ecological footprint analysis; regional sustainable development; ecological assessment; shortcoming

自然生态系统提供了区域可持续发展的物质基础(资源利用)和基本保障(生态安全),其可持续性是区域可持续发展的重要前提条件和基本原则[1~3],是可持续发展范式成功与否的最终评判标准[4]和唯一的实现途径[5]。因此,对人类活动影响下自然生态系统的持续性与支撑能力的评估,一直受到国内外专家、学者的普遍关注,是当前生态经济学与可持续发展研究的热点与前沿领域[6]。而可持续发展生态评估的实质,就是筛选、界定和度量人类生态影响和地球生命系统吸纳这些影响的能力,这可以分为最大可持续利用、最大可持续吸收和人类环境影响三方面相互独立的内容[7,8],生态足迹分析就是对这一概念框架的有益尝试[9]。由于计算结果直观明了,又具有区域可比性,生态足迹分析近年来发展迅速,成为区域可持续发展生态评估的一个重要方法。

国际上关于生态足迹的研究可以追溯到 20 世纪 70 年代 Odum 对城市发展能量需求"影子面积"的讨论[10,11],和 Jasson 等对海岸渔业所要求的海洋生态系统面积的分析[12]。在此基础之上,加拿大生态经济学家 William Rees 于 1992 年正式提出生态足迹概念[13],并在其博士生 Wackernagel 的协助下于 1996 年完善了生态足迹的方法模型[14~16]。目前,尽管涌现出大量不同尺度、不同类型区域的生态足迹实证研究,但却鲜有学者对这一方法应用于区域生态持续性评估的科学性与有效性进行系统思考。本文根据国内外生态足迹研究的最新进展,系统分析其应用于区域可持续发展生态评估中存在的不足之处,以期推动生态足迹研究的进一步深入。

1　生态足迹分析

生态足迹分析,通过衡量人类为维持自身生存而对自然资源的利用程度,以及自然生态系统为人类提供的生命支持服务功能,来评估人类活动对自然生态系统的影响,该研究的核心是生态足迹与生态承载力的计算。任何已知人口(某人、某个城市或某个国家)的生态足迹是生产这些人口所消费的所有资源和吸纳其产生的所有废弃物所需要的生物生产土地面积;生态承载力,即生态足迹供给能力,是研究区域内部的生物生产性土地数量。生态足迹的计算基于 2 个基本假设[14]:(1)人类可以确定自身消费的绝大多数资源及其所产生的废弃物的数量;(2)这些资源和废弃物流能折算为提供相应资源与环境功能所需要的生物生产土地面积。

生态足迹分析强调地球表面对生态过程的重要性,将土地利用与社会经济代谢机制联系起来,旨在进一步分析社会的可持续性[17]。该方法以土地面积为计量单位,利用平均产量数据,将人类活动的各种物质、能源消费按比例折算成相应的生物生产土地面积,主要包括可耕地、林地、草地、化石燃料土地、建筑用地和水域等 6 种类型。由于这些土地类型的生物生产能力不一,因此,采用均衡因子按照每种类型土地的作物最大生产潜力成比例地增加或降低,将具有不同生物生产力的物理面积转化为具有全球平均生态生产力的、可以相加的世界平均生物生产面积,将这些面积加总计算即可得生态足迹。而由于不同国家或地区的资源禀赋不同,单位面积同类型生物生产土地的生产力往往存在较大差异,因此,采用产量因子进行调整,使不同国家或地区同类生物生产土地面积具有可比性,再将区域现有 6 类生物生产土地的面积乘以相应的均衡因子加总计

算即可得出生态承载力。

生态足迹方法通过对比区域发展的生态足迹和自然生态系统所能提供的生态承载力,来衡量区域发展的可持续程度。如果生态足迹小于生态承载力,则形成生态盈余,说明人类社会经济发展对自然生态系统的压力尚未超出区域的生态承载极限,区域发展可持续;如果生态足迹大于生态承载力,出现生态赤字,表明人们对该地区自然生态系统所提供的产品和服务需求超过了供给,区域发展不可持续。而当出现生态赤字时,一般可通过 3 条途径来减少人均生态足迹,即增加单位面积自然生态系统的生产率,高效利用现有资源存量和改变人们的生活消费方式、减少人均消费[18]。

生态足迹突出了人类消费的增加及其后果、可持续发展所依赖的关键资源、可获得资源的分布状况、贸易对可持续发展的影响以及环境压力下区域资源的重新分配等与可持续发展紧密相关的主题[15],因此,该方法得到了国际社会的强烈反响与普遍认同,被广泛应用于全球[18~20]、国家[21~31]、区域[32~36]与城市[37~42]等不同尺度的区域可持续发展评估中。世界自然基金会(World Wide Fund for Nature, WWF)和 RP(Redefining Progress)两大非政府机构从 2000 年开始每两年公布一次各国生态足迹资料,主要工业国家也把生态足迹指标纳入官方指标体系[43],《生命行星报告》则从 2002 年起采用生态足迹度量全球生态压力[20]。

2 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的主要缺陷

生态足迹分析通过对废弃物吸收与可再生资源供给的综合衡量,提供了一种核算人类社会消费对自然环境影响的账户体系,在应用于区域可持续发展的生态评估中具有如下优点:(1)指标对可持续性的指示意义明确。生态足迹分析能准确度量区域资源消耗强度及其供给能力,并通过二者间的比较定量评判区域发展可持续与否及其程度大小,同时还能够揭示不同人群消费模式对不可持续状态的贡献程度;(2)评估结果的全球可比性。生态足迹分析通过引入生物生产性土地概念,实现了对各种自然资源的统一描述[44,45],并通过均衡因子和产量因子将各地消耗或供给的各类生物生产性土地面积转化为"全球平均生物生产性土地面积"这一可加和、可比较的公用单位,不仅使区域自然资源的消费量与其实际承载能力的对比成为可能,而且使不同区域尺度的评估结果具有全球可比性;(3)模型方法简便、资料易获取、可操作性强。生态足迹与生态承载力的测算没有繁冗的公式,所采用的模型简便易懂,并采用人们熟知的生物生产性土地面积为计算单位,易于理解,而研究所需资料的相对易获取更使得生态足迹分析具有广泛的应用范围。因此,生态足迹分析被认为紧扣可持续发展理论,把人类与其赖以支持的生态系统紧密结合了在一起[46],相比于能值分析、物质流核算与净初级生产力的人类占用等方法,在目前可持续发展生态评估的生物物理量衡量方法中应用最为成功和广泛。

尽管如此,生态足迹分析应用于区域可持续发展的生态评估中,在理论方法上仍存在不足之处,在学界引起了较大的争论,有待进一步完善:

2.1 弱可持续性评价,难以完整反映系统的可持续性状态

生态足迹分析采用均衡因子将不同类型生物生产性土地面积折算进行线性叠加,其隐含假设是各类生物生产性土地及其产品之间的可转换性或相互替代性,因此,这是一种遵从 Hartwick 规则的弱可持续性评价,生态盈余只是区域可持续发展的一个必要而非充分条件。而事实上,在研究设定的 6 种生物生产性土地类型之间,尽管林地、草地与可耕地之间的相互转换是可行的,但要将建筑用地转换为其它用地却相当困难。所以,采用均衡因子直接折算叠加,难以完整反映整个区域生物生产与消费系统的可持续性。

针对此理论缺陷,一个可能的修正方法是将 6 种生物生产性土地按照是否可以相互转换的原则,拆分为尽可能小的若干子系统,在整体系统生态足迹分析的同时,对比各子系统的生态足迹与生态承载力,判断其可持续性,从而使评价具有更多的强可持续性特征。因此,在区域生态足迹分析中,各类生物生产性土地的需求与供给分析,能提供更多有关可持续性的信息。

2.2 静态模型,缺乏预测功能

人类活动的生态环境影响是人口、消费与科技的函数[7,8]。生态足迹分析以 1a 为时间单位评价人类活动对自然生态系统的影响及其支撑能力,所得的结论只能反映一年内的平均状况,不具有动态性,只是对现实状

况的衡量, 不能预测未来的变化趋势, 难以反映人类活动方式、管理水平和技术进步等因素的影响。而由于可持续性反映了社会、经济以及生态系统之间的动态相互作用, 监测时间序列上资源的需求与供给能力是可持续发展的核心[47]。对此, 不少学者试图通过长时间序列的生态足迹研究来弥补这一静态性缺陷[24, 27, 28, 34, 48]。

2.3　长时间序列生态足迹研究的合理性有待商榷

长时间序列的生态足迹研究, 平均生产力、均衡因子与产量因子等参数的确定是一个关键问题。目前, 对于这些参数的确定一般有两种处理办法, 其一是在计算每年的生态足迹时均采用当年的数据确定, 即不同年份的平均生产力、均衡因子与产量因子等参数值不同, 存在变化, 如 Wackernagel 等的研究[28]; 其二则是在整个时间序列的研究中都采用某一年份(从理论上说, 可以是起始年份、结束年份或其他任意年份)的参数值, 即这些参数的取值在研究时段内不变, 目前国内的相关研究均采用该方法[34, 48]。

但是, 这两种参数确定方法的合理性都有待商榷。对于第 2 种方法而言, 显然忽略了管理水平、技术进步及自然条件波动影响下的生产力变化, 将人类-自然生态系统视为一个静止系统, 并不符合实际情况。事实上, 从强调科技创新的 20 世纪起, 5 ~ 10a 即可显现出平均生产力的显著变化。因此, 依据本方法得出的并非实际的生态足迹与生态承载力, 仅是数值上的一种近似; 而对于第一种方法而言, 不同年份采用不同的参数值, 实现了对现实状况的真实度量, 但却使不同年份的评价结果间缺乏可比性, 只能保证同一年份的生态足迹与生态承载力可比。例如, 假定其他参数不变, 研究基年研究区域某一消费产品(如粮食)人均消费量 100kg, 平均生产力(全球平均生产力或研究区域实际生产力)1000kg/hm^2, 而研究末年研究区域粮食的人均消费量上升为 200kg, 平均生产力也增加到 2000kg/hm^2, 则基年与末年研究区人均粮食消费的生态足迹都是 0.1hm^2, 从数值上看研究区在研究时段内的生态足迹毫无变化, 但从占用土地的质量(或土地生产力)来看, 二者却有本质差异, 研究末期 1hm^2 土地的平均生产力是基期的 2 倍。因此, 从反映人类活动对自然生态系统的影响程度这一生态足迹研究的最终目标来看, 研究末期与基期的生态足迹显然是不同的, 生态足迹不能反映土地的质量差异, 现有长时间序列生态足迹研究的两种参数设定方法的合理性都有待商榷。

对此, 一个可能的改进途径, 是不同年份仍然采用不同的参数值, 但对"全球平均生物生产性土地面积"这一度量单位依据平均生产力进行质量修正, 即将不同年份的 1hm^2"全球平均生物生产性土地面积"的生物生产能力给予明确、统一的界定, 例如可设定为生产 1000kg 粮食的土地面积, 使"全球平均生物生产性土地面积"这一度量单位由一个相对值转变为绝对值, 从而可以将不同年份的生物生产性土地面积转换为不同时间、空间以及消费与供给均可通用的面积单位, 进行统一核算。

2.4　全球平均生产力的相对性, 导致评估结果的非绝对性

生态足迹模型以全球平均生产力为基准度量不同区域的生物生产能力, 进而评估区域生态足迹与生态承载力。但全球平均生产力又受区域生产力的显著影响, 因此, 生态足迹与生态承载力更多的是一个相对指标, 不能真实反映区域人类活动的生物生产土地需求及其自然供给变化, 而受全球其他区域生物生产力变动的影响。例如, 假定其他参数不变, 某国某一消费产品产量的上升会使世界平均产量上升, 从而使所有国家的生态足迹下降, 但事实上其他所有国家的生物生产性土地占有并未发生改变; 而某国某一消费产品产量的下降会使世界平均产量下降, 并导致全球生态足迹供给的下降, 和其他国家生态承载能力的上升, 尽管事实上其他所有国家的生物生产性土地供给也未发生改变。

基于此, 有学者提出采用地方生产力替代全球平均生产力, 以反映研究区域人类活动的真实土地需求, 从而更好的为区域决策服务[25 ~ 28, 49]。该方法虽有助于弥补这种评估结果非绝对性的缺陷, 但如此一来, 却也同时失去了生态足迹分析结果的全球可比性这一生态足迹分析方法的最大魅力所在。而采用地方生产力代替全球平均生产力计算后, 再将生态足迹需求与供给转换为上述质量修正后的"全球平均生物生产性土地面积", 从而保证评估结果的绝对性和全球可比性, 是一个可能的改进途径。

2.5　过于强调土地的数量, 而忽略土地的质量

现有的生态足迹分析, 究其本质, 是从生物生产维持人类消费需求的角度评判区域发展的可持续性, 过于

强调土地的生产性及其数量,缺乏对土地生态功能与质量的关注,也未考虑土地利用的合理性或持续性[45, 50-51],这可能导致出现自相矛盾的情况。例如,在已有的研究中,林地的均衡因子一般都显著低于耕地,依据生态足迹理论,单位面积耕地对于区域生态持续性的贡献将高于林地,但事实却恰恰相反;可持续农业可能比传统农业的农业生产率低,尽管能有效保持土地质量,却增加了生态足迹,从而被认为降低了区域的生态持续性,但事实上前者显然比后者更利于维持、促进区域的生态持续性;对于上述种种问题,生态足迹分析都难以给出合理解释。

对此,研究者应有充分的认识,没有任何一种单一的生物物理量评估方法能够系统评判区域发展的生态持续性,生态足迹分析也只是反映了生态持续性的一个侧面,依据木桶原理,还有待结合物质流分析、能值分析和净初级生产力的人类占有等方法,从不同方面对可持续性进行综合评价。

2.6 假定各类生物生产性土地类型的空间互斥性,忽视兼业性

为能对各类生物生产性土地直接进行加和,生态足迹模型隐含假设了各类生物生产性土地在空间上的相互排斥性,即某一时刻、某一地块只能具有唯一的生物生产功能,而不能具有两种及其以上的生物生产功能。但这一土地功能单一化的假设将使土地功能的多样性和一定程度上的功能替代性被完全忽略,从而产生生态足迹供给计算结果偏低的系统误差[52]。

理论上,只要数据精度能保证,"空间互斥性"这种模型假设上的缺陷完全可以避免,即按土地的实际功能统计土地面积,同一地块具有多项生物生产功能的重复统计。

此外,也有学者批评指出,生态足迹分析仅仅强调人类发展对自然生态系统的影响及其可持续性,而没有涉及到社会、经济、技术等方面的可持续性,缺乏对发展的程度与公平性的度量,也没有考虑人类对现有消费模式的满意程度,因而往往得出"经济越发达发展越不可持续"的结论,具有相对的生态偏向性[30, 32-33, 36, 44, 48],并且,对自然生态系统提供资源、消纳废物功能的描述也不完全,忽视了地下资源和水资源的估算,对污染的生态影响考虑较少[45, 53],只考虑了经济产品和社会服务的耗费,而未注意到生态产品和生态服务的消耗[36, 41],对此,必须清醒地认识到,生态足迹分析的范围是有限的,只是一种测度人类消费与自然供给持续性的生物物理量衡量方法,仅从生物生产这一角度度量了区域发展的生态持续性,并非包罗万象的综合评价指标[54]。

3 结语

尽管作为区域可持续发展生态评估的一种生物物理量衡量方法,生态足迹分析具有指标指示意义明确、评估结果全球可比与模型方法简便、资料易获取、可操作性强等优点,但在理论方法上仍存在不足之处,随着区域生态足迹分析实证研究的不断深入,对生态足迹模型的修正,将逐步成为生态足迹研究的重点内容。而对生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的理论缺陷分析,则是生态足迹模型修正前一项必须而关键的基础工作。

综合国内外区域生态足迹分析的最新进展,生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的理论缺陷可以归纳为以下几点:①弱可持续性评价,难以完整反映系统的可持续性状态;②静态模型,缺乏预测功能;③长时间序列生态足迹研究的合理性有待商榷;④全球平均生产力的相对性,导致评估结果的非绝对性;⑤过于强调土地的数量,而忽略土地的质量;⑥假定各类生物生产性土地类型的空间互斥性,忽视兼业性。这些问题,指明了生态足迹研究进一步深入的方向。

尽管存在诸多的理论缺陷,总的来看,生态足迹分析能从生物生产性土地的供给与需求角度有效度量区域发展的生态持续性,尤其在全球尺度,受模型缺陷的影响相对较小。而在国家、区域及其以下尺度的研究中,上述缺陷将显著影响评估结果的真实性与精确性,必须进行模型修正:依据平均生产力对"全球平均生物生产性土地面积"这一度量单位进行质量修正,是一个重要的、可能的改进途径;而各类生物生产性土地的需求与供给分析,则能提供更多有关可持续性的信息。

References:

[1] Costanza R, Folke C. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness, and sustainability as goals. In: Daily G, ed. Nature's Services. Washington

DC: Island Press, 1997. 49~70.
[2] Parris T M, Kates R W. Characterizing a sustainability transition: Goals, targets, trends, and driving forces. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8068~8073.
[3] Sutton P C. An empirical environmental sustainability index derived solely from nighttime satellite imagery and ecosystem service valuation. Population and Environment, 2003, 24(4): 293~311.
[4] Linehan J R., Gross M. Back to the future, back to basis: The social ecology of landscapes and the future of landscape planning. Landscape and Urban Planning, 1998, 42: 207~223.
[5] Franke T T. Making future landscapes: defining a path to qualified sustainability. Landscape and Urban Planning, 1996, 35: 241~246.
[6] Zhang Z Q, Sun C Q, Cheng G D, *et al*. Progress and trends of sustainable development research. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(6): 589~595.
[7] 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(10): 761~771.
[8] Smith C L. Assessing the limits to growth. Bioscience, 1995, 45(7): 478~483.
[9] Sutton P C. An empirical environmental sustainability index derived solely from nighttime satellite imagery and ecosystem service valuation. Population and Environment, 2003, 24(4): 293~311.
[10] Odum E P. Ecology: The link between the natural and social sciences. New York: Holt-Saunders, 1975.
[11] Odum E P. Ecology and our endangered life-support system. Sunderland: Sinauer Associates, 1989.
[12] Jasson A M, Zucchetto J. Energy, economic and ecological relationships for Gotland, Sweden: A regional system study. Stockholm: Swedish Natural Science Research Council, 1978.
[13] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121~130.
[14] Rees W E, Wackernagel M. Urban ecological footprints: Why cites cannot be sustainable and why they are a key to sustainability. Environmental Impact Assessment Review, 1996: 224~248.
[15] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. Philadelphia, PA: New Society Publishers, 1996.
[16] Wackernagel M, Rees WE. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. Ecological Economics, 1997, 20: 3~24.
[17] Haberl H, Wackernagel M, Krausmann F, *et al*. Ecological footprints and human appropriation of net primary production: A comparison. Land Use Policy, 2004, 21: 279~288.
[18] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al*. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. Ecological Economics, 1999, 29: 375~390.
[19] Wackernagel M, Onisto L, Callejas L, *et al*. Ecological footprints of nations: How much nature do they use? How much nature do they have? Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997. 4~12.
[20] WWF. Living planet report 2002 WWF, Gland, Switzerland, 2002.
[21] Fricker A. The ecological footprint of New Zealand as a step towards sustainability. Futures, 1998, 30(6): 559~567.
[22] Bicknell K B, Ball R J, Cullen R, *et al*. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. Ecological Economics, 1998, 27: 149~160.
[23] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: Applications in Sweden and Subregions. Ambio, 1999, 28: 604~612.
[24] Hanley N, Moffatt I, Faichney R, *et al*. Measuring sustainability: A time series of alternative indicators for Scotland. Ecological Economics, 1999, 28: 55~73.
[25] Vuuren D P V, Smeets E M W. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands. Ecological Economics, 2000, 34: 115~130.
[26] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. Ecological Economics, 2001, 37: 229~255.
[27] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprint for long period of time: The case of Austria 1926~1995. Ecological Economics, 2001, 38: 25~45.
[28] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H, *et al*. Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961~1999: Comparing the conventional approach to an 'actual land demand' approach. Land Use Policy, 2004, 21: 261~269.
[29] Xie G D, Lu C X, Cheng S K, *et al*. Evaluation of natural capital utilization with ecological footprint in China. Resources Science, 2001, 23(6): 20~23.
[30] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D, *et al*. Ecological footprint calculation and development analysis of China in 1999. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(2): 280~285.
[31] Liu Y H, Peng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962~2001: Calculation and assessment of development sustainability. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(10): 2257~2262.
[32] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable development with the ecological footprint method: Take Zhangye prefecture as an example. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1484~1493.
[33] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, *et al*. The ecological footprint of the 12 provinces of west China in 1999. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(5): 599~610.
[34] Bai Y Y, Wang X K, Ouyang Z Y. Ecological footprints of south Jiangsu Province. Resources Science, 2003, 25(6): 31~37.
[35] Dong Z Q, Sun T H. Ecological footprints: Calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning Province. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2735~2739.

[36] Yang Z, Niu S W, Chang H L, *et al*. Evaluation of sustainability of the regional ecological economics development based on the ecological footprint model. Economic Geography, 2005, 25(4): 542~546.
[37] Rees W E. Is sustainable city an oxymoron? Local Environment, 1997, 2(3): 303~310.
[38] Folke C, Jansson A, Lansson J, *et al*. Ecosystem appropriation by cities. AMBIO, 1997, 26: 167~172.
[39] Warren-Rhodes K, Koenig A. Ecosystem appropriation by Hong Kong and its implications for sustainable development. Ecological Economics, 2001, 39: 347~359.
[40] Lei K P, Wang Z S. The analysis of ecological footprint of Macao in 2001. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 197~201.
[41] Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Calculation and analysis of urban ecological footprint: a case study of Guangzhou. Geographical Research, 2003, 22(5): 654~662.
[42] Sun F, Meng L B. Ecological footprint and available ecological capacity in Chongqing region. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1370~1374.
[43] Tao Z P. Eco-rucksack and eco-footprint. Beijing: Economics Science Press, 2003.
[44] Xu Z M, Zhang Z Q. Classification and assessment on indicators of measuring sustainable development. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2000, 36(4): 82~87.
[45] Long A H, Zhang Z Q, Su Z Y. Review of progress in research on ecological footprint. Advances in Earth Science, 2004, 19(6): 971~981.
[46] Deutsch L, Jansson A, Troell M, *et al*. The 'ecological footprint': communicating human dependence on nature's work. Ecological Economics, 2000, 32: 351~355.
[47] Haberl H, Fischer-Kowalskia M, Krausmanna F. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. Land Use Policy, 2004, 21: 199~213.
[48] Lin H M, Xie P. Dynamics of ecological footprint of agricultural region in Hexi oasis of Gansu Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 827~832.
[49] Erb K H. Actual land demand of Austria 1926-2000: A variation on ecological Footprint assessments. Land Use Policy, 2004, 21: 247~259.
[50] vanden Bergh J, Verbruggen H. Spatial sustainbility, trade and indicators: An evaluation of the ecological footprint. Ecological Economics, 1999, 29: 61~72.
[51] Ayres R U. Commentary on the utility of the ecological footprint concept. Ecological Economics, 2000, 32: 347~349.
[52] Li M Y, Jiang H. Shortcomings of hypothesis and mistakes of application of ecological footprint model. Research of Agricultural Modernization, 2005, 26(1): 6~9.
[53] Moffat I. Ecological footprints and sustainable development. Ecological Economics, 2000, 32: 359~362.
[54] Rees W E. Eco-footprint analysis: Merits and brickbats. Ecological Economics, 2000, 32: 371~374.

参考文献:

[6] 张志强, 孙成权, 程国栋, 等. 可持续发展研究: 进展与趋向. 地球科学进展, 1999, 14(6): 589~595.
[29] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁, 等. 中国的生态空间占用研究. 资源科学, 2001, 23(6): 20~23.
[30] 徐中民, 张志强, 程国栋, 等. 中国 1999 年生态足迹计算与发展能力分析. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280~285.
[31] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估. 生态学报, 2004, 24(10): 2257~2262.
[32] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. 生态学报, 2001, 21(9): 1484~1493.
[33] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹. 地理学报, 2001, 56(5): 599~610.
[34] 白艳莹, 王效科, 欧阳志云, 等. 苏锡常地区生态足迹分析. 资源科学, 2003, 25(6): 31~37.
[35] 董泽琴, 孙铁珩. 生态足迹研究——辽宁省生态足迹计算与分析. 生态学报, 2004, 24(12): 2735~2739.
[36] 杨振, 牛叔文, 常慧丽, 等. 基于生态足迹模型的区域生态经济发展持续性评估. 经济地理, 2005, 25(4): 542~546.
[40] 李金平, 王志石. 澳门 2001 年生态足迹分析. 自然资源学报, 2003, 18(2): 197~201.
[41] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22(5): 654~662.
[42] 孙凡, 孟令彬. 重庆市生态足迹与生态承载量研究. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1370~1374.
[43] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹——可持续发展的重量及面积观念. 北京: 经济科学出版社, 2003.
[44] 徐中民, 张志强. 可持续发展定量指标体系的分类和评价. 西北师范大学学报(自然科学版), 2000, 36(4): 82~87.
[45] 龙爱华, 张志强, 苏志勇. 生态足迹评介及国际研究前沿. 地球科学进展, 2004, 19(6): 971~981.
[48] 蔺海明, 颉鹏. 甘肃省河西绿洲农业区生态足迹动态研究. 应用生态学报, 2004, 15(5): 827~832.
[52] 李明月, 江华. 生态足迹分析模型的假设条件缺陷及应用偏差. 农业现代化研究, 2005, 26(1): 6~9.