

生态足迹模型的争论与发展

陈成忠¹, 林振山^{2, *}

(1. 湖北师范学院地理科学系, 湖北 黄石 435002; 2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要:生态足迹模型自 William Rees 1992 年提出、Mathis Wackernagel 1996 年推广应用以来, 在众多研究者的质疑和争论中不断发展、完善。目前, 国内已有许多综述文章详细介绍了其理论假设、基本概念、计算方法、实证应用、一些缺陷改进等。在这些综述成果基础上, 结合近 2~3 年的研究新进展, 概括了 10a 来对其理论假设、均衡因子、产量因子、计算方法、过于静态性、缺乏预测性、结论单一性等方面存在的主要争论, 聚焦了在概念发展、计算方法、均衡因子、产量因子、应用领域、时间序列、非线性科学研究方法、与其他社会经济指标相结合等方面进行的改进及发展, 并指出今后生态足迹模型研究将要在计算方法改进、加强实践操作及市场化运作、与可持续发展政策的有机联系、与非线性科学研究方法相结合、长时间序列动态评估、单项指标等方面取得重要进展。这些争论、改进的综述及发展方向的提出, 目的在于引发国内对生态足迹模型研究的新思考, 推动生态足迹模型理论的进一步完善和发展。

关键词:生态足迹模型; 研究方法; 缺陷; 发展改进

文章编号: 1000-0933(2008)12-6252-12 中图分类号: Q147; X22 文献标识码: A

Debate and development of ecological footprint model during the last 10 years

CHEN Cheng-Zhong¹, LIN Zhen-Shan^{2, *}

1 Department of Geographical Science, Hubei Normal University, Huangshi, Hubei 435002, China

2 School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6252 ~ 6263.

Abstract: As a bio-physical quantitative assessment tool to estimate the sustainable utilization of natural resources, the ecological footprint model was proposed in 1992 by William Rees and developed in 1996 by Mathis Wackernagel. Many researchers put forward lots of suspicions and debates about its theoretic hypotheses, basic concepts, calculated methods, *et al.*, which then help to improve and perfect the model itself. At present, many research about the ecological footprint model have been carried out in China. In these research papers, there are many debates about its theoretic hypotheses, equivalence factor, yield factor, calculated methods, over being static, lacking of prediction, and singularity of the results. Also, there are many improvements such as its concepts, calculated methods, equivalence factor, yield factor, long time series, integrating nonlinear scientific methods or other social and economic indices, *et al.* This paper focus on these debates and improvements of the ecological footprint model during the last 10 years. At last, several prospects are given to which the ecological footprint model will be applied, i. e. its calculated methods, and taking into account sustainable development policies. We must improve the ecological footprint model's calculated methods and increase the application of

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40371044); 国家“211”二期工程重大资助项目

收稿日期:2007-08-12; **修订日期:**2008-08-29

作者简介:陈成忠(1970~)男, 山东平邑人, 博士, 副教授, 主要从事生态资源研究. E-mail: chenchengzhongbu@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: linzhenshan@njnu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40371044) and National “211” Key Project of China

Received date:2007-08-12; **Accepted date:**2008-08-29

Biography: CHEN Cheng-Zhong, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in ecology and resources. E-mail: chenchengzhongbu@163.com

ecological footprint method in environmental, social and economic study fields in China.

Key Words: ecological footprint model; study method; shortcoming; development and improvement

由加拿大生态经济学家 William Rees 1992 年^[1]提出、Mathis Wackernagel 等^[2~5]逐步完善的生态足迹 (ecological footprint, EF) 模型作为一种衡量自然资源可持续利用的生物物理定量评价工具, 以其理论思想的新颖性、概念的形象性、内涵的丰富性、可操作性、易接受性、全球可比性、计算项目的综合性、教育性等优点很快得到有关国际机构、政府部门、非政府组织、研究机构和众多学者的广泛关注^[6~28]。2007 年 6 月 25 日在 Elsevier Science 检索系统的 Title、abstract、keywords 中输入“ecological footprint”, 共检索到 112 篇研究文章, 2007 年 5 月 11 日在 CNKI 中国期刊全文数据库以“生态足迹”为关键词检索到 608 条记录, 足以见证其应用的广泛性。关于生态足迹模型的理论假设、基本概念、计算方法、实证应用、一些缺陷改进等请参阅相关综述文献^[29~36], 本文在这些综述成果基础上, 结合近 2~3 年生态足迹模型研究的新进展, 聚焦其 10 年来的主要争论及发展改进, 提出研究展望, 以期引发国内对生态足迹模型研究的新思考, 推动国内生态足迹模型的应用与可持续发展的定量测度研究。

1 主要争论

1.1 对均衡因子和产量因子的争论

许多研究者认为采用均衡因子与产量因子将各区域产量调整为世界平均产量的同时使许多区域信息丢失, 导致生态足迹指标过分简化, 只有全球的一般状况, 不能反映区域实际, 对区域制定有效可持续发展决策的启示意义不强^[29~36]。彭建^[37]指出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, 隐含假设是各类生物生产性土地及其产品之间有相互替代性, 是一种遵从 Hartwick 规则的弱可持续性评价, 与空间互斥性的强可持续性假设相矛盾。李明月^[38]认为基于全球平均产量为 1 基础上计算出的生物资源消费生态足迹完全忽视了生物生产过程中人类对环境的巨大破坏和掠夺, 抹杀了科技进步对承载更多人口的支撑作用, 掩盖了某种消费商品的世界平均产量下降导致的全球生态足迹供给的实际下降, 造成类似“货币幻觉”的“生态足迹幻觉”。Wackernagel^[3]指出生产力概念实际很难精确定义, 如将生产力定义为实际生物量产量还是潜在生物量产量? 某块土地作为某种用途产量较低而作为另外一种用途产量较高, 生产力如何确定? 自然资本除了固有的环境因素是否还应该包括因利用方式改变而造成的生产力变化?

1.2 对理论假设的争论

李明月^[38]等认为“各类土地互斥性”假设对各类土地功能单一化的处理, 使土地功能多样性和一定程度替代性被完全忽略, 导致生态足迹供给计算结果偏低的系统误差; 将区域 CO₂ 吸收能力视为 0, 忽略区域森林、可耕地、草地等实际具有的 CO₂ 吸收能力, 造成生物承载力被严重低估。吴隆杰^[32]指出地方生态足迹分析借用全球和国家生态足迹分析的假设, 结果会有较大偏差。

1.3 对加总的争论

宋旭光^[39]认为等量化处理有画蛇添足之嫌, 因为很难找到一个合理的均衡因子, 使得各类不同的生态占用被同度量化, 而且同度量化后的数据含义也发生了变化。不论从技术还是操作上, 作这种“均衡处理”都是不划算的, 更聪明的方法是只分类、不加总; 即使加总, 不妨单纯、简单加总即可。

1.4 对计算方法的争论

生态足迹模型未把自然生态系统提供资源、吸纳废弃物的功能描述完全, 忽略地下资源和水资源、环境污染和毒性物质、臭氧层破坏、土地沙漠化、水体富营养等问题, 未考虑 CO₂ 之外的其它温室气体, 忽视海洋吸收 CO₂ 的作用, 生态足迹理论的计算方法是否合理还有待研究^[29~36]。

能源足迹计算是生态足迹账户框架研究中的一个亮点, 也是一个引起广泛争议的地方^[30]。只考虑 CO₂ 一种温室气体, 林地吸收 CO₂ 只是减少大气中 CO₂ 的方法之一, 调整产业结构、提高燃烧效率、使用替代燃料

等都可减少 CO_2 含量; CO_2 吸收方法关注流量、忽视存量,暗含的“生产力补偿”机制不合理^[30]。Stöglehner^[13] 认为传统能源足迹的 3 种计算方法都不能满足化石燃料足迹供应的复杂评估:用甲醇或乙醇作为等能量替代物的替代法,评估的是可再生能量替代物非化石燃料足迹;自然资本存量法计算的不是化石能源的生产和消费足迹,而是森林吸收 CO_2 的能力;碳吸收法将能源存储从岩石圈转化到生物圈同样没有评估化石燃料足迹,而是作为替代物的可再生能源^[33]。也有学者认为化石能源生态足迹是“假设的”,不应计入生态足迹总帐户中。然而,能源足迹计算和计算用多少生物圈生产量来维持资源流的问题是一致的。如果说用目前的方法计算能源足迹有什么偏差的话,只能是低估了化石燃料的需求^[30]。

1.5 对静态性、缺乏预测性和结论单一性的争论

由于生态足迹模型单个年份分析的静态性,得出的结论都是瞬时性的,而它本身反映的社会经济系统随时处在动态变化之中^[35]。生态足迹模型一方面没有体现出技术进步以及社会系统的适应性,另一方面它无法反映未来的变化趋势,不足以监测变化过程,缺乏预测性。现有生态足迹研究结论比较单一,具体的政策建议少而一致,而且大多是启发性的,缺乏具实际操作价值的建议^[30]。

1.6 其它争论

徐中民^[25,40]、熊德国^[41] 指出很多研究中得出“地区越不发达、人们生活水平越低,可持续性越强”的结论,与可持续发展理论所阐述的基本原则不符。也有人^[42] 认为生态足迹对某些微观变化不灵敏,如个人不买汽车而骑车上上班,提倡循环经济、物质回收利用、维修延长产品的使用寿命等削减生态足迹的做法不容易在结果中体现。其它争论^[29~36] 还有生态足迹模型只涉及现有土地生产力,未考虑土地生产方式的可持续性,未包括物种消失、生态功能丧失等生态风险,未反映资源的稀缺性,没有对管理因素做出评价,对决策的指导作用有限,等等。

2 发展改进

2.1 概念发展

生态足迹理论最初主要有全球生态生产性土地(耕地、草地、林地、建设用地、水域、化石能源用地)、生态足迹、生物承载力、生态赤字或盈余等基本概念,10 年来衍生出许多新概念。

(1) 实际土地需求

Wackernagel^[5]、Haberl^[11] 提出实际土地需求(actual land demand)概念,指一个国家社会经济代谢所占用的实际面积,计算时不进行产量因子和均衡因子调整。

(2) 土地乘数和复合土地乘数

Bicknell^[8] 在投入产出分析中使用土地乘数(land multiplier)计算直接和间接的国内最终消费品需求的生物生产性土地面积。而 Ferng^[14] 认为 j 部门的生物生产性土地面积需求等于 j 部门的土地乘数与其国内最终消费品产出的乘积,从而提出复合土地乘数(composition of land multiplier)概念。使用复合土地乘数计算的结果不仅包括 j 部门自己的生产性土地,也包括被 j 部门作为投入的其它部门产出所需要的土地面积。

(3) 旅游生态足迹

Hunter^[43]、Gössling^[44] 提出旅游生态足迹是指在一定时空范围内,与旅游活动有关的各种资源消耗和废弃物吸收所必需的生物生产土地面积,即把旅游过程中旅游者消耗的各种资源和废弃物吸收用被人容易感知的面积观念概念进行表述。

(4) 消费性和生产性生态足迹

熊德国^[41] 将生态足迹区分为消费性和生产性生态足迹。消费性生态足迹指提供区域人口年消费量的生物生产所需要的生态生产性面积,即生态足迹理论所使用的生态足迹概念。生产性生态足迹指一个区域每年从生态系统中实际取得的生物产量所需要的生态生产性面积。

(5) 生态压力指数

任志远^[45] 将生态足迹(EF)与生物承载力(BC)之比定义为生态压力指数(T),即 $T = EF/BC$ 。

(6) 生态足迹多样性指数和生态经济系统发展能力

徐中民^[24]提出生态足迹多样性指数可由 Shannon-Weaver 公式计算($H = -\sum [P_i \ln P_i]$, H 是多样性指数, P_i 是第 i 种土地类型在总生态足迹中的比例)。国家或地区的生态经济系统发展能力(C)可由生态足迹(EF)乘以生态足迹多样性指数得到,即 $C = EF \times (-\sum [P_i \ln P_i])$ 。

(7) 生态利用效率

生态利用效率(EE)是一个国家的经济系统产生单位生态足迹(EF)能够获得的国内生产总值(GDP),即万元 GDP 生态足迹($EE = EF/GDP$)^[24,46]。显然万元 GDP 足迹需求大,反映资源利用效益低,反之利用效益高。生态效率的倒数是经济系统创造单位经济产出对生态系统造成的压力,可称之为经济系统的“生态冲击强度”。

(8) 人类生态波动指数

郑辛酉^[47]提出人类生态波动指数(I_{HEF})计算公式为: $I_{HEF} = |ef_{iat+n} - ef_{iat}| / |ec_{iat+n} - ef_{iat}| / |ec_{iat+n} - ec_{iat}|$, ef_{iat+n} 、 ef_{iat} 分别为第 t 年和 $t+n$ 年区域人均生态足迹, ec_{iat+n} 、 ec_{iat} 分别为第 t 年和 $t+n$ 年区域人均生物承载力。

2.2 计算方法改进

2.2.1 传统计算方法改进

在生态足迹基本计算方法——综合法基础上,经发展改进已经提出了成分法、投入产出法、能值法等计算方法。

成分法最早由 Simmons 提出,Barrett、Wright 等进行了改进完善^[30,32,35,48]。成分法以人们的衣食住行为出发点,自下而上通过物质流分析获取主要消费品消费量及废物产生数据,借助生态足迹了解物流带来的环境压力,适用于地方、企业、大学、家庭乃至个人的生态足迹核算^[8,15,17,18],计算实质与综合法一致^[30]。在 Best Forward Ltd 著名 an ecological footprint analysis of different packaging system 中,运用生命周期估算法(life cycle assessment, LCA)比较不同生产线生产铝制或玻璃饮料罐的生态足迹,为不同生态足迹计算方法的兼容性做了探索^[48]。

Bicknell 最早利用投入产出表的产品流信息追踪和计算最终消费的生态足迹,为衡量社会经济代谢的生态影响迈出了重要一步^[8]。Ferng^[14]提出复合土地乘数(composition of land multiplier)的计算方法,Lenzen^[10]用投入产出方法考虑人类对土地的间接消耗,利用时间序列分析了生态足迹变化与收入、消费规模及家庭所在区域的关系。Hubacek 基于物质流投入产出表分析国际贸易中的土地占用问题,由于受原始数据限制,结果与基于货币的投入产出分析有出入^[30]。近期,Wackernagel 博士也参与了投入产出法研究^[49],Turner^[50]、Wiedmann^[51]专门撰文分析投入产出法使用过程中应注意的问题。国内秦耀辰^[32,34]、曹淑艳^[52]、赖力^[53]、刘建兴^[54]等用投入产出方法分别计算分析了河南、江苏省和中国的生态足迹。用投入产出方法计算生态足迹实质上是分析给定土地面积为生产或消费的占用情况,与综合法有实质差异^[30]。

Zhao Sheng 等^[20]最早将能值理论用于生态足迹核算,构建了基于能值法的生态足迹计算模型,并以甘肃省为例进行了实证研究。Chen Bin 等^[22]利用生态足迹传统计算方法和能值法两种计算方法计算了中国 1981~2001 年生态足迹和生物承载力,比较分析后认为能值法计算生态足迹能够有效评估资源、环境、人类活动和生态超载。张芳怡^[55]基于能值分析理论分析了江苏省 2003 年生态经济系统的环境状况,指出能值法计算生态足迹更能真实地反映生态经济系统的环境状况。Nguyen^[12]基于能值法计算了澳大利亚、比利时、巴西、加拿大、日本、美国和越南 7 个国家包含不可再生资源(如铜)消费在内的生物和非生物资源生态足迹。Cuadra^[15]采用生态足迹、经济成本与收益评价和能值分析 3 种方法,评估尼加拉瓜 6 种热带作物(common bean, tomato, cabbage, maize, pineapple, coffee)生产的经济效益及可持续性。总体来说,基于能值法计算生态足迹研究起步较晚,相关研究也较少。

计算方法的其它改进,如陈丽萍^[65]考虑了资源损耗(如耕地面积净减少量和草原退化量)和环境污染(废水、 SO_2 和烟尘、粉尘及固体废物),将污染排放量货币化,污染损失值中同时计入污染直接损失、污染治理

本年投资完成额,通过粮食价格、粮食产量及产量因子和均衡因子进行折算;Vuuren 等^[9]在对贝宁、不丹、歌斯达黎加和瑞典四国的生态足迹研究中,将加总指标分为土地利用和 CO₂用地两个指标从而避免了指标综合过程中的误差,加强了对政策的指导意义。

2.2.2 能源足迹计算方法改进

Stöglerner^[13]基于“岩石圈碳存储不下降、也不转到生物圈中”假设,采用 Krotscheck 的可持续过程指数(sustainable process index, SPI),提出新的能源足迹计算方法,建立起可再生能源与化石能源携带者之间相比较的桥梁,但仍有较多缺点^[33]。Lenzen^[10]就温室气体排放考虑了堆肥、除草、工业、煤层、天然气开采渗露等不可忽略的过程,并计算了 CH₄、N₂O、CF₄、C₂F₆等其他温室气体的生态足迹。顾晓薇^[46]把防护林作为吸收使用能源所释放 CO₂的林地,突破了生物承载力计算时化石能源用地为 0 的传统计算方法。谢高地^[57]认为如果将不可再生资源也折算为可消费的生态空间,那么实际拥有的生物承载力就会明显扩大,非再生自然资源为人们提供了巨大的生态空间替代。

2.3 均衡因子和产量因子改进

Lenzen^[10]针对“全球公顷不能反应区域实际”的弱点,采用澳大利亚各种类型的地区土地利用数据,运用投入产出分析模型重新对土地类型进行分类,构建消费项目 136 × 136 矩阵、7 × 136 矩阵与 27 × 7 矩阵,以便修正与反映消费所对应的各种土地类型。Wackernagel^[5]、Haberl^[11]利用“实际土地需求”概念,用计算区域的生物产量替换全球平均产量,等价因子和生产力系数用研究区域的相关数据调整,贸易输入部分用原产地生物资源生产量计算,这种调整方法能够明确计算区域内人类活动对自然的影响程度,但也存在不足^[37]。未来的生态足迹核算将会探讨产量因子是否应该根据固有生产潜力(如某一生产力因子)计算,实际产量和生产力因子之间的差距反映了技术水平的提高,将是生态足迹核算的很好补充,但目前没有充足的数据来说明^[3]。Haberl^[11]用不变全球产量、可变全球产量、可变地方产量 3 种方法计算奥地利 1926 ~ 1995 年的生态足迹,结果差异很大。近期,Wiedmann^[58]探讨了地方公顷与全球公顷的转换问题。高成康^[59]考虑不同年份、地区的技术水平和环境差异,确定均衡因子 $F = f(P, T, E)$, P 、 T 、 E 分别指政策、科技、环境因素的影响,并采用多组数据形成均衡因子体系。

2.4 应用领域扩大

2.4.1 家庭生活与食物消费模式

Gerbens-Leenes^[60]计算了家庭 5 种食物消费模式的生态足迹,指出“不久的将来,食物消费模式变化比人口增长更能影响土地需求,积极转变家庭生活方式和消费行为,是未来减少生态足迹的重要途径”;White^[61]分析了食物摄取与环境影响的关系,对不同地区人们的食物构成分析后得出:肉类为主的消费模式生态足迹更大,环境影响也大。Lenzen^[10]发现家庭消费支出比家庭收入对生态足迹的影响大,家庭规模越大生态足迹越低,大城市居民生态足迹大于中等城市,更大于乡村居民。Sánchez-Chóliz^[62]则探讨了不同家务劳动的环境影响。

2.4.2 进出口贸易

Andersson^[63]认为一些发达国家利用自己的经济优势,不断从发展中国家进口商品,保持了自己国家的生物承载力、富裕了自己的生活,却恶化了发展中国家的生态环境。Mariano^[64]从全球生态责任公平角度出发,运用 Martinez-Alier“生态债务”概念,从生态足迹与国家外债两个角度探讨了发达国家应减免不发达国家债务问题的必要性与可能性。Li Hong^[23]评估了中国 1996 ~ 2004 年进出口贸易商品中的嵌入能对生态足迹的影响,指出除 1997 ~ 1999 年外,其它年份中国均为贸易商品嵌入能净进口。陈丽萍^[65]的研究表明我国对外贸易量的增长使总输入、总输出生态足迹均呈上升趋势,且总输入增长幅度明显大于总输出,贸易净输入扩大了中国“经济版图”。刘建兴^[28]指出 1961 ~ 2001 年中国人均贸易足迹均小于 0.05ghm²^①,中国维持区域内

① ghm² 表示全球公顷。

人口消费所消耗的资源和环境资本主要来自国内,环境冲击的承受者也主要是国内环境。

2.4.3 交通运输与能源

Federici^[66]运用3种不同能源分析方法研究了意大利中部城市 Siena 公路与铁路交通系统的能源消耗与利用效率以及对区域生态足迹与可持续发展的影响,建议交通部门大力发展铁路的货运功能、公路的大众公交功能、限制私人小汽车的发展。Holden^[16]研究以石油代用燃料为动力的环境友好型汽车的生态足迹,发现这种汽车可减少75%的运输足迹。梁勇^[67]计算了2002年北京市公共汽车、地铁、轻轨、出租车、小公共汽车和私家车等主要交通工具的生态占用,发现私家车人均生态足迹是公共汽车的5.67倍,优先发展城市公共交通、适度限制发展私人交通是实现城市交通可持续发展的必然选择。

2.4.4 旅游

Gössling^[44]对 Seychelles 地区旅游业生态足迹评价中得出航空客运的能源消耗及温室气体排放是造成当地环境问题的主要原因,应在环境影响评价和环境保护政策中予以重视;Victoria^[68]研究了印度喜马拉雅山附近一个小村庄1964~1994年的旅游生态足迹,WWF-UK^[69]计算了地中海 Majorca 和 Cyprus 度假旅游产品的生态足迹。国内章锦河^[31]构建了旅游生态足迹模型,计算并分析了2002年黄山市游客的生态足迹、足迹效率、旅游的环境影响及其生态责任空间扩散尺度与程度,他还以九寨沟为例构建了基于旅游生态足迹效率的自然保护区居民生态补偿标准测度模型。席建超^[70]探讨了北京市海外游客旅游消费的生态足迹,发现海外游客每次来京旅行的人均生态足迹约占该市现有城镇居民年人均生态足迹的5%。杨桂华^[26]从旅游产业、旅游产品、旅游目的地、企业生态、旅游者及大众旅游6个方面探讨了旅游生态足迹在旅游可持续发展中的测度功能。

2.4.5 养殖及种植业

Berg^[71]研究了津巴布韦水产业的生态足迹,将水产品产量按初级生产力换算成土地面积,比较了不同集约方式的水产业经济和生态资源消耗;Gyllenhammar^[72]从养殖场、地方近岸海域、包括多个地方近岸海域的地区近岸海域和包括多个地区近岸海域的国际海域4个尺度研究了波罗的海海水养鱼的环境影响。Alden^[73]以土地利用量最小为目标函数,建立线性规划模型研究大麻工业与纺织、造纸、炼油工业之间的关系及环境影响,通过土地利用面积和产量评价大麻工业的经济效益。Thomassen^[17]对动物饲养、Ferng^[74]对稻米、Hornborg^[75]对棉花等产业生态足迹进行了研究。

2.4.6 水资源

Jenerette^[76]研究了中国和美国的淡水资源消费模式,发现人口数量和当地水资源量对水足迹影响最大。国内,王新华^[77]、龙爱华^[78]等基于虚拟水理论,提出水足迹的概念和计算方法;王新华分析了中国各省2000年人均水足迹;西北部省分水足迹较大,南部和中东部省分水足迹较小,青海省水足迹最大、广西水足迹最小,探讨了降低水足迹、缓解水资源压力的途径;龙爱华分析了甘肃省1989~2003年的水资源足迹及其变化,结果发现人口增加和消费水平提高并没有增加对水资源系统数量上的压力,指出增加消费结构的多样性有利于减少对水资源系统的压力。胡永红^[79]提出了表征区域水资源和水产品消耗可持续状况的淡水足迹和水产品足迹计算模型,并运用ARIMA模型时间序列预测广州市未来水生态足迹的变化趋势。

2.4.7 其它

Krivtsov 研究了英国和瑞士玻璃、塑料废弃物回收循环利用率的高低与国家能源消耗之间的关系,指出从能源消费角度而言,循环利用是废弃物处理的优先项目,更大程度上的节能应倡导与掀起全社会街道、马路边收集废弃物的运动计划,努力扭转塑料废弃物的焚烧处理模式^[29]。刘建兴^[80]研究了中国有色金属行业的生态足迹。

2.5 时间序列评估

为克服静态性缺陷而进行的长时间序列动态评估是目前生态足迹模型的主流研究之一。生态足迹的变化受人口、消费、土地、气候、科技、管理等众多社会、经济及自然因素影响,时间序列研究能够揭示这些影响因

素与生态足迹变化之间的关系,反映人类对自然资源的利用和生态耗竭状况,为决策者研究生态耗竭随时间的变化和制定相关政策提供有力支持。研究时间序列较长的是 Erb^[81]对奥地利 1926 ~ 2000 年长达 75a、Haberl^[11]对奥地利 1926 ~ 1995 年长达 70a 的生态足迹度量,Wackernagel 还就生态足迹时间序列计算中应注意的问题专门做了解释说明^[3]。Jorgenson^[82]利用 panel regression 探讨国家经济发展水平、出口强度、国内经济结构等因素与人均生态足迹增长的关系。国内近几年出现了较多基于生态足迹和生物承载力长时间序列发展趋势及影响因子的研究,如 Yue Dong-Xia 等^[19]利用变化率和剪刀差两个新指标分析生态足迹和生物承载力的变化趋势,韩晓卓^[83]提出包含随机影响的趋势外推方程,王健民^[84]对湖南省新宁县 1949 ~ 1998 年复合生态系统进行动态分析,综合研究人类社会经济系统发展的冲击力、生态系统承载力与社会经济(科技、管理、投入)反馈力三者之间相关的动态变化规律。还有许多研究者运用不同回归方法建立一元或多元、线性或非线性预测模型,分析生态足迹及生物承载力与时间或众多社会经济科技指标的关系,揭示社会、经济、科技因素对生态足迹和生物承载力时间序列变化的影响。

2.6 与非线性科学方法相结合

目前生态足迹研究结论大多表明人类对自然资源的利用处于一种掠夺状态,生态赤字是普遍现象,而这并不是生态足迹研究的最终目的。生态足迹研究的最终目的是遏制当前的全球生态超载现象,促使人类社会经济发展转入生态可持续状态下运行。因此,探索影响生态足迹的影响因素,寻求减少生态足迹的有效途径日益重要。生态足迹的变化受人口、消费、土地、气候、科技、管理等众多社会、经济及自然因素影响,是非线性系统,探索非线性科学在生态足迹模型理论中的应用将是一个重要的研究方向。陈成忠、林振山将经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)、小波分析、动力学建模等非线性方法应用于生态足迹模型的预测性研究或驱动因素研究^[27,85,86],为生态足迹指标的预测性分析提供了一个新途径。

2.7 与其它社会经济指标相结合

Wilson^[87]利用生态足迹(EF)、生物承载力盈余评价(the surplus bioapacity measure, SB)、环境可持续指数(the environmental sustainability index, ESI)、福利指数(the wellbeing index, WI)、GDP 和人文发展指数(human development index, HDI)6 个可持续指标,对世界 132 个国家 6 个指标的原始数据进行分析,且各指标间的变化度用相关分析,评价世界各国的可持续发展状况。van der Werf^[88]利用 DIALECTE、EF、农业环境管理(Environmental Management for Agriculture)、FarmSmart 和生命周期评价(Life Cycle Assessment)5 种方法综合评价 3 种不同饲养生猪的农场模式的环境影响。Hanley^[89]以苏格兰为例,运用生态足迹模型配合绿色净国内生产、总值环境空间、净主要生产力、持续经济福利指数、真实储蓄等指标,测度与评价了苏格兰发展的可持续性;Kratena^[90]把生态足迹与生态系统服务功能价值结合起来,从全球碳循环系统与能量价值角度构建了生态价值附加的生态系统-经济投入产出复合模型;Haberl^[91]比较分析了人类净初级生产力占用(human appropriation of net primary production, HANPP)和生态足迹(EF)两种综合测度人类社会与自然关系的方法。国内,徐中民^[32,49]结合人类环境影响评价 ImPACT 等式和 STIRPAT 随机回归模型,分析人口、富裕、产业结构、城市化等社会经济指标与环境影响(生态足迹)的关系,阐述社会资源在缓解和减轻环境影响方面的作用。陈东景^[92]基于生态足迹指数和人文发展指数构建可持续性评价框架,对我国社会发展及其对海洋渔业资源的影响进行了综合评价。王健民^[83]在这方面也作了有益尝试。

3 研究展望

生态足迹模型在 10 年的争论中不断改进、不断发展,未来的生态足迹模型将从以下几方面取得重要进展:

(1)探索更科学、更合理的生态足迹和生物承载力计算方法。如海洋生物资源承载力不应以产量计算,而应以海洋生物资源的再生能力(增长量)计算,而且每年随着人类的捕捞量变化而变化。

(2)生态足迹研究目前只是一种象征性的指向指标,没有找到与可持续发展政策的有机联系,如何将生态足迹研究的结果转化为可以执行的可持续发展政策,是生态足迹研究深化的必然方向,也是生态足迹研究

获得生命力的根本。也就是说生态足迹指标,目前只是“温度计”的作用,距离变成“B超”甚至“CT机”,还有很长的路要走。

(3) 研究怎样通过技术进步降低人类的生态足迹,如通过技术进步,加大太阳能资源的流量,促进水电、风电、光电建设,降低化石能源的开采量;控制核能对环境的不利影响,使人类摆脱对化石能源的依赖。

(4) 研究如何将生态足迹指标如 CO₂排放量一样实行市场化运作,即通过生态足迹占用指标大小的买卖限制某些国家和地区生态足迹的快速增长,促使各个国家和地区采取有效措施降低生态足迹。

(5) 加强公司、学校、家庭、个人等小尺度研究,充分发挥生态足迹的教育性功能。

(6) 单项生态足迹(耕地、草地、林地、建设地、水域、化石能源用地等)和产业(旅游、贸易、种植养殖等)研究,更有利于寻找降低生态足迹、提高生物承载力的有效途径和措施。

(7) 进一步探索非线性科学方法在生态足迹理论中的应用,加强与其它可持续发展指标有机融合的研究。

References:

- [1] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121—130.
- [2] Wackernagel M, Moran D, White S, *et al.* Ecological footprint accounts for advancing sustainability: measuring human demands on nature. In: Lawn P eds. *sustainable development indicators in ecological economics*. USA: Edward Elgar Publishing, Inc., 2006. 247—267.
- [3] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, *et al.* Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. *Land Use Policy*, 2004, 21(3): 271—278.
- [4] Wackernagel M, Rees W E. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [5] Wackernagel M, Monfreda C, Erb K H. Ecological footprint time series of Austria, Philippines, and South Korea for 1961—1999: Comparing the conventional approach to an “actual land area” approach. *Land use Policy*, 2004, 21(3): 261—269.
- [6] World Wildlife Found, *et al.* living planet report 2000, 2002, 2004, 2006 [EB/OL]. <http://www.panda.org/downloads/general/LPR.2000,2002,2004,2006.pdf>.
- [7] Redefining Progress. Energy footprints. <http://www.redefiningprogress.org/energyfootprint>.
- [8] 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(2): 149—160.
- [9] van Vuuren D P, Smeets M W E. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands. *Ecological Economics*, 2000, 34(1): 115—130.
- [10] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 229—255.
- [11] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: The case of Austria 1926—1995. *Ecological Economics*, 2001, 38(1): 25—45.
- [12] Nguyen H X, Yamamoto R. Modification of ecological footprint evaluation method to include non-renewable resource consumption using thermodynamic approach. *Resources Conservation and Recycling*, 2007, 51(4): 870—884.
- [13] Stöglhner G. Ecological footprint — A tool for assessing sustainable energy supplies. *Journal of Cleaner Production*, 2003, 11: 267—277.
- [14] Ferng J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics*, 2001, 37(2): 159—172.
- [15] Cuadra M, Bj rklund J. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua. *Ecological Indicators*, 2007, 7(1): 133—149.
- [16] Holden E, H yer K G. The ecological footprints of fuels. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2005, 10(5): 395—403.
- [17] Thomassen M A, Boer I J, *et al.* Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 111(1-4): 185—199.
- [18] Li G J, Wang Q, Gu X W, *et al.* Application of the componential method for ecological footprint calculation of a Chinese university campus. *Ecological Indicators*, 2008, 8(1): 75—78.
- [19] 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 environmental cliff. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 393—406.

- [20] Zhao S, Li Z Z, Li W L. A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling*, 2005, 185 (1):65—75.
- [21] Du B, Zhang K M, Song G J, *et al.* Methodology for urban ecological footprint to evaluate sustainable development in China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2006, 13(4):245—254.
- [22] Chen B, Chen G Q. Modified ecological footprint accounting and analysis based on embodied exergy — a case study of the Chinese society 1981—2001. *Ecological Economics*, 2007, 61(2-3):355—376.
- [23] Li H, Zhang P D, He C Y, *et al.* Evaluating the effects of embodied energy in international trade on ecological footprint in China. *Ecological Economics*, 2007, 62(1):136—148.
- [24] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. Ecological footprint calculation and development capacity analysis of China in 1999. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(2):280—285.
- [25] Xu Z M, Cheng G D, Qiu G Y. ImPACTS identity of sustainability assessment. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2):198—208.
- [26] Yang G H, Li P. Touristic ecological footprint: a new yardstick to assess sustainability of tourism. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6):1475—1480.
- [27] Chen C Z, Lin Z S. Analysis and dynamic prediction of per capita ecological footprint and biocapacity in China based on empirical mode decomposition method. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12):5291—5299.
- [28] Liu J X, Gu X W, Li G J. Economic development and ecological footprint in China. *Resource Science*, 2005, 27(5):33—39.
- [29] Zhang J H, Zhang J. Research progress and model modification of ecological footprint. *Resource Science*, 2006, 28(6):196—203.
- [30] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. A resolution to the conception of ecological footprint. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(6):69—78.
- [31] Zhang J H, Zhang J. Progress and implication in domestic research on ecological footprint model. *Areal Research and Development*, 2007, 26(2):90—96.
- [32] Wu L J, Yang L, Su X, *et al.* Advances in ecological footprint. *Journal of China Agricultural University*, 2006, 11(3):1—8.
- [33] Liu M, Hu Y M, Li Y H, *et al.* Ecological footprint model and its research advance. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(3):334—339.
- [34] Chen D D, Gao W S, Chen Y Q. Research progress on ecological footprint analysis. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10):1983—1988.
- [35] Jiang Y Y, Wang Y L, Pu X G, *et al.* Review and prospect of the application of ecological footprint model. *Progress in Geography*, 2005, 24(2):13—23.
- [36] Long A H, Zhang Z Q, Su Z Y. Review of progress in research on ecological footprint. *Advance in Earth Science*, 2004, 19(6):971—981.
- [37] Peng J, Wu J S, Jiang Y Y, *et al.* Shortcomings of applying ecological footprints to the ecological assessment of regional sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8):2716—2722.
- [38] Li M Y. Analysis of shortcoming of the basic hypothesis of ecological footprint model. *China Population Resources and Environment*, 2005, 15(2):129—131.
- [39] Song X G. Study of measurement of the ecological footprint. *Statistics Study*, 2003, 16(4):86—88.
- [40] Xu Z M, Cheng G D. Impacts of population and affluence on environment in China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(5):767—773.
- [41] Xiong D G, Xian X F, Jiang Y D. Discussion on ecological footprint theory applied to regional sustainable development evaluation. *Progress in Geography*, 2003, 22(6):618—626.
- [42] Chang Z H, Lu Z H, Gan L, *et al.* Review of the study and application of ecological footprint method. *Environment and Sustainable Development*, 2006, (6):49—51.
- [43] Hunter C. Sustainable tourism and the ecological footprint. *Environment, Development and Sustainability*, 2002, 4:7—20.
- [44] Gössling S, Hansson C B, Hrstmeier O, *et al.* Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological Economics*, 2002, 43(2-3):199—211.
- [45] Ren Z Y, Huang Q, Li J. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety: the case of Shaanxi Province. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4):597—606.
- [46] Gu X W, Wang Q, Wang J, *et al.* Study of ecological press and ecological efficiency of a country. *Resource Science*, 2007, 29(1):142—146.
- [47] Zheng X Y, Jia T F, Ni S C. A quantitative study on human eco-processes in the regional urbanization based on land use and cover change: A case study of a typical urbanization sample zone in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1):260—269.
- [48] Hu M, Zhou Y Q. The arithmetic and application of component-based methodology: micro-analysis of ecological footprint theory. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2006, 15(1):84—89.
- [49] Wiedmann T, Minx J, Barrett J, Wackernagel M. Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis.

- Ecological Economics, 2006, 56(1):28—48.
- [50] Turner K, Lenzen M, Wiedmann T, *et al.* Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part 1: A technical note on combining input output and ecological footprint analysis. Ecological Economics, 2007, 62(1):37—44.
- [51] Wiedmann T, Lenzen M, Turner K, *et al.* Examining the global environmental impact of regional consumption activities-Part 2: Review of input output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. Ecological Economics, 2007, 61(1):15—26.
- [52] Cao S Y, Xie G D. Applying input-output analysis for calculation of ecological footprint of China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(4):1499—1507.
- [53] Lai L, Huang X J, Liu W L, *et al.* Adjustment for regional ecological footprint based on input-output technique: a case study of Jiangsu Province in 2002. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(4):1285—1292.
- [54] Liu J X, Wang Q, Gu X W, *et al.* Input-output analysis in application to study on China's ecological footprints. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2007, 28(4):592—595.
- [55] Zhang F Y, Pu L J, Zhang J. A modified model of ecological footprint calculation based on the theory of emergy analysis-Taking Jiangsu Province as an example. Journal of Natural Resources, 2006, 21(4):653—660.
- [56] Chen L P, Yang Z Z. The accounting of ecological deficits in China and the corresponding analysis. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Science Edition), 2006, 8(4):68—72.
- [57] Xie G D, Lu C X, Zhen L, *et al.* Substitution of non-renewable resources to ecological space under ecological deficit conditions. Resource Science, 2006, 28(5):2—7.
- [58] Wiedmann T, Manfred L. On the conversion between local and global hectares in ecological footprint analysis. Ecological Economics, 2007, 60(4):673—677.
- [59] Gao C K, Wang S P, Lu Y L, *et al.* Modification of ecological footprint and its application to eco-planning-the case of Shanghai. Environmental Science and Technology, 2006, 29(4):58—60.
- [60] Gerbens-Leenes P W, Nonhebel S. Consumption patterns and their effects on land required for food. Ecological Economics, 2002, 42(1-2):185—199.
- [61] White T. Diet and the distribution of environmental impact, Ecological Economics, 2000, 34(1):145—153.
- [62] Sánchez-Chóliz J, Duarte R, Mainar A. Environmental impact of household activity in Spain. Ecological Economics, 2007, 62(2):308—318.
- [63] Andersson J O, Lindroth M. Ecologically unsustainable trade. Ecological Economics, 2001, 37(1):113—122.
- [64] Mariano T. An ecological footprint approach to external debt relief. World Development, 2003, 31(12):2161—2171.
- [65] Chen L P, Yang Z Z. The ecological footprint of international trade of China. World Economy Research, 2005, (5):8—11.
- [66] Federici M, Ulgiati S, Verdesca D, *et al.* Efficiency and sustainability indicators for passenger and commodities transportation systems: The case of Siena, Italy. Ecological Indicators, 2003, 3(3):155—169.
- [67] Liang Y, Cheng S K, Min Q W. Ecological footprint of urban transportation: a case study of Beijing city. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2005, 35(3):484—488.
- [68] Victoria C, Sinclair J A. Measuring the ecological footprint of a himalayan tourist center. Mountain Research and Development, 2002, 22(2):132—141.
- [69] WWF-UK. Holiday footprinting a practical tool for responsible tourism. 2002. <http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/holidayfootprintingfull.pdf>.
- [70] Xi J C, Ge Q S, Cheng S K, *et al.* Ecological footprint of tourism consumption — A case study of Beijing foreign tourist arrivals. Journal of Natural Resources, 2004, 19(2):224—229.
- [71] Berg H, Michlsen P, Troell M, *et al.* Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe. Ecological Economics, 1996, 18(2):141—159.
- [72] Gyllenhammar A, Hakanson L. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic-a review. Marine Environmental Research, 2005, 60(2):211—243.
- [73] Alden D M, Proops J L R, Gay P W. Industrial hemp's double dividend: a study for the USA. Ecological Economics, 1998, 25(3):291—301.
- [74] Ferng J J. Local sustainable yield and embodied resources in ecological footprint analysis — a case study on the required paddy field in Taiwan. Ecological Economics, 2005, 53(3):415—430.
- [75] Hornborg A. Footprints in the cotton fields: The industrial revolution as time space appropriation and environmental load displacement. Ecological Economics, 2006, 59(1):74—81.
- [76] Jenerette G D, Wu W L, Goldsmith S, *et al.* Contrasting water footprints of cities in China and the United States. Ecological Economics, 2006, 57(3):346—358.
- [77] Wang X H, Xu Z M, Long A H. Estimation of water footprint of China in 2000. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(5):774—780.

- [78] Long A H, Zhang Z Q, Xu Z M, *et al.* Analysis of water footprint and consumption pattern in Gansu Province. *Advance in Water Science*, 2005, 16(3):418—425.
- [79] Hu Y H, Wu Z F, Li D Q, *et al.* Measuring sustainable development of water resources with aquatic ecological footprint in Guangzhou based on ARIMA model. *Ecology and Environment*, 2006, 15(1): 94—98.
- [80] Liu J X. The ecological footprint of coloured metal industry in China. *Resource Science*, 2007, 29(1):56—61.
- [81] Erb K H. Actual land demand of Austria 1926—2000: A variation on ecological footprint assessment. *Land Use Policy*, 2004, 21(3):247—259.
- [82] Jorgenson A K, Burns T J. The political-economic causes of change in the ecological footprints of nations, 1991—2001: A quantitative investigation. *Social Science Research*, 2007, 36(2):834—853.
- [83] Han X Z, Zhang Y Y, Li Z Z. A new approach to trend extrapolation of time series of ecological footprint and its application. *Acta Prataculturae Sinica*, 2006, 15(5):129—134.
- [84] Wang J M, Wang W, Zhang Y, *et al.* Analysis of complex ecosystem dynamic ecological footprint (ecological historical records). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12):2920—2926.
- [85] Chen C Z, Lin Z S, Cheng L L. A nonlinear dynamic analysis of ecological footprint and biocapacity. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11):3812—3816.
- [86] Chen C Z, Lin Z S. Wavelet analysis of China's per capita ecological footprint from 1961 to 2005. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1):338—344.
- [87] Wilson J, Tyedmers P, Pelo R. Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. *Ecological Indicators*, 2007, 7(2):299—314.
- [88] van der Werf H M G, Tziliavakis J, Lewis K, *et al.* Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 118(1-4):327—338.
- [89] Hanley N, Moffatt I, Faichney R, *et al.* Measuring sustainability: a time series of alternative indicators for Scotland. *Ecological Economy*, 1999, 28: 149—160.
- [90] Kratena K. "Ecological value added" in an integrated ecosystem economy model—an indicator for sustainability. *Ecological Economics*, 2004, 48(2):189—200.
- [91] 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.
- [92] Chen D J, Li P Y, Du J, *et al.* The evaluation of sustainable development based on ecological footprint and human development index — A case of marine fishery resources utilization in China. *China Soft Science*, 2006, (5):96—103.

参考文献:

- [24] 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.
- [25] 徐中民, 程国栋, 邱国玉. 可持续性评价的 ImPACTS 等式. *地理学报*, 2005, 60(2):198—208.
- [26] 杨桂华, 李鹏. 旅游生态足迹: 测度旅游可持续发展的新方法. *生态学报*, 2005, 25(6):1475—1480.
- [27] 陈成忠, 林振山. 中国人均生态足迹与生物承载力变化的 EMD 分析及多情景预测. *生态学报*, 2007, 27(12):5291—5299.
- [28] 刘建兴, 顾晓薇, 李广军, 等. 中国经济发展与生态足迹的关系研究. *资源科学*, 2005, 27(5):33—39.
- [29] 章锦河, 张捷. 国外生态足迹模型修正与前沿研究进展. *资源科学*, 2006, 28(6):196—203.
- [30] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析. *中国人口·资源与环境*, 2006, 16(6):69—78.
- [31] 章锦河, 张捷. 国内生态足迹模型研究进展与启示. *地域研究与开发*, 2007, 26(2):90—96.
- [32] 吴隆杰, 杨林, 苏昕, 等. 近年来生态足迹研究进展. *中国农业大学学报*, 2006, 11(3):1—8.
- [33] 刘森, 胡远满, 李月辉, 等. 生态足迹方法及研究进展. *生态学杂志*, 2006, 25(3):334—339.
- [34] 陈冬冬, 高旺盛, 陈源泉. 生态足迹分析方法研究进展. *应用生态学报*, 2006, 17(10):1983—1988.
- [35] 蒋依依, 王仰麟, 卜心国, 等. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望. *地理科学进展*, 2005, 24(2):13—23.
- [36] 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.
- [37] 彭建, 吴健生, 蒋依依, 等. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷. *生态学报*, 2006, 26(8):2716—2722.
- [38] 李明月. 生态足迹分析模型假设条件的缺陷浅析. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(2):129—131.
- [39] 宋旭光. 生态占用测度问题研究. *统计研究*, 2003, 16(4):86—88.
- [40] 徐中民, 程国栋. 中国人口和富裕对环境的影响. *冰川冻土*, 2005, 27(5):767—772.
- [41] 熊德国, 鲜学福, 姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进. *地理科学进展*, 2003, 22(6):618—626.
- [42] 常志华, 陆兆华, 甘莉, 等. 生态足迹方法研究及应用展望. *环境与可持续发展*, 2006, (6):49—51.

- [45] 任志远,黄青,李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析. 地理学报,2005,60(4):597~606.
- [46] 顾晓薇,王青,王军,等. 国家生态压力与生态利用效率研究. 资源科学,2007,29(1):142~146.
- [47] 郑辛茜,贾铁飞,倪少春. 基于区域城市化 LUC 的人类生态过程定量研究. 生态学报,2007,27(1):260~269.
- [48] 胡森,周应祺. 生态足迹理论的微观分析——成分法的算法及应用. 上海水产大学学报,2006,15(1):84~89.
- [52] 曹淑艳,谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型. 生态学报,2007,27(4):1499~1507.
- [53] 赖力,黄贤金,刘伟良,等. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析. 生态学报,2006,26(4):1285~1292.
- [54] 刘建兴,王青,顾晓薇,等. 投入产出法在我国生态足迹研究中的应用. 东北大学学报(自然科学版),2007,28(4):592~595.
- [55] 张芳怡,濮励杰,张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用. 自然资源学报,2006,21(4):653~660.
- [56] 陈丽萍,杨忠直. 中国生态赤字核算与分析. 北京理工大学学报(社会科学版),2006,8(4):68~72.
- [57] 谢高地,鲁春霞,甄霖,等. 生态赤字下非再生资源对生态空间的替代作用. 资源科学,2006,28(5):2~7.
- [59] 高成康,王少平,陆雍森,等. 生态足迹的修正及其在城市生态规划中的应用. 环境科学与技术,2006,29(4):58~60.
- [65] 陈丽萍,杨忠直. 中国进出口贸易中的生态足迹. 世界经济研究,2005,(5):8~11.
- [67] 梁勇,成升魁,闵庆文. 城市交通生态占用研究——以北京市为例. 东南大学学报(自然科学版),2005,35(3):484~488.
- [70] 席建超,葛全胜,成升魁,等. 旅游消费生态占用初探——以北京市海外入境旅游者为例. 自然资源学报,2004,19(2):224~229.
- [77] 王新华,徐中民,龙爱华. 中国 2000 年水足迹的初步计算分析. 冰川冻土,2005,27(5):774~780.
- [78] 龙爱华,张志强,徐中民,等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析. 水科学进展,2005,16(3):418~425.
- [79] 胡永红,吴志峰,李定强,等. 基于 ARIMA 模型的区域水生态足迹时间序列分析. 生态环境,2006,15(1):94~98.
- [80] 刘建兴. 中国有色金属行业的生态占用研究. 资源科学,2007,29(1):155~159.
- [82] 韩晓卓,张彦宇,李自珍. 生态足迹时间序列趋势外推分析的一种新方法及其应用. 草业学报,2006,15(5):129~134.
- [83] 王健民,王伟,张毅,等. 复合生态系统动态足迹分析. 生态学报,2004,24(12):2920~2926.
- [85] 陈成忠,林振山,陈玲玲. 生态足迹与生态承载力非线性动力学分析. 生态学报,2006,26(11):3812~3816.
- [86] 陈成忠,林振山. 中国 1961~2005 年人均生态足迹变化的小波分析. 生态学报,2008,28(1):338~344.
- [92] 陈东景,李培英,杜军,等. 基于生态足迹和人文发展指数的可持续发展评价. 中国软科学,2006,(5):96~103.