

## 国内外生态足迹模型的应用研究文献回顾与展望

侯培, 朱有禄 (中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司, 陕西西安 710054)

**摘要** 通过文献阅读法, 对国内外生态足迹模型的起源、应用范围、应用空间、修正方法进行详细解读, 并对现有生态足迹相关研究提出不足与展望, 以期生态足迹模型的未来应用及具体修订提供理论支撑。

**关键词** 生态足迹模型; 国内外; 回顾与展望

**中图分类号** X144 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2019)23-0001-03

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.23.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Review and Prospect of the Application of Ecological Footprint Model at Home and Abroad

**HOU Pei, ZHU You-lu** (Xi'an Engineering Investigation & Design Research Institute of China National Nonferrous Metals Industry Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710054)

**Abstract** This paper made a detailed interpretation of the origin, application scope, application space and correction methods of ecological footprint models at domestic and foreign by means of literature reading method, and put forward the shortcomings and prospects of the current research on ecological footprint. The aim is to provide theoretical support for the future application and modification of ecological footprint model.

**Key words** Ecological footprint model; Domestic and foreign; Review and expectation

生态足迹(ecological footprint, EF)指能够持续地提供资源或处理废物的、具有生物生产力的地域空间<sup>[1]</sup>。因此,生态足迹越大,自然资源的利用越多,生态压力越大。生态足迹模型最初由加拿大生态经济学家 William Rees<sup>[2]</sup>于1992年提出,该模型是一种以土地作为衡量单位的生态可持续性评估方法,假设6种生态生产用地,即化石能源土地、耕地、草地、林地、建筑用地和水域的空间差异。该方法计算过程简便,计算结果直观综合,数据获取途径相对容易,因而获得全球多个国家和多领域专家及机构的认可,随后由其博士生 Wackernagel 等<sup>[3-4]</sup>于1996年进一步完善和论证该模型。

笔者回顾了国内外学者的研究,总结了研究经验和研究修订,以期为促进我国生态环境与经济发展之间的可持续发展、生态足迹模型的进一步精准应用及修正提供理论支撑。

### 1 模型综述

**1.1 生态足迹模型** 该模型主要沿用 Rees 等<sup>[5]</sup>已有成果。其计算公式为<sup>[6]</sup>:

$$EF = N \times ef = N \sum_{i=1}^n r_i a_i = N \sum_{i=1}^n (r_i c_i / P_i)$$

式中,EF 为总的生态足迹;N 为人口数;ef 为人均生态足迹;n 为消费商品数量;i 为消费商品和投入的类型; $r_i$  为当量因子; $a_i$  为人均 i 种交易商品占用的生物生产土地面积; $c_i$  为 i 种商品的人均消费量; $P_i$  为 i 种消费商品的世界平均生产能力。

**1.2 生态承载力模型** 生态承载力即在某一特定环境条件下,某种个体存在数量的最高极限。其计算公式为<sup>[7]</sup>:

$$EC = Nec = N \sum_{j=1}^6 (a_j r_j / y_j)$$

式中,EC 为区域总生态承载力;N 为人口数;ec 为人均生态

承载力; $a_i$  为人均生物生产性土地面积; $r_i$  为当量因子; $y_j$  为产量因子。

**1.3 生态赤字/生态盈余模型** 比较生态足迹与生态承载力计算结果,如果生态足迹大于生态承载力,则是生态赤字,阻碍了生态环境的可持续发展;如果生态承载力大于生态足迹,则是生态盈余,将有利于生态环境的可持续发展。这一方法简单明了,从定量上可以直接判断某一地区生态环境的可持续发展。

### 2 国外模型应用领域

**2.1 理论及应用发展** 生态足迹模型理论始于 Wackernagel 等<sup>[8]</sup>基于联合国官方统计数据,1997 年对居住在世界上 80% 人口的 52 个国家的《国家生态足迹》(Ecological Footprint of Nations)生态环境影响数据进行了比较分析,这些数据表明,当时已有 43 个国家出现生态赤字,人类所使用的资源和生态服务比大自然所能再生的资源和生态服务多出约 1/3。

随后,Senbel 等<sup>[9]</sup>将生态足迹模型应用于北美地区,研究了人类消费、生态生产力和物质效率的几种情况,以探讨在未来一个世纪中,哪些变量会对北美的生态预算产生影响。他们认为只有人类消费大幅度减少,才有可能产生生态盈余。经济活动和消费的增加能造成一个区域生态生产力和消费平衡方面的赤字,并可能限制生态可持续性发展。

理论研究多起源于国外,将其应用于全球各地的计算结果表明,整体上全球各地环境正在面临严峻的考验,人类涉足的领域生态赤字在逐步扩大,为保障全球人类可持续发展及生命的延续,采取相应积极措施与生态环境和谐共处迫在眉睫。

**2.2 模型演变** 自 20 世纪 80 年代后期以来,可持续发展已成为世界上许多国家的首要目标。1998 年, Bicknell 等<sup>[10]</sup>以新西兰为实证应用,利用作为大多数发达国家国民一部分账户体系收集的数据,提出了一种改进的投入-产出分析方法来计算生态足迹,并计算出新西兰经济活动水平与其对环境

**基金项目** 国家山水林田湖草项目;陕西省山水林田湖生态保护修复项目实施方案。

**作者简介** 侯培(1989—),女,陕西西安人,工程师,从事土地利用与国土规划、生态保护与修复研究。

**收稿日期** 2019-05-20; **修回日期** 2019-06-18

的相应影响之间的联系;每年只有 3.49 片具有生态生产力的土地维持新西兰人当前的平均消费水平。

Wackernagel 等<sup>[11]</sup>于 2004 年又研究了在时间序列中计算生态足迹的方法进展,采取了 2 种不同的方法:①以“全球公顷”或具有全球平均生物生产力的正常化公顷表示的传统生态足迹方法的最新演变;②“实际土地使用”方法,计算每个国家的社会经济新陈代谢所占的实际面积。并将其应用于 1961—1999 年的奥地利、菲律宾和韩国。计算表明,韩国的快速工业化导致其生态足迹急剧增加,而奥地利的足迹在 1961 年已经很大,但在整个分析过程中只是缓慢增长。

值得探讨的是,生态足迹的模型在 Rees 和 Wackernagel M 提出后便逐步得到大尺度范围应用,其计算结果取决于数据的可获取性与完整性,指标选取的细微差别将会使其计算结果产生很大差异。

**2.3 拓展研究** 2018 年 Ossberger 等<sup>[12]</sup>以奥地利维也纳为例,对不同城市公共交通模式扩大的生态足迹为研究对象,将生态足迹扩展到公共交通用地方面,研究了这些由地铁、有轨电车和公共汽车运输组成的多式联运公共客运网络的土地用途。土地用途的区别是城市的直接土地用途,全球腹地提供能源和资源的直接土地用途,以及减少二氧化碳排放所需的土地。就后者而言,对能源消费(可操作能源二氧化碳内地使用)和货物和材料中所含二氧化碳(含二氧化碳内地使用)的二氧化碳排放量进行了区分。最后确定了公共交通系统的总体土地使用情况,并利用对废旧货物和材料的生命周期进行的扩展生态足迹分析加以说明。

在拓展研究方面查到的文献中,国外学者研究居多。这也从侧面反映了国内生态足迹现状,亟需关注以实现可持续发展。

**2.4 概念创新类** “旅游生态足迹(touristic ecological footprint)”这一概念最早是由英国学者 Colin Hunter 等<sup>[13]</sup>于 2002 年提出<sup>[13-14]</sup>,随后 Cole 等<sup>[15]</sup>运用该概念对喜马拉雅快速发展的旅游中心马纳利镇进行旅游生态足迹评价。Gössling 等<sup>[16]</sup>以塞舌尔为例,构建了旅游目的地生态足迹计算模式,揭示了在计算过程中必须克服并注意的统计难题,并讨论了这种方法的优缺点。

总体上看,概念性理论多起源于国外学者,而国内学者多为实证性研究。

### 3 国内模型应用领域

**3.1 理论、方法与计量** 杨开忠等<sup>[17]</sup>系统地介绍了生态足迹分析法的理论框架、指标体系和计算方法,并通过引入世界 52 个国家和地区的生态足迹,具体解释了生态足迹分析方法的应用。李利峰等<sup>[18]</sup>讨论了生态占用作为可持续发展指标的政策含义以及将其应用于青藏高原的可能性。王书华等<sup>[19]</sup>详细分析了生态足迹方法的当前研究趋势和发展趋势,指出其动态性、多指标的整合性、污染影响分析等日益完善的发展趋势。

蒋依依等<sup>[20]</sup>采用文献综述方法,回顾了国内外生态足迹模型的发展历程及其在区域可持续发展计量和生态经济

领域的广泛应用,展望了生态足迹模型的未来发展方向。

国内理论研究总体上滞后于国外,在模型应用方面创新总体偏低。随着模型应用的不断深化,在理论研究逐步拓展到应用领域,从国际视角逐步转向国内省市级地方性研究,用于判定当地生态足迹。

**3.2 时间跨度研究** 国内生态足迹模型应用时间跨度 3~70 年不等,于兴丽等<sup>[21]</sup>对甘肃省 1990—2002 年生态足迹的计算与分析;陈敏等<sup>[22]</sup>分析了 1978—2003 年中国生态足迹动态水平。另外,张绍修等<sup>[23]</sup>、曲哲等<sup>[24]</sup>分别对成都市、辽宁省朝阳市 5 年生态足迹进行动态分析。杜轶<sup>[25]</sup>基于不同年份的生态足迹,评估了 1978—2001 年山西省可持续发展能力,并对山西省社会经济的可持续发展能力进行了比较分析,明确了山西省社会经济可持续发展现状,为山西省社会经济可持续发展、以及政策制定提供科学依据。

基于数据的可获取性,国内大部分人学者的时间跨度研究较为宽泛。生态足迹的跨时间研究更能从时间序列上表明生态赤字的不断扩大,使人们对生态环境的保护与可持续发展产生更为深刻的认识。

**3.3 空间跨度生态足迹分析** 方恺等<sup>[26]</sup>以全球为研究尺度,对美国、英国等 7 个发达国家及中国、印度、俄罗斯和巴西 4 个发展中国家为案例,人均足迹广度以加拿大最高(6.98 hm<sup>2</sup>)、印度最低(0.49 hm<sup>2</sup>);足迹深度以日本最高、加拿大最低。这足以表明,足迹深度与足迹广度在各国间基本呈逆向排列,发达国家社会财富的增加是以透支后代的自然资本为代价的。

另外,国家尺度方面,刘宇辉等<sup>[27]</sup>研究表明,1962—2001 年,中国人均生态承载力逐渐下降,人均生态足迹则逐步加大,目前中国人均生态足迹已经超过人均生态承载力,并继续扩大,中国目前的发展处于一种强不可持续状态。

空间跨度上,国内研究基本覆盖地市、省级、西部。总体上讲,我国的经济的发展方式逐步从粗放型向集约型转变,但未来仍需注重提高资源利用效率,逐步走向生态大国,实现城市的可持续发展。

**3.4 特定资源研究** 陈文辉等<sup>[28]</sup>以北京市日常消费食品生态足迹的距离为研究核心,得出北京市 2008—2012 年消耗食物的生态足迹里程不断增长,达到 676.75 km。各类食物的生态足迹距离最高为水果,较低为水产。蔬菜和水果的生态足迹距离存在明显的季节波动,且冬季和春季远高于夏季和秋季。

黄雨生等<sup>[29]</sup>对能源消费碳足迹进行应用研究。黄雨生等<sup>[30]</sup>计算了中国大陆 30 个省份的能源碳足迹和碳承载力,发现 2012 年碳足迹最大的省份是山东省,占 9.43%,云南省碳承载力最大,占 10.53%。他的研究表明,中国北方的碳足迹和净碳足迹高于南部地区,而南部地区的碳携带能力高于北部地区。李俊等<sup>[31]</sup>测算出 2012 年新疆那拉提镇旅游生态足迹是旅游生态承载力的 13.56 倍,说明旅游活动正在快速消耗那拉提镇资源环境。另外,刘莉等<sup>[32]</sup>运用水足迹理论和计算方法,采用灰色关联度法分析其驱动力因子,系统分

析了 2003—2011 年四川省各市农业水足迹的时空动态变化趋势与农业水资源利用效益。

生态足迹从一开始研究生态环境方面,逐渐涉及对生态环境有影响的因素诸如果果、碳能源、旅游等方方面面,不仅对生态环境保护进行定量评价,对于影响生态环境质量及变化的各种因子及调试也有较多的应用。

**3.5 指标修正与创新** 吴歌等<sup>[33]</sup>根据延安市地域特征及数据的可获取性,在原有土地类型中增加了消纳生活垃圾的污染排放用地,即 7 类用地,并采用陕西省人均消费生物资源量代替延安市人均生物资源消费量,对延安市的可持续发展进行分析。

张恒义等<sup>[34-35]</sup>、冯娟等<sup>[36]</sup>、程淑杰等<sup>[37]</sup>等用“省公顷”,张帅<sup>[38-39]</sup>用“市公顷”建立生态足迹模型,求得数据较传统的全球公顷和国家公顷更加准确。

该模型从提出至今约 20 年,从学者的理论探索、模型应用,根据实地研究不断模拟修正,逐渐趋于成熟,越来越多的学者在判定某地区的生态足迹后,逐渐趋向修正指标以便更加贴合当地实际情况,更有助于数据的探讨结果。

#### 4 研究展望

该研究运用文献阅读方法研究了国内外学者关于生态足迹的文献,不难看出生态足迹已经引起相关领域学者越来越多的重视和实践探索,将对未来研究生态足迹方面发挥重要作用。不足之处在于,生态足迹是运用已有的数据所做的测试计算,对现状或已发生的状态能进行量化展示,而难以对未来进行准确预测。另外,这类计算多起源于国外研究中,国内学者在创新性研发领域还缺乏足够活力。

#### 参考文献

[1] WACKERNAGEL M, SCHULZ N B, DEUMLING D, et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy [J]. Proceedings of the national academy of sciences (USA), 2002, 99(14): 9266-9271.

[2] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out [J]. Environment and urbanization, 1992, 4(2): 121-130.

[3] WACKERNAGEL M, REES W E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996: 9-13, 40-55.

[4] WACKERNAGEL M, KITZES J. Ecological footprint [M]// JORGENSEN S E, FATH B D. Encyclopedia of ecology. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier B. V., 2008: 1031-1037.

[5] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological economics, 1999, 29(3): 375-390.

[6] REES W E, WACKERNAGEL M. Monetary analysis: Turning a blind eye on sustainability [J]. Ecological economic, 1998, 29(1): 47-52.

[7] HARDI P, BARG S, HODGE T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practice [R]. 1997.

[8] WACKERNAGEL M, ONISTO L, CALLEJAS LINARES A, et al. Ecological footprints of nations. How much nature do they use? How much nature do they have? [R]. Xalapa, Mexico, Universidad Anahuac de Xalapa, Centro de Estudios para la Sustentabilidad, 1997.

[9] SENBEL M, MCDANIELS T, DOWLATABADI H. The ecological footprint: A non-monetary metric of human consumption applied to North America [J]. Global environmental change, 2003, 13(2): 83-100.

[10] BICKNELL K B, BALL R J, CULLEN R, et al. New methodology for the

ecological footprint with an application to the New Zealand economy [J]. Ecological economics, 1998, 27(2): 149-160.

[11] 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 area' approach [J]. Land use policy, 2004, 21(3): 261-269.

[12] GASSNER A, LEDERER J, KANTITSCHAR G, et al. Extended ecological footprint for different modes of urban public transport: The case of Vienna, Austria [J]. Land use policy, 2018, 72: 85-99.

[13] HUNTER C, SHOW J. The ecological footprint as a key indicator of sustainable tourism [J]. Tourism management, 2007, 28(1): 46-57.

[14] HUNTER C. Sustainable tourism and the touristic ecological footprint [J]. Environment development and sustainability, 2002, 4(1): 7-20.

[15] COLE V, SINCLAIR A J. Measuring the ecological footprint of a Himalayan tourist center [J]. Mountain research and development, 2002, 22(2): 132-141.

[16] GÖSSLING S, HANSSON C B, HÖRSTMEIER O, et al. Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability [J]. Ecological economics, 2002, 43(2/3): 199-211.

[17] 杨开忠, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 630-636.

[18] 李利锋, 成升魁. 生态占用——衡量可持续发展的新指标 [J]. 自然资源学报, 2000, 15(4): 375-382.

[19] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776-781.

[20] 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 [J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 13-23.

[21] 于兴丽, 陈兴鹏, 蒋莉. 甘肃省 1990-2002 年生态足迹的计算与分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 100-103.

[22] 陈敏, 张丽君, 王如松, 等. 1978 年~2003 年中国生态足迹动态分析 [J]. 资源科学, 2005, 27(6): 132-139.

[23] 张绍修, 张建强, 李兵. 成都市生态足迹动态分析 [J]. 农业现代化研究, 2007, 28(2): 218-220, 228.

[24] 曲哲, 任家强, 李红丹. 基于生态足迹的朝阳市土地生态安全研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 459-461.

[25] 杜轶. 基于生态足迹的山西省可持续发展能力分析 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2005.

[26] 方恺, 高凯, 李焕承. 基于三维生态足迹模型优化的自然资本利用国际比较 [J]. 地理研究, 2013, 32(9): 1657-1667.

[27] 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 [J]. 生态学报, 2004, 24(10): 2257-2262.

[28] 陈文辉, 谢高地, 张昌顺, 等. 北京市消耗食物生态足迹距离 [J]. 生态学报, 2016, 36(4): 904-914.

[29] 焦文献, 翟漫漫, 陈兴鹏, 等. 甘肃省能源消费碳足迹变化及影响因素分析 [J]. 资源与生态学报: 英文版, 2014, 5(2): 157-162.

[30] 黄雨生, 曲建升, 刘莉娜. 中国各省份碳足迹与碳承载力差异研究 [J]. 生态经济, 2016, 32(6): 38-43.

[31] 李俊, 杜靖川, 夏爽. 新疆阿拉提镇旅游生态足迹分析 [J]. 生态经济, 2015, 31(1): 150-153.

[32] 刘莉, 邓欧平, 邓良基, 等. 2003—2011 年四川省各市(州)农业水足迹时空变化与驱动力研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(7): 1133-1141.

[33] 吴歌, 符素华, 杨艳芬, 等. 2006—2014 年延安市生态足迹和承载力变化分析 [J]. 水土保持研究, 2018, 25(6): 259-264, 276.

[34] 张恒义, 刘卫东, 王世忠, 等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算: 以浙江省为例 [J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 82-92.

[35] 张恒义, 刘卫东, 林育欣, 等. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析 [J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2738-2748.

[36] 冯娟, 赵全升, 谢文霞, 等. “省公顷”在小城镇生态足迹分析中的应用研究: 以山东省晏城镇生态建设为例 [J]. 地理科学, 2008, 28(2): 209-213.

[37] 程淑杰, 朱志玲, 王林伶, 等. 基于“省公顷”足迹变化的泾源县生态补偿定量评价 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(5): 216-220.

[38] 张帅, 董泽琴, 王海鹤, 等. 基于生态足迹改进模型的均衡因子与产量因子计算: 以某市为例 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(14): 7496-7498.

[39] 张帅, 董泽琴, 王海鹤, 等. 基于“市公顷”模型的某县级生态足迹分析 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11867-11870.