

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.04.023

## 能值生态足迹法在我国的应用现状及展望

程 丽,方江平

(西藏农牧学院 高原生态研究所 高山森林生态系统国家野外科学观测研究站,西藏 林芝 860000)

**摘要:**能值生态足迹法是对生态足迹理论改进和优化,随着能值生态足迹法的发展和不断完善,我国各个层面、各个方向都出现了大量的应用研究。本文通过回顾我国能值生态足迹的发展历程,总结近年来国内能值生态足迹的应用案例及模型创新,并对能值生态足迹法的不足之处进行了简要总结和分析;对生态足迹模型今后的应用发展进行了展望。

**关键词:**生态足迹;能值;发展进程

**中图分类号:**X171 **文献标识码:**A

**文章编号:**1003-5508(2019)04-0112-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application Status and Prospect of the Energy Value Ecological Footprint Method

CHENG li FANG jiang-ping

(Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Tibet Key Laboratory of Forest Ecology in Plateau Area, Ministry of Education, National Key Station of Field Scientific Observation and Experiment; Nyingchi Tibet 860000, China)

**Abstract:** The energy value ecological footprint method was an improvement and optimization of the ecological footprint theory. It was an improvement of the traditional ecological footprint model and overcame the shortcomings of some traditional models. With the development and continuous improvement of the energy value ecological footprint method, a large number of applied researches appeared at all levels and directions in China. The development history was reviewed about China's energy value ecological footprint, the application cases and model innovation were summarized for the domestic energy value ecological footprint in recent years, the shortcomings were also briefly summarized and analyzed, and the application development was prospected.

**Key words:** Ecological footprint, Energy value, Development process

生态足迹这个概念首先是由是加拿大生态经济学家 Rees<sup>[1]</sup>提出,由他的研究生 Wackernagel<sup>[2]</sup>进一步发展。概念经提出后,得到了广泛认可。作为一个较好的可持续发展定量分析指标,在世界范围内得到应用<sup>[3]</sup>。模型计算过程简单,结果形象直白<sup>[4]</sup>,适用性较强<sup>[5]</sup>,形成了诸多成果<sup>[6-8]</sup>。但自

理论提出以来,有关模型缺陷引发了诸多争议<sup>[9]</sup>,许多学者据此提出了相应改进<sup>[10]</sup>。

其中能值生态足迹是在传统的生态足迹法的基础上,结合 Odum 的能值分析理论<sup>[11]</sup>,糅合而成的一种新的分析方法。它克服了部分传统生态足迹模型中的缺陷,在计算中利用能值折算系数和能值转

收稿日期:2019-04-24

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0502006);西藏自治区重大科技专项(Z2016C01G01/02);西藏农牧学院研究生创新项目(YJS2019-17)

作者简介:程 丽(1994-)女,山西人,硕士研究生,主要从事可持续发展生态学研究,e-mail: xzcl0921@163.com。

\*通讯作者:方江平(1967-),男,安徽人,教授,博士生导师,博士研究生,主要从事高原区域生态规划教学与科研工作,e-mail: xzfp@21cn.com。

换率,将区域内的不同指标统一转化为太阳能值单位,这样能够比较不同指标对区域生态承载力做出的贡献。同时为了方便最终比较能值生态足迹和能值生态足迹的值,能值生态足迹法引入能值密度,将计算出的能值结果通过不同的密度转化为统一的生物生产性土地面积<sup>[12]</sup>。在应用过程中,比传统生态足迹模型计算出的结果更加精确可靠。<sup>[13-15]</sup>

能值生态足迹 (EEF) 国内最早由蓝盛芳<sup>[16]</sup> 引入,随后能值理论与方法被应用到了许多方面。总结现有的能值生态足迹模型,发现在应用中也存在很多问题,能值生态足迹法为我国社会、经济可持续发展提供了理论依据,对我国的生态安全构建起着至关重要的作用。但是国内鲜少见关于能值生态足迹的应用现状及分析,为了能值生态足迹理论更好更优的发展,就它应用现状和存在的问题进行统计分析尤为必要。

## 1 能值生态足迹法的相关研究

能值生态足迹 (EEF) 是指某一国家或地区人口所能获得的自然资源与消耗的各种资源以及消耗这些资源时所产生的废弃物对应的能值面积<sup>[13]</sup>。国内最早由蓝盛芳<sup>[16]</sup> 引入,随后能值理论与方法被应用到了许多方面。近年来,国内相继出现了许多基于这种方法的实证研究文献。研究方法不断发展完善,主要体现在以下 3 个方面

### 1.1 能值生态足迹理论的应用研究

吴景辉等<sup>[17]</sup> 对齐齐哈尔市可持续发展进行研究,利用能值生态足迹模型对 21 世纪以来的 16 年间的能值足迹变化进行计算分析,在得出齐齐哈尔市赤字趋势明显结论的基础上,通过分析能值生态足迹数据,发现齐齐哈尔市近几年发展资源利用率明显提高,其经济发展对生态环境的压力逐年减小,为今后的可持续发展道路提供了可行措施。马赫等<sup>[18]</sup> 基于生态足迹模型定量分析厦门市近 30 年的可持续发展程度,发现厦门市由生态盈余转为生态赤字。在理论分析的基础上,提出建议:厦门市要想走可持续发展路线,应及时调整现产业结构,减小发展对生态环境的破坏和过度消耗。Zhao、张芳怡等<sup>[19]</sup> 都将能值生态足迹模型应用于城市生态足迹评价,在论述中将能值生态足迹模型与传统模型相比较,得到能值生态足迹法的肯定评价。随后我国各个层面、各个方向都出现了大量的能值生态足迹应用研究<sup>[20-22]</sup>。

### 1.2 能值生态足迹模型的创新研究

一些学者在能值理论的基础上引进“能值密度”这个概念对传统的生态足迹模型进行改进<sup>[22]</sup>。但是能值密度的选择也有区分。谭德明、高阳等<sup>[23,24]</sup> 在计算中国能源消费生态足迹和全国省区生态足迹时采用的就是全球能值密度;一些学者认为在生态承载力计算中应用了全球平均的能值密度进行计算,结果虽然方便各区域之间的比较,但忽略了各区域的特性。为了解决这些问题,学者们对能值生态足迹模型进行了改进。例如刘森<sup>[25]</sup> 改进了能值生态足迹的计算方法,对能值密度进行的区域计算,称为区域能值足迹。张芳怡、张磊<sup>[17,26]</sup> 等在计算江苏省生态足迹和天津市生态足迹时选取的是区域能值密度。

为能针对性的整理环境存在的问题,找到驱动生态经济系统质量发生变化的内在动因,曹威威通过改进模型,利用账户分析,更清晰地追踪各类指标能值生态足迹、能值生态承载力以及能值盈余/赤字产生的变化<sup>[27]</sup>。

### 1.3 分析方法与其他指标结合的创新应用研究

能值生态足迹模型主要包括 3 个部分,第 1 部分是能值生态足迹 (EEF),即人类消耗的区域自然资源以及利用这些资源时所产生的废弃物对应的能值面积;第 2 部分是能值生态承载力 (EEC),即人类所能获得的区域自然资源对应的能值面积。第 3 部分将 EEF 和 EEC 转化为同一量纲单位时,二者可直接进行比较。当  $EEF > EEC$  时,称为能值生态赤字,表明该区域生态系统处于不可持续发展状态;当  $EEF < EEC$  时,称为能值生态盈余,说明区域生态系统处于可持续发展状态<sup>[27]</sup>。

尚海龙、杨青等<sup>[28-30]</sup> 人运用能值生态足迹法,同时结合灰色预测模型,对西藏牧区和东北老工业基地的能值生态足迹储值进行测算、分析及预测。定量评价能值生态足迹,明确其优势与不足。用灰色动力学模型预测其动态变化趋势,评价生态安全指数。赵志强从供需角度利用能值生态足迹法来分析区域发展情况,以深圳市为例。创造性的将人类社会生产活动也包括在评价系统内,发展完善了能值生态足迹模型<sup>[31]</sup>。

## 2 不同尺度的能值生态足迹方法动态

### 2.1 国家尺度

赵晟在 2009 年,首次站在国家生态安全层面

上,评估生态现状。将能值理论与生态足迹法相结合,分析长时间内的生态足迹变化。结果表明中国已不能满足基本可持续性的要求,而韩国能够满足这一要求<sup>[32]</sup>。同时国内评价主要有周斌<sup>[33]</sup>以2008年开始近5年的阶段评估,分析我国的可持续发展程度。

## 2.2 区域尺度

马楠以2016年陕西省的统计数据为依据,对陕西省的生态安全情况进行了计算与分析,得出陕西省对化石能源的依赖程度较高。需要改善区域生产、生活方式和消费模式,提高生物生态足迹多样性的结论<sup>[34]</sup>;王明全以国内两个省市作为案例,运用现有的生态足迹分析法分别进行评价,评价结果及其体现的生态意义差距明显<sup>[35]</sup>;徐猛等基于1990—2010的时间序列,运用能值生态足迹模型分析研究了20年间石河子绿洲的动态变化<sup>[36]</sup>,并得出了石河子已存在生态赤字的结论。此外,对于区域尤其是省市生态安全、可持续发展的研究还有很多<sup>[37-41]</sup>,为我国各省市的生态安全发展提供了有益借鉴。

## 2.3 微观层面

贺成龙应用水电工程的能值足迹模型,分析结果表明:在维持合理的投入产出情况下,三峡工程将在2026年实现生态平衡。定量评价三峡工程的社会、经济、环境影响,为今后的可持续发展提供了有益借鉴<sup>[42]</sup>。李俊杰运用能值生态足迹方法,对住宅小区各个建设阶段的环境负荷进行了定量分析,将小区的建设运营分为5个部分,在这个基础上,提出减少住宅小区环境符合的有效措施<sup>[43]</sup>。张磊监测计算了天津市2001年以来近8年居民家庭消费的能值生态足迹<sup>[44]</sup>。得到天津市居民对城市的不可更新资源依赖程度高的结论。并针对分析结果,提出对策措施,倡导绿色、健康的生活方式。

## 3 不同行业的能值生态足迹方法动态

能值生态足迹在经济活动及行业发展中的应用也极为丰富。谢雨桐等<sup>[45]</sup>以将能值生态足迹运用于物流业的科学发展中,以宁波港为例,在得到宁波港的生态赤字严重的基础上,提出对策建议。

### 3.1 农业方面

边淑娟等<sup>[46]</sup>对福建省1997年以来的10年间的农业废弃物的利用方式进行评估。分析得到农业废弃物现阶段的利用程度低,认为农业废弃物的二

次利用对福建省的农业生态健康稳定发展起着巨大的促进作用。针对计算结果,得到政府应加强引导和合理规划,统筹布局,形成长效机制,促进区域农业可持续发展。同样的将能值理论应用与农业生态健康发展的文献还包括农业可持续发展<sup>[47,48]</sup>和耕地评价<sup>[49-52]</sup>。

### 3.2 旅游业方面

张飞等<sup>[52]</sup>基于能值生态足迹模型,对藏东南旅游区2014—2016年间的生态足迹进行计算,得到藏东南旅游区的生态承载力基数大,生态现状良好,处于可持续发展状态,但仍然需要缓解旅游区内的生态压力的结论。并提出创新经济发展模式,促进产业结构转变等建议。赵建强等<sup>[53]</sup>也对旅游区生态旅游的发展状态进行定量测评,基于能值生态足迹,对旅游区进行可持续发展评估,并提出具有可操作性的可持续发展对策。

### 3.3 城市交通方面

在城市交通方面,谭志海等<sup>[54]</sup>都基于传统生态足迹模型定量分析了各城市客运交通的生态足迹、生态效率与环境压力指数,分析了变化趋势。宗刚<sup>[55]</sup>首次运用能值生态足迹法分析了北京市的公共交通发展状况,运用热力学修正原理,弥补了传统模型的缺陷。得到了更加准确的计算结果。分析结果显示北京市公共交通有较大的发展空间,且可持续发展程度较高,建议推动轨道交通的发展。

## 4 能值生态足迹分析方法的优点及不足

能值生态足迹是对传统生态足迹模型的改进,克服了部分传统模型存在的缺陷<sup>[56]</sup>。可以通过大跨度的时间序列的动态过程研究,来计算各指标的时间序列值进而追踪各个时点的可持续程度,揭示区域生态足迹变化特征与区域发展演化的内在互动机制<sup>[57]</sup>,从而来补救指标静态性的缺憾<sup>[59,60]</sup>。计算结果能更加接近真实的反应研究区域概况。但通过对比已有能值生态足迹模型<sup>[16-29]</sup>发现,能值生态足迹模型存在以下问题:

### 4.1 能值生态足迹指标分类和整合问题

随着环境足迹阵容的不断扩大,指标分类日益为各国学者所关注<sup>[60]</sup>。但具备较高共识度的环境足迹核算与整合框架尚未建立,仅从数学可行的角度来考虑指标的核算与整合,缺乏对不同足迹指标所代表的实际环境问题的认识<sup>[61]</sup>。在能值生态足迹模型中,能值生态足迹可以根据人类活动占用的

各类资源进行指标分类,而能值生态承载力因只考虑可更新资源能值无法进行细致划分,仅能核算总的能值生态承载力,造成无法区分具体各类指标的能值生态盈余/赤字,并可能产生“生态赤字/盈余幻觉”。

#### 4.2 能值密度的选取差异较大

能值密度选择方面存在区域密度和全球密度的差异,因为全球密度是选取一个时间段内模糊的平均值,代表性没有区域密度强,当能值密度选择不一时,计算结果差异较大。而在衡量区域能值生态承载力时使用区域能值密度,最终得到的结果为自身区域面积,无实际意义。

### 5 能值生态足迹分析方法的展望

能值生态足迹理论是度量可持续发展的重要方法,随着其理论不断修正完善,研究方向日益拓展,其优势和不足也凸显出来,因此,结合已有的国内外研究进展,可从以下几方面进行研究:

(1)我国的能值生态足迹相关的研究起步晚,范围侧重于区域尺度,研究的热点为生态安全和可持续发展。研究内容较为局限。随着经济全球化的趋势发展,今后的研究应关注实际,例如以全球尺度、国家领域为单位的大尺度的分析计算和广泛范围内的行业生态足迹研究方面的评估。尤其是污染账户,对环境有直接的负面影响。因此,应更加重视污染足迹、灰水足迹等研究。

(2)现有的能值生态足迹模型中,仍存在较大争议,重点在于能值密度的选择,部分学者在计算生态足迹和承载力时,密度指标选用不一致,导致计算结果不存在可比性。未来的研究重点应建立一个全面、具有高度共识的能值生态足迹模型。基于统一的模型,这样可以更大范围,更广时间跨度的横向对比分析。得到更有价值的的数据。

(3)随着区域间经济、文化、人口、物质的频繁交流,交通工具的便利大大增加了人类的活动空间。但是,交通工具对资源的消耗和对生态环境造成的压力在生态系统可持续研究中很少涉及,因此以生态足迹为基础的城市交通可持续发展问题是下一步研究的重点。

#### 参考文献:

[1] REES W, WACKEERNAGEL M. Urban ecological footprint: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability

- [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996, 16 (4-6): 223 ~ 248.
- [2] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 121.
- [3] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. *Ecological Economics*, 1999, (29): 375 ~ 390.
- [4] Wackernagel M, Yount J D. The Ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1998, 51(1/2): 511 ~ 529.
- [5] Scotti M, Bondavalli C, Bodini A. Ecological footprint as a tool for local sustainability: the municipality of Piacenza (Italy) as a case study. *Environmental Impact Assessment Review*, 2009, 29(1): 39 ~ 50.
- [6] 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(06): 132 ~ 139.
- [7] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法 [J]. *生态学报*, 2008(03): 1279 ~ 1286.
- [8] 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 [J]. *生态学报*, 2001(09): 1484 ~ 1493.
- [9] 龙爱华, 张志强, 苏志勇. 生态足迹评介及国际研究前沿 [J]. *地球科学进展*, 2004, 19(6): 971 ~ 981.
- [10] 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 [J]. *地理科学进展*, 2003, 22(6): 618 ~ 626.
- [11] Odum H T, Brown M T, Brandt-Williams S L. *Handbook of Emergy Evaluation* [J]. Gainesville, FL: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000: 147 ~ 181.
- [12] 张萌萌, 王广成. 基于能值生态足迹的区域生态承载力研究 [J]. *山东工商学院学报*, 2018, 32(04): 68 ~ 75.
- [13] 鲁帆, 焦科文, 邓灵颖, 等. 基于生态足迹模型的城市可持续发展研究——以安徽省为例 [J]. *绿色科技*, 2018(12): 237 ~ 240 + 246.
- [14] 王丽萍, 夏文静. 生态足迹的国内外研究进展 [J]. *经济研究参考*, 2018(01): 56 ~ 68.
- [15] 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 [J]. *生态学报*, 2006(08): 2716 ~ 2722.
- [16] Odum H T, Lan S F. *Emergy, Environment and Public Policy: A Guide to Analysis of Systems* [J]. Beijing: East Press, 1992: 320 ~ 270.
- [17] 吴景辉, 王耕, 于大涛, 等. 基于能值-生态足迹模型的齐齐哈尔市可持续发展水平分析 [J/OL]. *资源与产业*: 1 ~ 10 [2019-04-03].
- [18] 马赫, 张天海, 罗宏森, 等. 沿海快速城市化地区能值生态足迹变化分析 [J]. *生态学报*, 2018, 38(18): 6465 ~ 6472.
- [19] 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.
- [20] 赵桂慎, 王一超, 唐晓伟, 等. 基于能值生态足迹法的集约化农田生态系统可持续性评价 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30

- (18):159~167.
- [21] 程曼,解文艳,杨振兴,等.基于能值理论的山西省农作物秸秆生态足迹研究[J/OL].山西大学学报(自然科学版):1~13.
- [22] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002:1~76,377~418.
- [23] 谭德明,何红渠.基于能值生态足迹的中国能源消费可持续性评价[J].经济地理,2016,36(8):176~182.
- [24] 高阳,冯喆,王羊,等.基于能值改进生态足迹模型的全国省区生态经济系统分析[J].北京大学学报:自然科学版,2011,47(6):1089~1096.
- [25] 刘森,胡远满,常禹,等.基于能值理论的生态足迹方法改进[J].自然资源学报,2008,23(3):447~457.
- [26] 张磊,鞠美庭,刘沁哲,等.天津市能源消费的能值生态足迹与能源管理[J].安全与环境学报,2011,11(3):142~147.
- [27] 曹威威,孙才志.能值生态足迹模型的改进——以海南为例[J].生态学报,2019,39(01):216~227.
- [28] 尚海龙,潘玉君.西藏牧区能值生态足迹测度与互动分析[J].科学技术与工程,2019,19(02):51~58.
- [29] 杨青,逯承鹏,周锋,等.基于能值-生态足迹模型的东北老工业基地生态安全评价——以辽宁省为例[J].应用生态学报,2016,27(05):1594~1602.
- [30] 杨瑾.基于能值生态足迹的甘肃省生态安全状况研究[D].兰州财经大学,2018.
- [31] 赵志强,李双成,高阳.基于能值改进的开放系统生态足迹模型及其应用——以深圳市为例[J].生态学报,2008(05):2220~2231.
- [32] 赵晟,吴常文.中国、韩国1980—2006年能值足迹与能值承载力[J].环境科学学报,2009,29(10):2231~2240.
- [33] 周斌,陈虎.基于能值足迹模型的我国生态经济可持续发展分析[J].商业时代,2014(05):15~16.
- [34] 马楠,徐玉霞,许小明,等.基于能值生态足迹模型的陕西省生态安全评价[J].河南科学,2018,36(12):1994~1999.
- [35] 王明全,王金达,刘景双,等.基于能值的生态足迹方法在黑龙江和云南二省中的应用与分析[J].自然资源学报,2009,24(01):73~81.
- [36] 徐猛,沈艺,潘旭东.基于生态足迹的1990—2010年石河子绿洲动态变化[J].石河子大学学报,2013,30(3):301~305.
- [37] 冯芳,金爽,黄巧华,等.基于能值-生态足迹模型的湖北省生态安全评价[J].冰川冻土,2018,40(03):634~642.
- [38] 王冠.基于能值-生态足迹法的资源型城市生态安全演变研究:以河南省焦作市为例[J].中国矿业,2018,27(04):91~95.
- [39] 张英楠,郑循刚.基于能值生态足迹法的河北省可持续发展分析[J].农村经济与科技,2018,29(05):237~238+279.
- [40] 吴瑾.基于能值生态足迹的江苏省可持续发展分析[J].统计与决策,2017(24):104~106.
- [41] 朱玉林,顾荣华,杨灿.湖南省生态赤字核算与评价——基于能值生态足迹改进模型[J].长江流域资源与环境,2017,26(12):2049~2056.
- [42] 贺成龙.三峡工程的能值足迹与生态承载力[J].自然资源学报,2017,32(02):329~341.
- [43] 李俊杰,顾锦磊,张建坤,等.基于能值生态足迹模型的住宅小区环境负荷分析[J].城市问题,2015(01):49~53.
- [44] 张磊,鞠美庭,刘沁哲,等.天津市居民家庭消费的能值生态足迹动态测度与分析[J].安全与环境学报,2011,11(01):158~163.
- [45] 谢雨桐,董威,张艺凡.基于改进生态足迹法的宁波港物流生态治理研究[J].赤子(上中旬),2015(20):248~249.
- [46] 边淑娟,黄民生,李娟,等.基于能值生态足迹理论的福建省农业废弃物再利用方式评估[J].生态学报,2010,30(10):2678~2686.
- [47] 黄春,邓良基,高雪松,等.基于能值理论的秸秆利用生态足迹评估——以成都平原典型稻麦轮作区为例[J].中国生态农业学报,2014,22(06):722~728.
- [48] 焦雯璐,闵庆文,成升魁,等.传统农业地区能值生态足迹分析——以贵州省从江县为例(英文)[J].Journal of Resources and Ecology,2011,2(01):56~65.
- [49] 王燕鹏,于鲁冀,卢艳.基于能值分析的河南省耕地生态足迹动态研究[J].环境科学与管理,2010,35(10):144~148.
- [50] 王国刚,杨德刚,苏芮,等.生态足迹模型及其改进模型在耕地评价中的应用[J].中国生态农业学报,2010,18(05):1081~1086.
- [51] 段七零.基于能值分析的江苏省耕地生态足迹区域差异[J].地理科学进展,2008(04):96~102.
- [52] 张飞.基于能值生态足迹模型的藏东南生态旅游区可持续发展研究[J].西藏大学学报(社会科学版),2018,33(01):170~174.
- [53] 赵建强.基于改进旅游生态足迹模型的生态系统旅游可持续发展能值评价研究[J].生态经济,2016,32(11):108~111+130.
- [54] 谭志海,袁京,刘博.生态足迹分析方法在西安市客运交通中的应用[J].西安工程大学学报,2011,25(01):42~46.
- [55] 宗刚,李易峰.北京市公共交通生态足迹考察[J].城市问题,2013(04):54~60.
- [56] 成海涛,余传明.基于能值分析理论的生态足迹模型及其应用——以吉林省为例[J].经济视角(上),2013(01):64~67.
- [57] 张畅.基于本地生态足迹的湖南省可持续发展评价[D].中南大学,2007.[D].中南大学,2007.
- [58] 蔡懿苒.国内外生态安全评价研究进展[J].安徽林业科技,2018,44(05):25~30+34.
- [59] 崔吉峰.能源传输模式多维临界优化理论与实证研究[D].华北电力大学(北京),2009.
- [60] 方恺.环境足迹的指标分类与整合范式.生态经济,2015,31(7):22~26.
- [61] 方恺.环境足迹的核算与整合框架——基于生命周期评价的视角[J].生态学报,2016,36(22):7228~7234.