

# 基于能值分析的延吉市生态安全评价

刘雪萌<sup>1</sup> 王瀚石<sup>1</sup> 张智博<sup>1</sup> 全红梅<sup>2</sup> 金光洙<sup>3\*</sup>

1 延边大学农学院

2 延边大学理学院

3 延边大学地理与海洋科学学院

DOI:10.32629/eep.v9i2.3083

**[摘要]** 基于生态足迹理论和能值分析理论,将延吉市生态系统中的不同种类的能量流换算成与其相对应的生物生产性土地面积,通过对区域内生态足迹及生态承载力的比较,进而评估了延吉市的可持续发展潜力。研究表明,2012–2021年期间,延吉市的人均能值生态赤字持续扩大的趋势,暴露出传统发展模式与生态环境保护的深层矛盾,需构建经济–环境协同发展新模式,通过优化生态监管机制和产业转型路径。可为延吉市城市总体规划及可持续发展政策制定提供理论依据和决策支持。

**[关键词]** 能值分析; 生态足迹; 生态承载力; 延吉市

**中图分类号:** Q132.6 **文献标识码:** A

## Ecological Security Evaluation of Yanji City Based on Energy Value Analysis

Xuemeng Liu<sup>1</sup> Hanshi Wang<sup>1</sup> Zhibo Zhang<sup>1</sup> Hongmei Quan<sup>2</sup> Guangzhu Jin<sup>3\*</sup>

1 College of Agricultural, Yanbian University, Yanji, Jilin

2 College of Science, Yanbian University, Yanji, Jilin

3 College of Geography and Marine Science, Yanbian University

**[Abstract]** This paper takes Yanji City as the research area. Based on the ecological footprint theory and energy value analysis theory, different types of energy flows in the ecosystem of Yanji City are converted into the corresponding biologically productive land area. By comparing the ecological footprint and ecological carrying capacity in the area from 2012 to 2021, the sustainable development potential of Yanji City is evaluated. Studies show that over the past 10 years, the trend of the continuous expansion of the per capita energy value ecological deficit in Yanji City has exposed the deep-rooted contradiction between the traditional development model and ecological environment protection. Therefore, it is necessary to construct a new model of coordinated development between the economy and the environment. By optimizing the ecological supervision mechanism and the industrial transformation path, it can provide theoretical basis and decision support for the formulation of the overall urban planning and sustainable development policies of Yanji City.

**[Key words]** Energy analysis; Ecological Footprint; Ecological carrying capacity; Yanji

## 引言

生态足迹又称生态空间占用,即生态足迹的需求,指生产一定人口消耗的资源及吸纳产生的废弃物所需的具有生物生产力的地域空间面积。人类维持生存的前提是耗费掉源于自然界生产出来的各式各样的物品及服务,且每一次耗费掉的量都能折合产生这些产物的原始物质与产生能量的生物生产性土地面积。在20世纪90年代末,我国研究人员开始采用生态足迹方法定量的应用生态承载力。大多采用生态足迹分析的方法,将可持续性测度转化为具体的指数计算,从而动态测度该区域未来土地生态承载力情况。生态足迹可以直接与生态承载力进行比较,

两者都是根据生物生产性土地的面积来衡量的。一个地区若生态足迹高于生态承载力,便会形成生态赤字现象,若生态足迹低于生态承载力,便会形成生态盈余现象<sup>[1]</sup>。前者代表这个地区生态环境的承载力已经超负荷。解决这个问题有两种较为合适的办法,一是有针对性的从外部地区进口进购稀缺资源,来恢复生态平衡,二是采取耗费当地环境资源的方式来供给流量,填补缺失<sup>[2]</sup>。在全球经济迅速发展的背景下,人口数量也一直处在高速增长的状态中<sup>[3]</sup>。人口数量越庞大,全球生态系统受到的干预就越严重。人类的进步、经济的发展会对自然生态环境造成负面影响,人们意识到生态环境对于压力有一个能承受极限的点,若

外界压力太大那么生态自然环境自身的调节能力小于恢复能力就会失去了作用<sup>[4]</sup>。让社会走上可持续发展道路,首先是减少人类对大自然的干预。生态安全研究不再只局限于生态系统范畴,而是拓展到环境与社会经济系统。国际已将生态安全纳入国家安全体系,在国家安全大局中占有重要地位<sup>[5]</sup>。高吉喜2001年认为在特定区域内,生态承载能力所研究的生态系统应包括资源、环境和社会3个子系统,而其生态系统的承载能力的要素也应当从这三个方面进行研究<sup>[6]</sup>。对生态系统的发展情况准确细致的评估也是尤为关键的<sup>[7]</sup>。环境可持续性的度量也从定性的分析逐渐过渡为定量的分析。

20世纪末,Wackernagel (1996)<sup>[8]</sup>等设计了一个生态足迹模型,其中包括物种多样性、生态系统的循环等,这样系统全面地研究结果会更具有说服力。逐渐被视为研究生态环境可持续发展情况的良好方法。杨友孝、蔡运龙(2000)<sup>[9]</sup>曾指出系统不论种类,都可以看作是能量系统,不管是组成成分还是应用过程,都离不开能量的转移转换;能量还能够帮助人们探索人与自然的关系<sup>[10]</sup>。20世纪80年代生态学界在国际中提出了一个新的名词——能值,并将其完善成新的理论方法,拓宽生态系统和生态经济系统的定量分析的研究道路<sup>[11]</sup>。

本研究以延吉市为研究区域,通过2022延边州统计年鉴数据,基于能值分析法评估近十年期间延吉市的生态承载力及生态足迹,对比分析评价估算延吉市的生态盈余或生态赤字状况,衡量延吉市的可持续发展状况。研究结果可为延吉市生态安全预警、城市可持续发展研究提供理论依据和决策支持。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域

延吉市是延边朝鲜族自治州的首府城市,是全国著名的具有影响力的全州政治、经济、文化中心。延吉市人口总数超57万,占地总面积达1748.3 hm<sup>2</sup>。其地理位置优越,矿产资源森林资源充足。地处吉林省东部,位于长白山区北麓。受高纬度及盆地地形影响,四季差异明显。该市东部为山地,西部与南面环山,中部为平原。土壤类型以灰棕壤、水稻土及草甸黑土为主。独特的地理环境使其成为东北地区重要的生态与经济交汇带。延吉市位于长白山区域,区域内富有大片森林以及丰茂的草原,其森林和矿物质资源及野生特产也丰富多样。

### 1.2 生态足迹分析

生态足迹又称作生态占用,就是能够持续地提供资源或消纳废物的、具有生物生产力的地域空间(biologically productive areas),含义是维持一个人、地区、国家的生存所需要的或者指能够容纳人类所排放的废物的、具有生物生产力的地域面积。生态足迹估计要承载一定生活质量的人口,需要多大的可供人类使用的可再生资源或者能够消纳废物的生态系统,又称之为适当的承载力。

生物生产性土地面积是生态足迹法并为各种自然资源提供统一测量基础的依据,指具有生态生产能力的土地或水体。可以分为六个主要部分,分别是①耕地(cropland)是可以积累最多

的生物量的土地类型,主要用于种植谷物和其他农作物。②草地(grazing land)是适用于发展畜牧业的土地。③林地(forest land)是指可以生产木材的天然树林或是人造森林。④建筑用地(built-upland)是指我们人类所建的各类设施、工业等所占用的土地统称为建筑用地。⑤水域/海洋(fishing ground)可供我们人类使用的生态生产性水域面积极少。8.3%水域提供了全海洋95%的生物产品。⑥化石能源用地(fossil energy land)指用来吸纳化石燃料所燃烧产生的CO<sub>2</sub>的生物生产性土地。化石能源对生态环境的影响表现为CO<sub>2</sub>等温室气体排放造成的温室效应。消除影响就需要林地具有茂密植被覆盖的一种土地来吸收掉这些具有污染性的气体,所以化石能源消费的土地占用的是林地<sup>[12]</sup>。

应用生态足迹研究方法首先要计算区域的能值密度。在计算区域总能值时考虑了四种可再生资源的能量值<sup>[13]</sup>: 太阳辐射能、雨水化学能、雨水势能及地球转动能。其公式为:  $p_2 = \text{区域总能值} / \text{区域土地面积}$ ,接着将各类消费项目的人均能值转换为与之相对应的生物生产性土地面积。对生态足迹进行运算时,涉及到的消费项目有很多种,但大多都包含能源和生物资源消费。前者大多涵盖电力、原油等方面,后者大多是水产品、林产品等<sup>[14]</sup>。

其计算公式(1)是:  $Ef = \sum ai = \sum (ci / p_2)$  (1)

式中Ef为人均生态足迹, i为消费项目类型, ai为第i种资源的人均生态足迹, ci为第i种资源的人均能值, p<sub>2</sub>为区域能值密度。

### 1.3 生态承载力分析

近年来能值分析在可持续发展研究方面已得到较为广泛的运用。(1)在对能值进行运算时,不同的能量之间需要通过相同的太阳能值转换率来转换成同一个值,其中太阳能值转换率(UEV)指的是Isuit产品形成或劳务形成所需要的太阳能值;某种产品的UEV等于其能值除以其能量,单位为scj/suit。该类物品的总能值用。

公式(2)表示: 能值=可用能源或物品质量×能值转换率(2)

能值的运算过程中会触及到各类数据如降雨量、太阳辐射以及社会经济因素。通过将能量转换率乘以给定物体的能量,将能量转换为其等效的能量值。将整个过程的运算格式为: 能值=某有效能×能值转换率。研究区域总能值计算公式用。

公式(3)表示:  $\sum EmT = \sum Emi = \sum Ei * Tri$  (3)

EmT表示社会—经济—自然复合生态系统的总能值, Emi表示第i项产品的能值; Ei表示第i项产品的物质量; Tri表示第i项产品的能值转换率。

(2)生态承载力分析。生态承载力以多种形式被应用于生态学、人口学都市领域以及区域规划领域<sup>[15]</sup>。指在一定环境条件下和区域内,某种生物个体动态变化可反映出生态的承载力<sup>[16]</sup>。生态承载力可将其分为可再生资源和不可再生资源。随着人类对资源的不断利用,不可再生资源会逐渐的减少,只有充分使用可以再生更新的资源,生态承载力才具有可持续性<sup>[17]</sup>。

公式(4)为:  $E_c = e/p_1$  (4)

式中,  $E_c$ 是人均生态承载力,  $e$ 是可再生和不可再生资源的人均太阳能值,  $p_1$ 是全球平均能值密度。

#### 1.4 生态赤字或盈余分析

生态赤字或生态盈余就是将平均每个人的生态足迹和对于生态的承载能力二者比较的结果, 可以用生态足迹与生态承载力作差可以计算出生态赤字或生态盈余。通过上述运算得出的结果判断该区域发展状态是否为可持续性。各消费项目的人均生态足迹的结果整理发现生态系统的赤字或盈余能够更直观地反映出目标地区的可持续发展情况。

#### 1.5 数据来源

该研究基础数据及部分资源来源均为《延边州2022统计年鉴》<sup>[18]</sup>。收录了全州和州内8个县市历年的经济和社会各方面的统计数据。更具准确性和说服力, 用于分析结果更精准。

## 2 结果与讨论

### 2.1 延吉市生态足迹

本文利用生态足迹的模型计算出延吉市人均生态承载力、延吉市人均生态足迹, 再计算出人均生态赤字/盈余进而可得出延吉市可持续发展的指数。计算出粮食、烟叶等各种消费项目相加, 再除以地区人口就可以计算出地区人口消费能值, 除以全球平均能值密度, 即可以得出人均的生态足迹(EF)<sup>[19]</sup>。能源生态足迹指的是人类的一系列生物生产性的行动造成的废弃物品等在生态系统的承载能力的一种吸收能力的需求; 生物资源生态足迹是指人类的一系列生产性的活动对自然资源的承载能力的一种需求<sup>[20]</sup>。2021年延吉市的土地总面积为1748.3 hm<sup>2</sup>, 总人口为560662人。根据式(4)计算出人均生态承载力从而得出2021年延吉市的人均生态承载力为0.583 hm<sup>2</sup>。延吉市年总能值为8.903×10<sup>12</sup> sej。因此根据 $p_2 = \text{区域总能值} / \text{区域土地面积}$ 可以计算得到延吉市的能值密度为 $p_2 = 5.092 \times 10^9 \text{ sej} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。最后根据式(1)计算2021年延吉市各种消费项的人均生态足迹。依托人均生态足迹模型中运算过程及公式, 相应得出该延吉市2012-2021年各土地类型人均生态足迹。

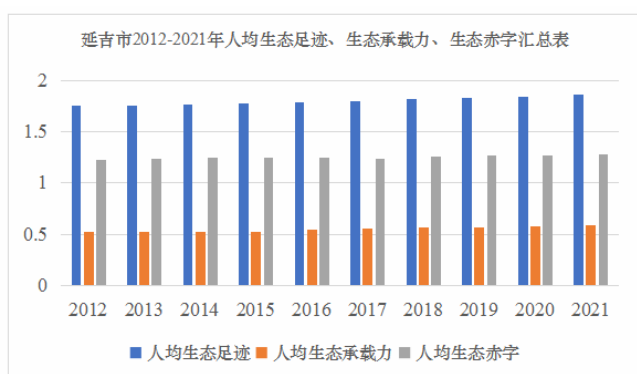


图1 延吉市2012-2021年人均生态足迹、生态承载力、生态赤字汇总表

### 2.2 延吉市生态承载力

人均生态承载力在扣除了12%的生物多样性保护地后实际可供利用的面积为0.583 hm<sup>2</sup>。即2021年延吉市人均生物承载力为0.583。因此可得出2021年延吉市的生态足迹超过生态承载力。人均生态赤字为1.277 hm<sup>2</sup>。由图1可以看出, 2012年到2021年的延吉市的人均生态承载力整体呈上升趋势, 由2012年的0.5241 hm<sup>2</sup>/人上升到2021年的0.5832 hm<sup>2</sup>/人。延吉市人均生态承载力的动态变化是生态因素与人类社会因素的复合作用。

### 2.3 延吉市生态赤字或盈余

逐年增加的生态赤字表明延吉市的资源过度开发, 生态赤字的存在表明延吉市人民对生态环境的影响超过了生态承载力的范围。由计算得知延吉市草地匮乏, 草地的生态赤字情况严重; 处在生态盈余状态的林地资源的开发空间较大。森林资源可以适度开发利用, 在生态环境可承载的范围内合理完善旅游产业, 推动区域经济协同发展。近年来延吉市的人民生活水平提升, 物质需求也随之增大。尤其是水产品方面, 其需求量已由2012年的0.029793 hm<sup>2</sup>/人, 发展到2021年的0.146896552 hm<sup>2</sup>/人, 造成了水域的生态赤字; 建筑用地也转换成生态赤字状态。在这些能源中化石能源用地生态赤字占比最多。促进区域能源消费向清洁型能源转型是大势所趋, 需缩小CO<sub>2</sub>排放量使生态赤字减小。转化能源发展的基础就是应科学把控能源的开采及利用, 选择环保型能源。加强城市与城市之间的交流合作。严格把控能源消耗与使用, 引进其他城市的优秀的低碳技术, 创建低碳产业模式。推动高新技术产业发展, 资源整合开发利用, 全面维护当地生态环境。

## 3 结论

对延吉市2012-2021年的能值生态承载力、能值生态足迹、能值生态赤字等进行了长时间序列的研究。发现10年来延吉市的生态承载力变化比较平稳; 而生态足迹有轻微的波动幅度且总体上呈现出上升的趋势, 但变化不明显。通过人均能值生态足迹计算出2012-2021年延吉市一直处于生态赤字的态势中, 其中2021年的生态赤字最大值为1.27 hm<sup>2</sup>, 上升最明显的是2018年的1.26 hm<sup>2</sup>, 下降最为明显的是2017年的1.23 hm<sup>2</sup>。延吉市的经济发展的第一、第二产业占据了重要的地位, 而它们对生态环境的影响是非常大的。工业的发展无法避免对生态环境造成污染与破坏, 使自然的承受力出现变化, 同时生态足迹增长。由于产业结构的不合理, 延吉市的节能减排的任务压力极大。在不降低人们生活水平, 保证延边地区的经济发展为前提的基础上, 可采取相应措施来逐步减少人均生态足迹和降低生态赤字, 提高可持续发展能力。

延吉市需转换并加强经济发展模式。处理好工农业和生态环境之间的关系, 提高资源利用效率。支持新型产业的发展。同时治理生态环境问题, 并保证耕地数量。对当地的高标准农田耕地进行保护的同时加大管理力度。产业发展方面积极与邻近城市群合作, 建立产业协同发展机制, 引进有利于自身发展的企业, 重点培育具有区域特色的生态旅游、绿色食品加工等环境友好型产业集群, 有序推动高耗能产业转型升级, 适当将污染严重的

工业项目迁出,有利于恢复延吉市的生态承载力,减少延吉市的生态足迹。

#### [基金项目]

国家自然科学基金项目(21966031);吉林省教育科学十四五规划课题(GH23584)。

#### [致谢]:

感谢国家自然科学基金项目的支持;感谢转载和引用权的资料、图片、文献、研究思想的所有者。

#### [参考文献]

- [1]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.
- [2]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.
- [3]王建源,陈艳春,李曼华,等.基于能值分析的山东省生态足迹[J].生态学杂志,2007(09):1505-1510.
- [4]吕弼顺,刘成彬,程火生,等.延吉市生态足迹分析与生态承载力研究[J].延边大学农学学报,2009,31(02):124-129.
- [5]和春兰,饶辉,赵筱青,等.中国生态安全评价研究进展[J].云南地理环境研究,2010,22(03):104-110.
- [6]高吉喜著.可持续发展理论探索.生态承载力理论、方法与应用[M].2001.
- [7]张晓琴.基于能值分析的风电场生态足迹研究[D].兰州:兰州理工大学,2020.
- [8]李昭,蔡涛,侯鹏,等.基于生态足迹的延吉市土地生态承载力评价[J].延边大学农学学报,2012,34(02):107-111.
- [9]邓晓军,陆永权,吴道宁,等.2004—2010年广西能值生态足迹动态分析[J].广东农业科学,2013,40(16):167-170.
- [10]林沛钧.基于能值分析的大连市可持续发展水平研究[D].大连理工大学,2014.
- [11]Bicknell B, Ball R. J. New methodology for the ecological fo-

otprint with an application to the New Zealand economy[J]. Ecological Economics, 1998.27(2):149-160.

[12]倪瑛,王伟.基于能值分析的生态足迹模型改进及应用——以我国西南地区为例[J].云南财经大学学报,2013,29(02):129-135.

[13]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——以江苏省为例[J].自然资源学报,2006(4):653-660.

[14]马进.基于能值分析的西宁市2001-2011年生态足迹研究[D].青海师范大学,2013.

[15]吕斌,孙莉,谭文垦.中原城市群城市承载力评价研究[J].中国人口·资源与环境,2008(05):53-58.

[16]高鹭,张宏业.生态承载力的国内外研究进展[J].中国人口·资源与环境,2007(02):19-26.

[17]胡小飞,代立民,陈伏生,等.基于生态足迹模型的延边林区可持续发展评价[J].生态学杂志,2006(02):129-134.

[18]延边朝鲜族自治州统计局.延边统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2022.

[19]Gyllenhammar A, Hakanson L. Environmental consequence analyses of fish farm emissions related to different scales and exemplified by data from the Baltic—a review. [J]. Marine environmental research. 2005.60(2):211-43.

[20]Berg H, Michelsen P, Troe M, et al. Managing apiculture for sustainability in tropical Lake Kari, Zimbabwe[J]. Ecological Economics, 1996.18(2):141-159-18.

#### 作者简介:

刘雪萌(2001--),女,满族,吉林白城人,硕士研究生,研究方向为多环芳烃的分布特征及来源解析。

#### \*通讯作者:

金光洙(1973--),男,朝鲜族,吉林和龙人,副教授,博士,研究方向为环境化学、环境分析、环境评价。