

基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估

吴隆杰

(中国海洋大学 生命科学与技术学部, 山东 青岛 266003)

摘要 为定量评估我国可持续发展状况,本研究在总结以往生态足迹分析方法的基础上,提出一个新的评估可持续发展程度的指标——生态足迹指数。生态足迹指数是指一定区域的生物承载力与生态足迹的差额占生物承载力的百分比,可视作为区域今后保留的可持续发展的能力的百分比;设定其状况可确定可持续发展的关系值:大于0且小于等于100%为弱可持续性和强可持续性,小于0为不可持续性和严重不可持续性,等于0为边际可持续性。由于本方法为单指标分析方法,所以具有较好的分析、比较功能,而且能够为制定或调整可持续发展战略、政策和对策提供定量(百分比)依据。通过计算时间序列上的不同年份的生态足迹指数,可用来反映其可持续发展程度的变动及进行趋势预测,进而提出政策和战略建议。对1962—2001年我国生态足迹指数计算的结果表明:我国生态足迹指数在时间序列上呈显著下降趋势,先从1962年的46%逐步下降到1975年的11%,继而在1975年至1980年之间降为负值,再从1980年的-6%逐步下降到1995年的-62%,达到本期谷底,2001年虽然回升到-45%,但总的可持续发展状况逐渐恶化,由1962年的强可持续性转变为不可持续性。

关键词 生态足迹指数;生态足迹;生物承载力;土地资源管理;可持续发展动态评估

中图分类号 F 301; F 323.2; X 24

文章编号 1007-4333(2005)06-0094-06

文献标识码 A

Dynamic evaluation of China sustainable development based on the ecological footprint index

Wu Longjie

(Life Sciences and Technology College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract Based on the theory and method of the ecological footprint (EF), ecological footprint index (EFI), is developed as a new indicator for quantitative evaluation of China sustainable development. The index is the percentage of the difference between bio-capacity and ecological footprint in bio-capacity in a region, considered as a remained capacity of sustainable development in the region as well. It can be used for evaluating more exactly the capacities of regional sustainable development. The larger the index indicates the higher sustainable development of the region. In contrary, the smaller the index, the lower sustainable development the region has. $EFI = 100\%$ indicates non human being disturbance. $EFI = 0$ implies marginal sustainable development. The yearly changes of the index show the changes of regional sustainable development and its tendency. The results of a case study in China showed that the index decreased from 46% in 1962 to -46% in 2001, which indicated a decreasing sustainability.

Key words ecological footprint index; ecological footprint; bio-capacity; land resource management; dynamic evaluation of sustainable development

生态足迹(ecological footprint, EF)分析法最初是加拿大英属哥伦比亚大学 Rees 教授和 Wackernagel 博士于 20 世纪 90 年代在《我们的生态足迹》等著作^[1-2]中提出并完善的一种测度人类消费活动

所需的土地及水域面积,进而测度人与自然关系和可持续发展程度的方法。它是一组基于消费需求直接或间接转化为土地面积的量化指标,它把地球表面的生物生产性土地分为 6 类:建设用地、近海水

收稿日期:2005-07-26

作者简介:吴隆杰,研究员,主要从事生态足迹指数和可持续发展评估研究, E-mail: wu. longjie @yahoo. com. cn

域、草地、林地、农用地和能源用地(包含用于化石和植物能源燃烧释放 CO₂ 的吸收循环用地和水电、核电的建设用地)^[1,3]。生态足迹的现有计算方法有综合法、成分法和投入产出法^[4-6]等。其中综合法由 Rees 和 Wackernagel 于 20 世纪 90 年代提出^[1], 适用于全球、国家和区域层次的生态足迹研究;成分法在综合法之后,由 Simmons 和 Chambers 于 1998 年提出并由 Lewis 和 Barrett 进一步完善^[7],适用于城镇、村庄、学校、公司、个人或单项活动的生态足迹研究。生态足迹的分析用生物承载力与生态足迹的差额——生态赤字(或盈余)——评估某区域的可持续发展程度,其中,当差额为小于 0 时称为生态赤字,处于不可持续发展状态;当差额大于 0 时称为生态赢余,处于可持续发展状态。

本研究根据生态足迹的理论与方法,首次提出用生态足迹指数方法评估某区域发展的可持续性的程度(百分比)。相对于物质流分析^[8]和生态足迹分析法,分别为可持续发展的体积概念(或质量概念)和面积概念而言,本研究提出的生态足迹指数方法就是可持续发展的长度概念(百分比概念)。生态足迹分析法问世以来得到国际学术界和各国政府的广泛关注和积极响应,研究也在迅速扩展。2000 年以来世界自然基金会(World Wide Fund for Nature, WWF)和重新定义发展组织(Redefining Progress, RP)两大世界非政府组织分别公布了部分国家的生态足迹计算结果,具有较大的国际影响。其中,WWF 分别在《生命行星报告 2000》^[9]《生命行星报告 2002》^[10]和《生命行星报告 2004》^[11]上公布了约 149 个国家或地区的生态足迹和生物承载力数据;RP 在《国家生态足迹 2001》^[12]和《国家生态足迹 2002》^[13]上分别公布了 52 和 146 个国家或地区的生态足迹和生物承载力数据,而《国家生态足迹 2004》^[14]也公布了 138 个国家或地区的生态足迹数据,生态足迹概念 1999 年引入国内,研究成果最早见于 2000 年^[15],后来研究范围逐步扩大到全国所有省级行政区和部分市、县等^[16-18]。亦有机构或学者对生态足迹进行动态研究,但未发现以生态足迹指数研究可持续发展的静态和动态的文献。但是,由于生态足迹动态研究是定性的分析,无法进行定量的描述,不足以对决策提供定性参考。本研究旨在为定量评估可持续发展状况,提出一个新的评估可持续发展程度的新指标——生态足迹指数分析方法。

1 生态足迹指数动态分析方法

1.1 问题的提出

如引言所述,生态足迹分析法只能定性评估某区域的可持续发展程度。因此,需要寻找一个可以在一定程度上定量评估的方法。本研究在大量研究国内外生态足迹分析方法的基础上,首次提出用生态足迹指数方法评估某区域可持续发展的程度。首先计算生态足迹和生物承载力,再计算生态足迹指数并进行分析。

1.2 生态足迹和生物承载力的计算

1.2.1 计算步骤

1) 计算各类消费所需要的土地 S_i :

$$S_i = C_i / Y_i = (P_i + I_i - E_i) / Y_i^{[19]} \quad (1)$$

式中, C_i 为第 i 项消费总量; Y_i 为 i 的土地初级生产力; P_i 为 i 的可用于消费的当地的生产总量(应扣除当年的储备量,并加上上年的结余量); I_i 和 E_i 为 i 项消费的进、出口量。

2) 计算总土地占用 S_i :

$$S_i = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6^{[19]} \quad (2)$$

式中, S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 和 S_6 分别为建设用地、近海水域、草地、林地、农用地和能源用地。

3) 折算为生态足迹 EF :

$$EF = S_i \times f_i / P^{[19]} \quad (3)$$

式中, f_i 为各类土地的等量因子; P 为人口, EF 的计算单位为人均全球性公顷(global hectare/person, gha/person)。

4) 计算生物承载力 BC :

$$BC = S_i \times f_i \times f_i (1 - 12\%) / P \quad (4)$$

式中, S_i 为各类土地供给, f_i 为土地产量因子, 减 12% 系为生物多样性保留的面积, 其计算单位也为人均全球性公顷(global hectare/person)。

1.2.2 生态足迹计算中的生物生产性土地分类

WWF 在《生命行星报告 2000》中把生物生产性土地分为农用地、牧草地、林地、水产用地(水域)、吸收 CO₂ 用地和建设用地;在《生命行星报告 2002》中的分类的前 4 项和第 6 项仍沿用 2000 年的名称,而把第 5 项改为总能源用地,其中包括吸收化石能源燃烧释放的 CO₂ 用地、燃料林用地、核电的建设用地、水电的建设用地 4 小项;在《生命行星报告 2004》中的分类改为 3 项:总食品、纤维、木材用地及总能源用地、建设用地,总能源用地的小项同 2002

年,总食品、纤维、木材用地则包括农用地、牧草地、林地、水产用地(水域)。近年来新增加的核电和水电用地的计算存在着很大的争议,一般对这两项只计算建设占地,实际上由于存在核泄漏的风险而需要预留相当数量的安全用地,并需要计算核废料处理及堆放用地等;水电占地计算中因蓄水造成的占地有时也被忽略了。

1.3 生态足迹指数的计算

本研究在大量研究国内外生态足迹分析方法的基础上,首次提出用生态足迹指数方法评估某区域可持续发展的程度。生态足迹指数(Ecological Footprint Index, EFI)指一定区域的生物承载力与生态足迹的差额占生物承载力的百分比,可视为区域为今后保留的可持续发展能力的百分比。其含义也可以表述为净生物承载力(net bio-capacity, NBC),占生物承载力的百分比。其计算公式如下:

$$EFI = [(BC - EF) / BC] \times 100\% = (NBC / BC) \times 100\% \quad (5)$$

EFI 的值可以 $0 < EFI < 100\%$ 、 $= 0$ 或 < 0 。

1.4 生态足迹指数静态分析方法

EFI 理念的引入,使原来使用 EF 及 BC 2 个指标才能测度可持续发展程度的功能,用 EFI 指标就能进行静态的定量(百分比)评估:

1) 当 $0 < EFI < 100\%$ 时,表示有一定百分比的富余的生物承载力可以支持未来的生态足迹增长,区域处于可持续发展状态; $EFI = 100\%$ 表示的是一个人类生态足迹很小而至于可以忽略不计的区域,例如,无人居住的岛屿。其中,当 EFI 的值较大时(比如 $20\% < EFI < 100\%$) 时,可称为区域处于强可持续发展状态,例如,大部分为亚马孙河冲积平原的玻利维亚,面积为 110 万平方公里,人口只有 800 多万人,根据文献[11]计算的生态足迹指数达到 92%,位列 149 个国家或地区之首位,有巨大的发展空间;当 EFI 的值较小(比如 $0 < EFI < 20\%$) 时,例如挪威等国,生态足迹指数在 10% 左右,处于弱可持续发展状态。

2) 当 $EFI < 0$ 时,表示该区域的生物承载力不足以支持当地的生态足迹,亦即区域处于生态赤字和/或生态超载状态,必须通过扩大进口和/或动用自然资本存量来平衡一部分生物承载力的差额,区域处于不可可持续发展状态。其中,当 $EFI < -100\%$ 时,可称为区域处于严重不可可持续发展状态。例如,根据文献[11]计算的生态足迹指数低于

-100% 的国家和地区有 27 个,其中科威特最低,为 -3067%,这些国家均须靠大量进口大部分工业品和几乎全部生活必需品来维持已经形成的高消费的生活方式,对出口国构成生态负担。

3) 当 $EFI = 0$ 时,区域处于可持续发展和不可可持续发展状态的临界点,其生活消费方式、消费、贸易、人口、生物承载力等因素的些许变化均会引起区域可持续发展状态的转变。当然,在计算足够精确的情况下,一般不存在 $EFI = 0$ 时的情况。

1.5 生态足迹指数动态分析方法

生态足迹指数动态分析方法系指,按照时间序列,对不同年份的生态足迹指数进行动态研究,进而对可持续发展趋势进行分析、评估。

根据 EF、BC 的应用范围,估计生态足迹指数动态分析方法可用于全球、国家、区域、城镇、村庄各层次的生态足迹及生物承载综合研究;由于不方便计算生物承载力,所以生态足迹指数动态分析方法不适合针对学校、公司、个人、商品或单项活动的研究。

1.6 数据来源

如果从生态足迹开始计算,则数据来源同计算生态足迹的数据来源。

当然,就好像利用统计资料一样,也可以直接利用前人的研究成果提供的生态足迹和生物承载力数据,进行生态足迹指数动态计算、分析。

这 2 种来源对生态足迹指数的计算结果并无影响。为简便起见,本文采用后一种来源。

2 中国可持续发展动态评估

2.1 基于生态足迹指数的中国可持续发展动态分析

经对刘宇辉等学者《中国历年生态足迹与发展可持续性评估》^[20] 中生态足迹和生物承载力的计算方法与其引用的考文献进行反复审查,认为其计算方法符合本文引用的有关文献提出的生态足迹理论和计算方法,因此,可以直接利用其生态足迹和生物承载力的计算公式/方法,进行生态足迹指数的计算。例如,刘宇辉等学者计算的我国 2001 年的生态足迹和生物承载力分别为 1.410、0.974 人均全球性公顷,与《生命行星 2004》^[10] 计算的我国 2001 年的生态足迹和生物承载力分别为 1.5、0.8 人均全球性公顷的误差比较少。据此,按照上述 EFI 模型和公式(5),对我国 1962 年至 2001 年的生态足迹指数进行了计算、分析(表 1、图 1)。结果显示:我国生态足

迹一直呈增长趋势,而生物承载力从1962年的人均1.5107全球性公顷下降到1975年的人均1.0073全球性公顷后,基本维持在接近人均1全球性公顷,相应地,生态足迹指数从1962年的46%逐步下降到1975年的11%,在1975年至1980年之间变为负值,再从1980年的-6%逐步下降到1995年的-62%,达到谷底,2001年虽又回升到-45%,但总的生态足迹指数呈显著下降趋势,特别是在1975年后在生物承载力变动不大的情况下,由可持续发展状态渐变为大量消耗自然资本存量和通过净进口石油等资源以平衡生态足迹的不可持续发展状态。

表1 1962—2001年中国生态足迹指数的变化

Table 1 China ecological footprint index in 1962—2001

年份	生态足迹 (全球性公顷/人)	生物承载力 (全球性公顷/人)	生态足迹 指数/ %
1962	0.811	1.511	46
1965	0.801	1.311	39
1970	0.805	1.279	37
1975	0.892	1.007	11
1980	0.991	0.935	-6
1985	1.072	0.936	-15
1990	1.202	0.881	-36
1995	1.426	0.883	-62
2001	1.410	0.974	-45

资料来源:1、生态足迹、生物承载力的数据来源于文献[10];2、生态足迹指数系根据公式(1)计算。

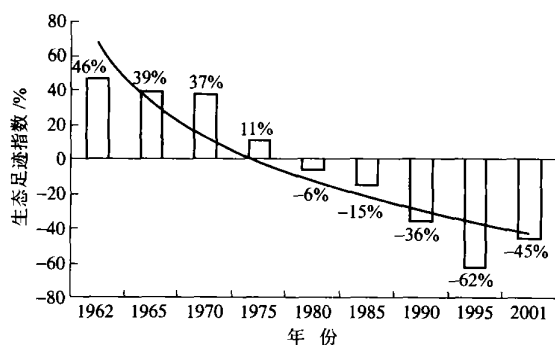


图1 1962—2001年中国生态足迹指数变动图

Fig. 1 China ecological footprint index in 1962—2001

2.2 我国1962—2001年生态足迹指数急剧下降的原因分析

造成我国1962—2001年生态足迹指数急剧下降,发展状态由强可持续性渐变为不可持续性的原

因,主要有以下几个方面:

1) 人口剧增。自1962年、1987年起,我国人口进入第二、三次生育高峰,出生人口增加;而且由于生活质量提高和医疗条件改善,预期寿命延长,导致我国40年来人口剧增。年末总人口由1962年的6.73亿人增加到2001年的12.76亿人^[21-22],增长了近1倍。随着人口的增加,对各种资源的消耗逐渐增加。

2) 生活水平迅速提高。1978年后出现了生产、出口快速增加和消费快速扩大的局面,致使对粮食、木材、畜产品、水产品和能源等资源的消耗增加。例如,根据刘宇辉等^[10]计算,2001年草地、能源、水域和林地的生态足迹分别比1962年增长了6.82倍、2.59倍、0.55倍和0.32倍。

3) 资源价格长期偏低。长期以来国家对资源定价偏低的惯性作用,使资源价格长期偏低,导致资源被过度消费、出口和严重浪费的现象长期存在。

4) 土地利用不合理。由于人口压力加大,大面积草地、林地被开垦为耕地,渔业也由于掠夺性捕捞和陆源性污染加剧而导致资源几近枯竭。这均导致生物承载力连年下降。

3 结论

3.1 应采取多种措施,提高生态足迹指数,实现长远的可持续发展

从上述计算和分析结果看出,我国生态足迹指数连年下降。因此,我们应强化可持续发展理念,降低人口数量、减少人均消费、提高太阳能等新能源消费比重,开发更高效的资源利用技术并辅之以道德、经济、科技等手段,提高生物承载力的利用效率,以逐步提高生态足迹指数,实现人类社会长远的可持续发展。

3.2 生态足迹指数动态分析方法的适用范围和局限性

3.2.1 适用范围

1) 生态足迹指数方法提供了一种新的思考角度和框架工具,它对于人类社会全面和完整地理解自然资本与发展的可持续性的逻辑关系有很大帮助。

2) 生态足迹分析方法是一种2个指标的可持续发展评估方法,可比性差。而生态足迹指数分析方法则很好地解决了可持续发展状况的比较问题,作为单指标的可持续发展测度、评估工具,它非常适合于进行各种比较研究,而且比较范围可以比较宽,既

可以进行各种地理区之间的静态比较,也可以进行同一地理区时间序列上不同年份之间的动态比较,评估其可持续发展状况的变动趋势。

3)生态足迹指数分析方法初步提出了可持续发展状况的评估标准。不同的生态足迹指数从高到底,依次对应强可持续性、弱可持续性、临界可持续性、不可持续性和严重不可持续性发展状况。当然,评估标准中强可持续性、弱可持续性和不可持续性和严重不可持续性之间的边沿划分,可以进一步研究调整。

4)由于生态足迹指数对可持续发展状况进行了很好的定量(百分比)描述,可成为制定调整可持续发展战略、政策、对策的重要的定量依据。

3.2.2 局限性

1)生态足迹指数的应用范围较窄,只适合对那些能够同时计算生态足迹和生物承载力的地理区进行可持续发展状况的评估。

2)生态足迹指数方法用百分比衡量可持续发展状况,虽然便于比较,但是,由于指标过于精简,可能会忽略区域内部的特征性差别。比如,水产用地(近海和内陆)在沿海、河、江、湖地区和干旱区之间有很大的地域和消费习惯的差别,但这些差别在计算中被忽略了。

3)对城市等人口高密度地区的使用受限。由于生态足迹是人口密度的正相关函数,而生物承载力是区域面积的正相关函数,所以生态足迹指数方法不是很适合人口密度特别大、而且地域面积又特别小的地区——例如城市——的可持续发展的研究。

4 关于强可持续发展和弱可持续发展的边沿划分的讨论

加拿大英属哥伦比亚大学 Rees 教授和 Wackernagel 博士在《我们的生态足迹》中提出了强可持续性和弱可持续性的定性的概念,但未提出定量的划分标准。另外,根据生态足迹的理论也无法对此进行定量的划分。

虽然本研究提出了根据生态足迹指数评估可持续发展的定量(百分比)的标准的大部分是具有可操作性,但是对于强可持续性和弱可持续性的边沿划分原则还未加解决。本文主要是考虑到文献[11]计算的生态足迹指数的前50位均大于20%,因此以20%作为两者划分的边沿。这样划分下来,在其中的149个国家和地区中强可持续发展国家或地区有

50个、弱可持续发展国家或地区7个。所以,关于强可持续性和弱可持续性的边沿划分原则还需要进一步研究、调整。

参 考 文 献

- [1] Wackernagel M, Rees W E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola, BC: New Society Publishers, 1996
- [2] Wackernagel M. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: A tool for planning toward sustainability [D]. Columbia: The University of British Columbia, 1994
- [3] Wackernagel M, Schulz N B, Deumling D, et al. Tracking the ecological overshoot of the human economy [J]. PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America), 2002, 99(14): 9266-9267
- [4] Wackernagel M, Monfreda C, Maran D, et al. National footprint and biocapacity accounts 2004: The underlying calculation method [R]. <http://www.footprintnetwork.org/download.php?id=5>
- [5] Bicknell KB, Ball RJ, Cullen R, et al. New methodology for the ecological footprint with application to the New Zealand economy [J]. Ecol Econ, 1998, 27: 149-160
- [6] 冯君君. 从生态足迹观点探讨台湾地区环境资源负荷-应用投入产出分析方法 [J]. (台湾)公共事务评论第3期. 2001. http://www.pam.org.tw/pam.org/journal/review_3rd/3_6.doc
- [7] Simmons C, Lewis K, Barrett J. Two feet-two approaches: a component-based model of ecological footprinting [J]. Ecological Economics, 2000, 32(3): 375-380
- [8] Barrett J, Vallack H, Jones A, et al. A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York [D]. The Stockholm Environment Institute (SEI), 2001. <http://www.york.ac.uk/inst/sei/ecofootprint/execsummary.pdf>
- [9] Wackernagel M, Linares A C, Deumling D. The Living Planet Report 2000 [R]. Switzerland: World Wild Fund for Nature International (WWF), 2000
- [10] Wackernagel M, Monfreda C, Deumling D. The Living Planet Report 2002 [R]. Switzerland: World Wild Fund for Nature International (WWF), 2002
- [11] Loh J, Wackernagel M. The Living Planet Report 2004 [R]. Switzerland: World Wild Fund for Nature International (WWF), 2004

- [12] Wackernagel M, Deumling D, Monfreda C, et al. Ecological Footprint of Nations DECEMBER 2001 UPDATE [R]. Oakland, CA: Redefining Progress(RP), 2001
- [13] Wackernagel M, Monfreda C, Deumling D. Ecological Footprint of Nations NOVEMBER 2002 UPDATE [R]. Oakland, CA: Redefining Progress(RP), 2002
- [14] Venetoulis J, Chazan D, Gaudet C. Ecological Footprint of Nations 2004 [R]. Oakland, CA: Redefining Progress(RP), 2004
- [15] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616
- [16] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年的生态足迹分析[J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 441-445
- [17] 李金平, 王志石. 澳门 2001 年生态足迹分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 197-203
- [18] 赵慧霞, 姜鲁光. 济南市城市居民生活消费的生态足迹[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 178-181
- [19] 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[M]. 北京: 经济科学出版社, 2003. 166
- [20] 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
- [21] 国家统计局. 中国统计年鉴 1998[M]. 北京: 中国统计出版社, 1998. 105
- [22] 国家统计局. 中国统计年鉴—2005[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005. 93

(上接第 83 页)

- [8] 张明, 温立新, 赵正军. 刚性桩复合地基的设计及承载力评价[J]. 岩土工程技术, 2001(1): 21-24
- [9] 池跃君, 宋二祥, 高文新, 等. 刚性桩复合地基承载及变形特性试验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31(3): 237-241
- [10] 王立忠, 柯瀚, 陈云敏, 等. 地震荷载作用下水泥土搅拌桩的动力分析[J]. 振动工程学报, 1998, 11(4): 416-423
- [11] 刘宗贤, 李玉亭. 单桩基础在无限层地基中的横向地震反应分析[J]. 四川地震, 1994(3): 32-44
- [12] 徐自国, 宋二祥. 刚性桩复合地基抗震性能的有限元分析[J]. 岩土力学, 2004, 25(2): 179-184
- [13] Wu Guoxi, Liam Finn W D. Dynamic nonlinear of pile foundations using finite element in the time domain [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1997, 34: 44-52
- [14] 王松涛, 曹资. 现代抗震设计方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 117-127
- [15] 宋二祥. 无限地基数值模拟的传输边界[J]. 工程力学, 1997(增刊): 613-619