

基于 EMD 的中国生态足迹与生态承载力的动力学预测

张衍广¹, 林振山¹, 李茂玲², 梁仁君¹

(1. 南京师范大学地理科学学院 江苏 南京 210046; 2. 郯城职业中等专业学校 山东 郯城 276100)

摘要:利用经验模态分解(EMD)方法对 1961 年以来中国生态足迹与生态承载力的变化波动的周期进行了分解,并在此基础上运用动力学建模方法,建立预测模型,对中国未来 20a 的生态足迹与生态承载力进行数值模拟和预测。研究结果表明:随着生态足迹的增大和生态承载力的减小,中国未来 20a 的生态赤字越来越大,发展处于不可持续状态。政府应从提高生态承载力和减小生态足迹消耗着手来实现可持续发展。

关键词:生态足迹;生态承载力;EMD;动力学预测

文章编号:1000-0933(2008)10-5027-06 中图分类号:k921,Q148,Q149 文献标识码:A

Prediction on the dynamics of ecological footprint and ecological capacity based on EMD in China

ZHANG Yan-Guang¹, LIN Zhen-Shan¹, LI Mao-Ling², LIANG Ren-Jun¹

1 College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China

2 Tancheng Vocational School, Tancheng, Shandong 276100, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5027 ~ 5032.

Abstract: In this paper, the author analyzed ecological footprint and ecological capacity from the year 1961 — 2003 of China with the method of Empirical Mode Decomposition (EMD), and made a dynamic model, predicting the ecological footprint and ecological capacity of China in the next 20 years. The results indicated that with ecological footprint bigger and ecological capacity less, ecological deficit will become bigger in the future. China will in an unsustainable state in ecological aspects. The government is responsible to improve ecological capacity and increase ecological footprint to make it a sustainable development.

Key Words: ecological footprint; ecological capacity; EMD; dynamics prediction

生态足迹模型是加拿大学者 Mathis Wackernagel 于 1992 年提出的一种以土地为度量单位的生态可持续性评估方法^[1],自徐中民、张志强等学者 1999 年第 1 次引入并开展实证研究以来,它已开始成为国内一个新的研究热点^[2~9]。作为一种相对较新的研究方法,生态足迹模型本身在不断进行调整变化,以求更准确地记录人类造成的环境影响及生态环境变化。目前,生态足迹模型在方法上出现了综合法(compound method)和

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40871083)

收稿日期:2007-06-12; 修订日期:2008-02-25

作者简介:张衍广(1973 ~),男,山东郯城人,硕士生,主要从事生态资源研究. E-mail: yanguangzh@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.40871083)

Received date: 2007-06-12; **Accepted date:** 2008-02-25

Biography: ZHANG Yan-Guang, Master candidate, mainly engaged in ecology and resources. E-mail: yanguangzh@163.com

部门法(component method) 一之分,使其适用范围从世界、国家层次拓宽到区域、城市、产品等多个层次^[10];在研究对象上,模型最初只计算农业用地、森林、草地、建设用地 4 类生产性土地及虚拟能源用地的供需状况,最近几年则拓宽到内陆水域、海洋水域;此外,针对生态足迹模型不适合动态分析的一些指责,Mathis Wackernagel 及其合作者加强了生态足迹模型时间序列的研究^[11]。

本文利用 mathcad 2001 和 matlab 6.5 软件,计算了中国 1961~2005 年生态足迹和生态承载力,通过 EMD 方法对其进行分析,在此基础上,建立动力学模型对其未来进行预测,希望能在生态足迹动态研究上有所进展,为中国未来可持续发展政策的制订提供依据。

1 方法简介

1.1 生态足迹和生态承载力的计算方法^[12]

根据生态足迹模型,生态足迹为特定区域消费活动所占用的土地总量,其计算公式为:

$$EF = \sum EF_k \times YF_k \times (C_i/Y_i)/P, (k = 1, \dots, 5, i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

式中, i 为消费项目; n 为消费项目数; k 为土地类型; C_i 表示产品 i 的消费量, Y_i 表示商品 i 土地平均生产力; P 表示区域人口规模; EF 表示人均生态足迹。

生态承载力表示区域土地总供给,计算公式为:

$$EC = \sum A_k \times EF_k \times YF_k, (k = 1, \dots, 5) \quad (2)$$

式中, k 为土地类型; A_k 表示区域拥有的 k 类土地的总面积; EF_k 为均衡因子,表明 k 类土地与世界所有土地综合平均生产力之比; YF_k 为产量因子,表明研究区域 k 类土地与世界 k 类土地平均生产力之比。

在生态足迹和生态承载力的计算基础上可以对发展的生态可持续性进行评估。如果生态足迹超过了生态承载力,就出现了生态赤字;否则存在生态盈余。计算公式为:

$$ED(ES) = EF - EC \quad (3)$$

式中, $ED(ES)$ 表示人均生态赤字(生态盈余),它表明资源供需平衡的不协调性,是判断人地协调性及生态可持续发展判断的直接依据。

1.2 经验模态分解(EMD)

经验模态分解(empirical mode decomposition, EMD)方法(平稳化过程)^[13,14]是一种全新的处理非平稳数据序列的方法,经过平稳化处理后,原始数据(signals)即可由本征模函数(intrinsic mode function, IMF)分量(imfx)以及一个均值或趋势项(res)表示:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n C_j(t) + r_n(t) \quad (4)$$

本文用镜像对称延伸方法^[15]较好地解决了边界对于 EMD 分解过程中的上冲和下冲现象。

目前,EMD 方法已经成功应用于湍流、地震以及大气科学等非线性领域^[15~18],可以预期在不远的将来,该方法必将在更多的研究领域中发挥巨大的作用。

1.3 动力学预测模型

根据 EMD 提取的生态足迹和生态承载力变化的 IMF 分量,建立动力学模型:

$$C_1(t) = A_1 \sin\left(\frac{2\pi t}{T_1} + \varphi_1\right) + x_1, \wedge, C_j(t) = A_j \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j} + \varphi_j\right) + x_j$$

$$\frac{dr_n(t)}{dt} = rx_r \quad \text{积分得: } r_n(t) = x_r e^{rt} \quad (5)$$

由 EMD 分解原理得:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n \left[A_j \sin\left(\frac{2\pi t}{T_j} + \varphi_j\right) + x_j \right] + x_r e^{rt} \quad (6)$$

式中, $c_j(t)$ 代表人均生态足迹或生态承载力 hm^2 初始总量; x_j 代表各初始量 IMF 分量; x_r 代表趋势项初

始量; t 代表时间(a); r 代表人均生态足迹或生态承载力增长率; T_j 代表周期; A_j 代表振幅; φ_j 代表相位。

2 生态足迹和生态承载力的计算和 EMD 分析与预测

2.1 历年生态足迹和生态承载力的计算

主要利用联合国粮农组织(FAO)统计数据库资料和中国统计年鉴数据,依照前述计算方法对历年生态足迹和生态承载力进行计算。计算所涵盖的生产性土地包括农业用地、永久性牧场、内陆水域、海洋水域、森林 5 类;其中由于大部分海洋渔业活动大陆架渔场,这里的海洋水域只包括大陆架面积;同时,由于建设用地的缺乏和不完整,这里不将它纳入生态足迹和生态承载力的计算中,但由于建设足迹用地和建设承载力相同,其最终结果不对中国历年人地协调度评估和可持续发展的判断产生影响。中国历年生态足迹和生态承载力的计算结果见表 1,图 1。

表 1 1961~2005 年中国人均生态足迹和生态承载力(hm^2)

Table 1 EF and EC of China between 1961~2005 year

年份 Year	生态足迹 EF	生态承载力 EC	年份 Year	生态足迹 EF	生态承载力 EC
1961	0.75754	1.43412	1984	1.09614	0.93072
1962	0.78815	1.40966	1985	1.10963	0.93626
1963	0.74082	1.36984	1986	1.12284	0.92318
1964	0.79709	1.32646	1987	1.16151	0.90886
1965	0.81885	1.31119	1988	1.20563	0.90053
1966	0.81285	1.27197	1989	1.21201	0.88139
1967	0.77505	1.23691	1990	1.20910	0.88130
1968	0.73639	1.19473	1991	1.24170	0.88553
1969	0.73903	1.16272	1992	1.26236	0.87910
1970	0.82734	1.13094	1993	1.33813	0.89092
1971	0.82821	1.09403	1994	1.34440	0.87666
1972	0.82702	1.05906	1995	1.44538	0.88295
1973	0.85342	1.05117	1996	1.49793	0.89884
1974	0.86285	1.02913	1997	1.46516	0.88690
1975	0.89674	1.00725	1998	1.45872	0.89436
1976	0.88809	0.97544	1999	1.46181	0.97500
1977	0.91542	0.96311	2000	1.39416	0.95809
1978	0.96181	0.95562	2001	1.39526	0.97396
1979	0.99503	0.94641	2002	1.41456	0.97999
1980	1.00231	0.93520	2003	1.42547	0.92511
1981	0.98204	0.91492	2004	1.50296	0.93007
1982	1.00098	0.90259	2005	1.63616	0.92458
1983	1.06652	0.94197			

2.2 生态足迹和生态承载力的 EMD 分解与预测

1961~2005 年的 45 年中,中国人均生态足迹不断提高,其中,1961~1977 年的 12a 为生态盈余期(图 1),1978 年起,由于实行改革开放政策,中国开始进入人口和经济的高速增长期,1978~2003 年为生态赤字期。2000~2003 年中国人均生态赤字加大,2003 年人均生态赤字 0.817hm^2 。

2.2.1 生态足迹的 EMD 分解与预测

利用计算的数据,对其进行 EMD 分解(图 2),并提取周期和方差贡献率(表 2)。

根据计算,人均生态足迹的年平均增长率 1.7819%,2003 年为 1.547hm^2 ,利用模型(6),即可预

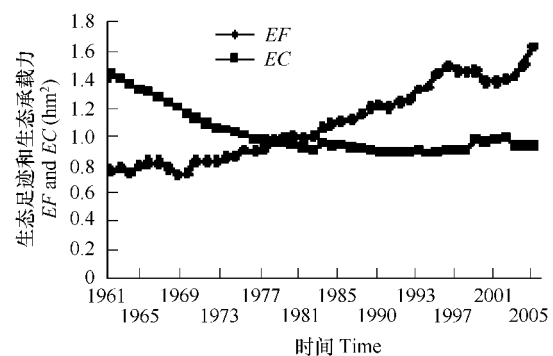


图 1 人均生态足迹与生态承载力变化

Fig. 1 Change of ecological footprint and ecological capacity in China

测未来 20a 生态足迹的值(图 4、表 4)。

2.2.2 生态承载力的 EMD 分解与预测

利用计算的数据,对其进行 EMD 分解(图 3),并提取周期和方差贡献率(表 3)。

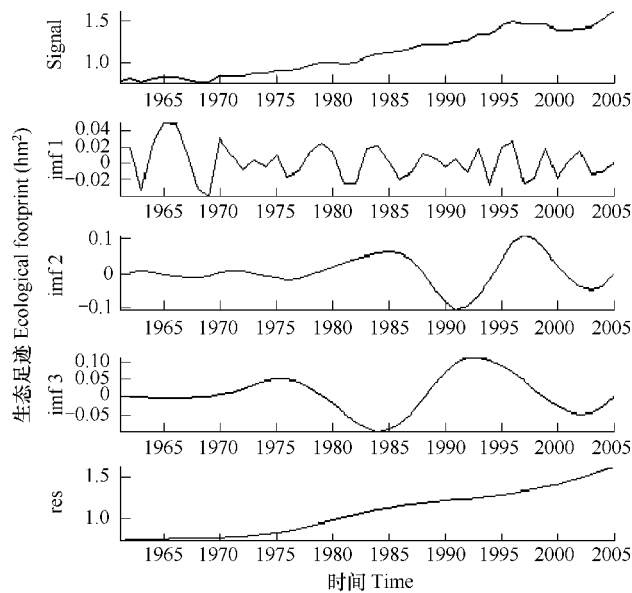


图 2 生态足迹变化的 IMF 分量及其趋势量(hm^2)

Fig. 2 IMF and residual trend R of change of ecological footprint in China

表 2 生态足迹的 IMF 分量的方差贡献率

Table 2 Variance contribution by IMF1-3 and its order

IMF 分量	周期(a)	方差贡献率(%)
Imf 1	2	0.57
Imf 2	11	2.70
Imf 3	14	3.81
Res	∞	92.92

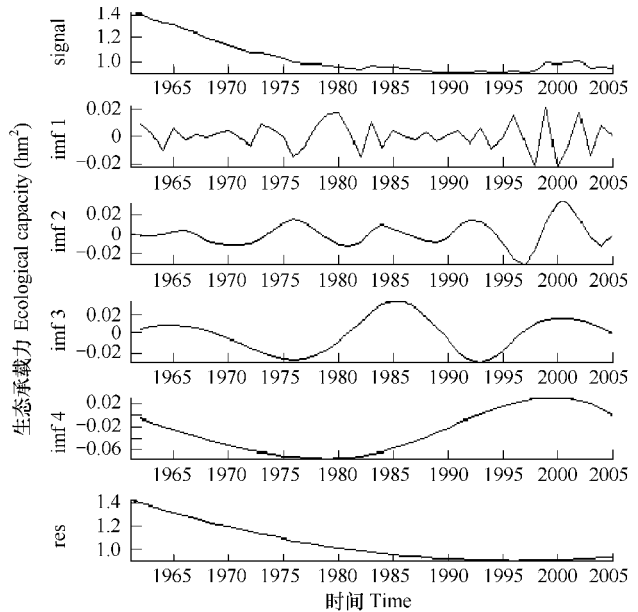


图 3 生态承载力变化的 IMF 分量及其趋势量(hm^2)

Fig. 3 IMF and residual trend R of change of ecological capacity in China

表 3 生态承载力变化的 IMF 分量的方差贡献率

Table 3 Variance contribution by IMF1-4 and its order

IMF 分量	周期(a)	方差贡献率(%)
Imf 1	3	0.33
Imf 2	8	0.55
Imf 3	14	1.04
Imf 4	45	4.57
Res	∞	93.51

根据计算,人均生态承载力的年平均增长率 -1.5271% , 2003 年为 0.73hm^2 , 利用模型(6),即可预测未来 20a 生态承载力的值(图 4,表 4)。

表 4 中国未来 20 年人均生态足迹和生态承载力变化(hm^2) 预测

Table 4 Prediction ecological footprint and capacity in 20 years in China

年份 Year	生态足迹 EF	生态承载力 EC	生态赤字 ED	年份 Year	生态足迹 EF	生态承载力 EC	生态赤字 ED
2006	1.630	0.698	-0.932	2016	1.936	0.646	-1.290
2007	1.658	0.689	-0.969	2017	1.970	0.645	-1.325
2008	1.686	0.680	-1.006	2018	2.005	0.646	-1.359
2009	1.715	0.673	-1.042	2019	2.040	0.646	-1.394
2010	1.746	0.666	-1.080	2020	2.077	0.647	-1.430
2011	1.777	0.660	-1.117	2021	2.113	0.646	-1.467
2012	1.808	0.656	-1.152	2022	2.150	0.646	-1.504
2013	1.840	0.652	-1.188	2023	2.186	0.644	-1.542
2014	1.872	0.649	-1.223	2024	2.224	0.642	-1.582
2015	1.904	0.647	-1.257	2025	2.263	0.640	-1.623

3 结论

(1) 生态足迹由盈余发展到严重的赤字,表明人口消费需求超过了自然生态系统的再生能力,反映其生产生活强度超过了生态系统的承载能力,区域生态系统处于人类过度开发利用和压力之下。生态环境呈现逐步恶化的趋势,可持续发展状况不容乐观。

(2) 改善生态系统目前不可持续状态,可从两方面考虑,一是提高生态承载力;二是减小生态足迹消耗。在资源总量和生态服务供给有限的条件下,实施资源的优化配置和集约利用、提高资源利用效率,必须成为环境友好与生态安全背景下社会经济可持续发展战略的核心组成部分。在目前形势下,应大力发展高新技术产业以提高单位面积的生物生产力,积极控制人口增长,降低人口负荷,改善消费结构及消费方式,建立资源节约型的社会生产和消费体系;同时在城市化、工业化进程中实施严格的耕地资源保护措施,开发利用新型能源等。牢固树立生产节约、生活节约和治理污染的意识。

References:

- [1] Ress W. Ecological footprint and appropriated carrying: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4(2): 100—105.
- [2] Chen Z J, Xu Z M, *et al.* Ecological footprint in northwest China. *Journal of Glaciology and Geography*, 2001, 23(2): 164—169.
- [3] Wang S H, Mao H Y, Wang Z J, Progress in research of ecological footprint all over the world. *Journal of Natural Resource*, 2002, 17(6): 776—782.
- [4] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D, *et al.* Ecological footprint calculation and development analysis of China in 1999. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 4(2): 280—285.
- [5] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, *et al.* The Ecological footprints of the 12 provinces of west China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 599—600.
- [6] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. Calculation and Analysis of Ecological footprints of Gansu Province. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 607—616.
- [7] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q, Measuring sustainable development with the Ecological footprint method — take Zhangye prefecture as an example. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 21(9): 1484—1493.
- [8] Yang K Z, Yang Y, Chen J. Ecological footprint analysis: concept, method and case. *Advance in Earth Science*, 1999, 14(6): 630—636.
- [9] Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Calculation and Analysis of urban Ecological footprint: a case study of Guangzhou. *Geographical Research*, 2003, 22(5): 654—662.
- [10] ECOTEC Research, Consulting Limited. Ecological footprinting: technical report to the STOA panel: 26—55. www.ecotec.com.
- [11] WWF. 2000a living planet Report. 2002: 20—45.
- [12] Mathis Wackernagel, William Rees. Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. Gabriola Is-land, New Society Publishers, BC 1996. 30—100.
- [13] Huang N E, Shen Z, Long S R, *et al.* The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary series analysis. *Proc R Soc Lond A*, 1998, 454: 899—995.
- [14] Huang N E, Shen Z, Long S R. A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1999, 31: 417—457.
- [15] Lin Z S, Wang S G. EMD Analysis of northern hemisphere temperature variability during last 4 centuries. *Journal of Tropical Meteorology*, 2004, 20(2): 90—96.
- [16] Xiong X J, Guo B H, Hu Y M. Application and discussion of empirical mode decomposition method and Hilbert spectral analysis method. *Journal*

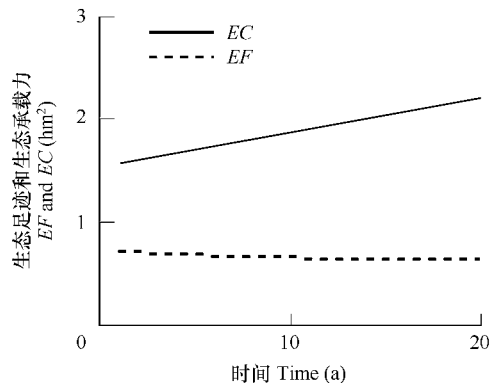


图4 中国未来20a人均生态足迹和生态承载力变化趋势

Fig. 4 ecological footprint and capacity tendency chart in 20 years in China

of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2002, 20(2), 12—21.

- [17] Deng Y J, Wang W, Qian C C, *et al.* Application of EMD and process of boundary in Hibert transform. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(3): 257—263.
- [18] Liu H Y, Lin Z S, Zhang M Y. Analysis on the fluctuation of grain output in China and its causes at multi-time scale based on empirical mode decomposition method. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 745—751.

参考文献:

- [2] 陈中景, 徐中民, 等. 中国西北地球的生态足迹. 冰川冻土, 2001, 23(2): 164~169.
- [3] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776~782.
- [4] 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, 4(2): 280~285.
- [5] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹. 地理学报, 2001, 56(5): 599~600.
- [6] 徐中民, 张志强, 程国栋. 甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析. 地理学报, 2000, 55(5): 607~616.
- [7] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹法: 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. 生态学报, 2001, 21(9): 1484~1493.
- [8] 杨开, 杨咏, 陈洁. 生态足迹分析理论与方法. 地球科学进展, 1999, 14(6): 630~636.
- [9] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析——以广州为例. 地理研究, 2003, 22(5): 654~662.
- [15] 林振山, 汪曙光. 近四百年北半球气温变化的分析: EMD 方法的应用. 热带气象学报, 2004, 20(2): 90~96.
- [16] 熊学军, 郭炳火, 胡筱敏, 等. EMD 方法和 HILBERT 谱分析法的应用与探讨. 黄渤海海洋, 2002, 20(2): 12~21.
- [17] 邓拥军, 王伟, 钱成春, 等. EMD 方法及 Hilbert 变换中边界问题的处理. 科学通报, 2001, 46(3): 257~263.
- [18] 刘会玉, 林振山, 等. 基于 EMD 的我国粮食生产波动多尺度分析. 自然资源学报, 2005, 20(5): 745~751.