

中国 1961 ~ 2005 年人均生态足迹变化

陈成忠^{1,2}, 林振山^{1,*}

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 临沂师范学院地理与旅游学院, 临沂 276005)

摘要:以小波变换技术为基础,对中国 1961 ~ 2005 年人均生态足迹波动的突变时间及影响因素进行了多时间尺度分析。研究表明:(1)44a 来,中国人均生态足迹波动具有明显的 3、7a 和 23a 的特征时间尺度和相应的周期性振荡特征,其中 23a 周期尤为显著;(2)比较 3 种尺度下的突变点发现,1966 年、1979 年、1988 年、1996 年、2000 年和 2004 年为共同的突变点,说明这 5a 突变强烈,反映了波动的主要特征;(3)对主要突变点的成因分析发现,中国人均生态足迹的波动主要由于政策因素和经济因素驱动所致,科技因素和自然因素也有影响;(4)综合 3、7a 和 23a 3 个时间尺度上小波系数的演变趋势发现,中国人均生态足迹在未来几年会有所下降,可持续发展形势会有所好转。

关键词:生态足迹;小波变换;多时间尺度;预测

文章编号:1000-0933(2008)01-0338-07 中图分类号:Q14 文献标识码:A

Wavelet analysis of China's per capita ecological footprint from 1961 to 2005

CHEN Cheng-Zhong^{1,2}, LIN Zhen-Shan^{1,*}

1 Geographical Science College, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 Department of Geography and Tourism, Linyi Teachers College, Linyi 276005, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0338 ~ 0344.

Abstract: The wavelet analysis was used to analyze the characteristics of cultivated per capita ecological footprint change and the driving forces of this change from 1961 to 2005 in China. The results showed: (1) China's per capita ecological footprint had 3a, 7a and 23a characteristic time scales and corresponding changes from the figures of the wavelet coefficients, and the 23a period is especially prominent; (2) The turning points of the changes were presented in the years of 1966, 1979, 1988, 1996, 2000 and 2004; (3) It was founded that government policies, national economic development, technology, and natural disasters are the main factors, which led to the cultivated China's per capita ecological footprint fluctuation; (4) Whether at the bigger scale or at the smaller scale, China's per capita ecological footprint seems to be decreasing in the recent years from the analysis of the figures of the wavelet coefficients. Therefore, the sustainable development of China should be better in future.

Key Words: ecological footprint (EF); wavelet transform; multiple time scales; prediction

自然资本管理是可持续发展的核心,有效的管理依赖于对自然资本的准确度量^[1]。而生态足迹(ecological footprint, EF)指标作为一种衡量自然资本可持续利用的生物物理定量评价工具,吸引了众多学者进

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40371044);国家“211”二期工程重大项目资助

收稿日期:2006-11-04;修订日期:2007-09-17

作者简介:陈成忠(1970~)男,山东平邑人,博士生,副教授,主要从事生态资源研究. E-mail: chenchengzhongbu@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. 40371044) and National “211” Key Project, China

Received date: 2006-11-04; **Accepted date:** 2007-09-17

Biography: CHEN Cheng-Zhong, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in ecology and resources. E-mail: chenchengzhongbu@163.com

行了大量研究^[2~12]。但多数学者是以年度为时间尺度计算短时间内的区域生态足迹^[2~9,11],基于长时间序列的生态足迹动态发展趋势预测研究较少^[10,13]。时间序列对于考察一个指标的问题、局限和优势,对于以直观的方式分析隐含、复杂的假设都是很有用处的^[13]。就某一地区而言,时间序列更有助于分析社会经济及自然因素随时间变化对该地区人均生态足迹的动态影响。

小波变换是 20 世纪 90 年代发展起来的一种数学分析工具,它可将时间序列分解成交织在一起的多尺度成分,并对不同尺度采用不同的取样步长从而能不断地聚焦到任意细节,特别适合将隐含在时间序列中各种随时间变化的周期振荡清楚地显现出来,同时也可对未来的演变趋势进行定性估计^[14~17]。生态足迹的变化受人口、消费、土地利用、科技水平等众多因素的影响,是非线性系统,在时间和空间上具有多尺度特性,因此应用小波诊断技术进行多时间尺度分析很有必要。本研究以中国为例,采用刘宇辉等^[18,19]计算的中国 1961~2001 年人均生态足迹及本人计算的 2002~2005 年数据,利用小波分析技术提取生态足迹波动的特征时间尺度及周期性震荡特征,预测未来演变趋势,以期更有效地分析资源利用特别是土地资源利用的合理性。这些研究对中国可持续发展状态的预测、预警和相关政策制定具有实际意义,同时为生态足迹指标的预测性分析提供一个新的途径。

1 数据来源与处理

1.1 数据来源与计算

1961~2001 年中国人均生态足迹数据来自刘宇辉,彭希哲《中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估》^[18]与刘宇辉《中国 1961~2001 年人地协调度演变分析》^[19]。2002~2005 年数据基于刘宇辉所采用的计算方法进行实证计算(同样不纳入建设足迹)。

生态足迹计算中,2002~2004 年各类农产品、林产品、畜产品、水产品、能源等相关数据来源于 2003~2005 年中国统计年鉴^[20],2005 年相关数据来源于《2005 年全国国民经济和社会发展统计公报》^[21]和 FAO 数据库^[22]。均衡因子参考相关文献^[18,19,23,24]定为耕地 2.17、林地 1.35、草地 0.47、水域 0.35,能源转换^[24]:1kg 标准煤热能=7000×4.1868kJ,1GJ=10⁹J,全球平均足迹为煤炭 55GJ/ghm²(全球公顷)^①,石油 93GJ/ghm²,天然气 93GJ/ghm²,水电 1000GJ/ghm²。采用可变世界单产法,计算中国 2002~2005 年人均生态足迹。

1.2 中国 1961~2005 年人均生态足迹变化的基本态势

图 1 是中国 1961~2005 年人均生态足迹变化曲线。由图 1 可见,近 44a 来中国人均生态足迹总体上是在波动中不断上升,1996 年达到较高水平,随后下降,近两三年开始上升。

需要说明的是,探讨生态足迹与可持续发展的关系,在区域层次上不能一味地强调减少足迹,因为较大的生态足迹或生态赤字可能并不代表发展的不可持续性,相反却代表该地区的经济开放程度(如美国、日本、新加坡等),因为进出口贸易可以弥补生态赤字。而对

全球尺度而言,人类需要减少足迹。因为只有一个地球,生态赤字只有通过技术进步提高生物承载力、改变生活方式降低生态足迹、消耗代际资源储备等加以弥补,生态足迹或生态赤字越大越不利于可持续发展。本文只在国家区域层次上讨论和分析人均生态足迹的变化。

2 中国人均生态足迹波动的小波分析

2.1 人均生态足迹变化的特征时间尺度分析

图 2 是对图 1 中的人均生态足迹序列做 Morlet 小波变换得到的小波系数实部等值线图。对比图 1 与图

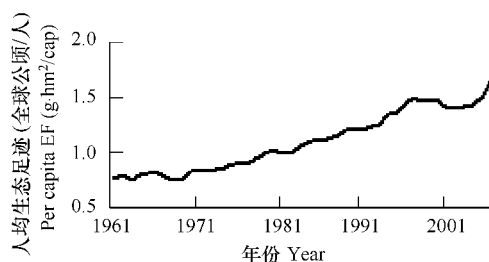


图 1 中国 1961~2005 年人均生态足迹折线图

Fig. 1 Trend of China's per capita EF from 1961 to 2005

① ghm² 为全球公顷,1ghm² 指生物生产力和吸纳废物能力等同于全球平均值的 1hm² 土地。

2,从图1原序列中既看不出人均生态足迹波动的周期性,更看不出周期变化在时间域中的分布;但经小波变换后,从图2可清楚地看到多个特征时间尺度的周期性特征及其在时间域中的分布。其中,较明显的是生态足迹存在3a左右、7a左右、23a左右的特征时间尺度。

2.2 人均生态足迹变化的周期性特征分析

小波方差图反映了波动的能量随尺度的分布,可以用来确定一个时间序列中各种尺度扰动的相对强度,对应峰值处的尺度为该序列主要的特征时间尺度即主要周期^[17]。图3是人均生态足迹 Morlet 小波的方差图(横坐标为相应周期,纵坐标为小波方差)。图3主要有两个明显峰值,分别对应着7a和23a的周期。由此可见,中国人均生态足迹变化存在着7a和23a两个主要的周期振荡,其中以23a的周期性振荡最强,与前面小波系数图分析的特征时间尺度和主要周期基本一致。

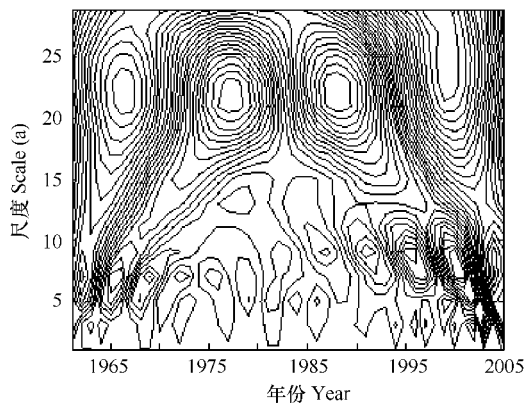


图2 中国人均生态足迹 Morlet 小波系数实部等值线图

Fig. 2 The contours of the real part of Morlet wavelet coefficients of China's per capita EF

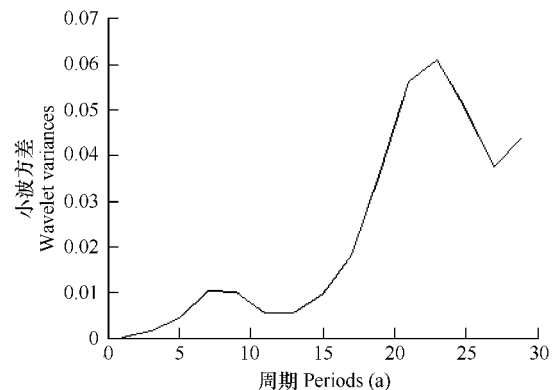


图3 中国人均生态足迹的小波方差图

Fig. 3 The wavelet variances of China's per capita EF

2.3 特征时间尺度下的突变特征分析

小波变换特别适合于分析函数的局部伸缩性,并发现它的奇异性和刻画奇异性的可能特征,具有数学意义上严格的突变点诊断能力^[14]。由于 Morlet 子波是一个对称子波函数,根据小波理论,其系数曲线的过零点即为突变点。利用 Morlet 函数对人均生态足迹进行子波变换,提取不同特征时间尺度下的小波系数,图4所示。

从图4可以看出,中国人均生态足迹在3a特征时间尺度下波动很多,但波幅很小,只是1961~1967年波动较大、2004年以后有大幅度增加。在7a特征时间尺度下变化频繁,44a来大致经历了6个周期的变化,平均7a左右:1961~1972年大致为1.5个周期的波动,波动幅度较大;1973~1989年波动相对平缓;1990~2002年波动周期逐渐变长、振幅变大,2003年以后急剧上升。在23a特征时间尺度上,1961~1989年振动周期长,幅度大;1990年后波动周期变短,幅度变大。因此,分以下3个时间段进行综合分析。

2.3.1 1961~1972年

1961~1967年波动幅度较大,表现为1961~1964年小波系数迅速下降至波谷,1967年前后迅速上升至

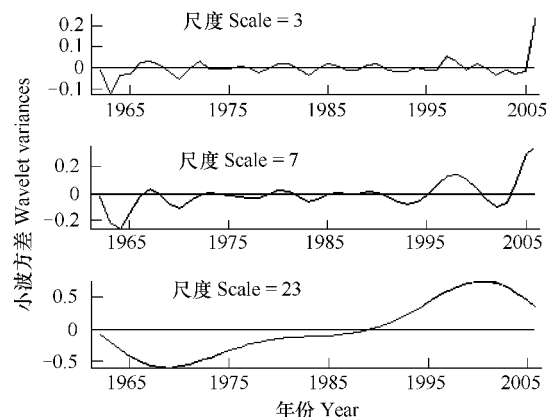


图4 中国人均生态足迹变化的3、7、23a特征时间尺度小波变换系数

Fig. 4 The wavelet transformation coefficients of China's per capita EF of 3a, 7a, and 23a scales

零点。因此,1966 年为一个显著的突变点。原因如下:

这一阶段受“人多力量大”的主流意识影响,采取放任人口增长的鼓励政策,导致人口急剧膨胀:1961 年中国人口为 65,859 万人,1965 年为 72,538 万人;受“内外交困”的政治局面影响,经济发展缓慢,其中农业、林业资源消费甚至出现了负增长;能源足迹虽然有少许增长,但在总足迹中的比重只达到 22% 左右^[19],工业化水平很低。

2.3.2 1973~1991 年

1973~1991 年期间人均生态足迹波动比较频繁,但振幅较小、波动平缓,1979 年、1988 年为比较明显的两个突变点。20 世纪 70 年代末改革开放战略的提出实施,国家建设重点转移到经济领域,带动了经济的全面高速发展。1978 年家庭联产承包责任制,扭转了人民生活极度穷困的局面,解决了大多数人的温饱问题,但基本上是“仅仅填饱肚子”,仍然没有摆脱困境。1985 年,提出农业结构调整,退耕还林、还草,开辟果园或鱼塘,人民生活水平有了较大改善,但计划经济仍束缚着工农业生产的发展。同时,70 年代开始提倡的计划生育,80 年代作为基本国策的强力推进,人口增长速度急剧下降,人口控制措施很好地缓减了生态足迹增长的速度。

2.3.3 1992~2005 年

1992 年后人均生态足迹波动幅度逐渐变大、周期变长,1996 年、2000 年、2004 年前后为 3 个比较明显的突变点。1992 年计划经济向市场经济转型,打破了粮食国家统购统销的局面,经济快速增长,在经济增长速度最快的“六五”及“八五”期间,资源的消费增长速度同样达到最高水平,尤以能源用地增长最快,反映出工业化进程的加速。同时牧业、水域开始加速增长,居民的饮食结构有了较大改变。

“九五”计划以来,在 GDP 继续增长的同时,资源的消费水平却开始下降,尤其是能源消费水平急剧下降,在一定程度上可以反映出中国产业结构的日益完善。1995~2001 年,除了牧业和渔业足迹有较稳定的上升以外,农业、林业、和能源用地均出现了下降趋势。农业产量和单产 1995 年达到最高后缓慢下降,2001 年有所回升;能源用地从 1997 年到 2000 年明显下降,在一定程度上反映了 1997 年金融危机和洪水对中国经济的影响。2001 年以后,由于我国经济社会快速发展和生态建设力度加大,农业结构调整、三农政策的有力实施、减免农业税,加之近几年的家用小汽车比较普遍,石油消费剧增,2004 年、2005 年的人均生态足迹出现了急剧上升,这在一定程度上反映了我国经济的快速增长、人民生活水平和生活质量的极大提高,但随之而来的环境问题也日益凸显。

3 影响人均生态足迹变化的驱动机制

生态足迹的变化是人口、消费、技术等多因素作用的结果,而促进人口、消费、技术变化的因素又是多方面的^[12]。通过以上对生态足迹计算结果的小波分析,发现其增长存在明显的阶段性特征,通过对突变点的成因分析,发现影响我国人均生态足迹波动的因素很多,主要有政策因素、经济因素、科技因素和自然因素等。

3.1 政策因素

前面已经分析,计划生育、改革开放、市场经济、家庭联产承包责任制、农业结构调整、三农政策、减免农业税、进出口贸易、能源政策等,是造成人均生态足迹波动的主要政策因素。

3.2 经济因素

能源足迹在生态足迹构成中比重最大^[18]、增长最快^[24]、波动也比较频繁,耕地足迹相对比较稳定、波动不是很大,水域和林地足迹近几年最然增长较快,但所占比重仍较低,可见人均能源消费的变化是造成人均生态足迹波动的主要经济因素。另外,由于人均 GDP 在很大程度上反映了经济发展、居民的消费水平,与人均生态足迹波动关系也比较密切。所以,对 1961 年以来的人均能源消费和人均 GDP 进行 Morlet 小波变换,发现二者亦均存在 23a 的特征时间尺度。因此,做了人均生态足迹、人均能源消费和人均 GDP 在 23a 特征时间尺度下的小波变换系数曲线的比较,图 5 所示。从图 5 中可以看出,在 23a 特征时间尺度下,人均能源消费和人均生态足迹的小波系数波动曲线几乎完全一致,人均 GDP 与人均生态足迹小波系数波动曲线也比较一致。

由此可以推断,人均能源消费和人均 GDP 对人均生态足迹的影响是非常明显的。

3.3 科技因素

农药、化肥的使用,优质良种的推广,新产品、新技术的问世,大大提高了生物承载力;科技进步、管理水平的提高,使资源利用效率越来越高;同样,高科技的第三产业等隐形社会资源,进一步提高了生物承载力,为人均生态足迹的增长提供了技术支撑。

3.4 自然因素

洪涝灾害、干旱、水土流失、沙漠化等是造成人均生态足迹变化的自然因素。60 年代初的 3a 自然灾害,造成了期间人均生态足迹的大幅度下降;1998 年洪水及近几年的沙尘暴等,造成粮食产量持续减产,2003 年降到最低,人均生态足迹也因此出现比较大的下降。易受沙漠化威胁的东北和西北因灾毁而弃耕的土地面积比较大,大量垦荒又加速了土地退化;大面积水土流失的西南地区,耕地生产力也在下降,这一系列问题都可能引起下一轮的人均生态足迹下降。

4 中国人均生态足迹变化趋势预测

根据图 4,可以分析 3、7、23a 特征时间尺度下的小波系数,预测人均生态足迹的未来演变趋势:在 3a 特征时间尺度上,目前人均生态足迹处于持续上升阶段,预示近几年还会有所增大;在 7a 特征时间尺度上,目前小波系数处于波峰,预示着近年内人均生态足迹将要减小;在 23a 特征时间尺度上,小波系数呈下降趋势,表明已经进入减小期。

综上分析,无论小时间尺度还是大时间尺度,中国人均生态足迹都将要或已经步入相对减小期。也就是说,未来一段时间内由于政府极力发展循环经济、鼓励居民改善消费模式,随着国民生态环保意识提高、人口数量的相对减少,人均生态足迹会有所下降,可持续发展形势会有所好转,但这需要付出努力。

5 结论与讨论

通过以上对我国 1961~2005 年人均生态足迹变化的小波分析,可得出以下结论:

(1) 我国人均生态足迹波动主要存在 3、7 和 23a 的特征时间尺度。

(2) 我国人均生态足迹在 3a 特征时间尺度上,波动较多,波幅较小,只有 1961~1967 年和 2004 年以后两次大的波动。在 7a 特征时间尺度下变化频繁,44a 来大致经历了 6 个周期的变化,平均 7a 左右:1961~1972 年大致为 1.5 个周期的波动,波动幅度较大;1973~1989 年波动相对平缓;1990~2002 年波动周期变长、振幅变大,2003 年以后急剧上升。在 23a 特征时间尺度上,1961~1989 年振动周期长,波动幅度大;1990 年后波动周期变短,波动幅度进一步拉大。

(3) 分 1961~1972 年、1973~1991 年和 1992~2005 年 3 个时间段进行突变点分析。其中,1961~1972 年时间段中,1966 年为一个显著的突变点;1973~1991 年时间段中,1979 年、1988 年为比较明显的两个突变点;1992~2005 年时间段中,1996 年、2000 年、2004 年为 3 个突变点。

(4) 通过突变点驱动的成因分析,发现我国人均生态足迹的波动主要由于政策因素和经济因素驱动所致,科技因素和自然因素也有影响。政策因素主要有计划生育、改革开放、市场经济、家庭联产承包责任制、农业结构调整、三农政策、减免农业税、进出口贸易、能源政策等,洪涝灾害、干旱、水土流失、沙漠化等是造成人均生态足迹波动的自然因素,经济因素主要有人均能源消费和人均 GDP。提取并比较 23a 特征时间尺度下的人均生态足迹、人均能源消费和人均 GDP 小波变换系数发现,人均能源消费和人均 GDP 的波动与人均生态

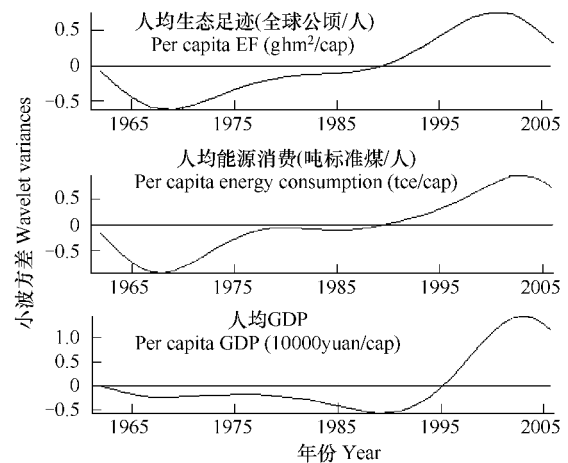


图 5 在 23a 特征时间尺度下,中国人均生态足迹、人均能源消费和人均 GDP 的小波变换系数曲线

Fig. 5 The wavelet transformation coefficients of China's per capita EF, per capita energy consumption, and per capita GDP of 23a scale

足迹的变化是一致的,说明它们对人均生态足迹的正向影响是非常明显的。

(5)通过分析 3、7、23a 特征时间尺度下的小波系数,预测人均生态足迹在未来几年会有所下降,可持续发展形势有所好转。

另外,自 1961 年来我国对外进出口贸易格局发生了较大变化,贸易足迹对人均生态足迹有较大影响。根据文献^[25]对我国 1961 ~ 2001 年贸易足迹的计算结果(图 6)可以看出:1961 ~ 1978 年由于贸易额很小,所以贸易足迹很小,进出口贸易对人均生态足迹的影响也很小;1979 ~ 1991 年,贸易足迹以净出口为主,导致本文分析的人均生态足迹可能偏大、实际人均生态足迹偏小,一定程度上反映了贸易格局相对不太合理;1991 ~ 2001 年,伴随着市场经济的逐步实施,贸易格局越来越趋于相对合理,净进口足迹逐步增加、人民生活水平逐步提高,反映了在一个开放的经济系统中,进出口贸易是弥补生态赤字的一个有效途径。因此,进出口贸易在我国人均生态足迹的变化与波动中同样起着重要作用。

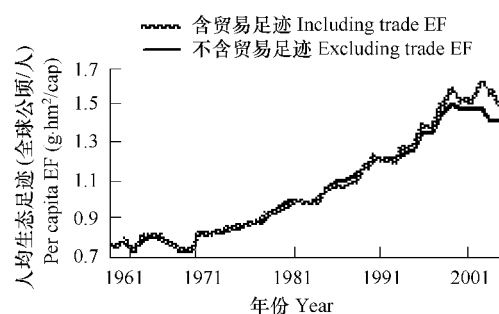


图 6 贸易足迹对中国人均生态足迹的影响

Fig. 6 The effect of trade EF on per capita EF of China from 1961 to 2001

References:

- [1] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, *et al.* Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. *Land Use Policy*, 2004, 21(3):271—278.
- [2] Muñiz I, Galindo A. Urban form and the ecological footprint of commuting: the case of Barcelona. *Ecological Economics*, 2005, 55(4):499—514.
- [3] Hubacek K, Giljum S. Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities. *Ecological Economics*, 2003, 44(1):137—151.
- [4] Bicknell K B, Ball R J, Cullen R, *et al.* New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics*, 1998, 27(2):149—160.
- [5] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing national natural capital accounts Based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy*, 2004, 21(3):231—246.
- [6] Lenzen M, Murray S A. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics*, 2001, 37(2):229—255.
- [7] Gössling S, Hansson C B, Hörstmeier O, *et al.* Ecological footprint analysis as a tool to assess tourism sustainability. *Ecological Economics*, 2002, 43(2-3):199—211.
- [8] Ferng J J. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecological Economics*, 2001, 37(2):159—172.
- [9] Haberl H, Wackernagel M, Krausmann F, *et al.* Ecological footprints and human appropriation of net primary production: a comparison. *Land Use Policy*, 2004, 21(3):279—288.
- [10] Yue D X, Xu X F, Li Z Z, *et al.* Spatiotemporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991—2015: Down from the environmental cliff. *Ecological Economics*, 2006, 58(2):393—406.
- [11] Ferng J J. Local sustainable yield and embodied resources in ecological footprint analysis: a case study on the required paddy field in Taiwan. *Ecological Economics*, 2005, 53(3):415—430.
- [12] Wang J M, Wang W, Zhang Y, *et al.* Analysis of complex ecosystem dynamic ecological footprint (ecological historical records). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12):2920—2926.
- [13] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926—1995. *Ecological Economics*, 2001, 38(1):25—45.
- [14] Lin Z S. Nonlinear science and its application to earth science. Beijing: Meteorology Press, 2003.
- [15] Liu H Y, Lin Z S, Zhang M Y. Wavelet analysis of area affected by flood disaster in China after 1949. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25

(1):43—48.

- [16] Lin Z S, Bao M. Climatic trend prediction at multiple scales. *Journal of Tropical Meteorology*, 2001, 17(2):188—192.
- [17] Ji Z P, Gu D J. Multiple time scales analysis of climate variation in Guangzhou during the last 100 years. *Journal of Tropical Meteorology*, 1999, 15(1):48—55.
- [18] Liu Y H, Peng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962—2001: calculation and assessment of development sustainability. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10):2257—2262.
- [19] Liu Y H. The analysis of China's human-environment relationship fluctuations between 1961—2001: study based on the EF model. *Economic Geography*, 2005, 25(2):219—222.
- [20] State statistic bureau. China statistical yearbook (1991—2005). Beijing: China Statistical Publishing House, 1991—2005.
- [21] <http://www.china.com.cn/chinese/zhuanti/2005gongbao/1137741.html>.
- [22] FAO. <http://faostat.fao.org/default.jsp?language=CN>.
- [23] 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. *Land Use Policy*, 2004, 21(3):261—269.
- [24] Chen M, Zhang L J, Wang R S, *et al.* Dynamics of Ecological Footprint of China from 1978 to 2003. *Resources Science*, 2005, 27(6):132—139.
- [25] Liu J X, GU X W, Li G J, *et al.* Economic development and ecological footprint in China. *Resources Science*, 2005, 27(5):33—39.

参考文献:

- [12] 王健民, 王伟, 张毅, 等. 复合生态系统动态足迹分析. *生态学报*, 2004, 24(12):2920—2926.
- [14] 林振山. 非线性科学及其在地学中的应用. 北京: 气象出版社, 2003.
- [15] 刘会玉, 林振山, 张明阳. 建国以来中国洪涝灾害成灾面积变化的小波分析. *地理科学*, 2005, 25(1):43—48.
- [16] 林振山, 鲍名. 气候多层次的趋势预报. *热带气象学报*, 2001, 17(2):188—192.
- [17] 纪忠萍, 谷德军. 广州近百年来气候变化的多时间尺度. *热带气象学报*, 1999, 15(1):48—55.
- [18] 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. *生态学报*, 2004, 24(10):2257—2262.
- [19] 刘宇辉. 中国 1961—2001 年人地协调度演变分析. *经济地理*, 2005, 25(2):219—222.
- [20] 国家统计局. 中国统计年鉴(1991—2005 年). 北京: 中国统计出版社, 1991—2005.
- [24] 陈敏, 张丽君, 王如松, 等. 1978—2003 年中国生态足迹动态分析. *资源科学*, 2005, 27(6):132—139.
- [25] 刘建兴, 顾晓薇, 李广军, 等. 中国经济发展与生态足迹的关系研究. *资源科学*, 2005, 27(5):33—39.