

重庆市直辖以来生态足迹的动态测度与分析

杨永奎¹, 王定勇^{1 2,*}

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716 2. 重庆市农业资源与环境研究重点实验室, 重庆 400716)

摘要 生态足迹是近来测度生态可持续发展的一种定量方法。以重庆统计年鉴为主要数据来源,对重庆市 1997~2004 年的生态足迹进行了时间序列的测度。结果表明,2004 年重庆市的人均生态足迹为 1.2108 hm²,实际生态承载力为 0.4696 hm²,人均生态赤字为 0.7412 hm²。从 1997~2004 年人均生态足迹逐年增加,人均生态承载力逐年减少,导致人均生态赤字逐年增大,对外来资源的依赖性越来越大。利用灰色预测模型进行了预测,2009 年人均生态赤字将达到 0.8695 hm²,并在此基础上提出了减少生态赤字的一系列措施。

关键词 生态足迹;生态承载力;生态赤字;可持续发展

文章编号:1000-0933 (2007)06-2382-09 中图分类号:P96,P967,Q149,TU984 文献标识码:A

Dynamic calculation and analysis of ecological footprint of Chongqing after establishing municipality status

YANG Yong-Kui¹, WANG Ding-Yong^{1 2,*}

1 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

2 Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2382~2390.

Abstract :In recent years, the concept of the ecological footprint developed by Wackernagel and Rees in the mid-1990s has gained much attention. Basically, the ecological footprint is the amount of productive land required to support the consumption of a given population definitely under existing technology. As a static model, the ecological footprint has been extensively used to assess the condition of sustainable development of various regions at specific points in time. However, little information is available on time series analyses and predictions of the ecological footprint. An ecological footprint time series of Chongqing in China was calculated from 1997 to 2004. Predictions of that from 2005 to 2009 were performed with the Gray Model method developed by Deng in the 1980s. The method can predict the development of the system using the continuously differential equation. In Chongqing, the ecological footprint was 1.2108 hm² per capita, while the actual ecological carrying capacity was 0.4696 hm² per capita in 2004, thus leading to ecological deficit of 0.7412 hm² per capita. From 1997 through 2004, the ecological deficit of Chongqing increased annually as the ecological footprint increased. The ecological carrying capacity, decreased, however, indicating an unsustainability of the present developmental and consumption state of Chongqing. The ecological deficit of Chongqing will reach 0.8695 hm² per capita in 2009. Based on these results, measures to reduce the ecological deficit for Chongqing were suggested such as controlling the population, adopting suitable technology to increase efficiency in resource use, changing manners of production and consumption, and

基金项目 重庆市生态环境行动计划资助项目 (2002008)

收稿日期 2006-05-24;修订日期 2007-01-19

作者简介 杨永奎 (1982~) 男,天津大港人,硕士生,主要从事环境化学研究. E-mail:peteryang000@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:wangdy@swau.edu.cn

Foundation item The project was financially supported by ecological and environmental action project of Chongqing (No. 2002008)

Received date 2006-05-24; **Accepted date** 2007-01-19

Biography :YANG Yong-Kui, Master candidate, mainly engaged in environmental chemistry. E-mail:peteryang000@126.com

protecting the environment.

Key Words : ecological footprint ; ecological carrying capacity ; ecological deficit ; sustainable development

可持续发展是寻求一种最佳的生态系统以支持生态的完整性和人类愿望的实现,使人类的生存环境得以持续。定量评价和监测可持续发展状态和可持续发展程度是当前可持续发展研究的前沿和热点^[1]。20 世纪 90 年代以来,人们相继提出了许多评价方法和模式,如驱动力-状态-响应指标 (DSR)、绿色 GDP 指标、真实发展指标 (GPI)、可持续经济福利指数 (ISEW)、生态足迹指标体系 (EF) 等^[2]。其中生态足迹法具有科学完善的理论基础、形象明了的概念框架、精简统一的指标体系以及方法本身的普适性而开始流行^[3]。国外学者运用生态足迹理论已经做过很多研究^[4~6],1999 年以来我国学者从不同角度对生态足迹的理论框架、计算方法和应用前景进行了探讨和研究^[7~10],已经涉及到国家^[11]、区域^[9]、城市^[12]各个层次。但生态足迹是一个静态模型,先前的研究大多集中在选择一个时间的横断面就区域可持续发展状况进行判断,而在纵向时间序列上就区域生态足迹演变的研究较少,而对生态足迹和生态承载力的时间序列预测方面的研究几乎空白。本文运用生态足迹方法,对重庆市 1997~2004 年的生态足迹进行时间序列的测度,定量评价重庆市的可持续发展状况,并利用灰色预测模型对生态足迹和生态承载力的变化趋势进行预测,同时提出了减少该地区生态赤字的相应对策,以期对重庆市的生态建设和发展规划提供科学参考。

1 生态足迹概念与计算模型

生态足迹 (Ecological Footprint) 研究方法是加拿大生态经济学家 Rees 于 1992 年提出,由其博士生 Wackernagel 发展并完善的用来测度可持续发展程度的方法^[13,14],是指在现有技术条件下,按空间面积计量的支持一个特定地区的经济和人口的物质、能源消费和废弃物处理所要求的土地和水等自然资本的数量^[15]。更形象地说,生态足迹就是指“一只负载着人类与人类所创造的城市、工厂等的巨脚踏在地球上留下的脚印”^[16]。将一个地区或国家的资源、能源消费同自己所拥有的生态能力 (生态承载力) 进行比较,就能判断一个国家或地区的发展是否处于生态承载力的范围内,是否具有安全性。

1.1 生态足迹计算

生态足迹是通过生物生产性土地来计算的^[17]。在生态足迹模型中,生物生产性土地主要考虑如下 6 种类型^[4,18]:化石燃料用地、耕地、林地、草地、建筑用地和水域。由于这 6 类生物生产面积的生态生产力不同,要将这些具有不同生态生产力的生物生产面积转化为具有相同生态生产力的面积来计算生态足迹和生态承载力,需要对计算得到的各类生物生产面积乘以一个均衡因子。本文中采用全球一致的均衡因子^[4,14],分别为:林地和化石燃料用地为 1.14,耕地和建筑用地为 2.82,草地为 0.54,水域为 0.22。生态足迹的计算公式为:

$$EF = N \times ef = N \times r_j \times \sum (aa_i) = N \times r_j \times \sum (c_i/p_i)$$

式中,EF 为总生态足迹 (hm²)、N 为人口数 (cap)、ef 为人均生态足迹 (hm²/cap)、c_i 为 i 种商品的人均年消费量 (kg/cap)、p_i 为 i 种商品的年平均生产能力 (kg/hm²)、aa_i 为人均 i 种消费商品折算的生物生产面积 (hm²/cap)、i 为消费商品和投入的类型、r_j 为均衡因子、j 为生物生产性土地类型。

1.2 生态承载力计算

生态承载力是指一个地区所能提供给人类的生物生产性土地的面积总和^[14,19]。在计算生态承载力时,由于不同国家或地区的资源禀赋不同,不仅单位面积不同类型的土地生产能力差异很大,而且单位面积相同类型生物生产性土地的生产力也有很大差异,为使不同国家或地区同类型生物生产性土地的实际面积可以直接比较,用产量因子对其进行调整。将现有的耕地、草地、林地、建筑用地、水域等物理空间的面积乘以相应的均衡因子和产量因子,就可以得出生态承载力。本文中产量因子取自于 Wackernagel 等^[4]1997 年对中国生态足迹计算时的取值,分别为:耕地和建筑用地为 1.66,林地为 0.91,草地为 0.19,水域为 1,CO₂ 吸收用地为 0。

同时按世界环境与发展委员会的报告《我们共同的未来》所建议的,扣除 12% 的生物多样性保护面积。生态承载力的计算公式为:

$$EC = N \times ec = N \times \sum a_j \times r_j \times y_j$$

式中 EC 为总生态承载力 (hm^2) N 为人口数 (cap) ec 为人均生态承载力 (hm^2/cap) a_j 为人均生物生产面积 (hm^2/cap) r_j 为均衡因子 y_j 为产量因子 j 为生物生产性土地类型。

1.3 生态赤字或盈余计算

生态赤字或盈余是指生态承载力与生态足迹之差。如果区域的生态足迹小于生态承载力,则表现为生态盈余,表明人类对自然生态系统的压力处于本地区所提供的生态承载力范围内,生态系统是安全的;反之,那么本地区的生态系统就是不安全的,该地区处于可持续发展状态^[20]。

2 重庆市生态足迹计算与分析

重庆市位于 $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13' \text{ N}$, $105^{\circ}11' \sim 110^{\circ}11' \text{ E}$,地处较为发达的东部地区 and 资源丰富的西部地区的结合部,是长江上游最大的经济中心、西南工商业重镇和水陆交通枢纽。三峡水库库区 85% 面积在重庆市辖区内,全市山地、丘陵占总土地面积的 90% 以上,属中亚热带湿润季风气候区,具有夏热冬暖,光热同季,无霜期长,雨量充沛,湿润多阴等特点,全年平均气温 18.9°C ,年总降雨量 1025.0 mm。区内人口密度过大,直辖以来经济快速发展,导致高强度利用土地和生物资源,使该地区生态环境退化,制约了社会经济的发展^[21]。

2.1 计算过程

根据《重庆统计年鉴》(1997 ~ 2004 年)^[22],运用生态足迹的理论和方法,对重庆市直辖以来的生态足迹进行了计算和分析,主要由两部分组成:第一,生物资源消费账户;第二,能源消费账户。限于篇幅,计算过程以 2004 年为例。

生物资源消费帐户主要分为农产品、动物产品、水产品 and 林产品等大类,大类下又有一些细分类。生物资源生产面积折算的具体计算中,采用联合国粮农组织 1993 年计算的有关生物资源的世界平均产量资料^[4,18](采用这一公共标准主要是为了使计算结果可以进行国与国、地区与地区之间的比较),将重庆市的生物消费转化为提供这类消费需要的生物生产面积,结果见表 1。

表 1 重庆市 2004 年生态足迹中生物资源帐户

Table 1 The ecological footprint's ledger of the biotic resources of Chongqing in 2004				
分类 Category	全球平均产量 (kg/hm^2) Average yield	生物量 (t) Biomass	人均生态足迹 (hm^2/cap) Ecological footprint per cap	生产面积类型 Type
稻谷 Rice	2744	5095471	0.0591	耕地 Arable land
小麦 Wheat	2744	783825	0.0091	耕地 Arable land
玉米 Maize	2744	2278038	0.0264	耕地 Arable land
豆类 Legume	1856	381081	0.0065	耕地 Arable land
薯类 Potato	12607	2782018	0.0070	耕地 Arable land
油料 Oil crop	1856	417500	0.0072	耕地 Arable land
麻类 Fiber plant	1500	10209	0.0002	耕地 Arable land
烟叶 Tobacco	1548	85036	0.0017	耕地 Arable land
蔬菜 Vegetable	18000	8635700	0.0153	耕地 Arable land
糖类 Sugar	18000	117700	0.0002	耕地 Arable land
猪肉 Pork	74	1364300	0.5864	草地 Pasture
牛羊肉 Beef and mutton	33	92953	0.0896	草地 Pasture
禽肉 Fowl meat	457	193581	0.0135	草地 Pasture
奶类 Milk	502	85143	0.0054	草地 Pasture
禽蛋 Egg	400	365500	0.0291	草地 Pasture
水产品 Aquatic product	29	239255	0.2624	水域 Sea
茶叶 Tea	566	16064	0.0009	林地 Forest
水果 Fruit	3500	1372200	0.0125	林地 Forest

能源消费部分根据资料考虑了如下几种能源：煤炭、油料、天然气和电力等。计算足迹时将能源的消费转化为化石燃料生产土地面积。采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准^[4,18-23]，将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料土地面积^[24]（表 2）。需要说明的是，因缺乏重庆市进出口及国内贸易量的详细数据，文中未进行贸易调整估算。

表 2 重庆市 2004 年生态足迹中能源帐户

Table 2 The ecological footprint 's ledger of energy of Chongqing in 2004

分类 Category	全球平均足迹 (GJ/hm ²) Global average energy footprint	折算系数 (GJ/t) Conversion coefficient	消费量 (t) Consumed quantity	人均生态足迹 (hm ² /cap) Ecological footprint per cap	生产面积类型 Type
煤炭 Coal	55	20.934	18327100	0.2219	化石燃料用地 Fuel land
天然气 Gas	93	39.978	3510300	0.0480	化石燃料用地 Fuel land
油料 Oil	93	41.868	3737300	0.0535	化石燃料用地 Fuel land
电力 Hydroelectric	1000	11.84	3798400	0.0014	建筑用地 Buildup land

由以上对各种生物资源、能源消费生态足迹的计算，结合重庆市 2004 年能供给生物生产面积的类型及数据（表 3），得到重庆市 2004 年生态足迹的汇总（表 4），人均生态足迹为 1.2108 hm²，而实际生态承载力为 0.4696 hm²，人均生态赤字为 0.7412 hm²，生态赤字的存在表明该区生态经济系统的影响超过了生态承载力的阈值，处于一种不可持续发展状态。

表 3 重庆市 2004 年生物生产面积

Table 3 The biologically productive area of Chongqing in 2004

土地类型 Type	土地面积 (10 ⁴ hm ²) Area	占全市总面积 (%) Percent of total city area	人均面积 (hm ² /cap) Area per cap
耕地 Arable land	228.74	27.76	0.0727
草地 Pasture	23.81	2.89	0.0076
水域 Sea	26.77	3.25	0.0085
林地 Forest	325.13	39.46	0.1034
建设用地 Buildup land	55.89	6.78	0.0178

表 4 重庆市 2004 年生态足迹计算的汇总

Table 4 The ecological footprint summary of Chongqing in 2004

土地类型 Type	生态足迹 Ecological footprint			生态承载力 Ecological carrying capacity		
	人均生态足迹 (hm ² /cap) Ecological footprint per cap	均衡因子 Equivalence factor	均衡面积 (hm ² /cap) Adjusted area	人均面积 (hm ² /cap) Area per cap	产量因子 Yield factor	均衡面积 (hm ² /cap) Adjusted area
耕地 Arable land	0.1327	2.82	0.3742	0.0727	1.66	0.3403
草地 Pasture	0.7240	0.54	0.3910	0.0076	0.19	0.0008
林地 Forest	0.0134	1.14	0.0153	0.1034	0.91	0.1073
水域 Sea	0.2624	0.22	0.0577	0.0085	1.00	0.0019
化石燃料用地 Fuel land	0.3234	1.14	0.3687	0.0000	0.00	0.0000
建筑用地 Buildup land	0.0014	2.82	0.0039	0.0178	1.66	0.0833
				扣除 12% 生物多样性保护面积 Minus 12% for biodiversity		0.0640
总计 Total area			1.2108			0.4696

采用同样的计算方法和步骤,分别计算了重庆直辖 8 a 来的不同类型生物生产性土地的人均生态足迹和生态承载力,利用均衡因子和产量因子进行转化,汇总结果见表 5。同时,为考察重庆地区土地资源的利用效益,表 5 还给出了重庆市不同时期万元 GDP 的生态足迹变化情况。

表 5 重庆市 1997 ~ 2004 年的生态足迹供需情况汇总

Table 5 The ecological footprint summary of Chongqing from 1997 to 2004				
年份 Year	均衡生态足迹 (hm ² /cap) Adjusted ecological footprint	均衡生态承载力 (hm ² /cap) Adjusted ecological carrying capacity	人均生态赤字 (hm ² /cap) Ecological deficit	万元 GDP 生态足迹 (hm ² /10 ⁴ yuan) Ecological footprint per 10 ⁴ yuan GDP
1997	1.0383	0.5079	-0.5304	2.3321
1998	1.0389	0.5051	-0.5338	2.2179
1999	1.0592	0.5005	-0.5587	2.1948
2000	1.0728	0.4967	-0.5761	2.0803
2001	1.0605	0.4942	-0.5663	1.8756
2002	1.0997	0.4863	-0.6134	1.7327
2003	1.1319	0.4754	-0.6565	1.5701
2004	1.2108	0.4696	-0.7412	1.4250

2.2 结果分析

2.2.1 重庆市生态足迹和生态承载力分析

将计算得到的重庆市多年的生态足迹与生态承载力进行对比,可以看出人类生产活动对自然的占用状态与自然提供的生态服务状况之间的相互关系(图 1),从 1997 ~ 2004 年,重庆市的人均生态足迹呈持续增长趋势,人均生态承载力一直减少,从而造成其生态赤字逐年增大,呈现出与人均生态足迹基本相同的变化趋势。到 2004 年人均生态赤字已高达 0.7412 hm²,生态足迹是生态承载力的 2.58 倍。重庆市资源消费已大大超过了本地的生态承载力,人类负荷超过了其生态容量,对外来资源的依赖性越来越大,生态环境处于一种不安全状态。

从重庆市 1997 ~ 2004 年生态足迹时间序列的计算结果可以看出,其人均生态足迹显现出增加的趋势,其中,1997 ~ 2001 年变化不大,从 1.0383 hm² 增加到 1.0605 hm²,随后大幅增加,2004 年人均生态足迹是 1997 年的 1.17 倍,达到 1.2108 hm²。从生态足迹的构成来看(图 2),耕地、草地和化石燃料用地占的比重比较大,2004 年三者占到总用地面积的 93.6%,2001 年前耕地足迹比例最大,2001 年以后草地足迹超过耕地。从不同类型生物生产性土地生态足迹的时间测度看,2001 年以前耕地足迹逐年减少,2001 年降到最低点,而后有所增加,但总的趋势是减少的。2000 ~ 2001 年人口增长速度有所减缓,从而形成了耕地人均足迹 2001 年最低的转折点。1997 ~ 2004 年草地和化石燃料用地人均生态足迹一直呈现增长趋势,2004 年分别达到 0.3910 hm² 和 0.3687 hm²,表明重庆市直辖以来随着生活水平的提高,市民的饮食结构也在发生着变化,粮食食用减少,肉禽类比例明显增大。此外,重庆作为西部重工业城市,直辖以来经济高速发展,化石能源的消费量与日俱增。

重庆市的生态承载力中,耕地的生态空间供给最大(图 3),占到 63.8%,其次是林地和建筑用地,分别占到 20.1% 和 15.6%。1997 ~ 2004 年总生态承载力和人均生态承载力都成逐年递减变化,其中总生态承载力

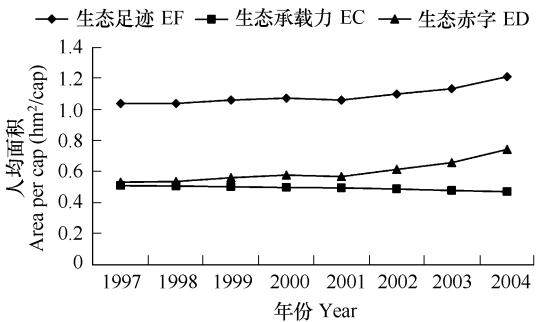


图 1 重庆市 1997 ~ 2004 年人均生态足迹、生态承载力和生态赤字变化
Fig. 1 Changes of ecological footprint (EF), ecological carrying capacity (EC) and ecological deficit (ED) of Chongqing

从 1756.2810 万 hm^2 减少到 1678.0321 万 hm^2 , 人均生态承载力从 0.5079 hm^2 减少到 0.4696 hm^2 , 分别减少了 4.5% 和 7.5%。由于 8 a 来重庆市人口持续增长, 加速了人均生态承载力的减少。从不同类型生物生产性土地人均生态承载力的时间测度分析结果看, 耕地面积呈现明显的减少趋势, 从 0.3969 hm^2 减少到 0.3403 hm^2 , 8 a 减少了 14.3%, 主要是由于直辖以来城市建设和经济发展占用了一定的耕地资源。近几年重庆市加强了退耕还林的措施, 加大了人工造林的力度, 林地面积从 2001 年开始有所增加, 而草地和水域的生态承载力比例很小, 始终保持稳定, CO_2 吸收用地面积为 0, 因为还没有任何一个国家专门拿出一部分土地用于 CO_2 吸收。

通过对比生态足迹 (图 2) 和生态承载力 (图 3) 的情况, 可以看出重庆市生态足迹供需结构存在明显的不对称性。草地的供给远不能满足人们的生态需求, 其中 2004 年, 草地生态足迹达到生态承载力的 489 倍, 说明重庆市每年从周围地区进口很多畜禽类食物, 从而增加了周边地区的草地生态足迹, 并对其生态系统持续发展产生了一定的影响。而林地的生态承载力是生态足迹的 7 倍, 表明重庆市退耕还林和人工造林的措施取到了一定的成效, 还存在生产一定林产品的土地空间。

2.2.2 重庆市万元 GDP 生态足迹分析

将传统的 GDP 与生态足迹相结合形成一个新的指标——万元 GDP 生态足迹, 即用人均生态足迹除以人均国内生产总值, 通过进行横向、纵向的对比分析, 可以考察重庆地区土地资源的利用效益大小。

万元 GDP 的生态足迹大, 反映资源的利用效益低, 反之, 则资源利用效益高。从图 4 可以看出, 随着重庆市人均 GDP 的增加, 万元 GDP 的生态足迹逐年减少, 从 1997 年的 2.3321 hm^2 降到 2004 年的 1.4250 hm^2 , 年降低率达到 6.8%, 因为经济的快速发展, 使得当地 GDP 大幅增加, 生产工艺和技术的改善提高了土地资源的利用率。重庆市 2004 年万元 GDP 生态足迹为 1.4250 hm^2 , 与西部地区 12 省 (区市) 1999 年的 2.721 hm^2 相比^[25], 重庆市万元 GDP 生态足迹相对较低, 但还是要高于东部地区 (1.291 hm^2)^[26], 表明虽然资源利用效率一直在提高, 但是与东部沿海城市的利用水平相比还有较大的差距。

2.2.3 重庆市生态足迹与生态承载力的灰色预测

灰色预测是基于灰色系统理论的一种预测方法, 它是将无规律的原始数据, 通过生成方法处理, 变成比较有规律的时间序列数据, 即根据数据处理方法找数据间的规律, 再按微分方程拟合法建立灰色动态模型, 然后

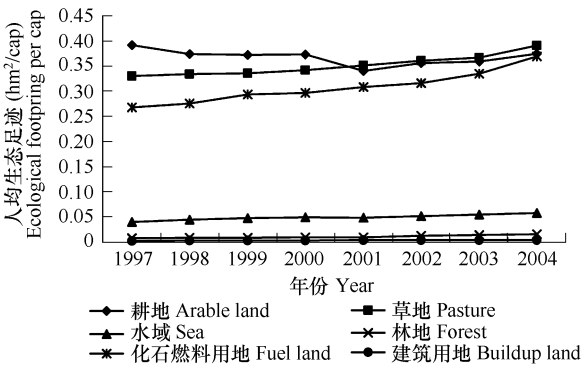


图 2 重庆市 1997 ~ 2004 年不同生产土地类型的生态足迹变化
Fig. 2 Changes of ecological footprint of different biologically productive area of Chongqing

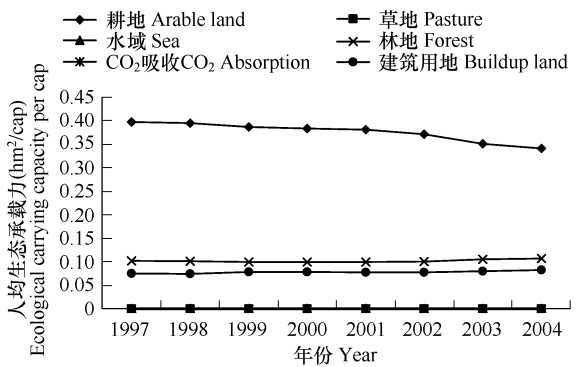


图 3 重庆市 1997 ~ 2004 年不同生产土地类型的生态承载力变化
Fig. 3 Changes of ecological carrying capacity of different biologically productive area of Chongqing

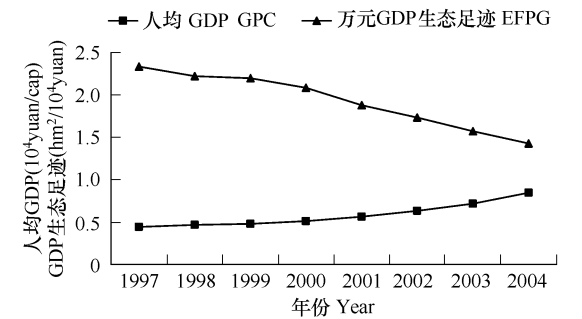


图 4 重庆市 1997 ~ 2004 年人均 GDP 和万元 GDP 生态足迹变化
Fig. 4 Changes of GDP per cap (GPC) and ecological footprint per 10⁴ yuan GDP (EFPG) of Chongqing

用微分方程的解来实现系统的预测。灰色预测方法建模方法简便易行,计算简单,所需信息量少,原始数据分布特征和样本量无特殊要求,数据处理能力强,预测却可以达到很高的精度^[27,28]。

采用灰色系统动态建模的理论方法,用微分拟合方程来描述重庆市生态足迹和生态承载力变化的动态过程。以 1997~2004 年人均生态足迹和人均生态承载力为原始数据,建立 GM (1,1)模型,其主要步骤为:①数据生成;②建立模型;③精度检验;④数据预测和逆生成。计算得到预测模型函数如下:

人均生态足迹
$$x(t+1)=44.428846e^{0.022759t}-43.390591$$

人均生态承载力
$$y(t+1)=-42.096290e^{-0.012133t}+42.604199$$

式中 x,y 分别为人均生态足迹和人均生态承载力 t 为时间 ($t=1,2,\dots$)。

采用后验差检验法对预测模型进行精度检验,通过后检差比值 (c)和小误差概率 (p)与精度等级参照值的比较(表 6,表 7),可以看出生态承载力模型和生态足迹模型分别达到一级和二级水平,表明该预测模型能获得较高的精度。

根据灰色模型预测公式计算可得 2005~2009 年重庆市人均生态足迹与人均生态承载力预测值,见表 8。如果不采取积极有效的措施,重庆市生态足迹将继续增大,而生态承载力一直减少,最终导致生态赤字不断扩大。

3 结语

运用生态足迹方法对重庆市 1997~2004 年生态足迹和生态承载力进行了时间序列的测度与分析,结果可以看出,1997~2004 年人均生态足迹呈递增趋势,由 1.0383 hm²增加到 1.2108 hm²,人均生态承载力呈递减趋势,由 0.5079 hm²减少到 0.4696 hm²,期间均出现生态赤字,且逐年变大,表明人类自身的需要已经超过本地区所能提供的生态承载力,地区发展成不可持续状态。灰色预测结果表明 2009 年重庆市人均生态赤字将高达 0.8695 hm²,生态环境处于不断恶化的趋势,资源环境形势日益严峻。

在不降低人们生活水平的条件下,要减少重庆市的生态足迹,减缓生态赤字,提高区域生态可持续发展能力,建议采取以下几种措施:

- (1)人口总数是生态足迹和生态承载力计算的重要基数,SPSS 分析结果表明,人口与生态足迹成极显著的正相关(Pearson 相关系数 $r=0.897,p<0.01$),与生态承载力成极显著的负相关($r=-0.977,p<0.01$)。要降低人均生态足迹,提高生态承载力,减少生态赤字,重庆市必须坚决贯彻计划生育基本国策,控制人口增长速度,逐步减少人口总数。此外,重庆既是一个大城市,又是拥有 2400 多万农业人口的大农村,加快农村剩余劳动力的输出转移,可以减轻农业人口对生态环境的负荷和压力,陡坡开垦、水土流失等生态环境问题也将有所缓解。
- (2)采用生物高新技术,增加科技财政投入,提高科技发展水平,从而增加单位面积自然系统的生产率。

表 6 精度检验等级参照值

Table 6 Reference values of accuracy assessment rank		
精度等级 Accuracy rank	后检差比值 (c) Poster checking value	小误差概率 (p) Small error possibility
I	0.35	0.95
II	0.50	0.80
III	0.65	0.70
IV	0.80	0.60

表 7 灰色预测模型检验结果

Table 7 Gray model test results		
	生态足迹 Ecological footprint	生态承载力 Ecological carrying capacity
后检差比值 (c) Poster checking value	0.42	0.20
小误差概率 (p) Small error possibility	0.86	1.00
精度等级 Accuracy rank	II	I

表 8 重庆市 2005~2009 年人均生态足迹和生态承载力趋势预测 (hm²/cap)

Table 8 Predictions of ecological footprint and ecological carrying capacity of Chongqing (per cap)

年份 Year	生态足迹 Ecological footprint	生态承载力 Ecological carrying capacity	生态赤字 Ecological deficit
2005	1.1994	0.4663	-0.7331
2006	1.2270	0.4607	-0.7663
2007	1.2553	0.4552	-0.8001
2008	1.2841	0.4497	-0.8345
2009	1.3137	0.4443	-0.8695

重庆耕地总量大,但人均耕地少,坡耕地多,中低产田面积大,特别是三峡库区,科技和财政投入相对较低,加上干旱等自然灾害,使土地生物生产量普遍较低,从而降低了地区生态承载力。针对重庆地区的具体情况,因地制宜地推广生态农业是提高耕地生态系统的重要手段,是实现重庆市可持续发展的战略选择,而且对保护三峡库区生态环境,控制水土流失具有非常重大的意义。发展生态农业就要立足本地,实行个人、集体、国家三结合,多层次、多渠道筹集资金,增加投入,依靠科技进步,重点发展重庆地区林、牧、副、渔各业的名特产品,提高自然系统的生产率,从而减少生态赤字。

(3)高效利用现有资源存量,研究改变资源消耗型的增长模式,使粗放型、消耗型的资源利用模式向集约型、节约型转变。重庆作为三峡库区移民、老工业基地调整改造和西部大开发的重点,直辖以来,全市国有企业改革取得明显进展,但是企业整体规模小、技术水平低、工业结构和能源消费结构不尽合理的现状还未完全改变。今后的发展要以科学发展观为指导,提高资源利用效率为目标,降低单位产值污染物排放强度,优化产业结构,从而实现重庆经济增长的新型模式。可以说,发展循环经济,走产业生态化之路是重庆经济发展的最佳选择,必将有效促进全市经济和生态环境的可持续发展。

(4)控制环境污染,遏止生态环境恶化。重庆作为西部重工业城市,大气污染、酸雨沉降等环境问题严重,致使生态生产力不断降低。三峡库区环境问题也日益显现,库区生态区是长江上游生态环境极度脆弱的地区,资源粗放型开发利用仍很普遍,环境污染相当严重,致使资源环境问题十分突出。要减少该地区生态赤字,就要全面控制环境污染,加强生态环境的整治,遏止生态环境的继续恶化。

References :

[1] Zhang Z Q ,Sun C Q ,Cheng G D , *et al.* Progresses and trends of sustainable development research. *Advance In Earth Sciences* ,1999 ,14 (6) : 589 — 595.

[2] Ye W H ,Tong C. Review of sustainable development indicators of U N. *China Population ,Resources and Environment* ,1997 ,7 (3) :83 — 87.

[3] Yang K Z ,Yang Y ,Chen J. Ecological footprint analysis :concept ,method and cases. *Advance In Earth Sciences* ,2000 ,15 (6) :630 — 636.

[4] Wackernagel M ,Onisto L ,Bello P , *et al.* National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics* ,1999 ,29 :375 — 390.

[5] 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 :271 — 278.

[6] 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 :261 — 269.

[7] Wang S H ,Mao H Y ,Wang Z J. Progress in research of ecological footprint all over the world. *Journal of Natural Resources* ,2002 ,17 (6) :776 — 782.

[8] Xu Z M ,Zhang Z Q ,Cheng G D. The calculation and analysis of ecological footprints of Gansu Province. *Acta Geographica Sinica* ,2000 ,55 (5) : 607 — 616.

[9] Dong Z Q ,Sun T H. Ecological footprints :calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning Province. *Acta Ecologica Sinica* ,2004 ,24 (12) :2735 — 2739.

[10] Lu Y ,Hua C. Ecological footprint dynamic analysis of Guangxi Zhuang Autonomous Region from 1999 — 2002. *China Population ,Resources and Environment* ,2004 ,14 (3) :49 — 53.

[11] 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.

[12] Chen L ,Li R X ,Wang F Y. Analysis of ecological footprints of resources-based city. *Ecology and Environment* ,2005 ,14 (4) :508 — 513.

[13] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity :what urban economics leaves out. *Environmental and Urbanization* ,1992 ,4 (2) :121 — 130.

[14] Wackernagel M ,Rees W E. *Our ecological footprint :reducing human impact on the earth.* Gabriola Island :New Society Publishers ,1996. 61 — 83.

[15] Chen M ,Wang R S ,Zhang L J , *et al.* Provincial ecological footprint of China in the year of 2002. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2006 ,17 (3) :424 — 428.

[16] Rees W E. Revisiting carrying capacity :area-based indicators of sustainability. *Population and Environment* ,1996 ,17 (3):195 — 215.

[17] Liu M ,Hu Y M ,Li Y H ,*et al.* Ecological footprint model and its research advances. *Chinese Journal of Ecology* ,2006 ,25 (3):334 — 339.

[18] Wackernagel M ,Onisto L ,Bello P ,*et al.* Ecological footprints of nations :how much nature do they use ?how much nature do they have ?Costa Rica :The Earth Council ,1997.

[19] 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.

[20] Chen D J ,Xu Z M ,Cheng G D ,*et al.* Ecological footprint in northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology* ,2001 ,23 (2):164 — 169.

[21] Sun F ,Hu J Q. A waken the consciousness of ecological safety of the whole nation. *Journal of Southwest Agricultural University (Social Science Edition)* ,2004 ,2 (1):19 — 24.

[22] Chongqing Municipal Bureau of Statistics. *Chongqing Statistical Yearbook*. Beijing :China Statistics Press ,1997 — 2005.

[23] Wackernagel M ,Lewan L ,Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint :applications in Sweden and Subregions. *Ambio* ,1999 ,28 (7):604 — 612.

[24] Qiu D X. *Energy planning and systematic analysis*. Beijing :Tsinghua University Press ,1995.

[25] Zhang Z Q ,Xu Z M ,Cheng G D ,*et al.* The ecological footprints of the 12 provinces of west China in 1999. *Acta Geographica Sinica* ,2001 ,56 (5):599 — 610.

[26] Xu Z M ,Zhang Z Q ,Cheng G D ,*et al.* Ecological footprint calculation and development capacity analysis of China in 1999. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,2003 ,14 (2):280 — 285.

[27] Deng J L. *Grey broadcasting and determination*. Wuhan :Huazhong University of Science and Technology Press ,1986. 97 — 190.

[28] Tai Y J ,Liu L S ,Zhang X P. A research into ecological footprint in Nanjing. *Scientific and Technological Management of Land and Resources* ,2005 ,22 (2):67 — 72.

参考文献：

[1] 张志强,孙成权,程国栋,等. 可持续发展研究:进展与趋向. *地球科学进展* ,1999 ,14 (6):589 ~ 595.

[2] 叶文虎,全川. 联合国可持续发展指标体系述评. *中国人口、资源与环境* ,1997 ,7 (3):83 ~ 87.

[3] 杨开忠,杨咏,陈洁. 生态足迹分析理论与方法. *地球科学进展* ,2000 ,15 (6):630 ~ 636.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 董泽琴,孙铁珩. 生态足迹研究——辽宁省生态足迹计算与分析. *生态学报* ,2004 ,24 (12):2735 ~ 2739.

[10] 卢远,华瑾. 广西1990~2002年生态足迹动态分析. *中国人口、资源与环境* ,2004 ,14 (3):49 ~ 53.

[11] 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.

[12] 陈烈,李瑞霞,王峰玉. 资源型城市生态足迹分析. *生态环境* ,2005 ,14 (4):508 ~ 513.

[15] 陈敏,王如松,张丽君,等. 中国2002年省域生态足迹分析. *应用生态学报* ,2006 ,17 (3):424 ~ 428.

[17] 刘森,胡远满,李月辉,等. 生态足迹方法及研究进展. *生态学杂志* ,2006 ,25 (3):334 ~ 339.

[20] 陈东景,徐中民,程国栋,等. 中国西北地区的生态足迹. *冰川冻土* ,2001 ,23 (2):164 ~ 169.

[21] 孙凡,胡际权. 唤醒全民族的生态安全意识. *西南农业大学学报* ,2004 ,2 (1):19 ~ 24.

[22] 重庆市统计局编. *重庆统计年鉴*. 北京:中国统计出版社 ,1997 ~ 2005.

[24] 邱大雄. *能源规划与系统分析*. 北京:清华大学出版社 ,1995.

[25] 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 ~ 610.

[26] 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 ,14 (2):280 ~ 285.

[27] 邓聚龙. *灰色预测与决策*. 武汉:华中理工大学出版社 ,1986. 97 ~ 190.

[28] 邵英角,刘柳松,张小平. 南京市生态足迹研究. *国土资源科技管理* ,2005 ,22 (2):67 ~ 72.