

# 复合生态系统动态足迹分析

王健民<sup>1</sup>, 王 伟<sup>1</sup>, 张 毅<sup>1</sup>, 胡梦春<sup>1</sup>, 唐晓燕<sup>1</sup>, 陈 敏<sup>2</sup>

(1. 国家环境保护总局南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要:**由 Rees W E. 于 1992 年提出、由 Wackernagel M. 于 1996 年完善的生态占用(生态足迹)原理与方法,其主要成果是评价出全球 52 个有代表性的国家和地区的生态占用盈亏情况,进一步得出全球人均生态占用阈值为  $1.74\text{hm}^2$ (量纲,下同)、基准值为  $2.0\text{hm}^2$ ,而人均实际生态占用为  $2.4\text{hm}^2$ ,人均生态赤字达  $0.4\text{hm}^2$  以上,评价结果表明全球生态环境进入了危机阶段,因此具有重要的预警战略意义。

但是该方法也存在一些不足之处,如:(1)主要是反映自然生态系统承载力,未能全面反映出社会经济反馈力(人力、物资、资金、管理等方面的投入效用),尤其是忽略了现代科学技术在提高复合生态系统承载力方面的巨大作用和贡献;(2)将各生态类型加权抽象化后所得到的等量化综合指标,难于反映复合生态系统要素与要素间的复杂变化规律;(3)最初创建的方法未反映动态变化情况;(4)新开发的 4 种时间序列的方法,仍不能反映复合生态要素间生动地相关关系。

针对以上主要缺陷,旨在将复合生态系统进行要素分解,进行要素与时间相关分析及要素间动态相关分析。将社会经济冲击力、自然生态环境资源承载力及社会经济科学技术反馈力三者相结合进行分析综合性研究的基础上,于 2002 年创建了复合生态系统动态足迹(生态史迹)分析原理、方法和研究案例。

鉴于社会经济系统对自然生态系统的冲击力、生态环境资源系统的承载力及社会经济科学技术的反馈力都是在变动的,必需进行复合生态系统动态足迹的相关分析。

在做出复合生态系统单要素(含因子,下同)随时间要素动态变化、双要素间动态相关分析的基础上;进一步建立了可反映出复合生态系统冲击力、承载力及反馈力的多要素间动态足迹相关模式图。

模式图的基本原理是:反映冲击力的人均生态需求( $I/P$ )应小于或等于复合生态承载力的人均有效生态空间( $E/P$ )与单位有效生态空间产出( $I'/E$ )的乘积。以  $E/P$  为横轴、 $I'/E$  为纵轴作图,图中各点为  $I/P$ ;图中系列  $I/P$  理论等值线可构成复合生态系统承载力基准和序列标准曲线。

模式图的基本功能和作用有:(1)通过理论研究和经验分析,可以绘制出复合生态系统有关要素承载力基准与序列标准曲线;(2)通过历史统计资料,可以绘制出复合生态系统相关生态因子冲击力的动态变化曲线;(3)可以对冲击力与承载力基准与标准序列间进行静态和动态评价;(4)可以对反馈力增加复合生态系统承载力的情况进行评价;(5)进一步再进行针对性的原因分析及包括提高反馈力在内的对策性研究。

**关键词:**复合生态系统;生态足迹;生态史迹

## Analysis of complex ecosystem dynamic ecological footprint (ecological historical records)

WANG Jian-Min<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>, HU Meng-Chun<sup>1</sup>, TANG Xiao-Yan<sup>1</sup>, CHEN Min<sup>2</sup> (1. *Nanjing Environmental Sciences Institute, State Environmental Protection Administration of China, Nanjing, China, 210042*; 2. *Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2920~2926.

**Abstract:** The principle and method of ecological footprint was proposed by W E Rees in 1992 and promoted by M Wackernagel in 1996. Ecological footprint method was applied in 52 representative countries and regions and the calculating results showed

**基金项目:**中国科学院知识创新工程方向性资助项目(KZCX3-SW-424)

**收稿日期:**2003-10-25; **修订日期:**2004-08-10

**作者简介:**王健民(1935~),男,研究员,主要从事可持续发展战略、生态环境资源保护政策、规划与管理。E-mail: wjm3352497@china.com.cn

**Foundation item:** Department Item of CAS Knowledge Innovation Project(No. KZCX3-SW-424)

**Received date:**2003-10-25; **Accepted date:**2004-08-10

**Biography:** WANG Jian-Min, Professor, mainly engaged in strategy of sustainable development, protecting policy, planning and management of eco-environment and resources. E-mail: wjm3352497@china.com.cn

whether one country was in the state of ecological deficit or in the state of ecological remainder. The average ecological footprint threshold of the world was  $1.74\text{hm}^2$  per person, the norm ecological footprint was  $2.0\text{hm}^2$  per person, the actual average ecological footprint was  $2.4\text{hm}^2$  per person, the ecological deficit was over  $0.4\text{hm}^2$  per person. These results indicated the global ecological environment has been in the state of crisis, thus had important significance to be warned early.

However, the traditional method had also some shortcomings, for example: (1) it mainly reflected the natural ecosystem capacity, but did not reflect the social and economical feedback capacity (such as the effect of human resources, material, capital and management), especially the great contribution of the modern science and technology to increase the complex ecosystem biocapacity; (2) it summed the area of each land use which had been transformed with the yield factor and equivalence factor, but the final area index can't indicate the complicated relationship between the factors of the ecosystem; (3) the original method was not able to show the dynamic changes; (4) the four newly developed methods were based on the time series, but were also not able to show the relationship between the factors of the ecosystem.

Owing to the withdraws of the traditional ecological footprint method above, we developed a new method which divided the complex ecosystem into factors to analyze how each factor changed according to time and analyze the dynamic relationship between the factors. We integrated the social and economical impact, natural eco-environmental biocapacity and scientific and technological feedback capacity together to do the research more comprehensively, and developed the principle, method and the case study of the complex ecosystem dynamic ecological footprint (ecological historical record) in 2002.

Because the social and economic impact on natural ecosystem, natural eco-environmental biocapacity, and scientific and technological feedback capacity changed with time, it was necessary to carry out the correlation analysis between them.

First we analyzed how the single factor of the complex ecosystem changed with time and how double factors changed with time. Base on this, we established the dynamic relationship among the social and economical impact, natural eco-environmental biocapacity and scientific and technological feedback capacity.

The basic principle of the dynamic relationship was that the average ecological requirement per person ( $I/P$ ) should less than or equal to the complex ecosystem biocapacity ( $I'/P$ ). The average ecological requirement per person reflected the social and economical impact on natural ecosystem, the complex ecosystem biocapacity equaled to the ecological space (unit:  $\text{km}^2$ ) per person ( $E/P$ ) multiplied by product yield per  $\text{km}^2$  ( $I'/E$ ). Let the  $E/P$  be the transverse axis and  $I'/E$  the vertical axis, the points in the figure was  $I/P$ ; the series of  $I/P$  theoretical isoline constituted the norm complex ecosystem biocapacity or series of standard curves of complex ecosystem biocapacity.

The functions of relationship figure above included: (1) based on the theoretical research and analysis, the norm complex ecosystem biocapacity or series of standard curves of complex ecosystem biocapacity could be obtained; (2) based on the analysis of the historical statistical data, the dynamic change curve of each ecological factor related to complex ecosystem could be drawn; (3) one could carry out the static and dynamic assessment on the social and economical impact, the norm complex ecosystem biocapacity or series of standard curves of complex ecosystem biocapacity; (4) one could carry out the assessment on how the scientific and technological feedback capacity increase the complex ecosystem biocapacity; (5) one could analyze the reason why there appeared some changes in the complex ecosystem biocapacity and do some research on how to increase the scientific and technological feedback capacity.

**Key words:** complex ecosystem; ecological footprint; ecological historical records

文章编号:1000-0933(2004)12-2920-07 中图分类号:Q148 文献标识码:A

生态环境建设规划,是中国正在大力推行的一项重要生态环境保护战略措施,在编制《湖南省新宁县生态示范区环境建设规划》中,对该县进行了复合生态系统(1949~1998年)动态分析研究:含复合生态系统位势分析,人口分析,含太阳能、水、电能、化石能在内的能源、能流、能值分析,水资源的供需动态平衡分析,土地(耕地)资源的供需动态平衡分析,粮食生产的投入产出动态平衡分析,森林的蓄积量、增长量、消耗量动态平衡分析,生态灾害动态分析、生态环境资源质量、价值及效益概略分析等。本文重点介绍复合生态系统冲击力、承载力、反馈力之间的多要素动态相关分析模式图的创建和应用。

由加拿大生态经济学家 Rees W E 于 1992 年创建、其博士生 Wackernagel M 于 1996 年完善的“Ecological footprint”<sup>①</sup> 的

① 中文有两个译法:“生态占用”或“生态足迹”,从缺乏动态性来看,“生态占用”比“生态足迹”更贴切一些,本文选用“生态占用”。

定义概念是：“要维持一个人、地区、国家或全球的人类生存所需要的或者能够吸纳人类所排放的废弃物的、具有生物生产力的地域面积。”，并选择了占全球人口的 80% 和 GDP 占 92% 的 52 个有代表性的国家或地区，进行了生态占用测算及盈亏分析评价；进一步得出全球人均生态占用阈值为  $1.74\text{hm}^2$  (量纲，下同)，基准值为  $2.0\text{hm}^2$ ，而人均实际生态占用为  $2.4\text{km}^2$ ，全球人均生态赤字为  $0.4\text{hm}^2$  以上<sup>[1,2]</sup>，说明全球生态环境进入了危机阶段。因此，对提高全球生态环境意识、增强生态环境资源危机感、进行生态环境预警和研究生态环境战略对策等方面，具有战略意义。

我国一些学者于 1996 年开始引进并运用此方法，重点对我国西部地区进行了生态占用(生态足迹)分析评价，对中国中西部发展规划具有指导作用，但在理论及方法上创新不足<sup>[3~7]</sup>。

“生态占用”方法的优点是：

(1) 创建了一个统一的全球、国家或区域尺度的生态占用评价综合指标；

(2) 据此可以反映出一定阶段(时期)和一定技术经济条件下的社会经济冲击力(需求)与自然生态承载力(供给)之间的总体性盈亏状况；

(3) 采用经过转化的“生物生产力的面积”的影子概念易为人们所理解，原理具有一定的科学性，方法简易可行。

但是该方法也存在一些不足之处，如：

(1) 区域自然生态承载力，因其生态位势和生态类型多样性、结构状况、质量状况的不同而差别很大，将各生态类型加权抽象化所得到的等量化综合指标，难于反映复合生态系统内部要素、因子间复杂的相关关系及变化规律；

(2) 立足于自然生态系统(第一性生产力)承载力，未能全面反映出社会经济反馈力(人力、物资、资金、管理等方面的投入效用)，尤其是忽略了现代科学技术在提高复合生态系统承载力方面的巨大反馈作用和贡献；

(3) 最初创建的方法，未反映动态变化情况；

(4) 新开发的 4 种时间序列的方法，包括恒定世界产量、可变世界年均产量、可变地方实际产量及可变地方可持续产量<sup>[8]</sup>，实际是 4 种情景分析，仍不能反映复合生态系统要素间生动地相关关系。

针对克服以上主要缺陷，旨在从复合生态系统要素入手，着眼于研究社会经济发展冲击力、自然生态环境资源承载力及社会经济科学技术反馈力，并将三者有机结合进行综合分析研究，于 2002 年创建了复合生态系统动态足迹分析原理、方法、模式图和新宁县 50a 复合生态系统动态足迹分析研究案例。

“复合生态系统动态生态足迹”(简称“生态动态足迹”)或“复合生态系统动态史迹”(简称“生态史迹”或“生态实迹”)的概念是：“以研究可持续发展对策为目的，完全从实际情况出发，分析综合研究人类社会经济系统发展的冲击力、生态系统承载力与社会经济(科技、管理、投入)反馈力三者之间相关的动态变化规律。”

## 1 冲击力、承载力及反馈力

复合生态系统是一个复杂的巨系统，研究这样一个系统，除如生态足迹方法设计出总体性生态综合指标进行评价外，更需要将其进行要素分解，需先进行单要素随时间要素动态变化分析，再进行双要素间的相关动态(时间要素隐含其中)变化分析，进一步进行多要素间的相关动态(时间要素隐含其中)变化分析，以上 3 个步骤共同组成了复合生态系统动态生态足迹(生态史迹)分析。分析原理及方法简单适用，主要需突出复合生态系统要素的冲击力、承载力与反馈力三者之间的动态相关分析。

### 1.1 冲击力的概念及其要素

冲击力是指随着人口不断增长及其各种行为活动对生态环境资源系统产生的各种资源需求、污染负荷及生态空间的占用和作用力，相对静态的表现压力、相对动态的表现冲击力。我国面临社会、经济的巨大发展时期，因此目前突出表现为冲击力。

各种人类行为冲击力要素包括消费、生产、商贸、建设工程、科学研究、文化教育、通讯交通、国际交流、航天、军事活动等等。这些活动对生态环境资源系统的需求、负荷及压力是多种多样的、多层次的、不断增长的。如：生态空间、环境容量、环境质量、生物多样性、森林、草原、湿地、能源、水源、粮食、矿产、建材等等，此外还包括精神的、心理的、文化的需求；还包括与人类共生的野生生物、经济生物、宠物的最小空间及种群容量空间需求等。

随着人类生活水平的提高，生产水平也随之增长，对生态环境资源的需求也越来越广、越来越多，废弃物也越来越多、越来越复杂，某些生态因子(因素)的冲击力在不同层次上已接近、达到或超过了生态环境承载力、容量或允许负荷，人类因此已面临严重的生态环境资源危机，因此，人类必需控制自身的无限、无序、盲目增长和需求；人类的需求冲击力，必需控制在复合生态系统的承载力范畴内。

### 1.2 承载力的概念及其要素

随着人口的剧烈增长，20 世纪 40 年代就提出了“土地(耕地、草地)承载力”的概念：提出在自然太阳能、空气、气候、水、土壤、有机质为依托的第一性生产力的条件下，一定的耕地能养活多少人口？一定的草地有多少载畜量？

随着区域性、全国性、乃至全球性人口爆炸导致的资源、环境、生态危机的发展,又进一步提出了“资源承载力”、“环境承载力”、“生态承载力”概念。采用“生态环境资源承载力”涵盖了上述概念外,特别强调生态环境资源系统的“复合承载力”,即包括反馈力在内时生态环境资源能承载多大人口、社会、经济持续发展的需求的能力。

“承载力”是相对“冲击力”而言的,是根据复合生态系统在一定的生态环境资源基准和标准下确定的。一方面依据生态环境资源的区位条件、种类、数量、质量、结构、功能的完整性、稳定性、持久性;一方面依据人类需求的生存、生活和发展的水平及质量。如:H. T. 奥德姆得出供人的最小生态系统空间,每人平均为 2hm<sup>2</sup>;参考人的心理和社会需求,则需要 10hm<sup>2</sup><sup>[9]</sup>。

Wackernager 等通过全球生态足迹研究得到,除去生物多样性保护的需要后,得到人均 1.74hm<sup>2</sup> 为生态足迹阈值,包括保护生物多样性在内的全球人均生态足迹基准值为 2.0hm<sup>2</sup>。

王振堂得出保护东北虎、犀牛等顶级大型动物所需要的最小生存空间,分别为 5000km<sup>2</sup> 及 15000km<sup>2</sup>,种群密度应小于 3 头/km<sup>2</sup>。保护自然放养的动物还需增加种群最小经济容量空间。如每年要保证获得 1000 张貂皮,自然放养 1000 只貂的种群最小经济容量空间为 948.5km<sup>2</sup><sup>[10,11]</sup>。

显然,全球、尤其是中国在现实条件下,合乎上述阈值、基准的地区已很少了,必需引入社会经济科学技术“反馈力”的新概念,才能在第一性生产力提供的“承载力”基础上,进一步形成“复合承载力”才能满足社会经济持续发展的需求。

1.3 反馈力的概念及其要素

正如作用力与反作用力一样,存在“冲击力”也就存在“反馈力”。现实的“反馈力”主要是指当社会经济发展冲击力接近、达到或超过自然承载力时,为了保证人类生存、生活和发展,人类必需通过社会经济系统向自然生态环境资源系统反馈投入新的人力、能量、水源、物质、科学、技术、设施、资金等,以提高复合承载力,使之大于冲击力,以保障自然生态环境资源系统的平衡与稳定。

令冲击力为  $I$ ,复合承载力为  $I'$ ;复合承载力又可分解为自然承载力  $I_1'$  与社会反馈增加的承载力  $I_2'$ ;承载力取决于有效生态空间(面积) $E$  及其单位有效生态空间(面积)的产出  $w'$ ;单位有效生态空间(面积)产出可分解为单位有效生态空间(面积)自然产出  $w_1'$  及单位有效生态空间(面积)社会反馈产出  $w_2'$ 。

存在如下简明地关系:

$$I < I' \text{ (或 } I/P < I'/P\text{)}$$
$$I' = I_1' + I_2' = Ew_1' + Ew_2' = E(w_1' + w_2') = E \times w'$$

式中, $I$  为社会经济发展对区域生态环境资源的总需求量(相当生态冲击力); $I'$  为区域生态环境资源总产出量(相当复合生态系统承载力); $P$  为总人口; $I/P$  为人均社会经济发展对生态环境资源的需求量; $I'/P$  为人均区域生态环境资源供给量; $I_1'$  为自然或背景条件下生态环境资源产出量; $I_2'$  为社会经济、科学技术反馈投入后新增人均生态环境资源产出量; $E$  为有效生态空间(面积); $w$  为单位有效生态空间生态产出量; $w_1'$  为自然或背景条件下单位生态环境资源空间的产出量; $w_2'$  为单位生态环境资源空间因社会经济、科学技术反馈投入后新增的产出量。

上式表明,在一定的条件下,通过增加社会经济、科学技术反馈力是可以提高复合承载力的,但需特别强调指出的是:反馈力的大小除受到技术经济水平、科学技术水平和决策管理水平的制约外,只有在保持自然承载力的基础上才能发挥增量作用。人类社会经济和科学技术实力不能完全替代自然承载力,自然生态承载力如果完全破坏了(生态资源枯竭了、生态环境污染了、生态结构破坏了),任何社会经济、科学技术反馈力也发挥不出作用! 如人均占有生态环境资源空间或数量( $E$ ) 趋近于零时,则  $I_1'$ 、 $I_2'$ 、 $I'$  均趋近于零,此时投入再多、再大的社会经济、科学技术反馈力也无法增加承载力中的  $w_2'$  (除了在宇宙飞船上的极小人造生态空间,但代价是很高的,对于全人类是无从承受的)。

2 复合生态系统动态足迹模式图

复合生态系统动态足迹分析,需从单要素(因子)开始;进一步研究相关双要素(因子);再进一步研究复合生态系统多要素(因子)之间的复杂相关关系。单要素(因子)随时间变化曲线及双要素(因子)动态相关分析及多要素复合生态系统动态足迹分析均采用实际统计资料,采用通常的因素分析及数理统计分析方法,不人为加权,因此,比较真实地反映出复合生态动态足迹(生态史迹)情况,避免了人为畸变。

2.1 参考原理

赫尔曼 E. 戴利及肯尼斯 N. 汤森<sup>[12]</sup>提出采用 3 个因素来计量污染的环境效应。即:

$$I = P \times \frac{Y}{P} \times \frac{1}{Y}$$

式中, $I$  为环境效应(相当环境冲击力); $P$  为人口量; $Y$  为财富产出; $Y/P$  为人均产出财富; $I/Y$  为单位财富环境效应。

赫尔曼与肯尼斯认为<sup>[12]</sup>稳态经济要求环境效应小于环境承载能力。要想减少环境效应,必需设法使这 3 个因素中的 1 个

或更多因素有所减少。任何一个因素  $X\%$  的减少量都会导致环境效应减少  $X\%$ ，因此从算术角度来看，以上 3 个因素具有同等的重要性。但在任何具体的情况下，只有问哪个因素有可能允许减少  $X\%$  才是有意义的<sup>[12]</sup>。

该式是一个衡等式，实际上 4 个要素中的任何一个减少或增加，都是相等的。因此，在要求“环境效应小于环境承载力”时，上式需修改；另外该式突出了财富  $Y$  要素，从生态环境资源保护即可持续发展角度，更突出有效生态空间(面积)要素。

2.2 原理

2002 年提出的动态生态足迹(生态史迹)分析原理为：

$$\frac{I}{P} \leq \frac{E}{P} \times \frac{I'}{E}$$

式中， $I$  为人类的生态需求(相当于冲击力)； $I'$  为复合生态产出(相当于复合承载力)； $P$  为人口量； $E$  为有效生态空间(如忽略空间高度，即为：面积)； $I/P$  为人均生态需求； $E/P$  为人均有效生态空间(面积)； $I'/E$  为单位复合生态有效生态空间(面积)产出。

反映冲击力的人均生态需求( $I/P$ )应小于或等于反映复合承载力的人均有效生态空间( $E/P$ )与单位生态空间产出( $I'/E$ )的乘积；各要素随时间的变化组成了动态生态足迹曲线(时间要素隐含其中)； $E/P$  随有效生态空间( $E$ )与人口( $P$ )两个要素的变化而变化； $I'/E$  随产出( $I'$ )与有效生态空间( $E$ )两个要素变化而变化；生态环境资源的枯竭、质量恶化、生态结构破坏的影响等均隐含其中，科学技术进步及社会经济反馈力也隐含其中；在原因分析及对策分析中可以揭示出这些重要要素变化的规律。

可见，研究复合生态系统的冲击力、承载力及反馈力相互关系，研究可持续发展的战略对策与措施，必需从复合生态系统的要素及要素间相关、综合、动态关系进行研究。

2.3 复合生态系统要素动态相关足迹(生态史迹)模式图

从模式图(图 1)中看出：

(1)以人均有效生态空间资源  $E/P$  为横轴；以单位有效生态空间资源产出  $I/E$  或  $I'/E$  为纵轴，图中各点均为人均理论产出  $I/P$ ，其等值线组成复合生态系统冲击力基准和标准序列；

(2)根据多年动态实际统计资料，求出各年度人均产出  $I'/P$  测算结果；

(3)将不同时期的统计测算结果作图后，将其联结为动态生态足迹曲线，如模式图中的动态曲线是从 1950~2000 年的人均产出量的动态变化曲线；

(4)模式图可反映出  $P$ 、 $I$  及  $E$  3 个要素及其相关间  $E/P$ 、ecosystem factor  $I/E$  或  $I'/E$  及  $I/P$  或  $I'/P$  的动态变化关系，进而反映出冲击力、承载力、反馈力间动态相关变化规律。

可见，动态生态足迹(生态史迹)方法和模式图，完全是根据实际情况制定的全面、系统、综合分析评价体系，复杂的复合生态系统可以分解为生态要素进行分析综合研究。举一反三，触类旁通，据此可以制作出各种各样的复合生态系统要素动态生态足迹图。

3 新宁县复合生态系统动态足迹案例

在《湖南省新宁县生态环境建设规划》中，完成了制作了单因子、双因子、多因子的系统动态生态足迹图，并对每幅图中进行了简明地动态足迹分析，提出了定量的评价与对策建议。以 3 幅多要素相关动态生态足迹模式图为例。

(1) 人均粮食/人均耕地/亩产粮食相关动态生态足迹图(图 2) 从图 2 可以看出：①1949~1960 年人均粮食在 300kg 上下，一度低于 200kg，为维持总产量，主要是扩大耕地面积；②1961~1998 年人均粮食在人均耕地递减的情况下，上了两个台阶，艰难地从 300kg 增加到 400kg，又提高到 500kg，并向 600kg 攀升；③上两个台阶主要靠增加化肥、农药和农业科技投入，进一步稳定和提高人均粮食，必须严格控制人口、耕地和化肥、农药，主要靠绿色、有机高科技；④与全国相比(20 世纪 80 年代初)，人均耕地为优，亩均粮食前期为劣，后期为优，人均粮食总体为优。

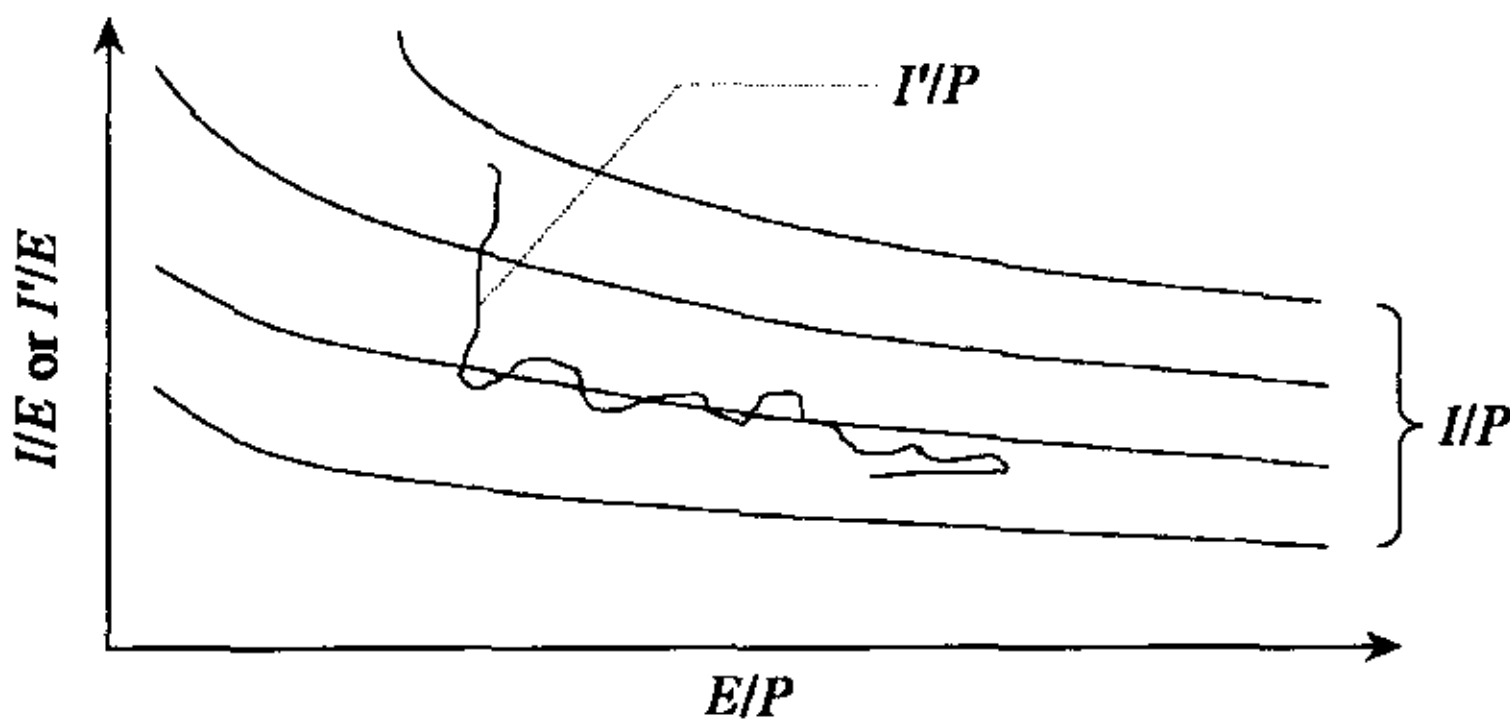


图 1 复合生态系统要素动态生态足迹模式图

Fig. 1 The mode of dynamic ecological footprint of the complex ecosystem factor

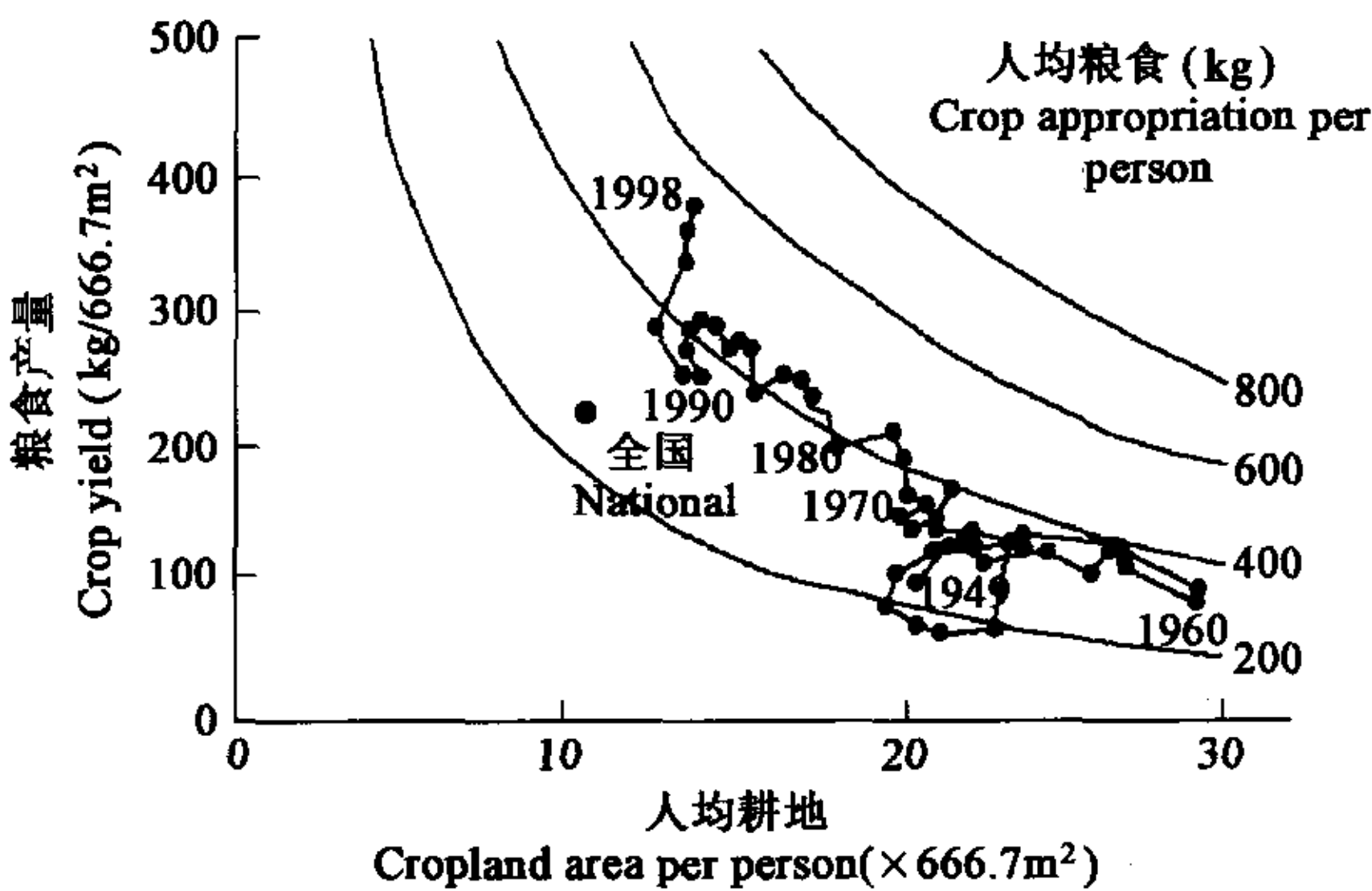


图 2 新宁县粮食动态生态足迹图(1949~1998 年)

Fig. 2 Food supplies dynamic ecological footprint of Xinning County from 1949 to 1998

(2) 人均 GDP/人均能耗/GDP/能耗相关动态生态足迹图(图 3) 从图 3 中可以看出:①1970~1983 年,人均能耗迅速增长,GDP/能耗迅速下降,人均 GDP 低下;②1984~1990 年,暂趋稳定;③1990~1998 年,人均标煤稳中有降,GDP/能耗稳中有升,人均 GDP 上升一个台阶;④与全国相比,人均能耗较低,GDP/能耗及人均 GDP 均优。

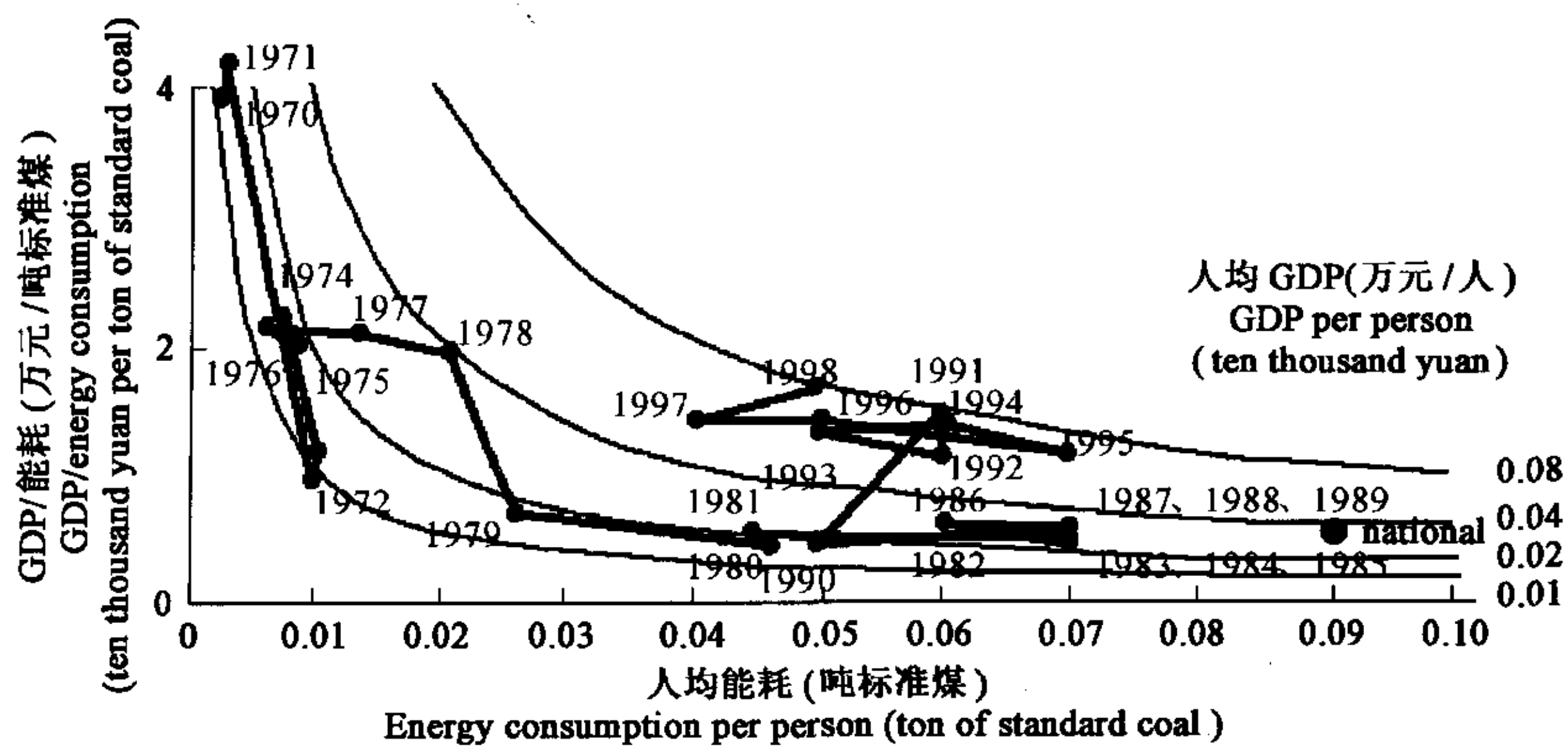


图 3 新宁县耗能动态生态足迹图(1970~1998 年)  
Fig. 3 Energy consumption ecological footprint of Xinning County from1970 to 1998

(3)人均森林蓄积量/人均林地/亩均森林蓄积量相关动态生态足迹图(图 4) 从图 4 可以看出:①1949~1956 年,人均林地明显下降,亩均森林蓄积量变化较小,且略有上升,人均森林蓄积量明显下降;②1959~1973 年,人均林地变化较小,但亩均森林蓄积量呈直线下降,直达历史最低值,亩均不足 1m<sup>3</sup>,人均森林蓄积量同步降至历史最低点,人均不足 3m<sup>3</sup>;③1974~1998 年,人均林地稳中略升,亩均森林蓄积量逐步回升,人均森林蓄积量也随之逐渐回升,但均距 1949 年背景值相差较远;④与全国相比(1981 年水平),新宁县人均林地优于全国,亩均蓄积量相当 1957 年时的较高水平,人均蓄积量相当 1961 年时的较好水平,新宁县 1998 年达到的水平人均林地为优,亩均森林蓄积量较低,人均森林蓄积量稍低;⑤此图系由五次森林普查的蓄积控制性数据,结合造林面积,采伐量及推算出的森林蓄积量资料,通过平衡测算而得,仅供分析规律参考。

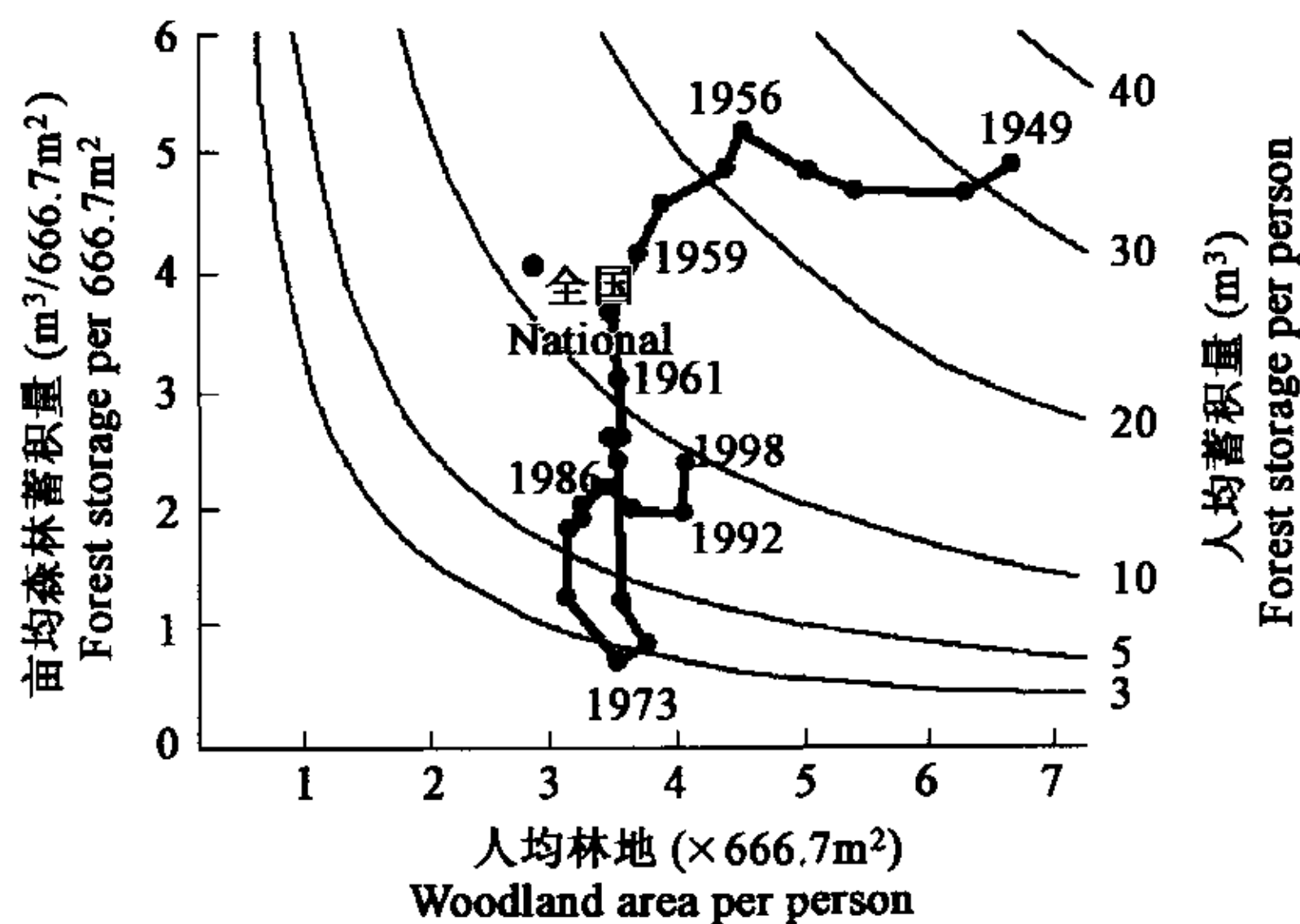


图 4 新宁县森林蓄积量动态生态足迹图(1949~1998 年)  
Fig. 4 Forest storage dynamic ecological footprint of Xinning County from1949 to 1998

#### 4 “生态占用”与“动态生态足迹”的比较

##### 4.1 差异性

“生态占用”(生态足迹)的目标是为了确立了一个通用、形象的综合评价可持续发展的统一尺度“生态占用”指标,进一步评价出全球生态占用的“静态阈值(基准)”,重点在宏观评价生态占用的盈亏状况。为了得到统一的生态评价指标,对不同生态类型之间的量化采用了加权的方法,评价结果与复杂而多变的复合生态系统的实际在中观、微观上可能往往存在较大差距。

“动态足迹”(生态史迹)的目标是为了综合研究复合生态系统冲击力、承载力与反馈力三者之间构成可持续发展的动态关系,寻求适合不同地区的实际自然承载力与社会经济反馈力组成的复合承载力动态基准及序列,重点在寻求对策,受到决策、规划、管理部门的欢迎。采用常用的因素分析方法,具有普适性,连贫困的新宁县也能推广。本模式是建立在上述原理基础和历史实际统计资料上的,无需加权处理,更符合实际。

##### 4.2 互补性

(1)按照“生态占用”确立的“人均 2hm<sup>2</sup> 的基准值”,全球超过了 0.4hm<sup>2</sup>;而我国及许多国家都远远不符合这一要求。我国人均土地仅 0.9hm<sup>2</sup>,而人均耕地目前只有 0.1hm<sup>2</sup>;到 2050 年时仅 0.08hm<sup>2</sup>。按照这个评价基准,中国人早已无法生存下去了;然而十几亿中国人民虽然没有发达国家生活水平高,生态环境资源问题也相当严重,但我们仍活得很好,生态环境质量也在不断改善中。反映出这个方法的不足之处是忽略了社会经济、尤其是科学技术反馈力的巨大作用;但这一指标评价的积极意义是警示了全人类和中国,尤其是中国自然生态环境问题到了十分严重的程度。

(2)按照“生态动态足迹”分析,生态承载力与社会经济反馈力相结合的复合承载力,在一定条件下是可以不断提高的。如案例中的湖南省新宁县自然生态承载力最高年产不足 10 万 t 粮食,1950 年粮食产量仅为 7.2 万 t,当年人口仅 25.8 万人,人均粮食实际不足 300kg,远不能满足需求;2000 年时人口增加到了 60 万人,粮食产量增长到 30 多万 t。虽人口增长了 1 倍多,而人均粮食达到了 500 多 kg,基本上满足了小康水平的粮食需求;进一步采取综合措施,如推广杂交稻、超级稻等,可预测 15a 后人均粮食可超过 750kg。新宁县的案例代表了中国的基本情况。

(3)复合生态系统动态分析研究表明,作为人类生存必需的粮食的增产是可以通过提高化肥、农药、种质、机械、劳力、畜力、动力、科学技术、科学管理途径而取得的,但是也付出了“一定的生态环境资源为代价”,因此问题转化为需要进一步寻求控制人口、节能、节水及无公害、绿色、有机的生态对策;如果生态资源枯竭了、生态环境污染了、生态结构破坏了,再增加多大的反馈力也无济于事。

## 5 结论

(1)Rees 及 Wackernagel 等创建的“生态占用”方法,适合自然生态承载力条件下静态的统一评价尺度,具有简明、形象的特点,对于提高生态意识、确立自然生态承载力的阈值、进行大尺度的评价等方面做出了重要贡献;缺点是忽视了社会经济科学技术的反馈力和动态性,不利于提出对策和调动人的能动性。

(2)“动态足迹”方法,适合复合生态系统生态足迹的分析研究。此模式除了具有简明、形象的特点外,还具有动态、相关分析的特点,可以在一张图上动态反映出多因素的生态足迹,对于提高决策管理者生态意识、研究复合生态冲击力//承载力//反馈力相关关系、确立复合生态承载力的基准(标准)、进行各种尺度的评价和提出针对性对策等方面,做出了贡献。因全部采用历史资料和统计数据,反映历史动态变化史迹,不存在模型的边界、参数变换等困难和问题,具有区域、全国、全球的普适性。

(3)“生态占用”与“生态史迹”可以互补。“生态史迹”原理与方法的提出,虽然补充了“生态占用”的某些不足,但自身也还需在实践中加以完善和发展,急需规范化以提高其应用价值。

## References:

- [1] Wackernagel M, Rees W E. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [2] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: Application in Sweden and Subregiona. *AMBIO*, 1999, **28**(7): 604~612.
- [3] Li L F, Cheng S K. Ecological appropriation: a new indicator of measuring sustainable development. *Journal of Natural Resources*, 2000, **15**(4): 375~382.
- [4] Yang K Z, Yang Y, Chen J. Ecological Footprint Analysis: Concept, Method and Cases. *Advance in Earth Sciences*, 2000, **15**(6): 630~636.
- [5] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable development with the ecological footprint method: take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(9): 1484~1493.
- [6] 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.
- [7] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, et al. The ecological footprint of the 12 provinces of west China in 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(5): 599~610.
- [8] 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.
- [9] Sun R Y as translator. Odum E P as ed. *Fundamentals of ecology*. Beijing: People's Education Press, 1981.
- [10] Wang Z T, Sheng L X. *Eco-Environmental vicissitude and population pressure in China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1994.
- [11] Wang J M, Wang R S. *An introduction to China's ecological assets*. Nanjing: Jiangsu Scientific and Technical Publishers, 2001.
- [12] Daly H E and Townsend KN as chief eds. Ma J, Zhong B, Zhu Y H, translators. *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*. Beijing: The Commercial Press, 2001.

## 参考文献:

- [3] 李利峰,成升魁. 生态占用——衡量可持续发展的新指标,自然资源学报,2000, **15**(4): 375~382.
- [4] 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.
- [5] 徐中民,程国栋,张志强. 生态足迹方法: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.
- [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] 张志强,徐中民,程国栋,等. 中国西部 12 省(市区)的生态足迹. 地理学报,2001, **56**(5): 599~610.
- [9] 孙濡泳译, E. P. 奥德姆著. 生态学基础. 北京:人民教育出版社, 1981.
- [10] 王振堂,盛连喜. 中国生态环境变迁与人口压力. 北京:中国环境科学出版社, 1994.
- [11] 王健民,王如松. 中国生态资产概论. 南京:江苏科学技术出版社, 2001.
- [12] 赫尔曼 E. 戴利,肯尼思 N. 汤森主编. 马杰,钟斌,朱又红译. 珍惜地球——经济学、生态学、伦理学. 北京:商务印书馆, 2001.