

# 基于“国家公顷”生态足迹模型的广东省生态安全研究

黄羿<sup>1,2</sup> 杨林安<sup>1,2</sup> 张正栋<sup>3</sup> 夏斌<sup>1,4</sup>

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640 ;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049 ;

3. 华南师范大学 地理科学学院, 广东 广州 510631 ;

4. 中山大学 海洋学院, 广东 广州 510275 )

**摘要:** 从国家公顷概念的角度出发, 利用广东省与国家土地平均生物生产力的比较关系修正了传统生态足迹模型中的均衡因子与产量因子, 更加准确地计算了广东省人均生态足迹及人均生态承载力及其变化趋势。结果显示, 研究期内广东省土地生态供给出现持续赤字的情况, 人均生态赤字呈现先下降后上升的趋势。通过人均生态赤字与人均收入建立的协整关系模型发现, 广东省人均生态赤字的逐年累积效应显著, 而人均收入用于消减生态赤字的效应相对滞后。因此, 转变经济增长和居民消费方式仍是广东省社会、经济、环境协调发展亟需解决的关键问题。

**关键词:** 国家公顷; 生态足迹; 生态承载力; 人均生态赤字; 人均收入; 广东省

**文献引用:** 黄羿, 杨林安, 张正栋, 等. 基于“国家公顷”生态足迹模型的广东省生态安全研究[J]. 生态经济, 2012(7): 47~51, 56.

**中图分类号:** X24; F062.2 **文献标识码:** A

## Ecological Security Study of Guangdong Province based on “National Hectare” Ecological Footprint Model

HUANG Yi<sup>1,2</sup>, YANG Lin'an<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhengdong<sup>3</sup>, XIA Bin<sup>1,4</sup>

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong 510640, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou Guangdong 510631, China;

4. School of Marine Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou Guangdong 510275, China.

**Abstract:** From the perspective of national hectares, the paper validates the relationship of average biological production capability between Guangdong Province and the whole China, and revises the equivalence factor and yield factor of traditional ecological footprint model, to get the more accurate results of ecological footprint and ecological capacity in Guangdong Province. The results show that a sustained deficit of land ecological supply is presented during the study period, and the ecological deficit shows an upward trend after a drop. Through the co-integration model of ecological deficit and income per capita, we find the cumulative effect of ecological deficit is significant, and the extinction effect of income is lagging behind. Thus, the transformation of economic growth and residents' consumption patterns still are the key issues of Guangdong harmonious development.

**Key words:** national hectare; ecological footprint; ecological capacity; ecological deficit per capita; income per capita; Guangdong Province

1992年加拿大经济学家里斯(Rees)提出了生态足迹的概念,并在1996年与其博士生瓦克纳格尔(Wackernagel)共同研究得到了衡量区域资源利用与生态承载力关系的生态足迹方法<sup>[1]</sup>。该方法从客观形象的角度将人类一切活动所消耗的原始物质及能源折合生物生产性土地面积,并将其与区域内所能提供的生物生产性土地面积对比,通过研究区域剩余的生态容量衡量区域可持续发展的程度<sup>[2]</sup>。生态足迹方法因其直观、综合操作性强的优势,被国内外学者在不同尺度的区域生态安全评价和可持

续发展研究上广泛使用<sup>[3]</sup>。生态足迹理论及概念于1999年被引入国内,随后有关生态足迹的研究在国内迅速展开<sup>[4]</sup>。

广东省作为改革开放和经济发展的先行区域,其生态环境问题也一直受到各界的重视。早在2003年胡新艳等人就采用生态足迹模型对2001年广东省生态容量进行了评价,研究结果显示,由于能源消耗及耕地资源的大量流转,广东省生态占用远远超过其生态承载能力<sup>[5]</sup>。高长波等对广东省1990~2002年的生态足迹及生态承载力进行了计算和动态分析,结果显示在全球尺度上广东省处于生态

基金项目:广东省自然科学基金项目(9151063101000046);广东省软科学项目(2009B70300115)

作者简介:黄羿(1988~),女,江西泰和人,博士生,研究方向为资源环境与区域可持续发展。

可持续发展状态,但是生态系统的压力和强度甚高<sup>[6]</sup>。刘强等基于生态足迹与生态承载力对广东省各市2006年生态补偿进行了量化分析,结果表明各地级市均呈现生态赤字状态,且赤字水平由珠三角经济发达地区向外逐渐递减<sup>[7]</sup>。然而,目前的相关研究所引用的生态足迹模型均采用全球尺度的参数,并没有考虑土地利用及生产力的区域性特征,从而导致计算结果存在一定的偏差。因此本文从“国家公顷”的角度出发,基于我国各类生产性土地的相互关系和广东省土地的平均生产力,构建生态足迹的改进模型,并计算了1996~2008年间广东省的生态足迹和生态承载力变化,更为准确地评价了广东省的生态空间供需状况。

## 1 “国家公顷”生态足迹模型

“国家公顷”的概念是相对全球尺度提出来的,是指国家土地平均生产力的标准面积,为在国家生产力水平上衡量省际土地供需量提供了方法。传统的生态足迹模型将生态生产性土地划分成相对独立且不相重复的耕地、林地、牧草地、水域(不包括海洋)、化石燃料用地和建筑用地六大类,按照全球平均产量将消费项目转换成土地面积,并利用均衡因子将各类生物生产性土地面积转换成可以运算的总面积,即得到研究区域土地需求量,然后运用产量因子和区域土地面积计算得到区域土地供给量。在“国家公顷”生态足迹模型中,用全国单位公顷土地的平均生产能力与省际各地类生物产量计算得到的均衡因子和产量因子替代传统模型中全球尺度的相应参数。

### 1.1 “国家公顷”生态足迹模型中的转换因子

#### 1.1.1 全国平均产量

全国平均产量是指单位公顷土地上生物作物的产量<sup>[1]</sup>,即:

$$ep_i = \frac{p_i}{s_i} \quad (1)$$

式中, $ep_i$ 为第*i*类生产性作物的全国平均产量(kg/hm<sup>2</sup>), $p_i$ 是第*i*种生产性作物的全国产量(kg), $s_i$ 为第*i*种生产性作物的土地面积(hm<sup>2</sup>)。

#### 1.1.2 均衡因子

均衡因子是为不同类型的土地消除生物生产力差异从而转化成可比较的标准面积的转换因子<sup>[8]</sup>。“国家公顷”的均衡因子是通过各类土地平均生物生产力占全国全部土地平均生物生产力的比例计算得到的,其计算公式为:

$$r_i = \frac{\bar{p}_i}{\bar{p}} = \frac{Q_i / \sum S_i}{\sum Q_k / \sum S_k} = \frac{\sum_k p_k^i \cdot \gamma_k^i}{\sum_k p_k \cdot \gamma_k} \quad (2)$$

式中, $r_i$ 是国家第*i*类土地的均衡因子; $\bar{p}_i$ 代表第*i*类土地的平均生产力(10<sup>9</sup>J/hm<sup>2</sup>), $\bar{p}$ 代表全国全部土地的平均生产力(10<sup>9</sup>J/hm<sup>2</sup>), $Q_i$ 表示第*i*类土地的总生物产量(10<sup>9</sup>J), $S_i$ 表示第*i*类土地的生物生产性面积(hm<sup>2</sup>); $p_k^i$

表示第*i*类土地的第*k*种生物产品产量(kg), $\gamma_k^i$ 表示第*i*类土地上第*k*种生物产品的单位热值(10<sup>3</sup>J/kg)。

### 1.1.3 产量因子

不同区域因气候环境、生产技术和社会经济等差异会导致同类土地生物生产力不同,因此需将省域各类土地平均生产力与同类全国土地平均生产力相比,得到产量因子,从而把省际生物生产性土地而换算成“国家公顷”的标准面积。产量因子的计算公式如下:

$$y_i^j = \frac{\bar{p}_i^j}{\bar{p}_i} = \frac{Q_i^j / S_i^j}{Q_i / S_i} = \frac{\sum_k (p_k^i)^j \cdot \gamma_k^i}{\sum_k p_k^i \cdot \gamma_k^i} \quad (3)$$

其中, $y_i^j$ 指*j*省第*i*类土地的产量因子, $\bar{p}_i^j$ 指*j*省第*i*类土地的平均生产力(10<sup>9</sup>J/hm<sup>2</sup>), $\bar{p}_i$ 代表全国第*i*类土地的平均生产力(10<sup>9</sup>J/hm<sup>2</sup>), $Q_i^j$ 表示*j*省第*i*类土地的总产出(10<sup>9</sup>J), $S_i^j$ 表示*j*省第*i*类土地的总面积(hm<sup>2</sup>), $Q_i$ 表示全国第*i*类土地的总生物产量(10<sup>9</sup>J), $S_i$ 表示全国第*i*类土地的总面积(hm<sup>2</sup>), $(p_k^i)^j$ 代表*j*省第*i*类土地的第*k*种产品的年产量(kg),其他系数如式(2)中含义一样。

### 1.2 “国家公顷”生态足迹模型的计算方法

瓦克纳格尔等学者在假设人类能确定资源、能源消费及废弃物数量并折算成相应的不重复的生物生产土地面积等条件成立的基础上,将生态足迹模型概括为三个部分,即生态足迹计算、生态承载力计算和生态盈余/赤字的计算<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.1 生态足迹的计算

根据生物生产性土地的六大分类,可以将生态足迹的计算概括为生物资源账户、能源资源账户和建设用地账户核算三个方面,其中生物资源账户包括了耕地、林地、草地和水域四类用地,能源资源账户核算用于计算化石燃料用地的生态足迹,建设用地生态足迹的计算方法与其承载力计算方法相同<sup>[1]</sup>。

##### (1) 生物资源账户。

生物资源的生态足迹计算是将不同生物生产性土地的面积通过均衡因子转换成可比较的统一生物生产性面积,其计算方法如式(4)所示。

$$ef_j = \sum_{i=1}^6 [r_j \times \sum_{i=1}^n (aa_i)] = \sum_{i=1}^6 [r_j \times \sum_{i=1}^n (c_i / ep_i)] \quad (4)$$

式中, $ef_j$ 为人均生态足迹(nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>), $i$ 为消费商品及投入的类型, $j$ 为土地类型; $r_j$ 为第*j*类土地的均衡因子, $aa_i$ 为第*j*类土地上第*i*种生物产品转化的人均土地需求面积(hm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>), $c_i$ 为区域第*i*类消费品的人均消费量(kg·人<sup>-1</sup>), $ep_i$ 为第*i*类消费品的全国平均产量(kg/hm<sup>2</sup>)。其中,广东省消费品的人均消费量由年人均总生物产量代替,并通过徐中民提出的价值比例换算方法<sup>[9]</sup>调整得到人均生态足迹,即按照产品净贸易量占总产量的价值比例扣减对应生物生产性面积。

(2) 能源消费账户。

能源消费账户的生态足迹是通过核算吸收人类经济活动消耗的化石燃料所需的林地面积得到的,在此采用碳汇法计算化石燃料用地的生态足迹,其方法如下<sup>[10]</sup>:

$$ef_c = \frac{2}{3} \times r_c \times \frac{f}{\omega} \quad (5)$$

式中,  $ef_c$  为吸纳化石能源排放CO<sub>2</sub>的人均土地面积 (nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>),  $r_c$  为林地的均衡因子,  $f$  为人均CO<sub>2</sub>的排放量 (t), 是通过人均标准煤年消耗量与有效氧化系数和单位标准煤的含碳量的乘积计算得到的, 其中, 有效氧化系数为0.982, 单位标准煤含碳量为2.67t<sup>[11]</sup>, 且人均CO<sub>2</sub>排放量中只有2/3的CO<sub>2</sub>被林地吸收, 1/3被海洋吸收;  $\omega$  为每公顷林地所能吸纳的CO<sub>2</sub>量, 根据IPCC的报告显示每公顷林地吸收CO<sub>2</sub>3.67t<sup>[12]</sup>。

1.2.2 生态承载力的计算

生态承载力是指区域能够提供的生物生产性土地面积的综合, 即可视为区域生态足迹供给量。

$$ec_j = \sum_{j=1}^6 a_j \times r_j \times y_j \quad (6)$$

式中,  $ec_j$  表示j类土地的人均生态承载力 (nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>),  $a_j$  为j类土地的人均生物生产性面积 (hm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>),  $r_j$  为j类土地的均衡因子,  $y_j$  是产量因子。

1.2.3 生态盈余/赤字的计算

将代表区域生物生产性土地面积供给量的生态承载力与代表生物生产性土地面积消费需求量的生态足迹相减, 就能得到判断区域生产性土地是否满足消费需求的生态盈余/赤字。

$$ed = ec - ef \quad (7)$$

式中,  $ed$  为人均生态盈余/赤字 (nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>),  $ec$  为人均生态承载力 (扣除12%的保留生物多样性用地),  $ef$  为人均生态足迹, 是生物资源账户、能源消费账户和建设用地账户三类账户人均生态足迹的综合。当 $ed > 0$ 时, 区域生态系统状态为生态盈余, 表明该地区的生态承载力足以承受人类对自然生态系统的消费, 区域经济发展为可持续状态; 当 $ed = 0$ 时, 区域生态系统处于发展均衡状态; 当 $ed < 0$ 时, 区域生态系统状态为生态赤字, 说明该地区人均占用资源量超过了自然资源的生态承载能力, 区域经济发展为不可持续的状态。

2 数据整理与计算结果

2.1 数据整理

通过收集和整理, 将全国及广东省1996~2008年间农业、林业、畜牧业和渔业的生物产量共计43个项目的动态数据, 分别对应于耕地、林地、草地和水域, 再按照《农业技术经济手册(修订版)》<sup>[13]</sup>的生物产品单位热值统

计, 将每种生物产品产量转化为能量的形式, 并通过上述(2)、(3)式计算得到了历年全国各类土地的均衡因子与广东省的产量因子。其中, 把水果对应的生物生产性土地归为耕地, 耕地数据为原园地与耕地数据加总, 草地面积为原牧草地与未利用地面积的总和, 水域为其他农用地(即养殖水面和坑塘水面)与河流湖泊的面积之和。通常情况下, 化石燃料排放的CO<sub>2</sub>是由林地吸收, 因此化石燃料用地的均衡因子与林地相同, 而建设用地的扩张通常是占用耕地, 所以其产量因子与耕地相同。

将广东省生物资源消费账户分为27项, 能源消费账户分为20项, 全国平均产量参照李智强相关研究中的数据<sup>[14]</sup>, 分别计算得到1996~2008年广东省各类土地利用的人均生态足迹和人均生态承载力。其中, 由于化石燃料用地是通过转换成吸收CO<sub>2</sub>的林地面积核算的, 为不重复细算林地生态承载力, 将化石燃料用地的生态承载力记为0, 建设用地的生态承载力与其生态足迹相同。计算数据分别来源于《中国统计年鉴》(1997~2009)<sup>[15]</sup>、《广东农村统计年鉴》(1997~2009)<sup>[16]</sup>、《中国能源统计年鉴》(1997~2009)<sup>[17]</sup>和广东省土地变更调查统计资料<sup>[18]</sup>。

2.2 计算结果与分析

2.2.1 均衡因子

基于“国家公顷”的土地均衡因子如表1所示, 我国单位面积耕地的相对平均生产力最高, 其次是林地、水域和草地, 随着近年来土地利用结构和生物性生产作物结构的变化, 耕地相对平均生产力总体呈现下降趋势, 草地和水域的相对平均生产力则不断增加。

表1 1996~2008年全国各类土地的均衡因子

年份	耕地	林地	草地	水域	化石燃料用地	建设用地
1996	6.48	0.09	0.02	0.28	0.09	6.48
1997	6.47	0.09	0.03	0.27	0.09	6.47
1998	6.47	0.08	0.03	0.28	0.08	6.47
1999	5.21	0.07	0.03	0.33	0.07	5.21
2000	5.19	0.07	0.04	0.37	0.07	5.19
2001	5.19	0.07	0.04	0.38	0.07	5.19
2002	5.18	0.07	0.04	0.40	0.07	5.18
2003	5.16	0.07	0.04	0.43	0.07	5.16
2004	5.27	0.07	0.04	0.43	0.07	5.27
2005	5.26	0.07	0.05	0.44	0.07	5.26
2006	5.25	0.08	0.05	0.45	0.08	5.25
2007	5.23	0.08	0.05	0.47	0.08	5.23
2008	5.22	0.08	0.05	0.47	0.08	5.22

2.2.2 产量因子

1996~2008年广东省各类土地的产量因子如表2所示, 由表中数据可见, 广东省各类土地产出水平较高, 其中林地的产量水平与全国平均水平相当, 耕地、草地、水域的产量水平均高于全国平均水平, 13年间的平

均数据分别是全国平均产量的1.45、2.98和3.55倍。

表2 1996~2008年广东省各类土地的产量因子

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地
1996	1.13	0.75	3.99	3.47	1.13
1997	1.18	0.75	2.13	3.70	1.18
1998	1.16	0.77	2.14	3.66	1.16
1999	1.57	1.04	2.69	3.57	1.57
2000	1.63	1.05	2.88	3.61	1.63
2001	1.61	1.08	2.85	3.61	1.61
2002	1.51	1.12	3.58	3.51	1.51
2003	1.58	1.08	3.51	3.53	1.58
2004	1.41	1.12	3.28	3.52	1.41
2005	2.11	1.20	3.32	3.37	2.11
2006	1.32	1.00	3.22	3.20	1.32
2007	1.34	0.97	2.63	4.52	1.34
2008	1.26	0.82	2.46	2.85	1.26

2.2.3 人均生态足迹

通过计算，得到1996~2008年间广东省各类土地的人均生态足迹如表3所示，广东省人均生态足迹呈现出先下降再上升的总体态势，其中各地类人均生态足迹所占比重及其变化趋势又各有不同。耕地人均生态足迹呈现明显的下降趋势，从1996年的0.607 5nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>下降到2007年的0.418 6nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>，2008年稍有回升至0.513 8nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>；建设用地人均生态足迹在1996~2005年间持续快速上升，由0.144 0nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>增长至0.231 5nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>，在2006~2008年间稍有回落，减少至0.136 9nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>；人均林地生态足迹稍有波动但总体上升，与此同时，化石燃料用地的人均生态足迹在微弱下降后呈现出迅速上升的变化趋势，由1996年的0.068 2nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>上升至2008年的0.138 7nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>，上升幅度高达103.37%，说明城镇化的迅速发展推动了广东省生产生活中能源消费的迅速增加，需要留作吸收CO<sub>2</sub>的化石燃料用地需求也在逐步扩大。另外，人均草地生态足迹与人均水域生态足迹也呈现出持续增长的态势，分别从1996年的0.000 3nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>和0.006 8nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>增长到0.001 1

表3 1996~2008年广东省各类土地的人均生态足迹  
单位：nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>

年份	耕地	林地	草地	水域	化石燃料用地	建设用地	汇总
1996	0.607 5	0.000 2	0.000 3	0.006 8	0.068 2	0.144 0	0.827 0
1997	0.607 6	0.000 2	0.000 3	0.006 7	0.048 2	0.152 4	0.815 4
1998	0.624 0	0.000 2	0.000 3	0.007 6	0.044 3	0.151 7	0.828 1
1999	0.490 8	0.000 1	0.000 4	0.009 3	0.038 6	0.163 7	0.702 9
2000	0.473 9	0.000 1	0.000 5	0.010 8	0.042 2	0.167 1	0.694 6
2001	0.457 6	0.000 1	0.000 6	0.011 5	0.041 9	0.164 6	0.676 3
2002	0.428 8	0.000 2	0.000 6	0.012 2	0.044 2	0.157 9	0.643 9
2003	0.431 1	0.000 3	0.000 8	0.013 5	0.053 4	0.166 4	0.665 5
2004	0.436 7	0.000 6	0.000 8	0.013 9	0.079 8	0.154 1	0.685 9
2005	0.457 1	0.000 2	0.000 8	0.015 2	0.091 0	0.231 5	0.795 8
2006	0.425 8	0.000 3	0.001 1	0.015 1	0.110 5	0.144 3	0.697 1
2007	0.418 6	0.000 3	0.001 4	0.016 4	0.127 8	0.146 3	0.710 8
2008	0.513 8	0.000 4	0.001 1	0.016 0	0.138 7	0.136 9	0.806 9

nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>和0.016 0nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>。从整体构成比重来看，耕地人均生态足迹占总生态足迹的比重在下降，而草地、水域和化石燃料用地的人均生态足迹占总生态足迹的比重在持续上升，林地与建设用地的人均生态足迹比重呈现上升且有微弱波动的趋势。综合上述人均生态足迹变化可知，随着社会经济的发展，1996~2008年期间广东省的消费结构发生了一定的变化，对粮食作物的依赖程度正在逐渐减小，对水果和水产品的消费正在逐步增加，对建筑用地与能源的需求逐步提高。

2.2.4 人均生态承载力

1996~2008年广东省人均生态承载力组成及变化数据如表4所示，土地利用总生态承载力波动较大但总体呈现下降趋势，其中人均耕地生态承载力的比重最大，其总体下降趋势也最为明显，从1996年的0.430 0nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>下降到2008年的0.306 1nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>，占人均生态承载力的比重由72.24%下降到65.74%；人均建筑用地的生态承载力比重从24.19%上升至29.40%，显示出微弱的上升态势，同时，牧草地和水域的人均生态承载力也均呈现出微弱的上升趋势，分别从1996年的0.001 0nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>和0.009 8nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>上升至0.001 1nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>和0.013 0nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>，而林地的人均生态供给却持续下降，由0.010 4nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>下降至0.008 5nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>。由此可见，建筑用地的扩张和农业内部产业调整带动的土地利用结构调整是导致1996~2008年广东省人均生态承载力变化的主要原因。

表4 1996~2008年广东省各类土地的人均承载力  
单位：nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	汇总
1996	0.430 0	0.010 4	0.001 0	0.009 8	0.144 0	0.595 2
1997	0.431 8	0.010 2	0.000 6	0.010 4	0.152 4	0.605 4
1998	0.421 1	0.009 2	0.000 6	0.010 6	0.151 7	0.593 2
1999	0.444 3	0.009 9	0.000 9	0.012 0	0.163 7	0.630 8
2000	0.448 5	0.009 8	0.001 0	0.013 2	0.167 1	0.639 6
2001	0.437 9	0.009 7	0.001 0	0.013 7	0.164 6	0.626 9
2002	0.402 1	0.009 8	0.001 3	0.014 0	0.157 9	0.585 1
2003	0.411 3	0.010 1	0.001 5	0.014 9	0.166 4	0.604 2
2004	0.371 5	0.009 7	0.001 4	0.014 7	0.154 1	0.551 4
2005	0.546 0	0.010 4	0.001 4	0.014 8	0.231 5	0.804 1
2006	0.330 7	0.009 4	0.001 4	0.014 6	0.144 3	0.500 4
2007	0.329 9	0.009 6	0.001 2	0.021 3	0.146 3	0.508 3
2008	0.306 1	0.008 5	0.001 1	0.013 0	0.136 9	0.465 6

在扣除12%的生物多样性预留地的前提下，将人均生态承载力与人均生态足迹相减，得到表5中广东省各类土地的人均生态盈余/赤字。数据结果显示，人均耕地、林地和建设用地持续出现供给赤字，其中人均耕地供给赤字在1996~2005年间呈现下降趋势，并在2005年出现微弱的供给盈余，而后又持续出现赤字；在其他地类中，林地人均生态赤字显著上升，建设用地的人均生态赤字持续波动

但变化不大，与此同时，草地与水域的生态供给由盈余转向赤字，并不断扩大。总体而言，1996~2008年间广东省生态土地供给持续赤字，人均生态赤字呈现先下降后上升的趋势。

表5 1996~2008年广东省各类土地的人均生态盈余/赤字  
单位：nhm<sup>2</sup>·人<sup>-1</sup>

年份	耕地	林地	草地	水域	建设用地	汇总
1996	-0.229 1	-0.059 3	0.000 6	0.001 9	-0.017 3	-0.303 2
1997	-0.227 6	-0.039 4	0.000 2	0.002 5	-0.018 3	-0.282 5
1998	-0.253 4	-0.036 4	0.000 2	0.001 8	-0.018 2	-0.306 0
1999	-0.099 8	-0.030 0	0.000 3	0.001 2	-0.019 6	-0.147 9
2000	-0.079 3	-0.033 8	0.000 3	0.000 8	-0.020 0	-0.131 9
2001	-0.072 2	-0.033 5	0.000 3	0.000 5	-0.019 7	-0.124 6
2002	-0.074 9	-0.035 7	0.000 5	0.000 1	-0.018 9	-0.128 9
2003	-0.069 1	-0.044 8	0.000 5	-0.000 3	-0.020 0	-0.133 7
2004	-0.109 8	-0.071 9	0.000 5	-0.001 0	-0.018 5	-0.200 7
2005	0.023 3	-0.082 0	0.000 4	-0.002 2	-0.027 8	-0.088 2
2006	-0.134 8	-0.102 5	0.000 1	-0.002 2	-0.017 3	-0.256 7
2007	-0.128 3	-0.119 7	-0.000 3	0.002 4	-0.017 6	-0.263 5
2008	-0.244 4	-0.131 6	-0.000 1	-0.004 5	-0.016 4	-0.397 1

将1996~2008年广东省人均生态赤字汇总数据与人均收入做协整检验发现，两者之间存在协整关系，建立误差修正模型如(8)式所示：

$$ed = 0.036727 + 0.382384ed(-1) + 0.144555ed(-2) + 0.0000145inc + 0.0000417inc(-1) - 0.000152inc(-2) \quad (8)$$

$$R^2 = 0.8898$$

式中，ed为人均生态赤字，inc为人均收入，ed(-1)和inc(-1)为前一期的人均生态赤字与人均收入，ed(-2)和inc(-2)为前两期的人均生态赤字与人均收入。由(8)式可知，广东省人均生态赤字与前期赤字的正相关性明显大于人均收入，且与前两期的人均收入存在负相关关系。具体而言，当年人均生态赤字受前两年赤字影响的推动作用较大，其逐年累积效应相对显著；人均收入的增加同样会引起人均生态赤字的增加，说明广东省经济发展依然是建立在生态环境透支的基础上，但是部分前二期的人均收入会用于减少本期人均生态赤字，反映了人们保护生态环境的意识和行为在逐渐增强，而经济发展对消减生态赤字的影响

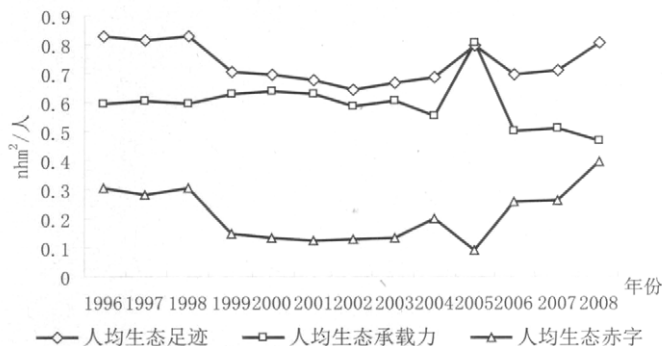


图1 1996~2008年广东省国家公顷生态足迹模型计算结果

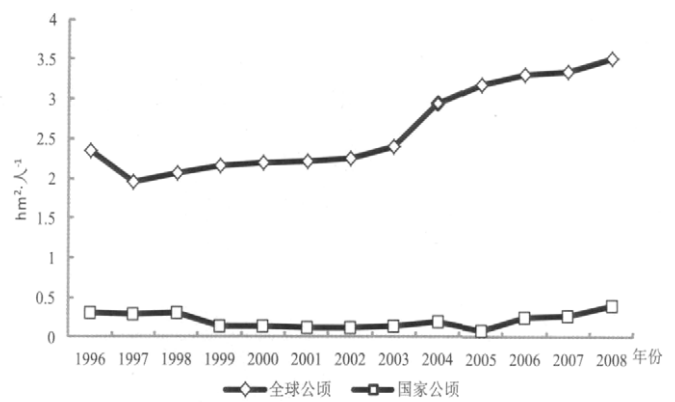


图2 全球公顷与国家公顷生态足迹模型下的广东省生态赤字比较

行为效应大约滞后两年。

### 3 结论

本文通过计算国家公顷定义下各类土地的均衡因子和广东省的产量因子，得到了1996~2008年年间广东省人均生态足迹和人均生态承载力，从国家尺度上更准确的衡量了广东省土地供需量的变化。与传统全球尺度的生态足迹模型(均衡因子与产量因子均引用瓦克纳格尔等人的值)<sup>[1]</sup>结果相比较(如图2)，国家公顷生态足迹模型缩小了全球模型中因忽略区域土地生产力差异性而引起的误差，更精细的突出了人均生态足迹逐年的变化趋势，而人均生态赤字计算结果也有较大的区别。从变化趋势上看，由全球公顷模型计算的人均生态赤字从1997年起呈现不断上升的趋势，尤其是在2003~2005年期间飞速上升，而国家公顷模型计算得到的人均生态赤字在研究期间经历了先下降后上升的过程，且波动幅度和变化范围较小；从人均生态赤字数值结果来看，全球公顷计算结果相对国家公顷计算结果较大，前者为后者的6倍左右，由此进一步证明了全球尺度计算得到的土地供需量相对于国家尺度的计算结果有较大的误差。

虽然国家公顷生态足迹模型计算得到的人均生态赤字相对全球尺度的计算结果较小，但是在研究时段内广东省人均土地生态供给依然持续呈现赤字状况，说明1996~2008年间广东省社会经济发展过于依赖自然资源，导致其透支现象明显，而生态赤字的累积性和自然生态功能恢复的长久性必然导致区域发展处于不可持续状态。另一方面，在人均收入增加引起人均生态赤字增长的同时，也对未来减缓生态赤字起到了一定的作用，说明广东省在经济发展的同时，对生态环境的保护行为有一定的效果但效应有所滞后。因此，广东省在协调人口、经济社会和生态环境均衡发展方面仍需进一步深入实施转变经济增长方式、提升自主创新水平、倡导企业和个人的绿色消费行为等关键举措。

(下转56页)

低。评价结果还显示,广州市在生态文化建设方面有待提升,其生态文化准则层得分较低的原因主要因为公众调查中对环境满意率不尽如人意,且大专以上学历人口比例不高,且其生态制度方面的建设也有待加速。

表3 北上广深4城市生态文明建设水平对比(2009年,21指标)

评价指数	北京市	上海市	广州市	深圳市
综合指数	0.514 4	0.588 2	0.582 3	0.669 7
生态经济	0.678 0	0.605 0	0.649 2	0.797 1
生态环境	0.493 6	0.621 1	0.674 6	0.677 2
生态文化	0.641 7	0.766 8	0.459 4	0.561 9
生态制度	0.355 6	0.416 2	0.322 8	0.565 6

#### 4 结论

城市生态文明建设的评价方法研究是我国生态文明建设过程中的一项重大实际需求,也是目前学界的研究热点之一。本文以经济发达城市为研究切入点,按照其生态文明建设的现阶段特征,使用层次分析法原理构建了包含37项单项指标的经济发达城市生态文明建设评价指标体系,并用北上广深等一线城市数据对评价体系进行了时序数据和横截面数据的案例应用,验证了模型的有效性和实用性。评价结果显示,深圳在2001~2010年生态文明建设水平逐步提高,特别是生态环境和生态制度建设方面进步显著,4个一线城市中,深圳市生态文明建设水平相对较优,下一阶段,北京市需要在生态环境方面,广州市需要

在生态文化和生态制度方面加强建设力度。

本研究既可为经济发达城市提供生态文明建设评价技术,也可为我国其他类型地区生态文明指标体系研究提供参考和借鉴。限于笔者水平所限,评价体系在指标选取如何更具操作性、归一化限值如何更具客观性、评价指数的表达如何更具权威性方面仍存在一定不足之处,还需要进一步改进和完善。

#### 参考文献:

[1]陈寿朋. 略论生态文明建设[N]. 人民日报, 2008-01-08(7).  
 [2]马道明. 生态文明城市构建路径与评价体系研究[J]. 城市可持续发展, 2009, 16(10): 80~85.  
 [3]杨雪伟. 湖州市生态文明建设评价指标体系探索[J]. 统计科学与实践, 2010(1): 51~53.  
 [4]严耕, 杨志华, 林震, 等. 2009年各省生态文明建设评价快报[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2010, 9(1): 1~5.  
 [5]李文龙, 杨顺顺, 栾胜基. 深圳环境展望2007[R]. 北京大学深圳研究生院/UNEP, 2007.  
 [6]李宁, 陈晓春, 丁高, 等. 北京市能源消耗统计评价体系研究[A]//全国暖通空调制冷2010年学术年会论文集[C]. 2010.  
 [7]朱慧峰, 秦复兴, 吴耀明, 等. 上海市万元GDP用水量指标体系的建立[J]. 中国给水排水, 2003, 19(7): 36~37.  
 [8]修彩虹, 李会泉, 张懿. 钢铁生产流程污染贡献综合评价方法研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 207~210.  
 [9]杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2008, 11~33.

(上接51页)

#### 参考文献:

[1]Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National Natural Capital Accounting with Ecological Footprints Concept [J]. Ecological Economics, 1999, 36(29): 375-390.  
 [2]兰叶霞. 基于生态足迹的江西省生态安全时空动态定量研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 3~7.  
 [3]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[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 280.  
 [4]龙爱华, 张志强, 苏志勇. 生态足迹评介及国际研究前沿[J]. 地球科学进展, 2004(6): 971~981.  
 [5]胡新艳, 牛宝骏, 刘一明. 广东省的生态足迹与可持续发展研究[J]. 上海环境科学, 2003, 22(12): 926~930.  
 [6]高长波, 张世喜, 莫创荣, 等. 广东省生态可持续发展定量研究: 生态足迹时间维动态分析[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 57~62.  
 [7]刘强, 彭晓春, 周丽旋, 等. 基于生态足迹与生态承载力的广东省各市生态补偿的量化研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11345~11347.  
 [8]Rees W, Wackernagel M. Urban Ecological Footprints: Why Cities cannot be Sustainable - And Why They are a Key to Sustainability [J]. Environmental Impact Assessment Review, 1996, 16(4-6): 223-248.  
 [9]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[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1484~1493.

[10]Monfreda C, Wackernagel M. Establishing National Natural Capital Accounts based on Detailed Ecological Footprint and Biological Capacity Assessments [J]. Land Use Policy, 2004, 21(3): 231-246.  
 [11]Qian J, Yu L Z. Study on Contribution of CO2 Emissions from Fossil Fuel in Shanghai [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2003, 22(11): 836-839.  
 [12]Global Footprint Network. National Footprint Accounts 2006 Academic Edition [EB/OL]. [http://www.footprintnetwork.org/gfn\\_sub.php?content=nrb](http://www.footprintnetwork.org/gfn_sub.php?content=nrb).  
 [13]农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册(修订本) [M]. 北京: 农业出版社, 1983.  
 [14]李智强, 吴诗嫔. 基于“国家公顷”生态足迹模型的土地可持续利用研究——以抚州市为例[J]. 开发研究, 2011, 155(4): 59~63.  
 [15]国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997~2009.  
 [16]广东统计局. 广东农村统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997~2009.  
 [17]国家统计局. 《中国能源统计年鉴》 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1997~2009.  
 [18]广东省国土资源厅网站. 广东省土地变更调查统计资料[EB/OL]. <http://www.gdtr.gov.cn/newsAction.do?method=queryNews&classId=020019980000000488>.