

广东省肇庆市生态足迹^{*}

张轶男¹, 杨小强²

(1 中山大学环境科学与工程学院; 2 中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 通过生态足迹的概念和模型的引入, 阐明肇庆市生态足迹研究的必要性及紧迫性。并以肇庆市 2003 生态足迹研究为基础, 进一步分析了 1990 - 2003 年间肇庆市生态足迹的变化趋势。结果表明, 肇庆市人均生态足迹和生态赤字呈不断上升的趋势, 人均生态足迹高于人均生态承载力, 人类对自然的利用程度已经超过了生态承载力范围, 区域生态环境目前处于不可可持续发展的状态。

关键词: 生态足迹; 生物生产面积类型; 生态承载力; 生态赤字; 肇庆市

中图分类号: F062.2 X171.4 X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529 6579 (2006) 01 0112-05

自然生态系统是人类赖以生存和发展的物质基础, 人类社会必须生存于生态系统的承载力范围内。因此建立一个能够定量测度生态目标, 从而使人类能够更加清楚地了解自身的生存和发展对自然的胁迫状况, 最终促进和实现人类减少对自然的负面影响^[4]的指标体系具有十分重要的意义。生态足迹分析方法是近年来发展起来的一种测度可持续发展程度的定量方法, 它通过将区域的资源和能源消费转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产性土地的面积 (生态足迹), 并同区域所能提供的生物生产性土地面积 (生态承载力) 进行比较, 能定量判断一个区域的发展是否处于生态承载力的范围内, 为区域的可持续发展研究提供科学依据。

式中, i 为消费商品或生产生物的类型; p_i 为 i 种消费商品的平均生产能力; c_i 为 i 种商品的人均消费量; aa_i 为人均 i 种交易商品折算的生物生产面积; N 为人口数; ef 为人均生态足迹; EF 为总的生态足迹。通常生态足迹计算的是区域净消费量, 所以需要进行贸易调整, 但进行贸易调整所需要的统计资料很难做到全面和详尽, 因此, 本文计算并没有考虑各种消费项目的进口量和出口量, 但以往的生态足迹分析中对环境污染的生态影响所谈甚少, 而实际上大气和水环境污染导致了资源条件的不断恶化, 所以补充了环境污染消费部分, 从生物资源消费、能源消费、环境污染消费 3 个方面来计算肇庆市生态足迹需求。

1 生态足迹理论及意义

1.2 生态承载力模式

在计算生态承载力 (ecological capacity) 时, 由于不同国家或地区的资源条件不同, 不仅单位面积不同类型的土地生物生产能力差异很大, 而且单位面积同类型生物生产土地的生产力也有很大差异。因此, 不同国家或地区同类生物生产土地的实际面积不能直接对比, 需要进行调整。不同国家或地区的某类生物生产面积所代表的局地产量与世界平均产量的差异可用产量因子 (yield factor) 来表示。某个国家或地区某类土地的产量因子是其平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率。

生态承载力计算模式:

$$EC=N \cdot ec=N \cdot \sum a_j \cdot r_j \cdot y_j \quad (j=1\ 2\ 3\ \cdots,\ 6)$$

其中, EC 为区域总生态承载力; N 为人口数; ec

1.1 生态足迹理论和模型

生态足迹 (ecological footprint) 分析法是由加拿大生态经济学家 William 等于 1992 年提出的一种用以衡量可持续发展程度的生物物理方法^[1]。该理论处于 1999 年开始引入我国, 并很快作为一种新的理论方法被应用于分析研究一些省市和地区的可持续发展态势^[2-4]。

生态足迹理论的核心是: 任何已知人口 (某个人、一个城市或一个国家) 的生态足迹是生产这些人口所消费的所有资源和吸纳这些人口所产生的废弃物所必需的生物生产土地的总面积。生态足迹的计算模式:

$$EF=N \cdot ef=N \cdot \sum (aa_i)=N \cdot \sum (c_i \cdot p_i)$$

^{*} 收稿日期: 2005 - 06 - 09
基金项目: 国家 973 基金资助项目 (2002CB410801); 广东省自然科学基金资助项目 (031602)
作者简介: 张轶男 (1971 年生), 女, 讲师; E-mail: eeszyan@163.com
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为人均生态承载力； a_j 为人均生物生产面积； r_j 为均衡因子； y_j 为产量因子， $y_j = y_{ij} / a_{wj}$ ， y_{ij} 指某国家或地区的 j 类土地的平均生产力， a_{wj} 指 j 类土地的世界平均生产力。

1.3 生态足迹研究的意义

开展区域生态足迹研究具有重要意义，因为一个区域范围内的自然界的可利用性和功能性，特别是不可取代的生命支持服务功能是未来区域发展的主要限制因素。肇庆市在经济发展总体水平上，虽然与广东省发达地区相比还存在着较大的差距，但是作为我国大西南联系港澳、海外地区的要冲，以及受珠江三角洲辐射效应带动的区域，肇庆市即将面临经济快速发展的重要阶段。对肇庆市进行生态足迹的研究，掌握肇庆市可持续发展水平和发展的生态制约因素，指导其制定人与自然和谐的发展战略是十分紧迫和必要的。

2 肇庆市生态足迹计算及分析

2.1 2003肇庆市生态足迹消费

在生态足迹核算中，生物资源消费分为农产品、动物产品、林产品、水果等。能源消费计算主要处理了如下几种能源：煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气和电力。生物生产面积主要考虑以下 6 种类型：化石燃料土地、可耕地、林地、草场、建筑用地和水域。由于这 6 类土地的生态生产力不同，要将计算得到的各类生态生产性土地面积乘以一个均衡因子。目前国际生态足迹计算中采用的均衡因子为：耕地和建筑用地为 2.8，林地与化石能源地为 1.1，牧草地为 0.5，水域为 0.2。

环境污染消费采用治理污染所消费的生态生产

性土地的面积来计算。肇庆市 2003 年统计资料，SO₂ 排放量 2.6 万 t，烟尘排放量 0.9 万 t，工业粉尘排放量 1.3 万 t。根据《中国生物多样性国情研究报告》，阔叶林每年吸收 SO₂ 为 88.65 kg·hm⁻²，针叶林中的柏类、松类和杉类每年吸收 SO₂ 分别为 411.6、117.6 和 117.6 kg·hm⁻²，针叶林类平均每年吸收 SO₂ 为 215.60 kg·hm⁻²，针叶林每年的滞尘能力为 33.20 t·hm⁻²，阔叶林每年的滞尘能力为 10.2 t·hm⁻²，那么按照目前肇庆市针叶纯林占 80%，阔叶林、混交林占 20% 的比例，本区域净化空气中的 SO₂ 所需针、阔叶林地面积共 13.7 万 hm²，滞尘所需针、阔叶林地面积共 0.08 万 hm²，林地兼有净化空气和滞尘的作用，所以取 13.7 万 hm² 作为消纳大气污染所需的林地面积，则人均生态足迹为 0.034 9 hm²。自然湿地系统处理废水大概每公顷可以处理 8.11 万 t，肇庆市 2003 年废水排放量为 10 116.1 万 t，则大概需 1 247.4 hm² 的自然湿地面积来处理这些废水^[5]，才不会对环境造成任何影响。因此在计算肇庆市生态足迹时，把消纳大气污染所需的林地面积列入生产性土地类型中的林地面积，废水所需的湿地面积列入生产性土地类型中的水域面积，则人均生态足迹为 0.000 2 hm²。

在生态承载力计算中，对人均拥有的各类生态生产性土地面积乘以均衡因子与产量因子，产量因子的选取依据 Wackemagel 等对中国生态足迹计算时的取值。考虑到耕地、林地和草地在进行物质生产时，同时也有吸收 CO₂ 的功能，因此把三类土地加和作为吸收 CO₂ 用地。肇庆市 2003 年生态足迹和生态承载力计算结果见表 1。

表 1 2003 肇庆市年生态足迹和生态承载力状况
Tab. 1 Ecological footprint and capacity of Zhaoqing city in 2003 /hm²·人⁻¹

生态足迹需求				生态承载力					
土地类型	总面积	均衡因子	均衡面积	土地类型	总面积	产量因子	均衡因子	均衡面积	生态赤字
耕地	0.1566	2.8	0.4383	耕地	0.0466	1.66	2.8	0.2168	-0.2215
林地	0.0770	1.1	0.0847	林地	0.2828	0.91	1.1	0.2831	0.1984
草地	1.5592	0.5	0.7796	草地	0.0003	0.19	0.5	0.00003	-0.7796
化石燃料	0.1254	1.1	0.1379	CO ₂ 吸收	0.3297	0.89	1.1	0.3228	0.1849
水域	0.2679	0.2	0.0536	水域	0.0184	1.00	0.2	0.0037	-0.0499
建筑用地	0.0016	2.8	0.0045	建筑用地	0.0186	1.66	2.8	0.0865	0.0820
总需求足迹			1.4986	总供给面积	0.3668			0.9129	
				生物多样性保护 (12%)				0.1095	
				总的可利用足迹				0.8034	-0.6952

由以上结果可见, 要维持肇庆市 392. 6470 万人目前的生活水平, 肇庆市 2003 年人均生态足迹为 1.4986 hm^2 , 肇庆市现状土地类型的人均生态承载力为 0.9129 hm^2 , 减去 12% 的生物多样性保护面积 (0.1095 hm^2), 则可利用的人均生态承载力为 0.8034 hm^2 . 因此, 肇庆市 2003 年人均生态足迹赤字为 0.6952 hm^2 , 这一数字高于 Wackemagel 等计算的我国 1997 年的人均生态足迹赤字 0.4 hm^2 , 也高于我国学者徐中民等^[6] 计算的中国 1999 年人均生态赤字 0.645 hm^2 , 说明肇庆市的经济发 展一定程度上是建立在对资源的过度开发基础上. 肇庆市的人均生态足迹虽然明显高于本市的人均生态承载力, 但仍低于全球人均生态容量 (1.6 hm^2)^[7,8], 根据可持续状态的分类, 肇庆市属“地方不可持续-全球可持续”的地区.

肇庆市人均生态足迹中占面积最大的生物土地类型是草地, 其次是耕地、化石燃料用地、林地、水域和建筑用地. 其中草地赤字最大达 0.7796 hm^2 , 说明肇庆市草地资源呈现相对缺乏和退化的趋势, 随着肇庆市的经济发展和城市化进程加快, 推动了大众饮食消费结构的演变, 导致动物产品消耗量大幅度增加, 加之肇庆乃至珠三角畜牧业以养猪和养三禽为主, 消耗饲料主要来自粮食. 因此实际上草地的赤字将转化为对耕地需求的压力; 肇庆市的耕地赤字达 0.2215 hm^2 , 仅少于草地赤字, 位居第二位, 表明肇庆市虽然不像珠三角地区其他大城市工业和城市化发展速度那样快, 但有后来者居上的趋势, 耕地资源被任意占用的现象严重, 人地矛盾日益尖锐. 2003 年肇庆市人均耕地面积仅为 0.04824 hm^2 , 已经低于联合国粮农组织的人均耕地警戒线标准 (0.053 hm^2), 由于肇庆市为内陆山区, 耕地后备资源紧缺, 耕地的减少导致山区占用陡坡地多, 对水土的保持和今后的经济发展带来一定的影响; 存在一定生态盈余的生物性土地是 CO_2 吸收、林地和建筑用地, 分别盈余 0.1849 、 0.1718 和 0.0820 hm^2 , 这三个指标说明肇庆市的地形地貌特征是以林业和农业用地为主导的土地利用方向, 属于经济欠发达的地区. 在经济快速发展的未来和土地利用方面还有调整的余地.

2.2 肇庆市近 10 年生态足迹动态变化趋势

采用上述的计算方法, 以肇庆统计年鉴 (1990-2004) 及国土部门的数据为基础, 分别计算了 1990-2003 年的生态足迹和生态承载力 (包括环境污染消费), 根据计算结果分析, 1990-2003 十三年间肇庆市生物生产土地面积的需求量已经远远超过区域生态承载能力, 生态系统处于赤字状态. 总生态足迹和人均生态足迹虽有波动但基本呈上升趋势, 而万元 GDP 生态足迹呈明显的下降趋势 (见图 1, 表 2). 说明肇庆市科技生产力发展水平和资源利用效率总体上不断提高, 正在从粗放型经济向集约型经济转变. 但由于人口逐年增加, 生产和生活消费还没有迈入生态节约型消费模式, 且缺乏全社会的宣传和认识, 土地、资源利用结构不合理, 导致区域生态承载力逐年下降而生态赤字呈不断增长的趋势 (见图 2), 人均多年生态赤字均值为 0.5751 hm^2 , 低于中国 1999 年人均生态赤字 0.645 hm^2 ^[6]. 肇庆 2003 年总生态足迹为 588.42 万 hm^2 , 相当于其国土面积 (149.11 万 hm^2) 的 3.95 倍, 说明要维持肇庆市的生态平衡和实现弱可持续发展, 至少还需要 2.84 倍其国土面积的全球平均空间生物生产面积.



图 1 肇庆市人均生态足迹与万元 GDP 生态足迹变化
Fig. 1 The variation of ecological footprint per cap and ten thous and yuan GDP of Zhaoqing city

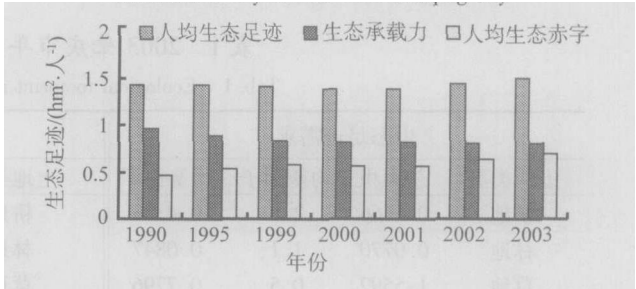


图 2 肇庆市 1990-2003 生态足迹动态变化
Fig. 2 The dynamic change of ecological footprint of Zhaoqing city during 1990-2003

表 2 1990-2003肇庆市年生态足迹与生态承载力
Tab. 2 Ecological footprint and capacity of Zhaoqing city from 1990 to 2003

年份	年末总人口	人均生态足迹	总生态足迹	人均生态承载力	人均生态盈余 赤字	万元 GDP生态足迹
	10 ⁴ 人	(hm ² ·人 ⁻¹)	hm ²	(hm ² ·人 ⁻¹)		hm ²
1990	331.0206	1.42365	4712574.772	0.9601	-0.4636	7.0419
1995	355.9737	1.41576	5039733.255	0.8859	-0.52986	2.0783
1999	381.2682	1.40752	5366426.169	0.8279	-0.57962	1.3699
2000	386.6042	1.3788	5330498.71	0.8161	-0.5627	1.3903
2001	388.9040	1.37534	5348752.274	0.811	-0.56434	1.3014
2002	390.7553	1.43783	5618396.93	0.8072	-0.63063	1.2479
2003	392.6470	1.4986	5884207.942	0.8034	-0.6952	1.2617
均值		1.4196	5328655.722	0.8445	-0.5751	2.2417

以上分析表明肇庆市近十几年来人均生态足迹和生态赤字呈不断上升的趋势，自然的利用程度已经超过了生态承载力范围，区域生态环境目前处于不可可持续发展的状态。而且未来肇庆市工业化和城市化进程还将快速的发展和推进，区域生态环境所面临的压力将会更大。因此要建立科学的方法测度可持续发展的状况，并采取措施加强区域生态环境建设，改变高消费的生产、生活方式，推行循环经济理念，约束工业和城镇建设对生态空间的占用，有效缓解经济和社会发展对生态环境造成的压力。

3 结 论

生态足迹理论从全球、国家、地区、城市、社区等各级水平测度了在一定社会生产力发展阶段的人类生产、生活需求与自然系统供给之间的差距，形象地反映了人类与自然界、生态系统的相互依存的关系，也为可持续发展研究提供了一个全新的工具 and 理念。

但是它在计算方法和参数的设计上存在很多的不足，比如生态足迹是基于静态的分析，无法反映未来的变化趋势。生态足迹的计算存在不准确性，对于一些消费项目限于当前的资料和不可预见的原因，未计算在内而偏低，比如贸易调整 and 环境污染消费。生态承载力计算中未对除 CO₂ 外的废弃物的吸收和水源保护所需的土地进行计算而偏高^[10]。均衡因子和产量因子的选取没有考虑科学技术和社会的进步给区域带来的发展潜力。计算资源和能源消费所采用的统计数据与实际有差距，需要进行校正。因此在今后的研究中，要不断完善其指标体系，对均衡因子和产量因子等要根据不同的生态生产力地区进行修正，考虑大气、水环境污染及固体废弃物处理等因素对生态足迹的影响。尽量把生态

足迹方法与其它能度量可持续发展的指标结合起来，比如每万元 GDP所占用的生态足迹。延伸生态足迹的应用范围，大到全球尺度，小到个人行为等，以此进一步推进人类对可持续发展的研究。

参考文献：

[1] WACKERNAGEL M, WILLIAM E R. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.

[2] 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.

[3] 黎瑞波, 蒋菊生. 生态足迹分析模型及其研究现状 [J]. 华南热带农业大学学报, 2004, 10(2): 12 - 15.

[4] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市) 的生态足迹 [J]. 地理学报, 2001, 56(5): 599 - 610.

[5] 赵秀勇, 缪旭波, 孙勤芳, 等. 生态足迹分析法在生态持续发展定量研究中的应用 - 以南京市 1998 年的生态足迹计算为例 [J]. 农村生态环境, 2003, 19(2): 58 - 60.

[6] 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 - 285.

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

[8] 尤飞, 钟有丽, 王传胜. 生态经济持续性的度量和趋势预测 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 743 - 749.

[9] WACKERNAGEL M, ON ISTO L, BELIO P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept [J]. Ecological Economics, 1999(29): 375 - 390.

[10] 王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 776 - 781.

(下转第 124)

Application of a Flood Model by Coupling Xin'anjiang Model with Attenuation Memory Recursive Least Squares Method

ZENG Cai-hua¹, CHEN Xiao-hong², WANG Gao-xu³

(1. Guangdong Province Investigation Design and Research Institute of Water Conservancy & Electric Power
Guangzhou 510170 China

2. Department of Water Resource and Environment Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China

3. Nanjing Hydraulic Research Institute Nanjing 210029 China)

Abstract Advantages of both Xin'anjiang model in calculating the quantity of net precipitation and conflux state equation which was deduced from the diffused wave equation in describing the confluence process of river flow were taken into account in this paper. The attenuation memory recursive least squares method was used for real time recognition of model parameters. A real time flood forecasting model was thereby developed by coupling Xin'anjiang Model with attenuation memory recursive least squares method. The forecasted processes of 76 floods at Jitou reservoir watershed match very well with the measured ones, showing that the coupled model in this paper is fit for real time flood forecasting in middle or below volume reservoirs. The results also indicated that the accuracy of the coupled model in this paper is much higher than Xin'anjiang Model in watershed flood forecasting.

Key words Xin'anjiang model; attenuation memory least squares model; coupling model; in current flood; real time forecasting

(上接第 115 页)

Ecological Footprint of Zhaoqing City of Guangdong Province

Zhang Yi-nan¹, YANG Xiao-qiang²

(1. School of Environmental Science and Engineering

2. Department of Earth Science Sun Yat sen University, Guangzhou 510275 China)

Abstract Based on the introduction to the concept and calculation method of ecological footprint indicator ecological footprints in 2003 and the change of ecological footprint from 1990 to 2003 in Zhaoqing were studied. The results showed that ecological footprint and ecological deficits per capita had quickly increased during 1990 – 2003. The ecological footprint per capita of Zhaoqing city has gone beyond the regional bio capacity, and human's utilization of nature beyond the regional ecological capacity. Zhaoqing city is now in a condition of unsustainable development.

Key words ecological footprint; type of ecologically productive area; bio-capacity; ecological deficit; Zhaoqing City