应 用 生 态 学 报　2005 年 7 月　第 16 卷　第 7 期
CHINESE JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY, Jul. 2005, **16**(7):1370～1374

重庆市生态足迹与生态承载量研究 *

孙　凡 * *　**孟令彬**
(西南农业大学生态环境与可持续发展实验室, 重庆 400716)

【摘要】 以重庆市 2001 年统计数据为基础, 对重庆市 2001 年生态足迹计算结果表明, 该地区人均生态足迹为 1.653566 hm^2, 人均生态承载力为 0.280393 hm^2, 人均生态赤字为 1.373173 hm^2, 与全国平均水平相比, 人均生态足迹高 0.5335 hm^2 (增加 47.64 %), 人均生态承载力低 0.5196 hm^2 (下降 64.95 %), 生态赤字是全国平均赤字的 3.43 倍, 表明该地区生态足迹超过了当地生态承载能力, 区域经济社会发展处于一种不可持续的发展状态. 另外, 还分析论述了多种渠道解决生态系统超负荷人口、增加科技财政投入、控制环境污染等减少该地区生态足迹的对策.

关键词　重庆　生态足迹　生态承载量
文章编号　1001-9332(2005)07-1370-05　**中图分类号**　P967　**文献标识码**　A

Ecological footprint and available ecological capacity in Chongqing region. SUN Fan, MONG Linbing (*Laboratory of Ecoenvironment and Sustainable Development, Southwest China Agricultural University, Chongqing 400716, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, **16**(7): 1370～1374.

Based on the statistical data of Chongqing, the ecological footprint of Chongqing was calculated in this paper. The results showed that the per capita ecological footprint was 1.653566 hm^2, per capita ecological capacity was 0.280393 hm^2, and ecological surplus of deficit was 1.373173 hm^2. The per capita ecological footprint was 0.5335 hm^2 (47.64 %) higher but the per capita ecological capacity was 0.5196 hm^2 (64.95 %) lower, and the ecological surplus of deficit was about 3.43 times of the average national level. These results showed that the ecological footprint of Chongqing was beyond the available ecological capacity, and its social and economic development was not sustainable. The strategies on reducing ecological deficit in this region, such as reducing ecosystem population, increasing public finance income, and controlling environmental pollution, were also put forward.

Key words　Chongqing, Ecological footprint, Available ecological capacity.

1　引　　言

可持续发展的定量评价研究是当前可持续发展研究的前沿和热点. 科学家们一直在研究衡量可持续发展状态的指标和方法, 以便为可持续发展的科学决策提供定量工具[4,10,12,15,22,23]. 20 世纪 90 年代以来, 国际上提出了一些直观的、易于操作的可持续发展指标体系及其定量评价和计算方法和模式, 如可持续性的社会-生态指标[2]、可持续经济福利指数(ISEW)[3]、可持续性晴雨表[8]模式. 但这些研究仍存在一定局限性, 且进展仍较缓慢[11,14]. 1992 年加拿大学者 William 及其博士研究生提出和发展的生态足迹(ecological footprint)理论和指标就是依据人类社会对土地的连续依赖性, 而定量测度区域可持续发展状态的一种新理论和方法[1,9,17]. 生态足迹将人类社会消费活动对自然的影响转化为提供这种消费所需要的资源流量和消纳废弃物排放所需要的土地面积(生物物理指标), 该方法提供了一个核算全球、国家、地区以及个人对自然资本利用状况的简明框架, 通过核算人类对自然生态服务的需求与自然所能够提供的生态服务之间的差距, 就可以评价人类对自然资源的利用情况, 从而较准确地判定评价对象的可持续发展程度和状况, 因此是一种较好的测量人类社会活动对自然环境影响的定量分析指标, 近年来生态足迹的方法正以其较科学、完善的理论基础和精简统一的指标体系, 以及方法的普适性在国内外有关领域得到了较为广泛的应用. 本文应用该方法, 以重庆市为例, 研究了该地区的生态足迹和生态承载力, 定量揭示了重庆市对自然的利用状况, 提出了减少该区域生态赤字的相应对策, 以期为重庆地区自然资源开发利用、生态环境保护和建设以及科学发展提供科学依据.

2　研究区域与研究方法

2.1　自然概况

重庆市位于 28°10′～32°13′N, 105°11′～110°11′E, 地处长江嘉陵江交汇处, 是西南最大的经济中心、水陆交通枢纽

* 国家"十五"科技攻关重大专项(2001BA604A)和重庆市计划发展委员会资助项目(2001BA04A).
* * 通讯联系人.
2004-08-17 收稿, 2004-11-19 接受.

和贸易口岸.三峡水库库区 85 %面积在重庆市辖区里,全市山地、丘陵占总土地面积的 90 %以上,属亚热带湿润季风气候,降水充沛,雨热同季,生物资源种类繁多,有各种植物 4000 余种,主要自然植被类型为亚热带常绿阔叶林及天然次生林和人工针叶林.水资源丰富,境内各类水资源 4.648 $\times 10^{11}$ m^3.由于区内人口密度过大,高强度利用土地与生物资源,过度农垦、放牧和樵采、陡坡耕作等因素的影响,使该地区山地生态环境退化,制约了社会经济的发展[16].

2.2　研究方法

2.2.1 生态足迹计量　生态足迹是指能够提供或消纳废物的具有一定生产能力的生态生产性土地面积.生态生产性土地是这一概念的基础,是指具有一定生态生产能力的土地及水体,它包括化石能源地、可耕地、牧草地、森林、建设用地、水域[6~8].

生态足迹的计量是通过计算人类为了自身生存而消费的自然量来评价人类对生态系统的影响.任何个人或区域人口的生态足迹,应该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而需要的生态生产性土地的面积总和.生态足迹计算的数学模型如下:

$$EF = \sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{EP_i} EQ_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{P_i + I_i - E_i}{EP_i} EQ_i \qquad (1)$$

式中,EF 为总生态足迹,EP_i 为生态生产力(全球平均);C_i 为资源消费量,P_i 为资源生产量,I_i 为资源进口量,E_i 为资源出口量,i 为生态性土地类型,它分为六大类,EQ_i 为等量化因子,一般采用:化石能源地 1.1,可耕地 2.8,牧草地 0.5,森林 1.1,建设用地 2.8,水域 0.2[13,17,18].森林的等量化因子 1.1,即表示森林生态系统生物生产量为全球生态系统平均生物生产量的 1.1 倍.总生态足迹除以区域总人口为人均生态足迹.

2.2.2 生态承载力计量　生态承载力(或者称生态足迹供给)是与生态足迹相关的概念,它是指区域所能够提供给人类的生态生产性土地总和,计算方法是将区域内各类生态生产性土地面积乘以等量化因子及产量调整系数后,求和得到总生态承载力,除以总人口数,即为人均生态承载力,或人均生态足迹供给.计算公式如下:

$$EC = \left(\sum_{i=1}^{n} A_i EQ_i Y_i\right) / N \quad (I = 1,2,3,\cdots\cdots 6) \qquad (2)$$

式中,EC 为人均生态承载力,A_i 为不同类型生态生产性土地面积,EQ_i 为等量化因子,含义同(1)式中 EQ_i;N 为总人口数;Y_i 为不同类型生态生产性土地产量调整系数[19~21].

3　结果与分析

3.1　重庆市生态足迹计算与分析

生态足迹的一个基本假设是:各类土地在空间上是互斥的.例如一块地当它被用来修建房屋时,它就不可能同时是森林、可耕地等.生态足迹的“空间互斥性”使得我们能够对各类生态生产性土地进行加总,从宏观上认识自然系统的总供给能力与人类系统对自然系统的总需求以及该地区的生态容量.运用上述生态足迹的计算方法,依据《重庆统计年鉴—2001》的数据[5],对重庆市以及重庆市的都市发达经济圈、渝西经济走廊、三峡库区生态经济区三大经济区域的生态足迹进行了计算,重庆市生物资源部分生态足迹计算结果见表1,重庆三大经济区生态

表 1　重庆市生态足迹(生物资源部分)

Table 1 Ecological footprint of Chongqing(biotic resources)

项目 Item	全球平均产量 Global average yield (kg·hm^{-2})	区域生物生产量 Regional biological yield (t)	按全球平均产量总生态足迹 Total ecological footprint by global average yield (hm^2)	人口 Population ($\times 10^4$)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	等量化因子 Equivalence factor	调整后人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	分类合计 Sum by classification (hm^2)
粮食 Grain crops	2 744	11 275 452	4 109 130.00	3 097.91	0.132 640	2.82	0.37 405	
油料 Oil crops	1 856	299 373	161 300.10		0.005 210	2.82	0.014 683	
蔬菜 Vegetable	18 000	7 800 455	433 358.61		0.013 987	2.82	0.039 482	
糖 Sugar	68 600	100 818	1 469.65		0.000 047	2.82	0.000 134	
烟 Tobacco	1 600	80 037	50 023.13		0.001 614	2.82	0.004 553	0.432 901
水果 Fruit	3 000	974 240	324 746.70		0.010 482	1.14	0.011 950	0.011 950
猪肉 Pork	74	1 394 139	18 839 716.00		0.608 142	0.54	0.328 397	
牛肉 Beef	33	78 104	2 366 788.00		0.076 399	0.54	0.041 255	
羊肉 Mutton	33	32 145	974 090.90		0.031 443	0.54	0.016 979	
禽肉 Fowl meat	15	151 498	10 099 867.00		0.32 602	0.54	0.176 054	
兔肉 Rabbit meat	15	10 213	680 866.70		0.021 978	0.54	0.011 868	0.923 102
奶类 Milk	502	67 792	135 043.80		0.004 359	0.54	0.002 353	
蛋 Egg	15	297 922	19 861 467.00		0.641 125	0.54	0.346 200	
水产品 Aquatic product	29	196 905	6 789 828.00		0.219 175	0.22	0.048 218	0.048 218
建筑用地 Building area(hm^2)		530 000			0.017 108	2.82	0.048 245	0.048 245
合计 Total								1.464 416

表 2 2001 年重庆市三大经济区生态足迹计算中生物资源帐户

Table 2 Account of biological resources for calculation of ecological footprint of three economic sphere of Chongqing in 2001

项目 Item	都市发达经济圈 Advanced economic sphere				渝西经济走廊 Economic corridor in west Chongqing				三峡库区生态经济区 Ecological economic zone in Three Gorges Reservoir area			
	区域生物生产量 Regional yield (t)	人口 Population ($\times 10^4$)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	调整后人均生态足迹 Adjusted per capita ecological footprint (hm^2)	区域生物生产量 Regional yield (t)	人口 Population ($\times 10^4$)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	调整后人均生态足迹 Adjusted per capita ecological footprint (hm^2)	区域生物生产量 Regional yield (t)	人口 Population ($\times 10^4$)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	调整后人均生态足迹 Adjusted per capita ecological footprint (hm^2)
粮食 Grain crops	1010 542	543.42	0.067769	0.1991101	4 292 580	996.92	0.156918	0.442510	5 972 330	1557.57	0.139737	0.394059
油料 Oil crops	9161		0.000908	0.002561406	95 601		0.005167	0.014570	194 611		0.006732	0.189841
蔬菜 Vegetable	1 633 911		0.016704	0.047105	3 317 943		0.018489	0.052142	2 848 601		0.010160	0.028652
水果 Fruit	87 460		0.005365	0.006116	332 189		0.011807	0.012662	554 591		0.011869	0.013530
猪肉 Pork	145 827		0.362636	0.195812	00 498		0.678438	0.366357	747 814		0.648805	0.330355
牛肉 Beef	435		0.004257	0.001309	37 567		0.114191	0.016632	40 102		0.078019	0.042131
羊肉 Mutton	362		0.002019	0.001090	3 703		0.011256	0.006079	28 080		0.054631	0.029501
水产品 Aquatic product	42 657		0.270680	0.059549	87 378		0.302234	0.066492	66 870		0.148042	0.395683
糖 Sugar	1 905		0.000001	0.000014	71 945		0.000105	0.000297	26 968		0.000025	0.000071
烟 Tobacco	919		0.000106	0.000298	6 049		0.000379	0.00107	73 069		0.002932	0.008260
合计 Total			0.728618	0.445428			1.298286	0.957349			1.100953	0.885551

表 3 重庆市生态足迹(能源部分)

Table 3 Ecological footprint of Chongqing (energy)

项目 Item	全球平均能源足迹 Global average energy footprint ($GJ \cdot hm^{-2}$)	折算系数 Conversion coefficient ($GJ \cdot t^{-1}$)	总消费量 Total consumed quantity (t)	总消费量 Total consumed quantity (GJ)	人均消费量 Per capita consumed quantity (GJ)	人均生态足迹 Per capita ecological footprint (hm^2)	生态生产性土地类型 Type of ecologically productivity area	合计 Total (hm^2 per capita)
煤炭 Coal	55	20.9340	14 441 887	302 326 462	9.759046	0.177437	化石燃料用地[1)]	
汽油 Petrol	93	43.1240	39 977	1 723 968.1	0.055149	0.000598	化石燃料用地[1)]	
柴油 Diesel	93	432.7050	44 620	19 307 297	0.623236	0.006701	化石燃料用地[1)]	0.184730
电力 * Power	1000	0.0083 ($GJ \cdot kwh^{-1}$)	1.650×10^{10} kwh	1.369×10^8	4.422000	0.004420	建筑用地[2)]	0.004420

* 电力千瓦时与热量折算系数是根据每千瓦时耗煤 397 g,再根据每克煤发热量换算 The conversion coefficient between quantity of heat and electric power kilowatt hour is calculated by the quantity of coal consumed (397 g) every kilowatt-hour and the number of heat produced by one gram coal. 1) Fossil fuel land;2) Building area.

足迹计算见表 2,能源部分计算结果见表 3. 从表 2 调整后人均生态足迹合计计算可知,重庆市渝西经济走廊和三峡库区生态经济区土地生态生产性压力较都市发达经济圈更大,这可能与以上两区域科技和财政投入相对较少,单位面积生物生产量相对较少有关. 由于《重庆统计年鉴—2001》中数据的局限性,目前无法获得人类消耗的所有生物资源的统计数据. 例如,家庭固体废物,采矿和加工业释放的工业垃圾、有毒物质所产生的化石燃料面积,旱区生态用水造成的附加生态足迹面积等等. 因此,表 1～3 中计算所得的生态足迹是重庆市生态足迹的最小值.

3.2 区域生态承载力及生态盈亏

根据表 1～5 计算结果,对重庆市生态足迹状况分析表明,重庆市人均生态足迹供给 0.400 393 hm^2,按照世界环境与发展委员会(WCED)的报告,至少有 12 %的生态容量需被保留以供给地球上其他生物生存所需. 为保护生物多样性扣除 12 %后,人均生态承载力为0.280 393 hm^2,该市人均生态足迹为 1.653 566 hm^2,与生态承载力平衡比较,人均生态赤字为 1.373 173 hm^2.

根据 Wackernagel[17]的计算,中国 1997 年人均生态足迹 1.12 hm^2,人均生态承载力 0.8 hm^2,人均生态赤字 0.4 hm^2. 重庆市与全国平均水平相比,人均生态足迹增加 0.5335 hm^2,增加 47.64 %,人均生态承载力低 0.5196 hm^2 (下降 64.95 %). 生态赤字是全国平均赤字的 3.43 倍. 这表明重庆市的人地关系已经十分紧张.

表 4　重庆市生态承载力(生态足迹供给)

Table 4 Ecological capacity of Chongqing (supply of ecological footprint)

项目 Item	总面积 Total area (hm^2)	人口 Population	人均面积 Per capita area (hm^2)	等量化因子 Equivalence factor	人均生态足迹供给 Per capita supply of ecological footprint (hm^2)
耕地 Farmland	2 560 000	30 979 100	0.082636	2.82	0.233035
草地 Grass land	370 000		0.011944	0.54	0.006450
林地 Forest land	3 010 000		0.097162	1.14	0.110765
水域 Water area	267 300		0.017108	0.22	0.001895
建筑用地 Building area	530 000		0.08628	2.82	0.048245
合计 Total					0.400393
扣除 12 %后 After deducting 12 %					0.280393

重庆市作为我国西南最大的工商业中心,由于土地资源有限,人多地少的矛盾相当突出. 全市人均耕地面积 0.08 hm^2,比全国人均少 0.02 hm^2,是全球人均耕地 0.25 hm^2 的 1/3;人均林地 0.1 hm^2,比全国少 0.09 hm^2,是全球人均林地 0.6 hm^2 的 1/6;人均草地 0.007 hm^2,仅占全国人均草地的 1/33,是全球人均草地 0.6 hm^2 的 1/86;人均水域面积 0.017108 hm^2,是全球人均水域面积 0.5 hm^2 的 1/29. 而耕地中坡耕地占 95.3 %,其中 15°以上的坡耕地占 48.2 %;从表 5 生态盈亏的分析可知,重庆市资源消费已大大超过了本地的生态承载力,该地区生态系统退化,人地关系紧张,人类负荷超过了其生态容量,属于不可持续的发展类型,生态环境处于不安全状态. 由于进出口所携带的足迹比例不大,以中国为例,1999 年进出口所携带的足迹分别占总生态足迹的 8.9 %和 10.5 %,在进行贸易平衡后,贸易对生态赤字的影响仅为总生态足迹的 1.6 %. 因此,可以认为,该市当前的消费是以耗竭自身的自然资源为基础的,即主要是通过消耗本市的自然资源来弥补生态承载力供给的不足.

3.3　减少区域生态赤字的对策

3.3.1 多种渠道解决生态系统的超负荷人口　根据 Wackernagel[18]研究全球人均生态承载力为 1.8 hm^2,扣除 12 %的生态容量以保护生物多样性,这样仅剩下 1.6 hm^2/人,这个人均生态承载力即为所谓的"全球生态标杆"值. 重庆市人均生态承载力只有 0.28 hm^2,仅为全球人均生态承载力的 17.75 %. 人口总数是生态足迹和生态承载力计算的重要基数,要提高生态承载力,降低人均生态足迹,减少生态赤字,重庆市必须坚持立足于人口多,人均资源少,经

表 5　重庆市生态承载力与生态足迹平衡表

Table 5 Balance between ecological capacity and ecological footprint of Chongqing (hm^2)

生态生产性土地类型 Type of ecological productive area	人均生态承载力 Per capita ecological capacity	人均生态足迹 Per capita ecological footprint	生态盈亏 Ecological surplus and deficit
耕地 Farm land	0.233035	0.432901	
草地 Grass land	0.006450	0.923102	
林地 Forest land	0.110765	0.011950	
建筑用地 Building area	0.048245	0.048245	
水域 Water area	0.001898	0.048218	
化石燃料 Fossil fuel land		0.189150	
合计 Total	0.400393	1.653566	
扣除 12 %后生态承载力 Ecological capacity of after deducting 12 %	0.280393	1.653566	- 1.373173

济和科技水平都比较落后的基本市情[16],坚决贯彻计划生育基本国策,降低人口出生率,减少人口总数.

要多种渠道解决生态系统的超负荷人口,如积极发展农村二、三产业,组织劳务输出,减少农民对土地的依赖性,减少农林牧生态系统的负荷和压力,积极推进中小城镇的城市化进程,吸收更多的农村剩余劳动力. 并且要依法和有计划地做好三峡移民搬迁工作,使人口与经济、社会、资源、环境能够协调发展.

3.3.2 增加科技财政投入　科技发展水平对生态承载力的影响较大,表现为在实际生物生产土地面积不变的情况下,科技财政投入越大,科技发展水平越高,地区生态生产力就越大,生态承载力就越高. 在重庆地区特别是三峡库区,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,也使得该地生态承载力较低. 重庆市应该逐步退出因低温寡照和湿害严重的产量低、质量不高等缺乏比较优势的农业生产领域,如小麦生产等. 建立具有区域比较优势的农产品基地,重点建设水稻、优质蔬菜、优质水果等生产基地,依靠科技进步,因地制宜地发展高效农产品,提高农业劳动生产率,减少生态赤字.

3.3.3 控制环境污染　重庆地区大气污染、酸雨污染问题严重,辖区内无论是长江干流还是支流水质污染加重,工业"三废"、化肥农药和大气尘降物对有限的耕地也造成了严重的污染. 加之重庆地区水土流失严重,森林、草地面积减少,以及建筑用地不断增加造成了可耕地的逐年减少. 环境污染、土地退化造成了生态生产力的不断降低,也是该地区生态承载力下降、生态环境不堪重负的重要原因. 因此,减少该地区生态赤字很重要的一点就是要全面控制环境污染,重点加强水污染防治和大气污染防治,全面

推行环境无害化和城乡生态化,保护生态环境,遏制日益严重的水土流失和沙漠化、石漠化的发展.

3.3.4 引导人们合理消费 在一定技术条件和环境资源背景下,人类消费模式和需求的演化是生态足迹发展的决定性因素.因此,在生态承载力不断减少的趋势下,改变人们的生产和生活消费方式,建立资源节约型的社会生产和消费体系,是降低生态足迹和维护可持续发展的有效手段.

4 结 语

生态足迹方法及模型以其形象明了的概念框架、精简统一的指标体系为生态可持续发展建立了一种较为科学的理论和定量的研究方法.虽然除了资源外,在经济、社会、技术和环境等一些影响可持续发展的重要方面,该方法还有待进一步完善,但生态足迹研究方法为衡量区域的可持续发展提供了新的思路.本文的计算与分析也表明,利用这种方法,可以清楚地揭示一个地区生态承载力与可持续发展状况,有利于该地区科学地制定发展目标和发展对策.可以预见,该理论将在可持续发展研究中得到更加广泛的应用.

参考文献

1 Bicknell KB, Ball RJ, Cullen R, *et al*. 1998. New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecol Econ*, **27**:149～160

2 Bradsaw RJ. 2000. The use of natural processes in reclamation advantages and difficulties. *Land Scope Urban Plan*, **51**:89～100

3 Christian AC, *et al*. 1996. Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecol Econ*, **18**:89～112

4 Caims JJ, Dicksos KL, Herricks EE. 1977. Recovery and Restoration of Damaged Ecosystems. Charlottesvill: Virginia University Press.

5 Chongqing Statistical Office (重庆统计局). 2002. Chongqing Statistical. Yearbook (2001 Volume). Beijing: China Statistical Publishing Company. (in Chinese)

6 Ferng JJ. 2001. Using composition of land multiplier to estimate ecological footprints associated with production activity. *Ecol Econ*, **37**:159～172

7 Fricker A. 1998. The ecological footprint of New Zealand as a step towards sustainability. *Futures*, **30**(6):559～567

8 Hard P, Barg S, Hodge T, *et al*. 1997. Measuring sustainable development: Review of current practice. *Occasional Paper Number*, **17**:49～51

9 Haberl H, Erb KH, Krausmann F. 2001. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: The case of Australia 1926～1995. *Ecol Econ*, **38**:25～45

10 Kong H-M (孔红梅), Zhao J-Z (赵景柱), Ji L-Z (姬兰柱), *et al*. 2002. Assessment method of ecosystem health. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(4):486～490 (in Chinese)

11 Kort JR. 1981. Regional economic instability and industrial diversification in the US. *Land Ecom*, **57**:596～608

12 Li XJ, Peterson J, Liu GJ, Qian LE. 2001. Assessing regional sustainability: The case of land use and land cover change in the Middle Yiluo catchment of the Yellow River basin. *China Appl Geogr*, **21**:87～106

13 Lenzen M, Murray SA. 2001. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecol Econ*, **37**:229～255

14 Siegel PB, Johnson TG, Alwang J. 1995. Regional economic diversity and diversification: Seeking a framework for analysis. *Growth Change*, **26**(2):261～284

15 Redclift M. 1987. Sustainable Development: Exploring the Contradictions. London: Methuen. 57～59

16 Sun F (孙 凡), Hu J-Q (胡际权). 2004. Awaken the consciousness of ecological safety of the whole nation. *J Southwest Agric Univ* (西南农业大学学报), (1):19～24 (in Chinese)

17 Wackemagel M, Onistol, Bello P, *et al*. 1999. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecol Econ*, **29**:375～390

18 Wackermagel M, Rees W. 1996. Our Ecological Footprint Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, B. C., Canada: New Society Publishers. 61～83

19 Wackermagel M, Onisto L, Bello P, *et al*. 1997. Ecological Footprints of Nations. Commissioned by the Earth Council for the Rio Forum. International Council for Local Environmental Initiatives, Toronto.

20 Wackernagel M. 1997. Ecological footprints of nations: How much nature do they use? How much nature do they have? The Earth Council. San Jose, Costa Rica, March.

21 Yang K-Z (杨开忠), *et al*. 2000. Ecological footprint analysis: Concept, method and cases. *Adv Earth Sci* (地球科学进展), **15**(6):630～636 (in Chinese)

22 Yu G-R (于贵瑞), Xie G-D (谢高地), Yu Z-L (于振良), *et al*. 2002. Important ecological topics on regional scale ecosystem management in China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(7):885～891 (in Chinese)

23 Yu G-R (于贵瑞). 2001. A conceptual framework and the ecological basis for ecosystem management. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **12**(5):787～794 (in Chinese)

作者简介 孙 凡,男,1956 年生,博士,教授.从事生态学及可持续发展研究,发表论文多篇. E-mail: sunfan_2001@163.net