

## 基于生态足迹模型的红壤退化地生态恢复研究<sup>\*</sup>

陈世发<sup>1,2</sup>, 查 轩<sup>1,2</sup>, 李旭义<sup>1,2</sup>

(1. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福州 350007; 2. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007)

**摘 要:**生态足迹是衡量一个国家或地区可持续发展程度的一种方法, 定量反映人类活动对生态环境的影响和破坏程度。基于生态足迹模型, 采用多源数据, 以红壤退化严重的福建安溪和永定县为例, 评价人类活动对其生态环境的影响作用。通过计算结果表明, 其生态足迹呈现赤字, 生态环境处于不平衡状态, 对此, 提出了有利于该区生态、经济、环境协调发展的具体生态恢复对策和措施。

**关键词:**生态足迹; 生态承载力; 生态赤字; 生态恢复

**中图分类号:** F301; X171

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)05-0136-04

## Ecological Restoration Research of Red Soil Degradation Based on Ecological Footprint Model

CHEN Shi-fa<sup>1,2</sup>, CHA Xuan<sup>1,2</sup>, LI Xu-yi<sup>1,2</sup>

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, Fuzhou 350007, China;

2. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** The Ecological Footprint is a measure of the degree of sustainable development indicators, which quantitatively measure the human impact on nature. Using ecological footprint and ecological carrying capacity of ways to serious soil degradation, taking the Anxi county and Yongding county as an example, the assessment of human activities on the ecological environment impact is studied. The statistical data analysis and calculations show that ecological deficit, the ecological environment is in an unbalanced state. The paper provides the ecological restoration specific measures which is helpful to the ecological, economic, environmental coordinated development.

**Key words:** ecological footprint; ecological carrying capacity; ecological deficit; ecological restoration

### 1 引 言

自世界环境与发展委员会(WCED)在 1987 年提出可持续发展这一概念以来, 定量测度可持续发展状态的方法一直是国际研究的热点和前沿领域之一<sup>[1-2]</sup>。长期以来, 定量测度可持续发展状态明显不足。加拿大生态经济学家 Rees 和其博士生 Wackernagel 等的共同努力下于 1992 年提出生态足迹模型<sup>[3]</sup>。该理论建立简明的指标体系和计算方法来测定区域可持续发展程度, 以反映区域的资源利用状况是否在生态承载力的范围之内。其方法得到越来越广泛的应用。Wackernagel 等测算了全球 52 个国家的生态足迹<sup>[4]</sup>, 引入国内后, 国内学者对之进行大量研究, 张志强等对中国西部 12 省市生态足迹<sup>[5]</sup>, 徐中民等计算了中国 1999 年<sup>[6]</sup>、甘肃省 1998 年的生态足迹<sup>[7]</sup>, 郭秀锐等对城市生态足迹计算与分析<sup>[8]</sup>, 韦良换对安康市 2003 年生态足迹分析<sup>[9]</sup>, 赵云龙等对河北省怀来县生

态足迹进行分析<sup>[10]</sup>等, 而对南方红壤退化地的县域生态足迹在国内还尚未系统涉及。该文以红壤退化地福建省安溪和永定县为例, 两县水土流失皆严重, 在福建乃至整个南方红壤区都具有典型性和代表性, 应用生态足迹分析方法, 系统探讨水土流失严重县域可持续发展状况, 分析其存在的问题, 并提出其生态恢复措施, 以期改善环境, 实现生态文明, 为退化红壤区经济社会的可持续发展提供指导。

### 2 研究区概况

安溪县位于福建省中部偏南, 是著名的茶叶之乡, 面积为 3 057 km<sup>2</sup>, 人口 106.8 万人。永定县位于福建省西南部, 为闽西、粤东的交界处, 是著名的土楼之乡, 面积为 2 223 km<sup>2</sup>, 人口 46.8 万人。两县皆地处丘陵山地, 山峦起伏, 沟壑密布, 属亚热带海洋性季风气候, 常年气候温和, 冬短无严寒, 夏长无酷暑, 年均温 20℃ 以上, 降水充沛。由于特殊的

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-02-02

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2007CB407207); 国家自然科学基金项目(40571095); 福建省自然科学基金项目(D0410016); 福建省教育厅 A 类项目

作者简介: 陈世发(1984 - ) 男(汉族), 湖南岳阳人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与生态环境。E-mail: csf1241999@163.com

通信作者: 查轩(1961 - ) 男(汉族), 陕西省咸阳市人, 研究员, 主要从事土壤侵蚀与水土保持生态方面的研究。E-mail: xzha@fjnu.edu.cn

自然地理条件,两县水土流失十分严重,在其社会经济发展过程中给生态环境带来了破坏和污染,生态环境质量状况日趋恶化,在一定程度上制约着两县经济社会的可持续发展。

3 研究方法

3.1 生态足迹计算方法

生态足迹分析的一个基本假设是:各类土地在空间上是互斥的。譬如,一块地当它被用来作为建设用地,它就不可能是森林、可耕地、牧草地等。这条“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和人类系统对自然系统的总需求。生态足迹的计算中,生物生产面积主要涉及到 6 种类型:耕地、化石燃料用地、林地、草场、建筑用地和水域。这 6 类生态系统生产力不同,所以各类型的生态系统面积需乘一个均衡因子,数值全球一致 2.8,1.1,0.5,1.1,2.8,0.2。其计算公式为

$$EF = N \cdot ef = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n (aa_i) = N \cdot r_j \cdot \sum_{i=1}^n (c_i / p_i)$$
  
(j = 1, 2, 3, ..., 6)

式中:EF——总生态足迹;N——人口数;ef——人均生态足迹;aa<sub>i</sub>——人均 i 种交易商品折算的生物生产面积;c<sub>i</sub>——i 种商品的人均消费量;p<sub>i</sub>——i 种消费商品的平均生产能力;i——消费商品和投入的类型;j——生物生产性土地类型;r<sub>j</sub>——均衡因子,使生物生产能力不同的 6 种土地类型可以转化为统一的,可比较的生物生产面积,使计算结果转化为一个可比较的标准。

3.2 生态承载力计算方法

生态承载力即区域内部的生物生产性土地数量<sup>[8]</sup>。其计算是根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议,扣除了

12 % 的生物多样性保护面积 j。人均生态承载力的计算公式表示如下:

$$EC = \sum_{j=1}^6 a_j \cdot r_j \cdot y_j (j = 1, 2, 3, \dots, 6)$$

式中:EC——人均生态承载力;a<sub>j</sub>——实际人均占有土地面积;r<sub>j</sub>——均衡因子;y<sub>j</sub>——产量因子。

3.3 生态赤字或生态盈余计算方法

将维持一定消费水平所必需的生物生产面积(生态足迹)与同国家和地区范围内所能提供的生物生产面积(生态承载力)比较,就可判定一个国家或地区的生产消费活动是否处于当地生态系统承载力范围内。当一个地区的生态足迹超过其生态承载力,就会出现生态赤字,表明该地区区域发展模式处于相对不可持续状态,若小于其生态承载力,则会形成生态盈余,表明人类活动处于该地区生态承载力范围之内,生态环境处于可持续状态。

4 生态足迹的计算与结果分析

4.1 生态足迹计算

4.1.1 生物资源消费帐户计算

以《安溪统计年鉴 2006》和《永定统计年鉴 2006》<sup>[11-12]</sup> 相关数据为基础资料,根据生态足迹的计算方法,提取所需参数进行其计算,计算内容由生物资源消费和能源消费 2 部分组成。生物资源的消费可分为农产品、动物产品和木材等,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<sup>[13]</sup> (采用这一标准主要为使计算结果可以进行国与国、地区和地区之间的比较),将两县 2005 年的消费转化为提供这类消费需要的生物生产面积(表 1)。

表 1 2005 年安溪县和永定县生态足迹计算中生物资源帐户

项目	全球平均产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	安溪生物资源帐户计算			面积 类型	永定生物资源计算		
		人均消费量/ kg	人均足迹/ hm <sup>2</sup>	总生态足迹/ 万 hm <sup>2</sup>		人均消费量/ kg	人均足迹/ hm <sup>2</sup>	总生态足迹/ 万 hm <sup>2</sup>
粮 食	2744	196.24	0.0715	7.6418	耕地	199.23	0.0726	3.3977
蔬菜及菜制品	18000	72.35	0.004	0.4295	耕地	119.4	0.0066	0.3089
油脂类	431	5.86	0.0136	1.4528	耕地	5.68	0.0132	0.6178
茶 叶	566	1.45	0.0026	0.2737	耕地	0.57	0.0010	0.0468
烟 叶	1548	0.21	0.0001	0.0145	耕地	0.19	0.0001	0.0047
食 糖	4997	0.91	0.0002	0.0195	耕地	1.15	0.0002	0.0094
酒	7164	40.13	0.0056	0.5986	耕地	15.06	0.0021	0.0983
水 果	3000	3.97	0.0013	0.1414	耕地	19.13	0.0063	0.2948
肉禽及制品	764	31.5	0.0412	0.4406	草地	25.28	0.0331	1.5631
蛋类及其制品	400	2.07	0.0052	0.553	草地	1.88	0.0047	0.2200
奶类及制品	502	0.09	0.0002	0.0192	草地	1.03	0.0021	0.0983
水产品	29	2.08	0.0717	7.6441	水域	4.39	0.1514	7.0762
木 材	1.99 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	0.0102 m <sup>3</sup>	0.0051	0.5434	林地	0.0335 m <sup>3</sup>	0.0169	0.7909

4.1.2 生物资源消费帐户计算

能源消费的生态足迹是指能源生产所需要占用的生态空间,以及能源消费过程中吸收燃烧化石燃料排放二氧化碳所需要的生态空间。能源消费账户主要包括原煤、焦炭等项

目。计算时,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<sup>[14-15]</sup>,将当地能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料生产土地面积<sup>[16]</sup>。2005 年安溪县和永定县生态足迹的能源消费账户计算结果见表 2。

表 2 2005 年安溪县和永定县生态足迹计算中能源资源帐户

类型	全球平均 能源足迹/ (GJ·hm <sup>-2</sup> )	折算系数/ (GJ·t <sup>-1</sup> )	安溪能源资源帐户计算			面积类型	永定能源资源帐户计算		
			安溪总消费 量/t	人均生态 足迹/hm <sup>2</sup>	总生态 足迹/hm <sup>2</sup>		安溪总 消费量/t	人均生态 足迹/hm <sup>2</sup>	总生态 足迹/hm <sup>2</sup>
原煤	55	20.9	329534	0.119327	125427	化石燃料用地	483438	0.393173	184005
焦炭	55	28.4	455500	0.220365	235469	化石燃料用地	1989	0.02197	1028.2
汽油	93	43.1	721.93	0.000313	334.3	化石燃料用地	183	0.000181	84.745
柴油	93	42.5	14055.5	0.006032	6446	化石燃料用地	1212	0.001264	553.47
电力	1000	11.8	90507.6	0.001002	1070	建筑用地	43892	0.001185	519.02

注：电力单位为 10<sup>4</sup> kW·h,其他燃料已折算成标准煤 t

4.1.3 总生态足迹计算

从安溪县和永定县 2005 年生态足迹的计算结果看出(表 3),生态足迹由生态足迹需求和生态足迹供给(生态承载力)2 部分构成。其中生态足迹的需求部分是(表 1)由计

算汇总而得,均衡因子选取来自于世界各国的生态足迹计算研究报告,产量因子根据实际情况确定。考虑到要维护生物多样性,在计算生态足迹时扣除了 12 %的生物多样性的保护面积。

表 3 2005 年安溪县与永定县总的生态足迹计算结果汇总

类型	安溪生态足迹需求			安溪生态承载力需求			永定生态足迹需求		永定生态承载力需求		
	总面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)	人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	产量因子	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)	总面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)	人均面积 (hm <sup>2</sup> /人)	均衡面积 (hm <sup>2</sup> /人)	
耕地	0.0991	2.8	0.27748	0.0210	2.24	0.1317	0.1019	0.28532	0.025	0.21952	
草地	0.0466	0.5	0.02330	0.0015	2.8	0.0021	0.0399	0.01995	0.007	0.0280	
林地	0.0051	1.1	0.00561	0.1216	1.1	0.1216	0.0169	0.02190	0.158	0.1580	
化石燃料用地	0.3460	0.2	0.06921	0	0	0	0.4166	0.08330	0	0	
建筑用地	0.0010	2.8	0.00280	0.0209	1.66	0.0971	0.0012	0.00333	0.011	0.050	
水域	0.0717	0.2	0.01434	0.0074	1	0.0015	0.1514	0.03028	0.006	0.0012	
				CO <sub>2</sub> 吸收	0	0			0		
人均生态足迹			0.39274	人均生态承载力		0.3540		0.44660		0.4567	
				生物多样性 12 %		0.0425				0.0548	
				可利用人均生态承载力		0.3115				0.4019	

4.2 计算结果分析

4.2.1 生态足迹呈现赤字

从表 3 计算结果可以看出,安溪县和永定县人均生态足迹需求分别为 0.392 7,0.446 6 hm<sup>2</sup>/人,而其生态承载力需求分别为 0.354 0,0.456 7 hm<sup>2</sup>/人,分别扣除所规定的 12 %的生物多样性生态承载力 0.042 5,0.054 8 hm<sup>2</sup>/人,可利用人均生态承载力分别为 0.311 5,0.401 9 hm<sup>2</sup>/人,生态足迹呈现赤字,其赤字分别为 0.068 4,0.044 7 hm<sup>2</sup>/人。这说明两县的生态足迹需求超过了自然系统的再生能力,当前的发展都是通过消耗自然资本存量或是依靠从外部输入生态足迹来获得当前的发展和弥补生态承载力的不足,但安溪县生态赤字高于永定县,这与近些年来大规模的开发茶园而造成赤字较大。从表 3 还可以看出各用地的生态需求与生态供给的差异及其生态足迹呈现赤字,表明安溪县与永定县的经济社会发展处于一种不可持续状态。从生态足迹供需结构上看,两者具有相似之处,生态足迹需求主要是以耕地为主,生态需求主要为耕地,类型单一。而供给主要是以林地、耕地、建筑用地为主,三者占总供给量的 90 %以上,说明两县

人类生存和消费的生物生产性土地主要是这三类。对此需对消费结构进行调整以提高能源的利用率,降低生产成本,提高生活水平。

4.2.2 生物生产面积的利用效率分析

为了直观反映区域生物生产面积的利用效率,以每 1 hm<sup>2</sup> 土地面积所能产生的 GDP 产值来揭示自然资源的利用效益。每 1 hm<sup>2</sup> 的 GDP 产值的生态足迹越大,区域生物生产面积的产出率越高,反之越低<sup>[17]</sup>。2005 年安溪县地区生产总值为 1 363 315 万元,每 1 hm<sup>2</sup> GDP 产值为 4.46 万元/hm<sup>2</sup>,同期永定县地区生产总值 549 500 万元,每 GDP 产值为 2.472 万元/hm<sup>2</sup>,效益皆低下,是以损失自然生态为代价的一种不可持续发展状态,也反映出两县区域经济发展水平偏低。同时,也反映出两县的资源利用效率升值空间很大,可以从沿海发达县市吸取更多有效的发展经验,进行产业结构调整、优化、升级,提高资源利用效率来发展经济仍有很大空间,要大力发展自己特色产业,如安溪茶经济、永定土楼客家文化与旅游。

## 5 生态恢复对策

生态恢复措施包括了退耕还林还草、封山禁牧、舍饲养殖及综合治理等。加强封禁治理措施,实施封山禁牧、封育保护措施,给林草植被以休养生息的机会,使其依靠大自然的自我修复能力大面积恢复,利于减少生态赤字,维持其生态平衡,促进可持续发展。

### 5.1 调整土地利用结构,切实保护耕地

安溪县与永定县生态赤字与农业土地利用结构有密切的关系。粗放经营和资源的过度开采是其主要特点。丘陵山地为主的地形,土地利用以林地园地为主,应以发展茶果园为主,但要避免分散经营,应建立茶果园商品生产基地,实行集约化经营,引进先进技术。同时大力发展农、林、牧、特产品深加工,以最大限度发挥资源的经济效益。同时开展土地整理和复耕,增加土地后备资源,加强耕地保护和基本农田建设,加强建设用地管理,促进农民居住向城镇集中、工业向工业园区集中,实行土地占补跨地区平衡,保证经济建设用地的需要。

### 5.2 以小流域为单元综合治理,提高环境生态承载力

山区小流域是一个最基本的地域单元或地域系统。系统内的森林、草地、农田、村落、城镇、茶园等子系统是互相联系、互相制约的。两县生态恢复必须根据该区域内的生态环境现状,特别是水土流失十分严重,生态环境恶化和自然、社会经济状况,进行系统、科学的统一规划,实行生物措施、工程措施、耕作措施等有机结合及山、水、田、林、路综合治理,形成多目标、多层次、多功能、高效益的综合生态恢复体系。

### 5.3 加快农村能源建设,提高生态休养时间,促进生态修复

植被恢复是提高生态承载力的重要手段。要通过人工种草植树,以解决农村群众的能源问题为立足点,修建沼气池,改建节能灶,发展农村小水电等多种方式解决农村燃料问题。要着重加强生态环境严重破坏的区域水土流失防治、重大项目建设区域进行重点植树造林,加强天然林保护及坡耕地退耕还林还草,同时要通过加强生态保护,限制不合理的人类活动,充分利用生态系统的自我更新能力恢复植被,提高植被覆盖度,以减轻水土流失。同时要发展林-农-牧复合经营模式,实施果-农-鱼-果、牧-沼-果、林-农-牧-林等循环模式,使经济、生态、社会效益融为一体,提高人均生态足迹,减少生态赤字,维护生态平衡。

### 5.4 多渠道减少农业人口,降低生态负荷

要多种渠道解决两县生态系统的超负荷人口,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,降低生态负荷,为生态恢复提供必要的条件,使人口与经济、社会、资源、环境能够协调发展。

## 参考文献:

- [1] Hardi P, Barg S, Hodge T, et al. Measuring sustainable development: Review of current practice[R]. Occasional paper number 17, 1997 (IISD), 1-2, 49-51.
- [2] Costanza R, Cumberland J, Daly H et al. An Introduction to Ecological Economics [M]. St Lucie Press, 1997.
- [3] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [4] Wackernagel M. Big things first focusing on the scale imperative with the ecological footprint [J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 391-394.
- [5] 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.
- [6] 徐中民,张志强,程国栋. 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] 徐中民,张志强,程国栋. 甘肃省1998年生态足迹计算与分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 607-616.
- [8] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态足迹计算与分析[J]. 地理研究, 2003, 22(5): 654-662.
- [9] 韦良换,赵先贵,高利峰,等. 安康市2003年生态足迹分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 4-6.
- [10] 赵云龙,唐海萍,李新宇,等. 河北省怀来县可持续发展状况的生态足迹分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 128-135.
- [11] 安溪县统计局. 安溪统计年鉴[Z]. 2006.
- [12] 永定县统计局. 永定统计年鉴[Z]. 2006.
- [13] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. Ecological footprints of Nations [M]. Toronto: International Council for Local Environmental initiatives, 1997: 10-21.
- [14] Wackernagel M, Rees W E. Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics from An Ecological Footprint Perspective[J]. Ecological Economics, 1997, 20: 3-24.
- [15] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept [J]. Ecological Economics, 1999, 29: 375-390.
- [16] 邱大雄. 能源规划与系统分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1995: 48.
- [17] 薛国珍,王尚义. 太原市2003年生态足迹的计算与分析[J]. 地域研究与开发, 2006, 4(2): 115-119.