

# 黄土丘陵区纸坊沟流域“退耕还林” 工程实施后生态足迹变化分析

刘佳<sup>1</sup>, 王继军<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 以黄土丘陵区纸坊沟流域所辖 3 个自然村农户的调查资料为依据, 利用生态足迹理论及模型对该流域生态足迹与生态承载力进行了测算。结果表明, 纸坊沟流域退耕还林工程实施前(1999 年)生态足迹 0.991 0 hm<sup>2</sup>/cap, 生态承载力 0.892 6 hm<sup>2</sup>/cap, 生态赤字 0.098 4 hm<sup>2</sup>/cap; 退耕还林工程一期结束后(2007 年)生态足迹 1.018 8 hm<sup>2</sup>/cap, 生态承载力 1.270 3 hm<sup>2</sup>/cap, 生态盈余 0.251 5 hm<sup>2</sup>/cap, 说明退耕还林工程的实施已见成效; 同时退耕还林一期工程实施前后 3 个自然村生态足迹顺序并未发生变化, 这与其区位特征一致。根据该流域及其 3 个自然村的发展特点, 为实现其可持续发展, 应发展商品型生态农业, 强化产业与资源的耦合。

**关键词:** 退耕还林工程; 黄土丘陵区; 纸坊沟流域; 生态足迹; 生态承载力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)05-0161-05

中图分类号: X171.1

## Changes of Ecological Footprint After Cropland Conversion to Forest Land Project of Zhifanggou Watershed in Loess Hilly and Gully Region

LIU Jia<sup>1</sup>, WANG Jijun<sup>1,2</sup>

(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Ecological footprint theory and model have been applied to calculate the ecological footprint and ecological capacity, according to the investigation on the three natural villages of Zhifanggou watershed in the loess hilly and gully region. Before the implementation of cropland conversion to forest land project, the ecological footprint was 0.991 0 hm<sup>2</sup>/cap, the ecological capacity was 0.892 6 hm<sup>2</sup>/cap, and the deficit was 0.098 4 hm<sup>2</sup>/cap (1999). After the first stage project (2007), the ecological footprint was 1.018 8 hm<sup>2</sup>/cap, and the ecological capacity and the ecological surplus had reached 1.270 3 and 0.251 5 hm<sup>2</sup>/cap, respectively. The results indicate that the cropland conversion into forest land project has given rise to sound effects. Meanwhile, the ecological footprint order for the three natural villages did not change, which was unanimous with its regional characters. Ecological agriculture with commodity economy should be developed and the relation between industry and resources should be consolidated in the watershed to realize the sustainable development in the region, according to the development process of the 3 natural villages.

**Keywords:** cropland conversion to forest land project; loess hilly region; Zhifanggou watershed; ecological footprint; ecological capacity

生态足迹(ecological footprint), 或称生态空间占用, 最早是由加拿大生态经济学家 William Rees 及其博士生 Wackernage 于 1996 年在《我们的生态占用: 减少人类对地球的影响》中提出的一种衡量人类对自然资源利用程度以及自然界为人类提供的生命支持服务功能的方法<sup>[1]</sup>。已有近 20 个国家利用

“生态足迹”指标计算各类承载力问题。目前我国应用生态足迹分析法分析可持续发展状况的研究较多, 大多都以大城市(北京市、广州市、陕西省等)为研究对象<sup>[2]</sup>。而在流域尺度上研究的相对较少。本文以黄土丘陵区纸坊沟流域为研究对象, 通过对其生态足迹的计算和分析, 评价退耕还林工程实施过程中纸坊

流域生态经济系统互动关系的变化,为实现生态经济系统优化耦合模式的建立提供依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

纸坊沟流域位于延河支流杏子河下游的一级支流,属典型黄土丘陵沟壑区,隶属于陕西省安塞县,包括纸坊沟、寺峪县、瓦树塌三个自然村,流域面积 8.27 km<sup>2</sup>,流域内大部分土壤是黄绵土,占总面积的 77.1%。流域属暖温带半干旱气候区,年日照总时数 2 425.6 h,年辐射量 132×4.18 kJ/cm<sup>2</sup>,年平均气温 8.8℃,≥10℃积温 3 113.9℃,平均无霜期 159 d。年平均降雨量 549.1 mm,但分布不均,7—9 月降雨量占年降雨量的 61.1%,且多暴雨,流域内梁峁起伏,地形破碎,沟壑密度高达 8.06 km/km<sup>2</sup>,海拔 1 100~1 400 m<sup>[3-5]</sup>。

从可查询到的资料来看,1938 年林草占可利用地面积的 85.1%,生态系统处于自然平衡状态;1958 年就仅存果树和灌木 3.50 hm<sup>2</sup>,生态系统极度恶化,土壤侵蚀模数高达 15 000 t/km<sup>2</sup>。受地形地貌和人类经济活动的多重影响,特别是毁林开荒的加剧,导致了生态系统严重的退化<sup>[3-5]</sup>。

从国家“七五”计划开始,纸坊沟流域成为黄土高原综合治理试验示范区,经过 20 a 的综合治理,尤其是“退耕还林工程”的实施,生态系统逐步恢复,并进入良性循环的轨道<sup>[3]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 生态足迹的计算 在生态足迹计算中,各种资源消费项目被折算为耕地、草场、林地、建筑用地、化石能源土地和海洋(水域)等 6 种生物生产面积类型<sup>[6]</sup>。人均生态足迹计算公式<sup>[12]</sup>为

$$e_f = \sum_{r_j} A_j = \sum_{r_j} (P_i + I_i - E_i) / (Y_i \times N) \quad (j=1, 2, 3, \dots, 6) \quad (1)$$

式中:  $e_f$  ——人均生态足迹(hm<sup>2</sup>/cap);  $i$  ——消费项目的类型;  $r_j$  ——均衡因子;  $A_i$  ——第  $i$  种消费项目折算的人均占有的生物生产面积(人均生态足迹分量);  $P_i$  ——第  $i$  种消费项目年生产量(kg);  $I_i$  ——第  $i$  种消费项目年购买量(kg);  $E_i$  ——第  $i$  种消费项目的年销售量(kg);  $Y_i$  ——生物生产土地第  $i$  种消费项目年(世界)平均产量(kg/hm<sup>2</sup>);  $N$  ——人口数。

1.2.2 生态承载力的计算 生态承载力是指区域内所能提供给人类的生态生产性土地总和。在计算生态承载力时,因不同地区资源不同,生物生产能力和土地生产力也有很大差异。所以在不同地区,同类生物生产土地的实际面积是无法直接进行对比的,需

对不同类型的面积进行调整。也就是所引出的产量因子来实现,即某个国家或地区某类型土地平均生产力与世界同类土地平均生产力的比率。同时出于谨慎考虑,在生态承载力计算时应扣除 12% 生物多样性保护面积<sup>[6-9]</sup>。

人均生态承载力计算公式<sup>[12]</sup>为

$$e_c = a_j \times r_j \times y_j \quad (j=1, 2, 3, \dots, 6) \quad (2)$$

式中:  $e_c$  ——人均生物承载力(人均生态足迹供给, hm<sup>2</sup>/cap);  $a_j$  ——人均生物生产面积;  $r_j$  ——均衡因子;  $y_j$  ——产量因子。

## 2 安塞纸坊沟流域生态足迹和生态承载力的计算

### 2.1 数据来源

退耕还林工程自 1999 年开始,经历了试点示范、快速推进和成果巩固 3 个阶段,随着退耕还林政策补助陆续到期,退耕还林工程的生态效益和经济效益也逐渐突显,因此生态足迹的计算选取了退耕还林实施的起点(1999 年)和第一轮补偿政策结束点(2007 年)进行分析。1999 年数据主要利用中国科学院安塞水土保持综合实验站的监测数据,2007 年数据通过自下而上调查获得。

各种土地类型均衡因子采用 Wackemagel 确定的 6 种生物生产土地均衡因子。产量因子采用中国各类型土地的平均生产力水平下的产量因子,如表 1<sup>[10]</sup>所示。

表 1 各类土地类型的均衡因子和产量因子

土地利用类型	均衡因子	产量因子
耕地	2.82	1.66
林地	1.14	0.91
草地	0.54	0.19
水域	0.22	1.00
建筑用地	2.82	1.66
能源用地	1.14	0

### 2.2 纸坊沟流域生态足迹的计算

根据计算公式(1)以及相关的统计数据,分别计算出纸坊沟流域内的 3 个自然村(纸坊沟、寺峪县、瓦树塌)退耕还林前(1999 年)后(2007 年)的人均生态足迹。其中 1999 年的生物生产面积折算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>[10]</sup>,2007 年的世界平均产量的数据采用 2002 年世界粮农组织(FAO)和世界自然基金会(WWF)的相关数据<sup>[11]</sup>,如表 2 所示。

### 2.3 纸坊沟流域生态承载力的计算

根据计算公式(2)以及相关的统计数据,分别计算出纸坊沟流域内的3个自然村(纸坊沟、寺峪县、瓦树塌)退耕还林前(1999年)后(2007年)的人均生态承载力。根据世界环境与发展委员会(WCED)的报

告,至少有12%的生态容量需被保存,以保护生物多样性<sup>[8]</sup>,如表3所示。

### 2.4 纸坊沟流域人均生态足迹供需情况分析计算

由表2-3可获得1999年和2007年纸坊沟流域人均生态盈余和生态赤字见表4。

表 2 纸坊沟流域人均生态足迹

hm<sup>2</sup>/cap

土地利用类型	1999年人均生态足迹			2007年人均生态足迹		
	纸坊沟	寺峪县	瓦树塌	纸坊沟	寺峪县	瓦树塌
耕地	0.6508	0.6958	0.6736	0.6535	0.5833	0.6985
林地	0.0222	0.0214	0.0316	0.0321	0.0209	0.0115
草地	0.1821	0.1548	0.0883	0.2310	0.1694	0.0775
水域	0.0203	0.0152	0.0076	0.0278	0.0152	0.0121
建筑用地	0.0033	0.0031	0.0030	0.0033	0.0031	0.0032
能源用地	0.1958	0.0755	0.0589	0.2936	0.0919	0.0705
人均总生态足迹	1.0744	0.9658	0.8630	1.2413	0.8837	0.8733
全流域人均总生态足迹	0.9910			1.0188		

表 3 纸坊沟流域人均生态承载力

hm<sup>2</sup>/cap

土地利用类型	1999年人均生态承载力			2007年人均生态承载力		
	纸坊沟	寺峪县	瓦树塌	纸坊沟	寺峪县	瓦树塌
耕地	0.3405	0.8595	0.4238	0.2205	0.6722	0.9435
林地	0.4132	0.4620	0.2365	0.6826	0.7004	0.8364
草地	0.0017	0.0224	0.0220	0.0000	0.0047	0.0147
水域	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
建筑用地	0.0913	0.0913	0.0788	0.0853	0.0853	0.0853
能源用地	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
人均总生态承载力	0.8467	1.4352	0.7611	0.9883	0.9883	1.4625
可利用人均承载力	0.7451	1.2630	0.6698	0.8697	1.2870	1.6543
流域人均生态承载力	0.8926			1.2703		

注: 计算时扣除12%生物多样性保护面积。

表 4 生态盈余和生态赤字

hm<sup>2</sup>/cap

土地类型	1999年			2007年		
	人均生态承载力	人均生态足迹	生态赤字/盈余	人均生态承载力	人均生态足迹	生态赤字/盈余
耕地	0.5413	0.6753	-0.1340	0.6121	0.6278	-0.0158
林地	0.3706	0.0233	0.3473	0.7398	0.0237	0.7160
草地	0.0154	0.1548	-0.1395	0.0065	0.1788	-0.1724
水域	0.0000	0.0159	-0.0159	0.0000	0.0195	-0.0195
建筑用地	0.0871	0.0032	0.0840	0.0853	0.0032	0.0821
能源用地	0.0000	0.1185	-0.1185	0.0000	0.1657	-0.1657
总计	-0.0984			0.2515		

## 3 分析与讨论

### 3.1 结果分析

由表2-3可以看出,纸坊沟流域维持人均物质资

源消费和废弃物吸收所必需的生物生产面积从1999年的0.9910 hm<sup>2</sup>/cap增加到2007年的1.0188 hm<sup>2</sup>/cap,经过8a的退耕还林工程的实施,人均生态承载力则从0.8926 hm<sup>2</sup>/cap上升到1.2703 hm<sup>2</sup>/cap。从

表 2 可知纸坊沟流域 2007 年较 1999 年人均生态足迹增加了 2.8%。退耕前后 3 个自然村的人均生态足迹依次排序均为纸坊沟> 寺峪县> 瓦树塌。由图 1—2 可知, 纸坊沟流域是以农业生产为主的产业结构, 其中在满足粮食生产生活的的基础上, 耕地的需求量下降了 6%, 说明退耕还林工程及相关措施的实施已发挥了初步成效。能源用地上升了 4%, 说明了村民能源消费量增加(主要消费能源为煤和汽油), 尤其是纸坊沟村处于纸坊沟流域的沟口, 地势平缓, 交通便利, 短短 8 a 期间, 摩托车数量增加了 1 倍, 三轮汽车由原来的 5 辆, 增加到 20 辆, 增加了 3 倍, 大型机械设备如推土

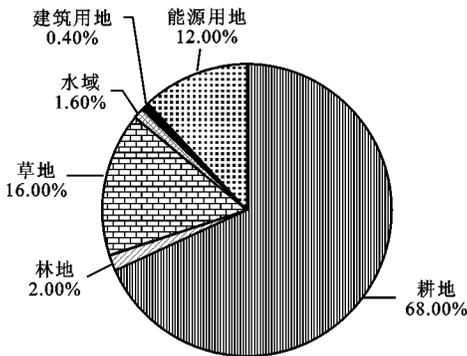


图 1 1999 年生物生产性土地的生态足迹需求百分比

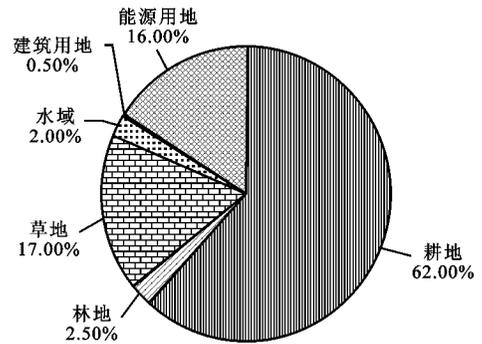


图 2 2007 年生物生产性土地的生态足迹需求百分比

由表 4 可知, (1) 退耕还林前后, 草地的需求量在上升, 出现草地生态赤字最大, 表明随着流域内生活水平的提高, 人们的肉类消费量也在不断增加, 尤其是 2007 年消费类生物资源的价格突增, 促进了纸坊沟流域内畜牧养殖业的发展, 使其养殖业对粮食的消耗量过大而产生比较大的生态足迹。(2) 水域和能源用地的需求突出。由于纸坊沟流域属于黄土丘陵沟壑区, 水资源缺乏, 无水产品饲养业, 其水产品消费量全部都是从区域外购买。能源用地的生态赤字增长最快, 8 a 之间人均消费量增加了  $0.0472 \text{ hm}^2$ 。(3) 耕地的需求量退耕前要大于退耕后, 生态赤字减少了  $0.11826$ , 表明当地居民的消费方式逐渐在改变, 有利于缓解人们的经济活动对生态环境的影响。(4) 建设用地的生态足迹没有变化, 均为  $0.0032 \text{ hm}^2/\text{cap}$ 。由于纸坊沟流域离县城较远, 且属于山区, 人口数量变化不大, 人均土地占有率高, 1999 年到 2007 年之间没有新增建设用地。(5) 林地供给较充足, 没有生态赤字, 还有相当大的一部分盈余, 表明其林地的生态容量足以支持其生态负荷, 且具有一定开发潜力。尤其是退耕还林后, 人均生态盈余增长了  $0.3687 \text{ hm}^2$ , 足以说明当地退耕还林工作取得的显著成效。因此该流域内的生态足迹及其赤字主要来源于能源、水域、耕地和草地类产品的消费, 林地

机、铲车新增了 3 辆, 间接地说明了人们对机械化设备的依赖性增强。从表 3 可知, 安塞县纸坊沟流域 2007 年较 1999 年人均生态承载力呈上升趋势, 通过退耕还林工程的实施, 新增林业用地面积  $106 \text{ hm}^2$ , 增加了 38%。根据实际调查, 退耕土地基本上都是生产力极低的坡耕地, 为了与目前产业结构相适应, 退耕地主要转换为林地(包括经济林), 尤其是寺峪县村, 1999 年的  $53.33 \text{ hm}^2$  草地到 2007 年只剩下  $11.83 \text{ hm}^2$ , 其余大部分都转变成经济林, 大大地提高了当地居民的经济收入。由此可以看出近 8 a 退耕还林工程的实施取得了明显成效。

类产品和建设用地类产品出现了一定的盈余。

### 3.2 讨论

综合以上分析, 1999 年的生态足迹是  $0.8926 \text{ hm}^2/\text{cap}$ , 从 1999 年陕西省人均  $0.74 \text{ hm}^2$  生物生产面积的生态承载力底线或生态阈值的角度看<sup>[1]</sup>, 纸坊沟流域人均生态足迹均超过了陕西省人均生态阈值, 表明纸坊沟流域在陕西省的尺度上处于生态环境不可持续状态, 人类经济社会活动已超出了生态系统所能提供的范围。从 1999 年中国人均  $0.975 \text{ hm}^2$  生物生产面积的生态承载力底线或生态阈值的角度看<sup>[12]</sup>, 在国家尺度上处于生态环境可持续状态。因此纸坊沟流域 1999 年处于“地方不可持续—国家可持续—欠发展”状态, 而目前通过退耕还林政策的影响, 使得纸坊沟流域从 1999 年生态赤字  $0.0984 \text{ hm}^2/\text{cap}$  到 2007 年转变为生态盈余  $0.2515 \text{ hm}^2/\text{cap}$ , 总体呈“地方可持续—国家可持续—欠发展”状态, 发展趋势良好。

纸坊沟流域生态经济系统演变过程表明, 退耕还林工程的实施, 农户收入显著增加, 生活消费水平增加, 退耕后粮食收入稳中略增, 退耕还林后劳务收入成为退耕农户的主要收入渠道。证明了人为因素的积极作用增强了生态系统对农业生产的生态保护功能, 并且促进了相关林业产业的发展, 土地资源适宜实施退耕还林工程。但是纸坊沟流域总体仍呈现

生态系统的边际效用小于经济系统的边际效用<sup>[13]</sup>,因此发展商品型生态农业,强化产业与资源的耦合关系,是当前黄土丘陵区纸坊沟流域发展的关键,重点开发林草资源,构建林草产业,即注重川地和近村梯田生产效果的提升,发展高效设施农业或特色农业,远村梯田和山坡地退耕发展经济林和畜牧业,荒山坡封育提高生态效益,并为畜牧业发展提供饲草资源<sup>[14]</sup>。通过农、林、牧、副业的产业结构转变,增加产业宽度,既而转变人们的生活与消费方式,建立资源节约型的社会生产和消费体系。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 唐建荣.生态经济学[M].北京:化学工业出版社环境科学与工程出版中心,2005:178—184.
- [ 2 ] 章锦河,张捷.国内生态足迹模型研究进展与启示[J].地域研究与开发,2007,26(2):90—96.
- [ 3 ] 王继军.纸坊沟流域农业生态经济系统建设及其投入问题分析[J].世界科技研究与发展,2001,23(3):56—58.
- [ 4 ] 董孝斌,高旺盛,严茂超.黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析:以安塞县纸坊沟流域为例[J].地理学报,2004,59(2):223—229.
- [ 5 ] 张晓萍,焦锋,李锐.地块尺度土地可持续利用评价指标与方法探讨:以陕北安塞纸坊沟为例[J].环境科学进展,1998,7(5):29—33.

- [ 6 ] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [ 7 ] 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—4.
- [ 8 ] Wackernagel M, Onistl L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375—390.
- [ 9 ] Wackernagel M, Onist L, Bello P, et al. Ecological Footprint of Nations[C]//Commissioned by the Earth Council for Rio+5 Forum. Toronto:International Council for Local Environmental, 1997.
- [ 10 ] 琚鸿.广州市花都区2004年生态足迹和生态承载力计算分析[J].广州环境科学,2007,22(1):25—27.
- [ 11 ] 张正栋,周永章,夏斌,等.南方丘陵区生态足迹计算和分析:以韩江上游梅江区为例[J].水土保持研究,2005,12(5):115—118.
- [ 12 ] 徐中民,张志强,程国栋.生态经济学理论方法与应用[M].郑州:黄河水利出版社,2003:101—111.
- [ 13 ] 王继军,郭满才.纸坊沟流域农业生态经济系统演变规律研究[J].中国农学通报,2005,21(10):324—329.
- [ 14 ] 王继军.黄土丘陵区流域农业生态经济安全问题初探[J].水土保持学报,2007,21(2):179—182.

(上接第27页)

总之,GPS数据目前已经不单单只是一个简单野外调查的路线的记录,它也可以与其它信息有机结合起来更广泛地使用。如本研究所做的将GPS采集的时空信息和数码相机采集的场景信息的有机结合可以全程全面记录考察活动,希望通过此方法的介绍能给GPS用户就如何更广泛的利用GPS数据提供一些新的思路。

致谢:十分感谢澳大利亚悉尼大学考古计算实验室 Andrew Wilson 为本研究提供的技术指导。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 焦锋,张晓萍,李锐,等.GPS相对测量技术在水土保持中的应用[J].水土保持通报,1998,18(5):32—34.
- [ 2 ] 卜兆宏,姜小三,杨林章,等.水土流失定量监测中GPS实测更新GIS数据的实用方法研究[J].土壤学报,2005,42(5):712—719.
- [ 3 ] 何福红,李勇,李璐,等.基于GPS与GIS技术的长江上

游山地冲沟的分布特征研究[J].水土保持学报,2005,19(6):19—22.

- [ 4 ] 徐建芳,张发旺,张进才.GPS在地面沉降监测中的应用探讨[J].地理与地理信息科学,2003,19(5):43—45.
- [ 5 ] 薛志宏,卫建东,金新平.GPS在雅善江卡拉电站滑坡监测中的应用[J].测绘工程,2007,16(2):65—68.
- [ 6 ] 艾绍周,郝凤毕,马三保,等.GPS在淤地坝淤积监测中的应用[J].中国水利,2005,(12):54—56.
- [ 7 ] 刘学,曹卫彬,刘姣娣,等.RTK GPS系统在智能化农业机械装备中的应用[J].农机研究,2007(9):182—183,186.
- [ 8 ] Hoon Jung, Keumwoo Lee, Wookwan Chun. Integration of GIS, GPS, and optimization technologies for the effective control of parcel delivery service[J]. Computers & Industrial Engineering, 2006, 51(1): 154—162.
- [ 9 ] Zngler M, Fischer P, Lichtenegger J. Wireless field data collection and EO-GIS-GPS integration Computers[J]. Environment and Urban Systems, 1999, 23(4): 305—313.