

半干旱黄土丘陵沟壑区小流域生态经济可持续发展研究

焦金鱼¹, 贵立德², 贾国江¹ (1. 定西师范高等专科学校地理系, 甘肃 定西 743000; 2. 定西市水土保持科学研究所, 甘肃 定西 743000)

摘要: 为了探讨半干旱黄土丘陵沟壑区小流域综合治理措施对生态经济可持续发展所起的作用, 根据大量的实地调研数据, 利用生态足迹理论与方法对庙坪小流域生态环境治理前后的生态足迹需求与供给进行了定量计算。结果表明, 该流域生态足迹一直大于生态承载力, 小流域生态经济为不可持续状态, 但人均生态赤字由治理前的 0.798 9 hm² 下降到治理后的 0.552 5 hm²。由于流域水土保持综合治理成效显著, 导致流域生态承载力的增幅大于生态足迹的增幅, 生态足迹需求及亏缺主要源于化石能源用地和耕地类产品的消费。

关键词: 生态足迹; 黄土丘陵沟壑区; 可持续发展

中图分类号: X171.1; S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2013)05-0559-07

Sustainable Development of Ecological Economy of Small Watersheds in Semi-Arid Loess Hilly Region. JIAO Jinyu¹, GUI Li-de², JIA Guo-jiang¹ (1. Department of Geography, Dingxi Teachers' College, Dingxi 743000, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation of Dingxi City, Dingxi 743000, China)

Abstract: In order to explore effects of comprehensive management of small watersheds on sustainable development of ecological economy in the semi-arid loess hilly-gully regions, ecological footprints of the demands and supplies of the Miaoping watershed before and after the implementation of ecological environment management were calculated quantitatively and analyzed using the footprint theory and method, based on the data obtained through field survey. Results show that the ecological footprint of the watershed has always been greater than its ecological carrying capacity, thus leaving the small watershed ecological economy in unsustainable state. However, its per capita ecological deficit has dropped from 0.798 9 hm² before the management to 0.552 5 hm² after the management. Thanks to the remarkable effect of the comprehensive management of soil and water conservation, its ecological carrying capacity grows faster than its ecological footprint. Ecological footprint demand and deficit comes mainly from alienation of land by farmlands and fossil energy industry.

Key words: ecological footprint; loess hilly region; sustainable development

可持续发展是一种全新的发展战略和发展观, 但要将这种发展理念变成可操作的发展模式, 就必须定量测度发展的可持续性状态^[1]。目前在区域可持续发展评价中采用的货币化指标和非货币化指标的方法都存在不足之处^[2]。生态足迹模型因其具有低成本、较客观等特点而被用于估算某一区域的自然资源能否满足该区居民的需求, 通过将衡量人类消费的物理指标转换为具体的生物生产性土地面积来测量区域经济社会可持续发展状况^[3-4]。严酷的自然条件和日益恶化的生态环境是制约陇中半干旱黄土丘陵沟壑区流域生态经济可持续发展的两大严重障碍。以小流域综合治理为主的生态环境建设和当地经济的可持续发展之间构成了对立统一的矛盾关系。一方面, 生态环境的好坏直接关系到农业生产力的高低及可持续能力的强弱, 是陇中旱作农业实现高产稳产的重要基础; 另一方面, 半干旱地区的生态环境建设又需要

大量的陡坡耕地退耕还林还草, 这势必增加了该区生物生产能力薄弱的旱作农业面临的新的压力。

我国自从 20 世纪 80 年代开展以小流域为单元的水土流失综合治理工作以来, 位于陇中半干旱黄土丘陵沟壑区的定西市安定区九华沟流域以径流调控理论为指导, 最大限度地把降雨径流变为有效的水资源, 促进了流域经济的可持续发展^[5], 水土保持由单纯的水土流失治理走向小流域农业综合开发治理^[6], 依托项目整合契机, 因地制宜创造性地运用现代旱作高效农业发展与生态循环经济相结合的模式, 从而在该区小流域综合治理中实现生态、经济和社会的可持续发展。自从加拿大学者 Wackernagel 提出生态足迹理论以后, 我国学者利用生态足迹模型分别从国家^[4]、地区^[7]、省^[8]和县

收稿日期: 2013-01-15

基金项目: 甘肃省教育厅科研项目(1127B-01)

域^[9]层面就生态经济可持续发展能力做了定量分析。崔理想等^[10]甚至从更小的乡镇层面就当地生态承载力做了定量分析,得出高台县各乡(镇)的耕地资源超负荷利用状况呈加重态势。在国内已有的生态足迹研究中,有关流域尺度的生态足迹研究尚处于起步阶段,尤其对以小流域为单元的生态系统可持续性的研究则更少^[11]。关进平等^[2]以流域为研究区利用生态足迹模型对生态经济系统的可持续发展能力状况进行分析评价。贾俊松等^[12]基于生态足迹模型采用可持续发展能力指数对甘肃省平凉市崆峒区甲积峪小流域的水土保持治理效果进行评价,研究范围由大流域转向小流域,从一个具有独立水文单元的流域角度探讨其流域生态经济系统的可持续发展状况,但数据来源均为以行政单元为统计基础的当地统计年鉴。笔者在水土流失现象严重的黄土高原地区选取一个经过水土流失综合治理的典型小流域为研究样区,采用生态足迹发展指数,因地制宜对原有评价指标体系进行改进,突出梯田建设改变流域耕地类生物生产性土地面积产量因子的权重系数的特点,旨在为陇中半干旱黄土丘陵沟壑区小流域综合治理的生态经济效益评价提供一种新思路。

1 研究区概况

庙坪小流域位于甘肃省定西市安定区,属黄河流域祖厉河水系的一条小支沟,地处 $35^{\circ}36'15''\sim 35^{\circ}44'05''$ N, $104^{\circ}48'01''\sim 104^{\circ}48'45''$ E,海拔1 800~2 253 m,属黄土丘陵沟壑区第5副区。流域地势西南高东北低,形成了以黄土梁峁沟壑为主的地貌特点,地形支离破碎,沟壑纵横。沟壑上游为“V”型沟,下游为“U”型沟,主沟长9.9 km,比降3.57%,两岸为川台地。沟壑密度 $2.4\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$,沟壑面积 2.86 km^2 ,占流域总面积的12.3%。该区属中温带半干旱气候区,年均气温 $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 $2\,239.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高、最低气温为 34.3 和 $-27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$;年均降水量 427 mm ,但时空分布极不均匀,降水主要集中在7—9月,在植物生长需水期严重缺水。年日照时间 $2\,409\text{ h}$,无霜期 141 d ,蒸发量 $1\,510\text{ mm}$ 。流域内土壤由黄绵土、黑垆土和灰钙土3大类组成,其中以黄绵土分布最广,玉米和马铃薯为流域内主要种植农作物。流域属北温带干草原植被带,天然植被以禾本科和菊科为主,无天然林分布,人工栽植树种有白榆、山杏、河北杨、青杨、新疆杨、旱柳、侧柏和云杉等。

庙坪小流域是2008年由国家水土保持重点建

设工程项目选定进行综合治理的典型小流域,隶属安定区青岚乡3个行政村,流域总面积 23.32 km^2 ,2012年人口总数1 749人,458户,人均纯收入2 800元。现有耕地面积 $1\,027.58\text{ hm}^2$ (坡耕地 284.45 hm^2 ,梯田 743.13 hm^2),林地 396.77 hm^2 ,草地 289.02 hm^2 ,其他(荒坡、沟道、村庄和道路)地类 618.63 hm^2 ,农林牧用地比例由治理前的50.0%、2.6%和6.5%调整为44.1%、17.0%和12.4%。经过连续3a的水土流失综合治理,新增治理面积 848.33 hm^2 ,其中兴修梯田 102.43 hm^2 ,水保林 335.37 hm^2 ,人工种草 137.42 hm^2 ,生态修复 273.11 hm^2 ,谷坊165道,沟头防护 0.5 km ,水窖31眼,治理度由39.0%提高到77.7%。

2 研究方法

2.1 生态足迹理论和计算方法

生态足迹概念最初由加拿大生态经济学家William和其博士生Wackernagel提出,生态足迹模型主要用来计算在一定的人口和经济规模条件下,维持资源消费和废弃物吸收所必需的生物生产面积,是一种较为直观的、操作性强的度量一个区域可持续发展的方法^[13]。生态足迹分析法的评价思想是通过计算区域为满足当地人口消费的资源 and 同化它们排出的废物所需的土地,并将计算所得的土地面积与当地所能提供的土地面积进行定量比较,通过两者的差值(>0 表示生态赤字, <0 表示生态盈余)表征人类活动对环境所造成的影响,可定量地反映区域生态经济的可持续发展状况^[14],有助于找出影响区域可持续发展的矛盾因子,探究系统内部生物、能源和土地等生态因子在统一尺度——生物生产性土地面积上与区域环境的耦合机制。因而生态足迹分析法在核算将人类消费对环境的影响转化为提供这种消费和消纳废弃物排放所需要的生物生产性土地面积方面,提供了一种廉价而快速的生物物理量的计算方法,为宏观生态规划的制定和小流域综合治理提供决策依据。

2.1.1 生态足迹需求模型

生态足迹模型是一种基于社会-经济代谢的生态系统评估方法,它从生态学的观点出发,研究人类对资源的消费利用状况以及这种程度的消费对生态系统带来的影响^[3]。生态足迹是人口数和人均物质消费的一个函数。生态足迹需求计算指标体系主要由生物资源消费项目和能源消费项目2个部分构成,计算时应将物质消费和能源消费按一定的换算比例转化为林地、耕地、草地、建筑用地、化

石燃料用地和水域 6 类生物生产性土地面积, 计算公式为

$$F_{av} = F_{tot}/N = (r_j \times \sum a_i) = r_j \times \sum (c_i/p_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中, F_{av} 为人均生态足迹, hm^2 ; F_{tot} 为总的生态足迹, hm^2 ; N 为人口数; r_j 为均衡因子; a_i 为 i 种物质人均占用的生物生产性土地面积, hm^2 ; c_i 为 i 种物质的人均消费量, kg ; p_i 为 i 种物质的世界平均生产力, 即全球平均产量, $kg \cdot hm^{-2}$; n 为物质的数量。

为了体现小流域农户消费秸秆和薪柴等生活用能所排放温室气体 (greenhouse gas, GHG) 对环境造成的负荷, 居民生活用能的生态足迹计算公式为

$$E_{tot} = E_{CO_2} + E_{N_2O} + E_{CH_4} = 1/5.2(Q_{CO_2} + P_{GW,N_2O} \times Q_{N_2O} + P_{GW,CH_4} \times Q_{CH_4}) \quad (2)$$

式(2)中, E_{tot} 为居民生活用能的总生态足迹, hm^2 ; Q_{CO_2} 、 Q_{N_2O} 和 Q_{CH_4} 分别为 CO_2 、 N_2O 和 CH_4 排放量, t ; E_{CO_2} 、 E_{N_2O} 和 E_{CH_4} 分别为生活用能排放的 CO_2 、 N_2O 和 CH_4 的生态足迹, hm^2 ; P_{GW,N_2O} 和 P_{GW,CH_4} 分别为 N_2O 和 CH_4 的全球变暖潜势 (global warming potential, GWP), 取值分别为 310 和 21^[15]。

2.1.2 生态足迹承载力模型

生态承载力指一个区域实际提供给人类的所有生物生产性土地 (包括水域) 面积的总和, 其计算公式为

$$C_{av} = C_{tot}/N = [\sum (a_j \times r_j \times y_j)] \times (1 - 12\%)/N \quad (j = 1, 2, \dots, 6) \quad (3)$$

式(3)中, C_{av} 为人均生态承载力供给, hm^2 ; C_{tot} 为区域总生态承载力供给, hm^2 ; a_j 为人均生物生产性土地面积, hm^2 ; r_j 为均衡因子; y_j 为产量因子; N 为人口数。

在生态承载力供给的计算中, 需将 6 类土地利用类型的面积分别乘以相应的产量因子与均衡因子后求和得到该地区的生态承载力。实现了用同一指标——生物生产性土地面积来表示和评价生态足迹和生态承载力, 使生态承载力与生态足迹具有可比性。在计算时, 最终结果应扣除 12% 的生物多样性保护面积^[14]。

2.1.3 可持续评价模型

生态足迹指数 (EFI, I_{EF}) 是衡量可持续发展状况的度量指标之一。该指标为某区域生态承载力 (C_E) 与生态足迹 (F_E) 的差额即净生态承载力, 占生态承载力的比例, 可视为区域今后保留的可持续

发展能力的比例, 其计算公式^[16] 为

$$I_{EF} = (C_E - F_E)/C_E \times 100\%。$$

笔者选用吴隆杰^[17] 设定的生态足迹指数等级划分标准 (表 1)。

表 1 生态足迹指数等级划分标准^[17]

Table 1 Standards for grading of ecological footprint index

等级	生态足迹指数/%	生态环境可持续发展状态
1	≤ -100	严重不可持续
2	> -100 ~ -50	强不可持续
3	> -50 ~ < 0	弱不可持续
4	0	临界
5	> 0 ~ 20	弱可持续
6	> 20 ~ 100	强可持续

2.2 数据来源与处理

由于研究区流域面积小, 各类土地利用面积是在 1:1 万地形图基础上现场分图斑逐一勾绘, 最后利用 GIS 软件进行统计分析而得到。流域内人均生物和能源资源的消费数据全部通过对该流域内庙坪和下湾等 12 个村民小组 58 个典型农户进行问卷调查整理而成, 依据人均纯收入、人均粮食产量和恩格尔系数 3 个指标将典型农户经济水平划分为好、中和差 3 个档次, 接受调查的好、中和差农户比例分别为 23%、59% 和 18%, 与流域农户的总体收入水平相一致 (表 2)。

表 2 典型农户的选择标准

Table 2 Criteria for selection of typical farmer households

典型农户经济水平	人均纯收入/ (元 · 人 ⁻¹ · a ⁻¹)	人均粮食产量/ (kg · 人 ⁻¹ · a ⁻¹)	恩格尔系数
差	< 2 000	< 600	> 0.85
中	2 000 ~ 3 000	600 ~ 1 000	0.60 ~ 0.85
好	> 3 000	> 1 000	< 0.60

3 结果与分析

3.1 生物资源消费账户

生物资源消费分为农产品、动物产品和林产品 3 大类, 包括小麦、稻谷、玉米、薯类、豆类、蔬菜、水果、油类、糖类、猪肉、茶叶、牛羊肉、禽肉、蛋类、水产品、牛奶和花椒 17 种。在生物资源生产面积的折算中采用联合国粮食及农业组织 (FAO) 2010 年统计年报中的全球平均产量数据。对于均衡因子的选取, 笔者采用了 WACKERNAGEL 等^[3] 利用 FAO 全球农业生态区 (GAEZ) 及国际应用系统分析研究所 (IIASA) 估计的土地最大潜在农作物产量的相关数据而计算得到的各类土地均衡因子。耕地和建

筑用地均衡因子为 2.8, 草地为 0.5, 水域为 0.2, 林地和化石燃料用地均为 1.1。

由表 3 可知, 庙坪小流域在水土流失综合治理前后 5 a 的人均生物资源消费生态足迹变化较大, 由治理前 (2008 年) 的 0.811 8 hm² 增至 0.968 8 hm², 净增 0.157 0 hm²。生态足迹逐年增大的主要原因是随着农民生活水平的不断提高, 人们的消费观念发生了转变, 人均消费总量的增加促使生态足迹逐年增大, 其中, 增幅较大的生物资源消费包括蔬菜、水果、猪肉和水产品等。以粮食、油料和薯类消费为主的耕地生态足迹占总足迹的比例高达 98%, 小麦消费足迹较高, 还与北方居民的饮食习惯有关, 牛羊肉、蛋、奶高蛋白消费足迹所占比例偏低, 居民肉类消费以猪肉为主, 牛羊肉和禽肉消费比例偏低, 充分说明该流域居民的消费结构单一, 生活水平仍较低。

表 3 生物资源消费的生态足迹

Table 3 Ecological footprints of the consumption of biological resources

生物资源	人均生态足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)		总生态足迹/ hm ²		土地类型
	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	
小麦	0.167 4	0.159 4	307.26	278.76	耕地
稻谷	0.005 2	0.004 1	9.47	7.22	耕地
玉米	0.000 4	0.000 3	0.76	0.54	耕地
薯类	0.015 8	0.013 5	28.95	23.64	耕地
豆类	0.020 9	0.021 2	38.35	37.10	耕地
蔬菜	0.008 1	0.011 4	14.95	19.94	耕地
水果	0.004 1	0.007 8	7.58	13.62	耕地
油料	0.030 2	0.037 1	55.40	64.91	耕地
糖类	0.001 4	0.001 9	2.58	3.28	耕地
猪肉	0.548 8	0.694 4	1 007.60	1 214.51	耕地
茶叶	0.001 9	0.001 9	3.51	3.35	林地
牛羊肉	0.001 7	0.002 9	3.19	5.06	草地
禽肉	0.001 0	0.001 2	1.76	2.01	草地
蛋类	0.001 5	0.002 2	2.69	3.84	草地
水产品	0.001 2	0.006 9	2.12	12.01	水域
牛奶	0.001 8	0.002 1	3.32	3.59	草地
花椒	0.000 4	0.000 5	0.66	0.88	林地
合计	0.811 8	0.968 8	1 490.15	1 694.26	

1)2008 年; 2)2012 年。

3.2 能源资源消费账户

流域居民的日常能源消费主要为煤炭、汽油、柴油、电力、薪柴和秸秆 6 种。在计算煤炭、汽油、柴油和电力能源消费足迹时, 将能源消费转化为化石燃料生产性土地面积, 以世界单位化石燃料生产性土地面积的平均发热量为标准^[3], 根据联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 温室气体排放计算

指南提供的基本方法, 在计算薪柴和秸秆生活用能的消费足迹时, 根据薪柴和秸秆产生的 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等主要温室气体进行估算, 分别折算为林地和耕地生产性土地面积。对薪柴和秸秆排放因子统一取《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南 (第 2 卷, 能源)》中提供的缺省值 (表 4)。

表 4 小流域生活用能类型及主要温室气体排放因子

Table 4 Types of household energy and main factors of greenhouse gases emission in small watershed

温室气体	不同类型生活用能的气体排放因子/(g·kg ⁻¹)	
	薪柴	秸秆
CO ₂	1 873.31	1 463.50
N ₂ O	0.07	0.06
CH ₄	0.50	0.44

CO₂ 生态足迹通过对已知化石能源地平均 CO₂ 吸纳能力 (5.2 t·hm⁻²) 进行直接折算而得到, N₂O 和 CH₄ 生态足迹通过其全球变暖潜势折算出相应的 CO₂ 当量值后再进行计算。由表 5 可知, 该流域人均能源消费生态足迹由治理前的 1.111 1 hm² 增至 1.478 1 hm², 净增 0.367 0 hm², 大于该流域人均生物资源消费的生态足迹增幅, 是人均生物资源消费足迹增幅的 2.34 倍。2012 年, 以煤炭、汽油、柴油和电力消费为主的化石能源用地生态足迹占总能源足迹的 96%, 自 2008 年以来一直呈上升趋势, 由治理前的 1.004 6 hm² 增至治理后的 1.425 9 hm²; 而传统的薪柴和秸秆用能足迹比例仅占总能源足迹的 4%, 自 2008 年以来一直呈萎缩趋势, 由治理前的 0.106 5 hm² 下降到治理后的 0.052 2 hm²。

表 5 能源消费的生态足迹

Table 5 Ecological footprint of energy consumption

能源	人均生态足迹/ (hm ² ·人 ⁻¹)		总生态足迹/ hm ²		土地类型
	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	
煤炭	0.083 7	0.104 7	153.74	183.07	化石用地
汽油	0.005 1	0.006 6	9.36	11.60	化石用地
柴油	0.004 1	0.012 2	7.49	21.41	化石用地
电力	0.911 7	1.302 4	1 673.84	2 277.90	化石用地
薪柴	0.010 1	0.004 0	18.50	7.05	林地
秸秆	0.096 4	0.048 2	176.92	84.27	耕地
合计	1.111 1	1.478 1	2 039.87	2 585.29	

1)2008 年; 2)2012 年。

3.3 流域生态承载力

一个流域的土地利用结构对其流域生态承载力的大小具有极其重要的影响。庙坪小流域农作物由于受到降水、地形、土壤肥力、耕作技术和作物

熟制等因素的影响,粮食产量与全国相比差异较大。参考徐中民等^[8]的研究成果,可知6大类土地利用类型中耕地的均衡因子和产量因子权重系数均最大。为了保证计算结果的准确性,需对耕地产量因子进行订正,其他产量因子参照文献^[8]的研究成果。根据研究区水土流失治理前后实际的农作物种植结构和粮食产量,2008年该流域粮食平均单产为 $1\ 616\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,故耕地的产量因子应该调整为0.59;2012年该流域粮食平均单产为 $2\ 696\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,耕地产量因子调整为0.98。据调查统计分析,该流域梯田的粮食单产比坡耕地多 $825\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,增产效益为坡耕地的38%。根据均值法确定梯田和坡耕地的权重系数分别为1.16和0.84。所以,该流域水土保持措施治理前(2008年)梯田产量因子为0.68,坡耕地产量因子为0.50;治理后(2012年)梯田产量因子为1.14,坡耕地产量因子为0.82。根据式(3)可计算出庙坪小流域治理前后的人均生态承载力(表6)。

庙坪小流域在进行水土流失综合治理过程中,注重以坡改梯为主的工程措施。为了体现水土保持综合治理的环境效益,特将扣除12%生物多样性保护面积后的耕地生态承载力分为梯田和坡耕地2类进行计算。由表6可知,该流域总生态承载力由治理前的 $2\ 063.54\text{ hm}^2$ 增至治理后的 $3\ 313.15\text{ hm}^2$,增加最显著的是耕地生态承载力,其主要原因是治理前的大量坡耕地被修建为水平梯田,治理后

梯田生态承载力占总生态承载力的63%。由于坡耕地面积的减少,坡耕地总生态承载力下降 71.21 hm^2 。庙坪小流域人均生态承载力净增加 $0.770\ 4\text{ hm}^2$,增幅大于人均生物资源和能源资源增幅的总和。

表6 流域治理前后的生态承载力

Table 6 Ecological carrying capacity of the watershed before and after the management

土地利用类型	人均生态承载力 ¹⁾ /hm ²		总生态承载力 ¹⁾ /hm ²	
	治理前 ²⁾	治理后 ³⁾	治理前 ²⁾	治理后 ³⁾
梯田(坝地、旱川地)	0.584 7	1.193 5	1 073.51	2 087.42
坡耕地	0.351 8	0.328 6	645.94	574.73
草地	0.006 9	0.013 8	12.67	24.16
林地	0.029 5	0.199 8	54.09	349.51
化石燃料用地	0	0	0	0
建筑用地	0.151 1	0.158 6	277.33	277.33
合计	1.124 0	1.894 3	2 063.54	3 313.15

1)扣除12%生物多样性保护面积;2)2008年;3)2012年。

3.4 流域生态足迹盈亏状况

2012年庙坪小流域人均生态足迹供需呈现 $-0.552\ 5\text{ hm}^2$ 生态赤字(表7)。人均生态足迹由治理前的 $1.922\ 8\text{ hm}^2$ 增至治理后的 $2.446\ 8\text{ hm}^2$;人均生态承载力由治理前的 $1.123\ 9\text{ hm}^2$ 增至治理后的 $1.894\ 3\text{ hm}^2$,其中仅梯田的生态承载力由治理前的 $0.584\ 7\text{ hm}^2$ 增至治理后的 $1.193\ 5\text{ hm}^2$;人均生态赤字由治理前的 $0.798\ 9\text{ hm}^2$ 降至治理后的 $0.552\ 5\text{ hm}^2$ 。

表7 流域生态足迹指数及人均生态盈亏

Table 7 Ecological footprint index and per capita ecological gain and loss in the watershed

土地类型	人均生态足迹/hm ²		人均生态承载力/hm ²		人均生态盈亏/hm ²		生态足迹指数/%	
	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾	治理前 ¹⁾	治理后 ²⁾
耕地	0.898 6	0.999 3	0.936 5	1.522 1	0.037 9	0.522 8		
林地	0.012 4	0.006 4	0.029 5	0.199 8	0.017 1	0.193 4		
草地	0.006 0	0.008 3	0.006 9	0.013 8	0.000 9	0.005 5		
水域	0.001 2	0.006 9	0	0	-0.001 2	-0.006 9		
化石用地	1.004 6	1.425 9	0	0	-1.004 6	-1.425 9		
建筑用地	0	0	0.151 0	0.158 6	0.151 0	0.158 6		
合计	1.922 8	2.446 8	1.123 9	1.894 3	-0.798 9	-0.552 5	-71.08	-29.17

1)2008年;2)2012年。

流域生态赤字最严重的是化石能源足迹,治理前后分别高达 $-1.004\ 6$ 和 $-1.425\ 9\text{ hm}^2$ 。由于近年来农用三轮车、播种机和小型收割机等农业机械的大量使用,5 a来人均化石能源足迹增加 $0.421\ 3\text{ hm}^2$ 。在生物资源消费账户中,尽管居民对耕地的需求量最大,但因重视以坡改梯为主的水土保持生态环境建设,耕地、林地和草地均供大于求,水产品

生态承载力为0,供需矛盾突出。但总体上庙坪小流域仍表现为生态盈余,成为城市生态系统农产品的供给区,该流域系统内部剩余的玉米和马铃薯等农产品向周边城市生态系统输出以弥补系统内大量能源足迹的需求空间。流域内无任何可开发利用的石油、煤炭和水电等资源,故导致作为具有农产品生产供给能力的小流域生态系统,在此情况下

出现了需要从流域边界外其他系统输入大量能源以及生态失衡的问题。

3.5 流域生态足迹内部结构平衡分析

由表7可知,庙坪小流域生态足迹供需内部结构严重失衡,体现了一头向内(生物资源账户)一头向外(能源资源账户)的“葫芦状”结构。生态足迹需求及亏缺主要源于化石能源用地和耕地类产品的消费。人均能源消费生态足迹的增幅大于人均生物资源消费生态足迹的增幅。由于庙坪小流域林草生态系统主要以人工林草植被为主,系统结构功能单一,系统的自我调节和抗风险能力差,受区域地形破碎、土壤养分贫瘠及降水稀少等因子的限制,林草生态系统的生物生产量低,尤其缺乏拉动该流域牛羊肉消费量的大面积天然林草牧场,更缺乏供农户进行淡水养殖的水环境。以2012年为例,耕地和化石能源用地足迹需求比例较大,占总足迹的99%,表明居民的日常消费以粮食、猪肉、煤炭和电力为主,对牛羊肉、鱼类、蛋奶、薪柴和秸秆的消费比例较小。农业生态系统农产品的自给率高,居民靠天吃饭,是陇中半干旱地区典型的雨养农业区,产业结构单一,土地利用方式重农轻林牧。受农村地域、收入和消费观念的限制,系统外的牛羊肉和蛋奶等乳畜产品很难流入农村市场,导致该流域居民生物资源消费账户具有很强的自给型和内生型特征,出现了林地草地生态需求足迹偏低而耕地生态需求足迹偏高的现象,体现居民衣着和食物消费水平的耕地足迹比例高达41%。

在庙坪小流域能源消费生态足迹构成中,电力和煤炭足迹比例较大,其主要原因与农民人均纯收入有关。随着农民收入水平的提高和各种家用电器的普及,农民的能源消费观发生了较大转变,农村传统的薪柴和秸秆等“经济型”能源消费渐趋被电力和煤炭等“舒适型”能源消费所替代,这一特征比较符合Omar R等提出的“能源阶梯”的概念框架^[15]——农户收入水平越高,对能源的舒适性、便利性和卫生性的要求也越来越高,因而导致电力和煤炭足迹亦呈逐渐上升趋势,2012年,能源生态足迹占总足迹的比例高达58%。该流域居民电力消费主要依靠流域外的定西市供电专网输入,煤炭消费也从10 km外的定西市外购,因而在能源足迹账户中形成了一头向外的需求结构。

3.6 流域生态经济可持续评价

庙坪小流域总的生态供需矛盾突出,自2008年以来,生态足迹一直大于生态承载力,说明流域社会、经济的发展超过了资源和环境的承载力,流域

生态经济为不可持续状态。根据式(3)和表7可知,庙坪小流域生态足迹指数在水土保持综合治理前后分别为-70.08%和-29.17%,属于强不可持续状态和弱不可持续状态。

自2008年实行水土保持综合治理措施以来,庙坪小流域的生态环境得到明显改善,环境容量增大,生态承载力提高显著。这一方面与流域5 a来人口的持续下降有关,一部分人口成为生态移民,定居到经济区位条件优越的城市,而另一部分人口陆续加入到流域劳务输出大军,经常季节性或循环性地返回农村,成为目前“半城市化”过程中的边缘群体,使部分村社农忙季节出现“空心化”现象,人口构成以老人、妇女和留守儿童为主;另一方面与以小流域为单元,山、水、田、林、路、村统一规划,以坡改梯为重点的流域综合治理有关,尤其是坡改梯工程措施、人工种草和水保林等植物措施的实行,大大提高了该流域的生态承载力,有效地防治了水土流失,区域小气候得到有效调节,流域减沙效益和蓄水效益分别达到67.9%和55.9%。地表径流大部分就地拦蓄入渗,农、林、牧用地比例由治理前的50.0%、2.6%和6.5%调整为治理后的44.1%、17.0%和12.4%,林草覆盖率由治理前的9.1%提高到治理后的29.4%,人均基本农田由治理前的0.35 hm²提高到治理后的0.42 hm²,大大增强了流域的抗旱减灾能力,为小流域农业经济可持续发展创造了必要条件,同时也正是导致流域人均生态足迹不断增长而人均生态赤字渐趋缩小的重要因素。这充分说明人类积极的生态环境治理对半干旱地区已受损生态系统的恢复重建及经济的可持续发展将起到巨大作用。因此,应充分利用流域内大量闲置的荒坡荒沟生态空间,强化流域内景观的异质性,加强研发半干旱黄土丘陵沟壑区退化森林-草原的生态修复以及雨养生态系统的保育、恢复和重建技术。

4 结论

在生态环境综合治理前后庙坪小流域人均生态足迹需求和人均生态承载力均得到较大幅度的提高。由于流域水土保持综合治理成效显著,导致流域生态承载力的增幅大于生态足迹的增幅,人均生态赤字缩减0.2464 hm²。

在计算生态足迹供给土地面积时将流域看作一个相对静止的地域空间,系统外输入的大量能源、蔬菜、水果、林产品与系统内输出的粮食等农产品的贸易调整差额因数据统计原因而未作考虑,影

响了最终评价结果的准确性。农业现代化过程中出现的化肥农药留残、土壤污染和地下水污染均未纳入生态足迹计算范畴,需在后续的研究中进一步补充完善。

建议提倡低碳消费,做好流域产业结构调整,发展舍饲养殖,提高区域土地资源的利用效率,降低高耗能的电力和煤炭等生活用能的消费,加大沼气和太阳能等新能源开发利用力度,以减少流域的生态环境压力,走上现代旱作高效生态农业模式下的流域循环经济可持续发展之路。该研究将生态足迹分析法引入半干旱黄土丘陵沟壑区小流域综合治理生态经济效益的评价中,为今后小流域尺度上的流域生态经济可持续发展研究提供了一种新思路。

参考文献:

- [1] 张志强,孙成权,程国栋,等.可持续发展研究:进展与趋向[J].地球科学进展,1999,14(6):589-595.
- [2] 关进平,张伟,余济云,等.区域生态足迹计算及可持续发展能力评价:以万泉河流域为例[J].中南林业科技大学学报,2012,32(4):105-109.
- [3] WACKERNAGEL M, ONISTO L, BELLO P, *et al.* National Natural Capital Accounting With the Ecological Footprint Concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3):375-390.
- [4] 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.
- [5] 赵克荣,陈丽华,肖洋.黄土区径流调控技术体系[J].中国水土

- 保持科学,2012,6(4):94-99.
- [6] 付鹤佳,郑吉海.鹤岗市国家农业综合开发东北黑土区水土流失重点治理实施分析[J].黑龙江水利科技,2012,40(8):266-267.
- [7] 陈东景,徐中民,程国栋,等.中国西北地区的生态足迹[J].冰川冻土,2001,23(2):164-169.
- [8] 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.
- [9] 杜灵通,高桂英.彭阳县生态足迹与生态承载力动态变化研究[J].宁夏大学学报:自然科学版,2012,3(1):101-105.
- [10] 崔理想,陈兴鹏,许新宇,等.高台县所辖乡镇耕地生态足迹动态分析[J].干旱地区农业研究,2012,30(4):213-217.
- [11] 肖莉,蒋莉,陈治谏,等.小流域可持续发展能力的生态足迹法分析[J].农村生态环境,2005,21(4):22-27.
- [12] 贾俊松,董仁才,邓红兵.用可持续发展能力指数评价水土保持治理效果的研究:以甲积峪流域为例[J].中国水土保持,2009,5(5):33-35.
- [13] 杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹分析与方法[J].地球科学进展,2000,15(6):630-636.
- [14] 张健,田国行.基于生态足迹法的鹤壁市可持续发展探讨[J].河南农业大学学报,2012,46(1):85-91.
- [15] 杨振.农村生活能源消费的环境效应及影响因素分析[J].农业工程学报,2011,27(1):268-272.
- [16] 赵先贵,肖玲,马彩虹,等.基于生态足迹的可持续评价指标体系的构建[J].中国农业科学,2006,39(6):1202-1207.
- [17] 吴隆杰.基于生态足迹指数的中国可持续发展动态评估[J].中国农业大学学报,2005,10(6):94-98.

作者简介: 焦金鱼(1974—),男,甘肃通渭人,讲师,硕士,主要研究方向为区域环境与水土保持研究。E-mail: jiaojinyu2006@163.com

敬告读者·作者

在第3届《中国学术期刊评价报告》(2013—2014)中,《生态与农村环境学报》被评为“RCCSE 中国权威学术期刊”。该报告是国内外期刊评价中第1种分类分级排行榜和权威与核心期刊指南,由中国学术期刊评价委员会编著,科学出版社出版。此次遴选采用基金论文比、总被引频次、影响因子、web即年下载率、国外重要数据库收录情况(自然科学期刊)和二次文献转载量(社会科学期刊)6个指标计算各刊指标值的隶属度,由高到低依次排序,取前5%的期刊为“权威期刊(A+)”,取前5%~25%的期刊为“核心期刊(A)”。共有6448种中文学术期刊参与此次评价,在分学科评价中共计1939种学术期刊进入核心期刊区,其中权威期刊327种,核心期刊964种。在进入该次评价系统的69种环境科学技术与资源科学技术类学术期刊中,排名前3位的《环境科学》、《中国环境科学》和《生态与农村环境学报》被评为权威期刊。

本刊编辑部
9月18日