

果洛州 2002 年生态足迹与发展能力分析

任广鑫^a, 冯永忠^a, 杨改河^a, 王得祥^b

(西北农林科技大学 a. 农学院, b. 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 在介绍生态足迹概念及计算方法的基础上,以江河源区果洛州 6 县 2002 年统计年鉴的数据为依据,对果洛州 2002 年的生产性生态足迹、生态承载力、生态足迹多样性指数、发展能力和 GDP 生态足迹进行了计算。结果表明,果洛州 2002 年的生态足迹为 465 405.112 hm²,实际可供的生态承载力为 545 353.338 hm²,人均生态足迹盈余为 0.591 hm²,其中果洛州的甘德县和玛多县为生态足迹赤字,班玛县、久治县、玛沁县和达日县为生态足迹盈余,说明在当前生产技术水平下,果洛州处于较弱的可持续发展状态。果洛州 2002 年生态足迹多样性指数和发展能力低,而 GDP 生态足迹较高,反映该区域生态系统结构单一,稳定性差,资源利用效率低。

[关键词] 果洛州;生态足迹;发展能力;多样性指数;GDP 生态足迹

[中图分类号] F062.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)12-0063-06

生态足迹(Ecological Footprint,简称 EF)最早是由加拿大生态经济学家 William Rees 等于 1992 年提出的,1996 年由其博士生 Wackernagel 进行了完善。该方法自提出以来,在世界各国引起了强烈反响,并在短时期内对不同地域空间尺度、不同社会领域进行了模型方法的运用和实践,其理论方法和计算模型得到了不断发展和完善,现已发展成为衡量人类对自然资源利用程度以及自然界为人类提供生命支持服务功能的一种常用方法^[1,2]。截止目前,一些研究人员应用该方法相继对世界 52 个国家和地区的生态足迹进行了研究,结果显示其中有 35 个出现生态赤字^[2]。在国内,陈东景等^[3]、杨开忠等^[4]和张志强等^[5,6]相继研究了我国西北地区的生态足迹及其理论与计算模型;徐中民等^[7,8]也对甘肃省 1998 年的生态足迹进行了计算与分析。总的来看,现有的大量生态足迹研究多建立在国家级或省级空间尺度上,在更小的空间尺度,如对县级的生态足迹还缺乏研究。生态足迹分析法作为可持续发展的定量评价方法,是一种计算人类对自然资源利用程度的综合指标,能定量地判定一个区域的发展现状是否处于生态承载力的范围之内。在此背景下,本研究采用生态足迹的理论和计算方法,对江河源区果洛州 6 县的生态足迹和发展能力进行分析和评价,旨在为该地资源的合理开发利用及区域的可持续发展提供依据。

1 生态足迹的理论与计算方法

1.1 生态足迹的概念和理论

生态足迹是指在一定技术条件下,要维持某一物质消费水平下的某一人口、某一区域的持续生存所必需的生态生产性土地的面积;生态承载力则是一个区域所能提供给人类生态生产性土地面积的总和。其设计思路为:人类要维持生存就必须消费各种产品、资源和服务,而每一项消费品均在理论上可追溯到提供生产该消费品所需要的原始物质与能量的生态生产性土地面积^[2~4]。

生态足迹是一种将全球关于人口、收入、资源应用和资源有效性汇总为一个简单的、通用的可以进行国家间、省级间甚至区域间相互比较的手段——一种账户工具,其从具体的生物物理量角度研究自然资本消费的空间,将一个地区或者国家的资源、能源消费同自己所拥有的生态能力进行比较,以判断一个国家或地区的发展是否处于生态承载力的范围之内及是否具有安全性。但将其用于区域可持续发展评价时,常常会出现某一国家或地区越不发达、人们的生活水平越低,而其可持续性越强的现象,如文献^[5]对中国西部 12 个省(区、市)生态足迹的分析结果表明,经济不发达的云南和西藏为生态盈余,因而其发展的可持续性最强,这与可持续发展理论所阐述的基本原则是不相符的。事实上,大多数贫困地

[收稿日期] 2005-04-04

[基金项目] 青海省重大科技项目(2002-N-106)

[作者简介] 任广鑫(1969—),男,甘肃镇原人,副研究员,在读博士,主要从事区域生态环境与资源利用研究。

区都处在贫困和严重生态压力的双重困境之中。因此,并不能因贫困地区的消费水平低造成的生态足迹相应较小,而简单地认为其发展是最可持续的。另一方面,也不能以城市的生态足迹都远远大于其生态承载力,而片面地认为城市较农村的发展更具不可持续性。为此,文献[9]将生态足迹区分为消费性生态足迹和生产性生态足迹。消费性生态足迹是指提供区域人口年消费的生物生产量所需要的生态生产性面积。Wackernagel 生态足迹概念实际上是指消费性生态足迹,而生产性生态足迹是指一个区域每年从生态系统中实际取得的生物产量,所需要的生态生产性面积^[9]。本研究在尝试分析更小区域——县级生态足迹时,由消费量所定义的生态足迹,并不能反映区域人口对自然环境的生态压力是作用于当地生态系统还是其他地方的生态系统。由此可见,只有生产性生态足迹才能真正反映人类活动对当地生态系统的压力,因此生产性生态盈余或赤字可作为真实反映区域生态环境可持续性的指标。为此,本研究以生产量代替消费量来计算县级区域的生产性生态足迹,以期能更确切地反映县级区域内人类对生态环境的影响程度。

1.2 生态足迹计算方法的改进

在生产性生态足迹计算中,将生物生产性土地分为化石能源地、耕地、林地、草地、建筑用地和水域 6 种类型^[7]。生态足迹分析法的计算分为生态足迹和生态承载力两部分。生态承载力的计算等同于 Wackernagel^[2]的计算方法,而生态足迹的计算却有所不同。

1.2.1 生产性生态足迹计算 对于生物资源账户组分的分析,不能照搬原来的生态足迹计算公式,需要对其加以改进。由于计算的是生产产品的生态足迹分量,因而计算公式可以简化为:

$$A_i = P_i / Y_i \quad (1)$$

式中, i 为消费项目的类型; A_i 为生产第 i 种产品折算的生物生产面积 (hm^2); Y_i 为土地生产第 i 种产品的年世界平均产量 (kg/hm^2); P_i 为第 i 种产品的年生产量 ($\text{kg}/\text{年}$)。

生产性生态足迹为

$$EF = \sum r_j A_i \quad (2)$$

式中, EF 为区域生产性生态足迹 (hm^2); r_j 为均衡因子。由于生态生产性土地有 6 种类型,各种土地类型的生产力存在差异,为使计算结果具有可比性,有必要在每种生物生产面积前乘以 1 个均衡因子(E-

quivalence Factor) r_j 。对于能源生态足迹的计算,仍然采用 Wackernagel^[2]的计算分析法,均衡因子 r_j 的取值采用国际上的常用标准^[6]:耕地和建筑用地为 2.8,草地为 0.5,林地和化石能源地为 1.1,水域为 0.2。Wackernagel 等^[2]确定的全球能源的平均土地产出率(平均足迹),可将能源生产所消耗的热量折算成一定的化石能源土地面积,其中煤炭的平均足迹为 55 GJ/($\text{hm}^2 \cdot \text{年}$),能量折算系数为 20.934 GJ/t;水电的平均足迹为 1 000 GJ/($\text{hm}^2 \cdot \text{年}$),折算系数为 0.003 6 GJ/($\text{kW} \cdot \text{h}$)。

1.2.2 产量因子的改进 由于不同国家和地区之间同类生态生产性土地的生产力存在差异,因而不同国家或地区同类生态生产性土地的实际面积是不能直接进行对比的,而需要 1 个生产力系数将不同国家或地区同类生态生产性土地转化为可比尺度,为此,Wackernagel^[2]引入了产量因子(Yield factor)。产量因子指不同国家或地区,某类生物生产面积所代表的局地产量与世界平均产量之比。目前,我国一般采用的产量因子为:耕地 1.66,草地 0.19,林地 0.91,建筑用地 1.66,水域 1.00。在本研究中,产量因子的计算理论上应该取果洛州生物生产面积上的产量与世界平均产量的比值,但由于资料所限,本研究用青海省生物生产面积的产量与全国平均水平进行比较^[10],计算出青海省主要粮食作物、油料和糖料单位面积平均产量为全国的 72.79%,而草地、林地以及水域的生产力更低。因此在本研究中,果洛州的土地产量因子取值以全国的 70%估算,即江河源区果洛州区域产量因子取值分别为:耕地 1.16,草地 0.13,林地 0.64,建筑用地 1.16 和水域 0.70。

2 果洛州生态足迹计算

江河源区生态环境质量的主要体现者是草场,而果洛州是江河源区的核心地带,牧草地作为该区域景观的基质和生态足迹的主要组成部分,对生态环境质量的维护起着非常重要的作用,草场的退化对该区域生态环境的质量将有直接影响。果洛州由于低温的影响,牧草生长期短,生产力低下,生态系统内物质循环、能量流动缓慢,抗干扰和自我恢复能力差,具有很强的敏感性和不稳定性。而这一脆弱的生态系统通过漫长的演化,已形成了稳定的生态系统。但在气候变化和人为活动强度增大的情况下,极易产生植被的退化和逆行演替。

2.1 生产性生态足迹的计算

根据果洛州 2002 年统计资料^①,采用式(1)分别计算出果洛州 6 县的生物资源账户各自的生态足迹(由于 6 县各自的生物资源账户的数据较多,因而其原始数据从略),然后将同类土地类型的生态足迹

相加,可以得到耕地、草地、林地、水域、建筑用地和化石能源地的生产性生态足迹;再采用式(2)计算出果洛州 6 县的总生态足迹及其人均生态足迹,计算结果见表 1。由表 1 可以看出,人均生产性生态足迹以久治县为最大,玛多县次之,玛沁县最小。

表 1 果洛州 2002 年均衡后生态足迹

Table 1 Equivalence area of footprint of Guoluo in 2002 hm²

县域 County	耕地 Arable land	草地 Pasture	林地 Forest	水域 Sea	建筑用地 Building land	化石能源地 Fossil energy	总生态足迹 Ecological footprint	人数 Population	人均生态足迹 Footprint per capita
玛沁 Maqin	113.490	96 512.149	0.000	0.000	0.000	4 417.074	101 042.713	35 914	2.813
班玛 Banma	1 057.010	78 403.611	0.000	0.000	0.000	0.000	79 460.621	22 678	3.504
甘德 Gande	0.000	76 830.633	0.000	0.000	0.000	0.000	76 830.633	23 513	3.268
达日 Dari	0.000	81 771.480	0.000	0.000	0.000	0.000	81 771.480	24 213	3.377
久治 Jiuzhi	0.000	79 387.454	0.000	0.000	0.000	0.000	79 387.454	18 087	4.389
玛多 Maduo	0.000	46 858.095	0.000	0.000	54.116	0.000	46 912.211	10 959	4.281

2.2 生态承载力计算

果洛州现有耕地、草地、林地、建筑用地、水域等物理空间的面积乘以相应的均衡因子和产量因子,就可以得到该地区基于世界平均生态生产力的均衡生物生产的土地面积,即生态承载力。区域生态承载力计算公式为:

$$EC = \sum a_j \times r_j \times y_j$$

式中,EC 为区域生态承载力(hm²);a_j为第 j 种土地类型的生物生产面积;r_j为均衡因子;y_j为第 j 种资源的产量因子。

同时,出于谨慎性考虑,在生态承载力计算时应扣除 12% 的生物多样性保护面积^[4,5,7,8](而实际上

这个数值是不够保护地球上其他物种的,其确定只是考虑到大多数国家政府在实际操作中的可接受程度^[11],以有利于不同区域之间的相互比较)。利用果洛州 2002 年统计年鉴的资料^①,计算出果洛州 6 县的生态承载力,结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,班玛县的总生态承载力最大,其次为玛沁县和久治县,最小的为玛多县,而由于承载的人口数不同,因而人均生态承载力由大到小的顺序依次为班玛县>久治县>达日县>玛沁县>玛多县>甘德县。其顺序基本上和总生态承载力一致,玛沁县由于含果洛州政府所在地大武镇,人口较多而使其人均生态承载力相对较低。

表 2 果洛州 2002 年生态承载力

Table 2 Ecological carrying capacity of Guoluo in 2002 hm²

县域 County	耕地 Arable land	草地 Pasture	林地 Forest	水域 Sea	建筑用地 Building land	CO ₂ 吸收用地 CO ₂ absorption	总生态承载力 Eco-carrying capacity	人数 Population	人均生态承载力 Eco-carrying capacity per capita	12% 人均承载力 Minus 12% for biodiversity	实际可供的人均生态承载力 Utilizable eco-carrying capacity
玛沁 Maqin	9.744	67 878.070	56 287.616	3 242.820	4 605.664	0.000	132 023.914	35 914	3.676	0.441	3.235
班玛 Banma	4 511.472	26 192.595	140 517.696	278.320	1 559.040	0.000	173 059.123	22 678	7.631	0.916	6.715
甘德 Gande	0.000	40 534.780	18 149.824	875.140	1 370.656	0.000	60 930.400	23 513	2.591	0.311	2.280
达日 Dari	0.000	93 933.190	580.096	1 322.160	1 432.368	0.000	97 267.814	24 213	4.017	0.482	3.535
久治 Jiuzhi	0.000	46 599.280	67 790.272	1 073.520	2 851.744	0.000	118 314.816	18 087	6.541	0.785	5.756
玛多 Maduo	0.000	1 498.083	1 564.288	28 604.240	6 457.024	0.000	38 123.635	10 959	3.479	0.417	3.061

① 果洛州统计局. 果洛州 2002 年统计资料. 2003.

2.3 生产性生态足迹盈亏状况

生态赤字(ecological deficit)与生态盈余(ecological surplus)是指将某一区域或者国家的生态足迹需求(EF)与生态足迹供给(EC)进行比较,若 $EF > EC$,则出现生态赤字;若 $EF < EC$,则出现生态盈余。生态赤字表明该地区的人类负荷超过了其生态容量,说明该地区发展模式处于相对不可持续状态。相反,生态盈余表明该地区生态容量足以支持其人类负荷,该地区生产模式具相对可持续性。根据表 1 和表 2,计算出 2002 年果洛州 6 县人均生产性生态足迹的盈亏状况,结果见表 3。由表 3 可以看出,甘

德县和玛多县存在生态赤字,说明其处于不可持续发展状态,其中玛多县表现出强不可持续性,甘德县不可持续性相对较弱;其余 4 县均存在不同程度的生态盈余,班玛县和久治县表现出较强的可持续性,玛沁县和达日县则表现出较弱的可持续性。而整个果洛州的生态足迹为 465 405. 112 hm^2 ,生态承载力为 619 719. 702 hm^2 ,若减去 12% 的生物多样性保护面积,则实际可供的生态承载力为 545 353. 338 hm^2 ,总的生态足迹盈余为 79 948. 226 hm^2 ,人均生态盈余为 0. 591 hm^2 。即从州级尺度来说,存在弱的生态盈余,处于弱的可持续性。

表 3 果洛州 2002 年人均生态足迹盈亏状况分析

Table 3 Deficit or surplus of ecological footprint per capita of Guoluo in 2002 $hm^2/人$

区域 Region	人均生态足迹盈亏 Deficit or surplus of ecological footprint per capita
玛沁县 Maqin county	0. 422
班玛县 Banma county	3. 212
甘德县 Gande county	-0. 987
达日县 Dari county	0. 158
久治县 Jiuzhi county	1. 367
玛多县 Maduo county	-1. 219
果洛州 Guoluo	0. 591

2.4 发展能力及生态足迹多样性指数计算

发展能力可用生态足迹乘以从系统组织角度推导的生态足迹多样性指数进行计算。本文采用 Ulanowicz^[12]发展能力公式,分析江源区果洛州的发展能力,即

$$C = EF \cdot H \quad (3)$$

式中, C 为发展能力; EF 为区域生产性生态足迹; H 为生态足迹多样性指数。

以不同类型土地的面积作为测算生态经济系统多样性的指标,采用 Shannon 等公式^[12]计算生态足迹的多样性指数,即

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

式中, H 为生态足迹多样性指数; P_i 为第 i 种土地类型在总生态足迹中的比例。该函数不是一个单调函数,其意味着生态经济系统中生态足迹的分配越接近平等,给定系统组分的生态经济系统的多样性就越高,该系统就越稳定。

将总人口(人均)生态足迹除以其总人口(人均)

国内生产总值(GDP),所得结果即为万元 GDP 生态足迹占用值。为反映江源区果洛州各种资源的利用效益,本研究计算了万元 GDP 生态足迹。万元 GDP 生态足迹越大,反映资源的利用效益也越低;若万元 GDP 生态足迹越小,则区域资源利用效益就越高。

根据式(3)和式(4)分别计算出江源区果洛州 6 县的发展能力和生态足迹多样性指数以及 GDP 生态足迹,结果列于表 4。由于数字 0 不能求自然对数,故将各土地利用类型均衡后总生态足迹中的数据 0 的自然对数值定义为 0。

由表 4 可见,由于果洛州 6 县是以草地畜牧业为主的生态系统,其生态足迹多样性指数非常小,说明该区域生态系统的稳定性较差,但 6 个县相比,以玛沁县生态系统稳定性较好。发展能力是人均生态足迹和生态足迹多样性指数的积,所以也较小,并与生态足迹多样性指数的顺序基本一致。万元 GDP 生态足迹以达日县最高,反映了其资源利用的效率最低;以玛沁县最小,说明其资源利用效率最高。

表 4 果洛州 2002 年发展能力、生态足迹多样性指数和 GDP 生态足迹

Table 4 Development capacity, ecological footprint diversity and GDP ecological footprint of Guoluo in 2002

区域 Region	发展能力 Development capacity	多样性指数 Ecological footprint diversity	GDP 生态足迹/($\text{hm}^2 \cdot \text{万元}^{-1}$) GDP ecological footprint
玛沁县 Maqin county	0.530	0.188	3.469
班玛县 Banma county	0.248	0.071	10.649
甘德县 Gande county	0.000	0.000	12.173
达日县 Dari county	0.000	0.000	14.163
久治县 Jiuzhi county	0.000	0.000	11.294
玛多县 Maduo county	0.038	0.009	8.583
果洛州 Guoluo	0.249	0.072	7.609

3 果洛州可持续发展能力的分析与评价

生态足迹方法紧扣时代可持续发展的理论,是涉及系统性、公平性和发展潜力的一个综合指标;将生态足迹的计算结果与自然资源提供生态服务的能力进行比较,可以反映一定社会发展阶段和一定技术条件下,人们的社会经济活动与当时生态承载能力之间的差距。由于采用的是生产性生态足迹而不是消费性生态足迹,因而生态足迹赤字也就意味着人类施加在自然资源上的索取大于自然资源所能提供的产品,区域人口在生产中消耗着自然资源的存量,表现出区域的不可持续发展态势。

本研究分析表明,果洛州人均生态盈余为 0.591 hm^2 ,但甘德县和玛多县人均生态足迹赤字分别为 0.987 和 1.219 hm^2 ,处于不可持续发展状态,班玛县和久治县人均生态足迹盈余分别为 3.212 和 1.367 hm^2 ,处于相对的可持续发展状态,玛沁县和达日县人均生态足迹盈余分别为 0.422 和 0.158 hm^2 ,生态盈余较小,有不可可持续发展的态势。从生态足迹多样性指数和发展能力也可以看出,果洛州 6 县的生产类型较为单一,供给类型和总量非常有限。万元 GDP 生态足迹相对较大,反映了区域的资源利用效率低下,加之当地居民消费的外部输入商品很少,经济开放程度较低,几乎是一种自给自足的

原始经济状况。并且由于草地畜牧业历史悠久,目前牧草地的产出水平已经达到极限,在无重大技术变革的情况下,牧草地产出的提升空间很小,这限制了供给总量的进一步提高,这种不可可持续发展的态势将会持续并在短期内难以扭转。同时应该看到,牧草地的生产性生态足迹占到总的平均生态足迹的 98.79% ,而牧草地所能提供的生态承载力占到平均总生态承载力的 45.49% ,可见牧草地承载力的保持和牧草地生产性生态足迹的减少是区域能否可持续发展的关键。对于江河源区果洛州来说,由于特殊的地质地貌和气候条件,该区域的生态环境极其脆弱,考虑到维护生物多样性的重要性,应适当加大其生物多样性保护面积的比例。但如果加大了生物多样性保护面积的比例,意味着将会出现更大的生态足迹赤字。

为了减少果洛州生产性生态足迹,应采用高新技术提高自然资源单位面积的生物产量来增加生态承载力,或改变人们的生产方式以减少对自然的索取,减轻人类对自然资源开发的压力,如通过控制合理的载畜量、增加生态承载力、提高生态足迹的多样性等实现区域的可持续发展。另外,维持区域生态环境可持续发展的另一个主要方面是减少区域内人口数量,而生态移民和计划生育政策是减少区域人口数量的最根本途径。总之,生态足迹方法是一个正日益引起重视并将逐步完善的全新方法,必将有效地促进人类对可持续发展的研究。

[参考文献]

- [1] Wackernagel M., Silverstein J. Big things first: focusing on the scale imperative with the ecological footprint [J]. *Ecological Economics*, 2000, 32(3): 391-394.
- [2] 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.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 张志强,徐中民,程国栋,等.中国西部 12 省(市区)的生态足迹[J].地理学报,2001,56(5):599-610.
- [6] 张志强,徐中民,程国栋.生态足迹的概念与计算模型[J].生态经济,2000,(10):8-9.
- [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] 徐中民,程国栋,张志强.生态足迹方法:可持续性定量研究新方法:以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例[J].生态学报,2001,21(9):1481-1493.
- [9] 熊德国,鲜学福,姜永东.生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J].地理科学进展,2003,22(6):618-626.
- [10] 国家统计局农村社会经济调查总队.新中国五十年农业统计资料[M].北京:中国统计出版社,2000.244.
- [11] 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):776-782.
- [12] 周嘉,尚金城.绥化市可持续发展状况的生态足迹分析[J].地理科学,2004,24(3):333-338.

Analysis of ecological footprint and development capacity of Guoluo prefecture in 2002

REN Guang-xina, FENG Yong-zhong, YANG Gai-hea, WANG De-xiang

(a. College of Agriculture, b. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: With the introduction of ecological footprint concept and the statistical data of 6 counties in Guoluo in 2002 as the basis, the productive ecological footprint, ecological carrying capacity, ecological footprint diversity, development potential and GDP ecological footprint of Guoluo region in 2002 were calculated. The result shows that the ecological footprint is 465 405. 112 hm^2 , and the ecological capacity is only 545 353. 338 hm^2 , with a ecological surplus of 0. 591 hm^2 per capita, but only two of six counties is ecological deficit, so it shows that Guoluo prefecture is weak in sustainable development. The ecological footprint diversity and development capacity is lower and GDP ecological footprint is higher, which reflect the ecosystem stability and resource utilization efficiency are lower.

Key words: Guoluo prefecture; ecological footprint; development capacity; ecological footprint diversity; GDP ecological footprint