

“西部”生态足迹模型及其在宁夏生态足迹测算中的应用

董宏林, 杜慧莹

(宁夏农林科学院农业综合研究室, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 为了更准确评估和比较西部各地区发展的可持续性,“西部”生态足迹模型引入热值概念,克服了不同属性的生物产品不能直接加总的难题。计算“西部”生态足迹模型的核心参数,并尝试性的将该模型用于宁夏生态足迹核算。结果显示,2009 年宁夏人均生态赤字达 0.749 whm^2 ,生态剩余人口占总人口的 33%。认为,宁夏的发展已经不可持续,同时提出了改善性建议。“西部”生态足迹模型适用于西部地区生态足迹分析,其思路也可作为其它中小区域的生态足迹研究提供参考。

关键词: “西部”生态足迹模型;核心参数计算;宁夏生态足迹测算

中图分类号: S162.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0219-05

人类社会要维持可持续发展,就必须知晓自身对自然资源的消费是否可以持续。1992 年 William 提出并由 Wackernagel 完善了生态足迹理论和模型,为定量测度和了解区域可持续发展提供了工具。目前,西方一些主要工业国已经把生态足迹纳入官方可持续发展的评价体系^[1]。William 的生态足迹模型(传统模型)以全球土地平均生产力为基准核算全球生态足迹,并以全球统一的均衡因子和产量因子调整生态足迹,难以精确反映国家以下中小区域的土地生产力和区域发展特征^[2]。为更准确核算西部生态足迹从而更准确评估西部各地区发展的可持续性,笔者基于前人研究提出“西部”生态足迹模型,并示范性的用于宁夏生态足迹核算。

1 “西部”生态足迹模型

1.1 概念及方法

“西部”生态足迹模型是以传统生态足迹理论为基础,以西部土地平均生产力为标准核算生态足迹、均衡因子和产量因子,并以西部均衡因子及产量因子调整生态足迹的分析方法。“西部”生态足迹模型与传统模型的区别在于两者采用了不同的核心参数,前者核算和调整生态足迹的核心参数是西部土地平均生产力、西部均衡因子和西部各省市区土地产量因子,把西部各省市区之间的生态足迹分析统一建立在西部土地平均生产力之上。基于西部土

地平均生产力计算的生态足迹和生态承载力的计量单位均为 whm^2 (西部公顷),它是英文 west hectare 的缩写,一西部公顷等于一公顷具有西部土地平均生产力的土地面积。而传统模型采用的核心参数则是全球土地平均生产力、全球均衡因子和各国土地产量因子,把世界各国之间的生态足迹分析建立在统一的全球平均生产力之上。基于全球土地平均生产力计算的生态足迹和生态承载力的计量单位是 ghm^2 (全球公顷),它是英文 globale hectare 的缩写,一全球公顷等于一公顷具有全球土地平均生产力的土地面积。“西部”生态足迹模型基于传统生态足迹理论,在核算生态足迹时仍将生物生产性土地分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和化石能源用地等 6 类。“西部”生态足迹模型在计算西部土地平均生产力时引入了热值概念,克服了不同属性的生物产品无法直接汇总的难题。

1.2 核心参数计算

和传统模型一样,“西部”生态足迹模型也是由土地平均生产力、均衡因子和产量因子等三大核心参数支撑。

1.2.1 计算西部土地平均生产力 数据准备(以 2009 年度为例):(1) 搜集西部各省市区 2010 年统计年鉴,查取并汇总西部 2009 年各类土地的生物产量和面积;(2) 把各类土地的生物产品产量按其单位热值转换为热量形式;(3) 把这些生物产品按属

收稿日期:2011-02-01

基金项目:国家软科学研究计划项目“西部农牧民致富之路”(2010GXSSD266);宁夏农业综合开发项目“农业综合开发区可持续发展的量度和预测研究”(2011)

作者简介:董宏林(1956—),男,山东单县人,研究员,学士,研究方向为农村可持续发展研究。E-mail: honglindong@yahoo.com.cn。

1.2.2 计算西部均衡因子 生态足迹分析中 6 类土地面积的生产力差异很大^[3],须乘以对应均衡因子以转化为具有相同生产力的面积。“西部”生态足迹模型中的均衡因子不再以全球而是以西部土地平均生产力为计算基准,它是各类土地平均生产力与西部土地总平均生产力之比。计算公式是:

$$r_j = b_j \div B \tag{1}$$

表 2 “西部”生态足迹模型的核心参数计算表(2009)
Table 2 Calculation of key parameters of “West Eco-footprint Mode” (2009)

土地类型 Land type	西部生产力 West land productivity (10 ⁹ J/hm ²)	西部均衡因子 West equivalence factors (whm ² /hm ²)	宁夏土地产量 Ningxia land output (10 ⁹ kJ)	宁夏土地面积 Ningxia land area (10 ⁴ hm ²)	宁夏土地生产力 Ningxia land productivity (10 ⁹ J/hm ²)	宁夏产量因子 Ningxia land yield factors
耕地 Cropland	70.958	10.139	59602.9	110.7	53.800	0.758
牧草地 Pasture	0.41856	0.0598	4299.8	226.4	1.899	4.536
林地 Woodland	0.49215	0.071	13.4	179.0	0.0075	0.015
水域 Waters	2.8828	0.412	474.6	25.3	1.880	0.652
建设用地 Cons. land	—	10.139	—	21.1	—	0.758
西部 West average	6.998	1.000	—	—	—	—

1.2.3 计算西部各地区产量因子(以宁夏为例) 即便是同一类土地,其生产力也存在明显的区域性差异。因此,西部不同地区间同类土地的实际面积也要乘以对应产量因子才能获得在地区间的可比性^[4]。“西部”模型的产量因子,是指西部各省市各类土地的平均生产力与西部同类土地平均生产力之比。计算公式如下:

$$\gamma_j = q_j \div Q_j \tag{2}$$

式中, γ_j 为某省第 j 类土地的产量因子; q_j 为某省第 j 类土地的平均生产力; Q_j 为西部第 j 类土地的平均生产力。

使用与 1.2.1 同样的办法,核算宁夏各类土地生物产品生产情况,并将必要数据纳入表 2;依据公式(2),使用宁夏各类生产性土地生产力分别除以西部对应类型的土地平均生产力,就可以得到宁夏各类土地的产量因子(表 2)。西部其它省市各类土地产量因子的计算可依此类推。

还须指出,由于消费化石能源排放的 CO₂ 主要由森林吸收,所以化石能源用地的均衡因子对应林地^[5];同一原因使化石能源对生态承载力的贡献为 0,因此化石能源用地的产量因子也等于 0;建设用地的均衡因子和产量因子对应耕地。至此,完成了“西部”生态足迹模型全部核心参数的计算。

2 “西部”生态足迹模型在宁夏生态足迹测算中的应用

宁夏位于我国西部干旱区腹地,总面积 6.64

公式(1)式中, r_j 为西部第 j 类土地的均衡因子; b_j 为西部第 j 类土地平均生产力; B 为西部土地总平均生产力。

依据公式(1),用表 2 中的西部各类土地平均生产力分别除以西部土地总平均生产力,即可取得西部各类生物生产性土地的均衡因子(表 2)。

km²,2009 年总人口 625 万人;区内年降水量由南向北逐渐减少,从固原的 376.8 mm 减少到永宁的 186.7 mm(最近 4 年平均)^[6];南部黄土丘陵区地表支离破碎,中部干旱带土地生产力低下,北部没有黄河就没有农业。总之,宁夏生态异常脆弱。因此,使用“西部”生态足迹模型核算宁夏生态足迹,不仅可以验证“西部”生态足迹模型的适用性,还可定量评估宁夏发展的可持续程度。

2.1 宁夏生态足迹计算公式

宁夏生态足迹是指,在当前技术经济条件下,维持宁夏当前人口的物资消费和废物消纳所必需的生物生产性土地面积。它反映宁夏人口对自然资源的需求。用“西部”生态足迹模型计算宁夏生态足迹的过程与传统模型类似,只是把模型中的全球土地均衡因子替换为西部土地均衡因子,把各类资源消费品的折算标准由全球平均生产力替换为西部平均生产力。计算公式为:

$$EF = N \times ef = N \times \sum \sum S_i^j \times r_j$$
$$= N \times \sum \sum (C_i^j / G_i^j) \times r_j \tag{3}$$

公式(3)中, EF 代表宁夏总生态足迹(whm²); N 代表宁夏总人口; ef 代表人均生态足迹(whm²/pc); j 代表土地类型($j = 1,2,3,\cdots,6$); i 代表消费的资源种类($i = 1,2,3,\cdots,18$); S_i^j 代表人均 i 种资源消费折算的 j 类土地面积(hm²); r_j 代表 j 类土地的西部均衡因子(whm²/hm²); C_i^j 表示人均消费的由 j 类土地生产的 i 种资源量; G_i^j 表示 j 类土地上 i 类资源的西

部平均生产力。

2.2 调整宁夏生态足迹

首先汇总 2009 年宁夏人口的资源消费数据(表 3),然后结合公式(3)计算宁夏 2009 年总生态足迹,最后乘以相应的均衡因子,从而取得调整后的宁夏生态足迹(表 3)。需要说明的是,公式(3)需要的消

费数据分别来自《宁夏统计年鉴 2010》、《中国统计年鉴 2010》和实地抽样调查;各类消费品折算成土地面积的标准是西部平均生产力;计算过程中,消费账户直接采用宁夏居民的实际消费数据,因此可以不考虑进出口贸易的影响。

表 3 2009 年宁夏生态足迹计算表
Table 3 Calculation of Ningxia eco-footprint in 2009

土地类型 Land type	消费的资源 Resources of consumption	消费量(10 ⁴ kg) Total consumption	西部 平均产量 (kg/hm ²) West mean yield	毛生态足迹 (hm ²) Gross total eco-footprint	毛人均生态足迹 (hm ² /pc) Gross eco. footprint per capita		均衡因子 Equivalence factors (whm ² /hm ²)	均衡后总 生态足迹 Adjusted total eco-footprint (whm ²)	均衡后人均 生态足迹 Adjusted eco. footprint (whm ² /pc)
					细目 Breakdown	小计 Sub-total			
耕地 Cropland	粮食 Grains	82673.8	3168	260966	0.0418				
	鲜菜 Vegetable	57730.8	20700	27890	0.0045				
	植物油 Vegetable oil	5701.2	495	115172	0.0184				
	猪肉 Pork	6954.9	85	818235	0.1309				
	肉禽类 Poultry	2877.3	878	32779	0.0053	0.2160	10.139	13687500	2.19002
	鲜蛋及制品 Egg	2838.8	460	61718	0.0099				
	酒类 Drinks	2260.4	15778	1433	0.0002				
	鲜果和干果 Fruit	20719.8	6900	30029	0.0048				
	食糖 Sugar	519.0	5746	903	0.0002				
草地 Pasture	牛羊肉 Beef	2637.0	30	87900	0.0141	0.0329	0.0598	12337	0.00197
	奶品 Milk	5901.5	501	117804	0.0188				
林地 Woodland	木材 Timber	0.4(10 ⁴ m ³)	2.1(m ³)	1905	0.0003	0.0003	0.071	133	0.00002
	核桃 Walnut	4.7	1200	39	0.0000				
水域 Waters	水产品类 Fish	1211	68	178088	0.0285	0.0285	0.412	73372	0.01174
化燃用地 Fossil fuel land	煤(焦)炭 Coal	14608645(GJ)	29(GJ/hm ²)	503746	0.0806				
	液化石油汽 Liquid gas	1636874(GJ)	34(GJ/hm ²)	48143	0.0077	0.0908	0.071	40306	0.00645
	管道煤气 Gas	695991(GJ)	44(GJ/hm ²)	15818	0.0025				
建设用地 Cons. land	电力 Power	17828446(GJ)	469(GJ/hm ²)	38014	0.0061	0.0061	10.139	385406	0.06167
Σ								EF = 14199053; ef = 2.2720	

注:数据后括弧内的符号代表数据单位。
Note: The symbol in the brackets after date represents an unit for calculation.

2.3 宁夏生态承载力计算公式

宁夏生态承载力是指宁夏生态系统能够为居民提供的生物生产性土地面积,它反映自然能够为宁夏居民提供物资和生态服务的潜力。其计算调整原理也与传统模型一致,所不同是,它要求把传统模型中的全球均衡因子和全球产量因子同时替换为西部均衡因子和西部产量因子。其计算公式是:

$$EC = N \times ec = N \times 0.88 \times CZ$$
$$= N \times 0.88 \times \sum D_j \times r_j \times p_j \tag{4}$$

式中,EC 表示宁夏总生态承载力(whm²);ec 代表净

人均生态承载力(whm²);0.88 表示生态承载力调整系数(生态学家认为,人类只能利用自然资源的 88%,其余 12% 留给生物多样性);CZ 表示人均毛生态承载力(hm²/pc);D_j 代表人均 j 类土地面积(hm²/pc);P_j 代表西部某省 j 类土地产量因子;N 和 r_j 的涵义同公式(3)。

2.4 计算和调整宁夏生态承载力

根据公式(4)和表 4,用宁夏人均各类土地面积分别乘以西部均衡因子和宁夏产量因子,然后求和,即可得到调整后的宁夏生态承载力(表 4)。

表 4 宁夏生态承载力计算调整表(2009)

Table 4 Calculation of Ningxia eco-carrying capacity in 2009

土地类型 Land type	人均土地面积 Land area per capita (hm ² /pc)	西部均衡因子 West equivalence factors (whm ² /hm ²)	宁夏产量因子 Ningxia Yield factors	人均生态承载力 Eco-footprint per capita (whm ² /pc)
耕地 Cropland	0.1771	10.139	0.758	1.3611
牧草地 Pasture	0.3622	0.0598	4.536	0.0982
林地 Woodland	0.2864	0.0710	0.015	0.0003
水域 Waters	0.0405	0.4120	0.652	0.0109
建设用地 Cons. land	0.0338	10.139	0.758	0.2598
Σ				1.7303
EC = 9516875				ec = 1.5227

2.5 宁夏生态足迹分析

表 3 和表 4 清晰显示,2009 年宁夏人均生态足迹需求($ef = 2.2720\text{ whm}^2$)明显大于人均生态承载力($ec = 1.5227\text{ whm}^2$),使宁夏总生态赤字($ED = EF - EC$)达到 4 682 178 whm²,人均生态赤字达到 0.749 whm²。也就是说,在现有技术经济条件下要维持宁夏人口 2009 年生活水平并保持生态环境和谐,需要 1.49 个宁夏国土面积(EF/EC)的支撑。据此并结合适度人口理论判断,2009 年宁夏仅能供养 418.9 万人(EC/ef);生态剩余人口是 206.1 万人,占总人口的 33%。又据《宁夏统计年鉴 2010》,宁夏 2009 年进出口贸易顺差为 63 541 美元,说明当年对外贸易并没有增加宁夏的生态足迹供给。因此认为,宁夏人口的资源消费需求已经超出自然资源的再生和积累能力;宁夏生态足迹的亏缺主要是在通过枯竭区内各类自然资源存量来弥补。所以,2009 年宁夏的发展已经不可持续。

基于宁夏生态足迹分析和宁夏实际提出如下建议:第一,严格执行民族地区计划生育政策,从控制人口过快增长控制生态足迹需求过快增加;第二,尽可能采用生物高新技术以提高单位土地生物产品生产力,在不大幅增加生态足迹需求的条件下维持居民较高消费水平;第三,倡导使用生态足迹需求较小的能源种类,少使用生态足迹需求较大的能源。第四,要推行一系列减少生态足迹、增加生态承载力的政策,比如,外贸政策要从资源出口向技术出口转变,以增加宁夏对国内外生态足迹的占用;经济增长方式要从资源投入驱动向科技创新驱动转变;还要致力于发展循环经济、改善生产生活方式等。总之,只要综合采用如上政策措施,宁夏就能够在保证正常消费前提下从生态亏缺走向生态盈余,逐渐实现

经济系统的可持续发展。

3 结论和讨论

1) “西部”生态足迹模型将生态足迹计算程序建立在西部实际消费、生产和统计的基础上,并以西部土地平均生产力为基准核算生态足迹和生态承载力,可以揭示西部地区间的资源消费、物质生产条件和管理模式的差别对生态足迹大小的影响;能够准确表达西部地区人口资源消费所需要的真实生态面积与生态系统所能提供的生态面积之差。因此认为,“西部”生态足迹模型适用于西部地区间的生态足迹分析和可持续发展状态评估。

2) 土地生产力受人类的管理模式和自然条件影响较大,以全球生产力数据为基准计算生态足迹的大尺度传统生态足迹模型,忽略了国家以下中小尺度地区的生态比较优势,计算的生态足迹不能准确反映中小地区真实的生态生产性面积需求的大小^[7]。但是,传统生态足迹模型以全球为背景、以国家为统计对象、以全球土地平均生产力为标准核算生态足迹,更加适用于世界范围内各国之间的生态足迹对比和各国发展的可持续性分析。

3) “西部”生态足迹模型是以传统生态足迹理论为基础的分析方法,它与传统模型的区别在于两者采用了不同的核心参数。在计算各类土地的平均生产力时,“西部”生态足迹模型把不同属性的生物产品产量按照对应热值统一转换成热量形式,克服了许多生物产品的产量无法直接汇总的难题。因此,“西部”生态足迹模型具有较好科学性、合理性,它不仅适用于西部地区间的生态足迹计算和比较,还可以作为国内其它中小区域同类研究的参考。

4) 依据“西部”生态足迹模型分析了宁夏生态足迹,结果表明,2009 年宁夏人均生态赤字达 0.749 hm²,总生态赤字高达 4 682 178 hm²;要维持宁夏人民当前生活水平并保持生态和谐,需要 1.49 个宁夏国土面积(EF/EC)的支持。因此认为,2009 年宁夏已处于不可持续发展状态;同时提出了控制生态足迹需求过快增加和提高生态承载力的建议。

5) “西部”生态足迹模型属首次提出,本文仅尝试性的用于宁夏生态足迹测算,还需要在西部各省市区的生态足迹研究中作进一步检验;其次,专门建立“西部”生态足迹模型用于西部各地区的生态足迹分析,虽然可以提高精度,但是在数据的收集、处理和计算等方面要付出更大成本。

Study of the current rural energy structure and energy consumption willingness of Shannxi province

ZHU Jian-chun¹, LI Rong-hua², ZHANG Zeng-qiang², WANG Guo-hui³

(1. College of Humanities, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of resources and environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Division of Scientific Research, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The energy structure and consumption willingness of households in southern, middle and northern Shannxi were compared through the field investigations and deep interviews in this study. The results showed that there were significant differences in energy production structure of households in these three areas, mainly due to the natural geographic and resources' conditions. The energy consumption structure of families in southern Shannxi, include traditional biomass, horsepower and manpower, was unitary and could be supposed to be in the bottom of the energy ladder. While, the energy consumption structure of rural families in middle Shannxi was multiple and in the second energy ladder, which was characterized by coexisting of Low-level and advanced energy, such as coal, diesel, gas, solar and electricity, accounts for a high proportion in the energy consumption structure. The energy consumption structure of rural in northern Shannxi showed the characteristics of both middle and southern parties of Shannxi, include traditional biomass, horsepower, manpower and advanced energy. The families have a strong consumption willingness to use the clean or renewable energy in all parts of Shannxi province, and were influenced significantly by many factors.

Keywords: Shaanxi Province; rural household; energy structure; energy consumption will

(上接第 223 页)

参考文献:

- [1] 吴开亚,王玲杰.基于全球公顷和国家公顷的生态足迹核算差异分析[J].中国人口·资源与环境,2007,17(5):80—83.
- [2] 高中良,郑钦玉,谭秀娟,等.“国家公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算及应用[J].安徽农业科学,2010,38(15):7868—7871.
- [3] 张恒义,刘卫东,王世忠,等.“省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算——以浙江省为例[J].自然资源学报,2009,24(1):82—92.
- [4] Wackernagel M, Monfreda C, Schulze NB, et al. Calculating national and global ecological foot print time series: Resolving conceptual challenges[J]. Land Use Policy, 2004,21(3):2771—2781.
- [5] 杨开忠,杨咏,陈洁.生态足迹理论分析与方法[J].地球科学进展,2000,15(16):630—636.
- [6] 宁夏回族自治区统计局.国家统计局宁夏调查队.宁夏统计年鉴 2006—2009[M].北京:中国统计出版社,2007—2010.
- [7] 张帅,董泽琴,王海鹤,等.基于生态足迹改进模型的均衡因子与产量因子计算——以某市为例[J].安徽农业科学,2010,38(14):7496—7498.

“West Eco-footprint Model” and its application in Ningxia eco-footprint calculation

DONG Hong-lin, DU Hui-ying

(Integrated Agri. Rese. Center, Ningxia Acad. of Agri. & Fore. Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: In order to accurately measure the sustainability of western China, “West Ecological Footprint Model” was set up. Calorie value per kilo of bio-products was introduced to solve the problem that different bio-products cannot be directly added in weight. The key parameters for the model were computed based on the actual data collected from western China. Finally, as an experiment, the model was employed in calculation of Ningxia ecological footprint as well as in sustainability assessment of Ningxia economic development. The results indicated that per capita ecological deficit of Ningxia was up to 0.749 hm², and that ecologically surplus population took up 33% of the total in 2009; so, current Ningxia model for economic development is unsustainable. Proposals were put forward to better the situation, too. “West Ecological Footprint Model” is suitable for studying ecological footprint among provinces in western China and it also provides a reference for ecological footprint analysis in other middle to small areas in China.

Keywords: “West Ecological Footprint Model”; calculation of key parameters; study of Ningxia ecological footprint