

基于生态足迹的宁夏生态环境可持续发展研究

韩文文, 刘小鹏, 裴银宝, 安琼, 李永红

(宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

摘要:基于修正后的生态足迹模型测度了宁夏 2000—2013 年生态足迹和生态承载力的变化趋势,引入足迹深度和足迹广度模型,探讨宁夏自然资本利用状况,加入万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和发展能力指数作为补充,对宁夏的可持续发展能力进行测算。结果表明:(1) 研究期内,宁夏全区人均生态足迹由 1.601 8 增长到 2.915,人均生态承载力由 1.175 平稳下降到 1.005,生态赤字增长了 2.58 倍,宁夏的生态承载力已超负荷;(2) 人均足迹深度从 1.833 上升到 3.294,人均足迹广度维持在 0.608 5~0.852 9,资本流量已经不能满足人们日常消耗,资本存量的利用已然成为宁夏社会经济可持续发展的必需。2013 年,宁夏需要约 3.29 倍的国土面积才能维持自身的发展。(3) 万元 GDP 生态足迹由 3.009 降到 0.743 6,发展能力指数由 2.630 7 上升到 4.748 2,表明宁夏的自然资本利用效率正逐步提高,具备一定发展空间,但是生态足迹多样性指数数值较低,说明宁夏的自然资本利用方式不均衡,生态系统处于不稳定状态。未来应通过加快产业结构升级、降低能源消耗率、提高耕地利用效率、合理规划城镇土地利用等方式来优化自然资本利用状况,减少生态环境压力。

关键词:生态足迹;生态承载力;可持续发展;宁夏

中图分类号:F062.2;X22

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0285-06

Study on Ecological Environment Sustainable Development in Ningxia Based on Theory of Ecological Footprint

HAN Wenwen, LIU Xiaopeng, PEI Yinbao, AN Qiong, LI Yonghong

(College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: The trend of ecological footprint and carrying capacity of Ningxia from 2000 to 2013 were calculated based on the calibrated ecological footprint model. The model of footprint depth and footprint size were included, the utilization of natural capital of Ningxia was studied, ecological footprint of GDP per 10 000 Yuan was added, and ecological footprint diversity index and development capacity index were supplemented to assess the sustainable development ability of Ningxia. The results showed that: (1) during the study period, the ecological footprint per capita in Ningxia increased from 1.601 8 to 2.915, the ecological carrying capacity per capita steadily declined from 1.175 to 1.005, and the ecological deficit increased 2.58 times, which showed that Ningxia's ecological carrying capacity had been overloaded; (2) footprint depth per capita grew from 1.833 to 3.294, footprint size per capita ranged from 0.608 5 to 0.852 9, capital flow had been unable to meet people's daily consumption, the utilization of capital stock had already become necessary for social and economic development of Ningxia. By the end of 2013, Ningxia need about 3.29 times of land area to maintain its own development; (3) ecological footprint GDP per 10 000 Yuan decreased from 3.009 to 0.743 9, development capacity index rose from 2.630 7 to 4.748 2, which indicated that Ningxia's natural capital use was improved and it had a certain development potential. However, the low ecological footprint diversity index showed that natural capital utilization was not balanced and the ecosystem was still in an unstable state. In the future, industrial structure upgrading should be speeded up, energy consumption should be reduced, and efficiency of cultivated land should be improved. Reasonable planning of urban land use and other ways to optimize natural capital use should be implemented to reduce ecological environment pressure.

Keywords: ecological footprint; ecological carrying capacity; sustainable development; Ningxia Hui Autonomous Region

收稿日期:2016-02-29

修回日期:2016-03-23

资助项目:国家自然科学基金“宁夏六盘山区空间贫困及其分异机制研究”(41261021)

第一作者:韩文文(1991—),女,河南清丰县人,硕士研究生,研究方向为生态经济与生态评估。E-mail:nxdxhww@163.com

通信作者:刘小鹏(1973—),男(满族),宁夏海原县人,博士,教授,主要从事生态经济与城乡规划研究。E-mail:nxdxlp@163.com

可持续发展是人类发展的核心议题,在众多可持续发展的量化研究中,生态足迹方法为人类利用自然资源状况提供了更为直观和简洁的途径,被称为近 20 年来可持续发展量化领域最重要的进展^[1-2]。

生态足迹的概念最初是由加拿大学者 Rees^[3] 提出,随后由 Wackernagel 对其进行完善。该方法旨在通过衡量人类为了满足自身的生存和发展所消耗的自然资本量来评估对生态系统的影响。自 1999 年生态足迹理论和方法传入我国^[4]之后,我国学者对不同尺度和不同领域的生态足迹做了大量的研究。从研究尺度来看,既有基于全球^[5]、国家等大空间尺度的,又有省级^[6]、城市^[7]等中尺度区域和家庭^[8]、学校^[9]等小尺度层面的研究。从研究领域来看,由综合的生态足迹研究发展到具体的土地^[10]、水资源^[11]、旅游^[12]、能源^[13]等足迹的探讨。随着对足迹模型的深入研究,生态足迹方法的缺陷和不足日渐显现。针对不同区域产量因子不同,用实际单产法取代全球产量因子^[14]准确计算各个地区的实际生态足迹,来衡量对生态环境的影响;针对生态足迹的评估具有静态性特征,相关学者^[15-16]运用较长时间序列来预测某个区域的生态足迹发展趋势和变化规律。

本研究从可持续发展角度,在生态足迹模型的基础上,采用方恺^[17]改进的区域足迹广度和足迹深度两项指标对宁夏自然资本存量和流量利用进行分类测度,通过对宁夏近 14 年的生态足迹的演变特征、存量和流量利用强度和结构进行探讨,揭示出宁夏的自然资本利用现状与特点,利用万元 GDP 生态足迹、发展能力指数等来评估宁夏的可持续发展能力,以期为政府及相关部门制定区域发展政策提供理论依据。

1 研究区概况

宁夏回族自治区位于 35°14′—39°23′N, 104°17′—107°39′E, 总面积 5.19 万 km²。从自然地理位置来看,宁夏深居我国西北内陆,黄河中上游由南向北穿越而过,三面由腾格里、乌兰布和和毛乌素沙漠环绕。按自然地理特征,可分为北部引黄灌区、中部干旱带和南部黄土丘陵区。从行政区划来看,宁夏现辖银川市、石嘴山市、吴忠市、中卫市和固原市 5 个地级市, 22 个县(区),首府为银川。截止到 2013 年年底,宁夏全区总人口达到 654.19 万人,人口自然增长率 8.62‰,人口密度达 98.5 人/km²。全年粮食播种面积 80.16 万 hm²,粮食总产量 373.40 万 t,种植业产值 269.00 亿元,达到当年农业总产值的 62.56%。地区生产总值 2 565.06 亿元,三次产业结构比重达 8.7 : 49.3 : 42。工业中高耗能行业实现增加值

503.0 亿元,占全年全部工业增加值的 53.26%。该区生态环境脆弱,历年重视生态恢复工程,年末实有封山(沙)育林面积 32.62 万 hm²。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及说明

本研究的基础数据主要来源于《宁夏统计年鉴》(2000—2013 年)和《中国城市统计年鉴》(2000—2013 年)。生态足迹和生态承载力的计算包括耕地、林地、草地、建设用地、化石燃料用地以及污染物用地共 6 类基础用地。由于资料的有限性以及相关数据较难获取,生物资源账户中的数据以产量取代消费量,部分数据经过计算处理得到(大豆、蔬菜和薯类由于没有 2001 年的数据,采取 2000 年和 2003 年的加和平均值);化石能源类的生态足迹采用张恒义等^[18]的碳汇法来计算 CO₂ 吸纳的土地占用。污染物生态足迹的计算包括废气排放(工业 SO₂ 和生活 SO₂ 排放、工业烟尘排放)、废水排放(工业废水、居民生活用水排放)和固体废弃物的排放(工业固体废弃物),计算吸收这些污染物所占用的生物生产性面积时,采用刘乐冕^[19]提出的标准进行换算

2.2 研究方法

2.2.1 生态足迹模型 生态足迹算法是指在一定的人口和经济规模下,计算人类对自然资源的消耗、产生的废弃物和自然环境提供的供给,并将各种消费和供给按照一定的换算比例折算为相应的生物生产性土地面积,通过测度人类利用的生物生产性面积的大小来评价人类活动对生态环境的影响,以此来判断区域的发展是否处于自然环境合理的生态承载力范围内^[20]。其计算公式为:

$$EF = n \cdot ef = n \sum_{j=1}^7 a_j = n \sum_{j=1}^7 \left(\frac{c_j}{p_j} \right) \quad (1)$$

式中: n 为全区人口总数; ef 为人均生态足迹; a_j 为第 j 种消费项目折算出的人均生物生产土地面积($j=1, 2, 3, \dots, 7$); c_j 为第 j 种项目的人均消费数; p_j 为第 j 种消费项目的平均生产能力; EF 为总的生态足迹。

生态承载力即一个区域的生态足迹供给量^[3],在数值上相当于区域所能提供给人类的资源、能源和吸纳废弃物排放的所有生物生产性土地面积的总和。其计算公式为:

$$EC = n \cdot ec = n \sum (a_j r_j y_j) \quad (2)$$

式中: n 为人口数; ec 为人均生态承载力; a_j 为人均实际占有的生物生产性土地面积; r_j 为均衡因子; y_j 为产量因子; EC 为生态承载力。

由于均衡因子和产量因子是影响生态足迹和生

态承载力计算结果的关键性因子^[21]。采用杨屹等^[22]根据生态足迹提出者 Wackernagel 的研究成果、世界自然基金会(WWF)和全球足迹网络(GFN)等组织提供的近 40 年来的均衡因子均值的办法作为全球生态足迹均衡因子值;全球平均产量主要采用 1993 年联合国粮食及农业组织所提供的数据,由于药材全球平均产量在联合国粮农组织网站和 Wackernagel 等相关文献中并没有数据,因此,将宁夏全区 2000—2012 年的产量平均值即 3 955.657 kg/hm² 代替全球平均产量值。

生态赤字是某区域的生物承载力与生态足迹之差。其计算公式为:

$$ed = ef - ec \quad (3)$$

式中:ed 为该区域的人均生态赤字。为谨慎起见,计算 ec 时扣除 12% 的生物多样性保留面积。若 ed < 0 则为生态盈余,表明该区域的生态环境仍处在生态承载力范围内;若 ed > 0,则为生态赤字,表示该区域生态环境已经超载,数值越小,生态环境状况越堪忧。

2.2.2 区域足迹广度和深度模型 为了全面地分析区域的自然资本利用现状以及区域可持续发展状态,运用足迹深度和足迹广度来表征对区域资本存量和流量的耗用程度。区域足迹深度和足迹广度的计算公式为:

$$EF_{depth, region} = 1 + \frac{\sum_{j=1}^n \max\{EF_j - EC_j, 0\}}{\sum_{j=1}^n BC_j} \quad (4)$$

$$EF_{size, region} = \sum_{j=1}^n \min\{EF_j, BC_j\} \quad (5)$$

式中:EF_{depth, region} 为区域足迹深度,EF_{depth, region} = 1 时,表明人类占用的自然资本存量为 0,仅靠消耗自然资本流量即可满足自身发展需求;当 EF_{depth, region} > 1 时,表明人类已经开始启用存量资本来满足自身的消耗,其值越小,动用自然资本存量越少,发展状态越良好。反之,则发展越不可持续;EF_{size, region} 为区域足迹广度,EF_{size, region} ∈ (0, EC], EF_{size, region} 越大,表明可持续性越强。

2.2.3 区域综合发展能力模型 由于区域的发展,技术进步等社会人文因素会促进和改变人类利用资源效率的水平和方式,为表征人类对某区域资源利用效率的高低,引入万元 GDP 生态足迹公式^[23],即将某区域单位末端所耗费的资源量折算为生物生产性土地面积。该指标越小,说明区域内系统资源的利用程度越高,反之,利用程度越低。其计算公式为:

$$\text{万元 GDP 生态足迹} = \frac{EF}{GDP} \quad (6)$$

生态足迹多样性指数采用 Shannon-Weaver^[24]的公式,计算某个区域内的各类资源消耗所需的生物生产性面积的分配均衡度。

$$H = - \sum_{j=1}^7 M_j \cdot \ln M_j \quad (7)$$

式中:H 为生态足迹多样性指数;M_j 为 j 类土地类型所占总生态足迹的比例。H 值越高,表示生态足迹多样性越高,系统越稳定,生态足迹类型分配越平等,反之,系统越不稳定,分配越不均衡^[25]。

发展能力指数 C 可采用 Ulanowicz^[26]的方法通过生态足迹和生态足迹多样性的乘积得出。其计算公式如下:

$$C = ef \left(- \sum_{j=1}^7 M_j \cdot \ln M_j \right) \quad (8)$$

生态足迹模型侧重对一个区域的经济发展能力的度量,而衡量某个区域的可持续发展能力则是受经济、社会和生态等综合因素的影响^[27]。采用万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和发展能力指数弥补单纯依靠生态足迹来衡量区域可持续发展的不足,多方位的评价区域可持续发展能力。

3 结果与分析

3.1 生态足迹基本状况

根据公式(1)—(3)分别计算出 2000—2013 年宁夏省人均生态足迹、人均生态承载力和生态赤字。由图 1 可知,宁夏人均生态足迹在波动中持续上升,由 2000 年的 1.601 8 hm² 增加到 2011 年的 3.056 0 hm²,达到研究期内的历史最高位,年均增速 6.13%,增长了 1.9 倍;之后出现缓慢增长阶段,直到 2013 年年末人均生态足迹为 2.915 8 hm²。与此同时,人均生态承载力平缓下降,从 2000 年的 1.173 9 hm² 下降到 1.005 6 hm²,平均下降速度为 1.17%。人均生态承载力的平稳下降和生态足迹的快速增长,导致生态赤字逐年增加,2013 年生态赤字高达 2.031 3 hm²,宁夏生态系统面临长期不可持续状态。人均生态赤字与人均生态足迹曲线基本呈同步增长态势,可见宁夏人均生态赤字的扩大主要源于人均生态足迹的增长。

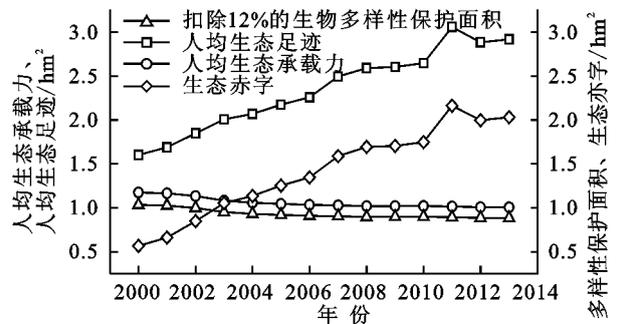


图 1 宁夏 2000—2012 年人均生态足迹、人均生态赤字和生态承载力变化趋势

将宁夏生态足迹账户细分为生物资源账户、化石能源账户、建筑用地账户和污染物排放账户,并将这 4 类账户人均生态足迹所占比例(图 2)以及各地类人

均生态足迹变化趋势(图 3)结合起来分析,以便更好地研究宁夏生态足迹增长和变化的原因。

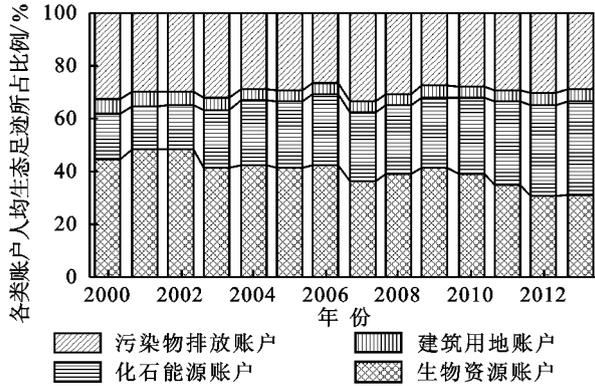


图 2 各类账户人均生态足迹所占比例

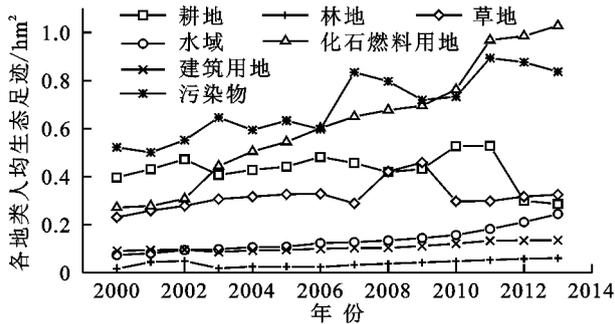


图 3 各地类人均生态足迹变化趋势

由图 2 和图 3 可知,生物资源账户人均生态足迹的生态占用最为明显。其中,耕地类的生态足迹占的比例最大,平均达到 46.87%。其次是草地类生态足迹占用比例达 34.5%。从 2012 年开始,草地类的生态足迹(0.316 9 hm^2)开始超过耕地类的生态足迹(0.300 0 hm^2),成为生物资源账户中最主要的消费类型。耕地和草地的人均生态足迹变化表明人民生活消费结构的转变,更加注重蛋白质营养的摄入,注重饮食质量。总体而言,林地生态足迹变化不大,水域生态足迹缓慢增长,研究期内共增长 0.244 4 hm^2 。水域生态足迹所占比例较小,很可能与宁夏人均水域面积小有关。

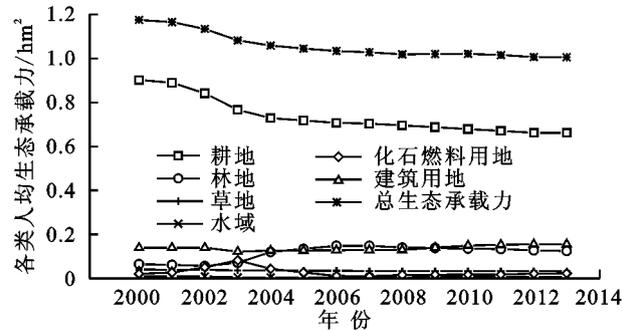
污染物生态足迹在 2010 年之前一直是生态足迹的第二大消费类型(2010 年以后,化石能源生态足迹消耗开始超过污染物生态足迹消耗)。废气 SO_2 排放是造成污染物生态足迹高的最主要因素,其平均消耗量占总污染物生态足迹的 79.67%。由于废气 SO_2 的排放主要来源于工业能耗,而资源能耗型重化工属于宁夏的基础性产业,所耗能源均以原煤为主,因而拥有较高的生态足迹。

化石能源账户以年均 11.31% 的速度增长,到 2013 年人均生态足迹达到 1.028 6 hm^2 ,是 2000 年的 3.793 倍。据统计,2013 年全年全区能源消费总量为 4 850.5 万 t 标准煤,煤炭消耗一直占据着能源消耗的绝对位置,年均增速 12.58%,到 2013 年年

底,煤炭共消耗 4 544.91 万 t 标准煤。而以水电、风电、光伏发电为主的清洁能源比重仅占 0.95%,能源消费结构失衡。这种以消耗大量能源为支撑的经济增长方式,必然会给生态环境带来巨大的压力。

此外,建筑生态足迹总体呈缓慢增长状态,是仅次于林地之外,占用生物生产性土地面积最小的土地利用类型。事实上从 2009 年之后,宁夏建筑用地的足迹开始以 6.97% 的速度猛增,但受限于人口密度、城镇化水平等方面因素的影响^[28],建筑用地的生态足迹所占比例仍然较小。

由图 4 可知,耕地的生态承载能力最强,即使其生态承载力一直处于下降的趋势,但仍占据着总生态承载力的 65.8%。草地和水域的生态承载力小幅下降,建筑用地的生态承载力则从 2002 年开始缓慢上升,表明宁夏城市规模扩大的同时,城市建设土地利用方式在逐步提高。可见,生态承载力的变化主要是由于耕地的生态承载力下降造成。这与宁夏自 2000 年开始实施退耕还林、还草工程造成耕地面积减少有很大的关系。在保证生态环境保护工程继续实施的前提下,提高耕地的效率,增加单位面积产值是减少生态足迹和增强生态承载力的重要途径。



注:根据污染物排放所占用的生物生产性土地面积类型不同,将废弃物排放生态承载力归类到建设用地、废气排放生态承载力归入林地、废水排放生态承载力归类到水域中。

图 4 各地类人均生态承载力变化趋势

3.2 足迹深度与足迹广度的变化

3.2.1 足迹深度的变化 由公式(4)可测算出生态足迹深度的变化(表 1)。研究期内人均足迹深度增速较快,其中,耕地和建筑用地人均足迹深度为 1,说明这两类用地生态承载力大于生态足迹,出现生态盈余的情况,依靠自身的自然资本流量即可满足自身自然资本服务的需求。林地的足迹深度最大值出现在 2002 年(8.712 3),最小值出现在 2006 年(3.307 6),之后开始缓慢上升。从 2000 年开始,草地的足迹深度一直增加,2009 年达到最大值 13.912 2,此后下降,维持在 9 左右。林地和草地足迹深度的发展变化表明,宁夏实施退耕还林和还草工程成效在 2005 年

之后逐步显现。到 2013 年宁夏仍需要近 10 倍的草地面积才能满足当前人们的消耗量,反映了人们对肉类产品的需求量。水域的足迹深度发展状况与草地相似,都是经历了“N”字形的变化过程,最大值出现在 2008 年,之后也经历了较缓慢的上升阶段。2013 年的数据显示水域足迹深度高达 52.724 5,是宁夏所有土地类型中发展最不可持续,生态环境压力增大的重要因素。由于宁夏水域面积本身不具备优势,在保护湖泊湿地的同时,应该调整水产养殖结构,提高单位水产产出,是减少水域存量资本消耗的根本方式。能源足

迹深度有较大的波动,经历了“下降、上升、平稳”3 个阶段:从 2000—2003 年足迹深度由 12.917 1 下降到 5.405 7,下降了一半;在 2004—2007 年经历了快速上升时期,这一时期的能源以年均 84.48% 的速度猛增,2007 年成为足迹深度中数值最大的消耗类型;2007 年以后基本稳定在 45 左右。能源足迹深度的波动与宁夏退耕还林工程、宁东能源重化工基地的建设(2003 年一期工程开始)分不开,反映了不同时期政府政策的着力点对生态足迹深度的影响力度。宁夏水域和化石能源用地成为资本存量消耗的主要驱动力。

表 1 宁夏 2000—2013 年人均生态足迹深度

年份	耕地	林地	草地	水域	能源用地	建筑用地	足迹深度
2000	1	6.8107	5.7497	19.4888	12.9171	1	1.8331
2001	1	7.3176	6.5888	20.1837	10.5418	1	1.8811
2002	1	8.7123	7.2446	23.8261	6.0670	1	1.9927
2003	1	7.8291	8.3565	44.6583	5.4057	1	2.2182
2004	1	4.2366	8.8995	46.7023	11.6591	1	2.3728
2005	1	4.0568	9.3375	46.5842	20.1988	1	2.4274
2006	1	3.3076	7.5759	52.3277	53.7039	1	2.6891
2007	1	4.7288	8.5289	65.9068	68.9938	1	3.0576
2008	1	4.7617	12.6029	68.3578	42.8611	1	2.8382
2009	1	4.2723	13.9122	51.5026	42.1613	1	2.8296
2010	1	4.4922	9.1416	42.0864	43.2201	1	2.7674
2011	1	5.8592	8.9505	44.5821	56.0324	1	3.1690
2012	1	6.0590	9.6500	48.7860	45.3268	1	3.2426
2013	1	5.9101	9.8915	52.7245	45.0763	1	3.2943

注:为保持生态足迹和生态承载力各地类的组份相同,采取图 4 的办法,将废弃物排放生态足迹归类到建设用地、废气排放生态足迹归入林地、废水排放归类到水域中。

3.2.2 足迹广度的变化 由公式(5)可测算出生态足迹广度的变化(表 2)。研究期内足迹广度的变化基本维持在 0.608 5~0.852 9,宁夏的自然资本利用程度不高。从足迹广度的构成来看,2013 年耕地足迹广度比重达 46.95%,建筑用地比重达 22.17%,林地占 20.45%,草地 5.39%,化石能源用地 3.74%,水域 1.26%。说明宁夏省人均占用土地面积中主要以耕地和建筑用地为主,农业生产仍是宁夏全区较为

重要的自然资本利用方式。而建筑用地近几年足迹广度逐步提高的状况表明宁夏城镇的流量资本利用在逐步优化。林地的足迹广度绝大部分来源于吸收燃烧煤炭所产生的废气 SO₂ 所占用的生物生产性土地面积,侧面反映了宁夏这种高耗能的生产生活方式对自然资本流向的引导作用;化石能源用地和水域份额均较低,表明公益林面积和水域面积的人均禀赋较低对自然资本利用方面不具备优势。

表 2 宁夏 2000—2013 年人均生态足迹广度

年份	耕地	林地	草地	水域	能源用地	建筑用地	足迹广度
2000	0.3967	0.0643	0.0401	0.0089	0.0210	0.0911	0.6222
2001	0.4313	0.0613	0.0392	0.0087	0.0263	0.0938	0.6610
2002	0.4720	0.0561	0.0384	0.0086	0.0507	0.0952	0.7211
2003	0.4070	0.0706	0.0366	0.0046	0.0821	0.0865	0.6876
2004	0.4281	0.1200	0.0355	0.0046	0.0433	0.0928	0.7245
2005	0.4415	0.1342	0.0349	0.0047	0.0269	0.0950	0.7373
2006	0.4819	0.1482	0.0343	0.0048	0.0112	0.0994	0.7800
2007	0.4568	0.1481	0.0338	0.0044	0.0094	0.1032	0.7560
2008	0.4185	0.1403	0.0334	0.0043	0.0157	0.1032	0.7158
2009	0.4317	0.1377	0.0329	0.0061	0.0164	0.1110	0.7361
2010	0.5270	0.1345	0.0325	0.0079	0.0176	0.1212	0.8409
2011	0.5283	0.1331	0.0332	0.0078	0.0172	0.1330	0.8529
2012	0.3000	0.1270	0.0328	0.0076	0.0217	0.1349	0.6243
2013	0.2857	0.1245	0.0328	0.0076	0.0228	0.1349	0.6085

3.3 综合发展能力分析

从表 3 可以看出,宁夏的生态足迹多样性指数一直维持在较低水平,生态足迹分配不均衡,生态系统不稳定。宁夏万元 GDP 生态足迹由 3.009 8 hm²/万元下降到 0.743 7 hm²/万元,说明宁夏在经济发展的过程中,对自然资本总量需求增加的同时资源利用效率也在提高,发展能力指数由 2.630 7 稳步提高到 4.748 2,说明宁夏的发展能力正在稳步上升,具有较大的发展潜力。

表 3 万元 GDP 生态足迹、生态足迹多样性指数和发展能力分析

年份	指标		
	万元 GDP 生态足迹/ (hm ² /万元)	生态足迹 多样性指数	发展能 力指数
2000	3.0098	1.6423	2.6307
2001	2.8172	1.6956	2.8619
2002	2.8001	1.6932	3.1288
2003	2.6139	1.6354	3.2815
2004	2.2632	1.6612	3.4360
2005	2.1147	1.6515	3.5885
2006	1.8765	1.6588	3.7427
2007	1.6554	1.6180	4.0340
2008	1.3285	1.6469	4.2642
2009	1.2026	1.6742	4.3580
2010	0.9912	1.6627	4.3995
2011	0.9296	1.6289	4.9780
2012	0.7969	1.6205	4.6716
2013	0.7437	1.6284	4.7482

4 结论

(1) 研究期内,宁夏人均生态足迹整体呈现增加趋势,而生态承载力则表现为下降态势,受生物资源、能源消费增长和耕地生态承载力下降等主要因素的影响,宁夏生态赤字不断扩大,生态系统状况不容乐观。

(2) 全区自然资本的利用状况受经济社会发展水平和资源禀赋的不同表现各异。流量资本的利用主要以耕地和建筑用地为主,利用程度总体不高。而存量资本以水域、能源用地的消耗为主。

(3) 全区万元 GDP 生态足迹呈现大幅下降趋势,生态足迹多样性指数维持在较低水平,综合发展能力指数呈现出稳步上升趋势,区域综合发展潜力较大。

(4) 研究区按自然地理特征分为北部引黄灌区、中部干旱带和南部黄土丘陵区三大区域。各区自然环境、地貌特征和经济社会发展状况各异,致使影响三大区域的生态足迹和生态承载力原因各异,存量和流量自然资本利用方式也不同。因此,以自然地理分区为基础,开展三大区域单元的生态承载力和生态足迹分析与讨论,是未来需要进一步探究的问题。

参考文献:

- [1] 方恺, Reinout H. 自然资本核算的生态足迹三维模型研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1700-1707.
- [2] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法的理论解析[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 69-78.
- [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] 李兵, 张建强, 权进民. 企业生态足迹和生态效率研究[J]. 环境工程, 2007, 25(6): 85-88.
- [5] 陈成忠, 林振山, 贾敦新. 基于生态足迹指数的全球生态可持续性时空分析[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 68-72.
- [6] 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.
- [7] 郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 城市生态足迹计算与分析: 以广州为例[J]. 地理研究, 2003, 22(5): 654-662.
- [8] 尚海洋, 马忠, 焦文献, 等. 甘肃省城镇不同收入水平群体家庭生态足迹计算[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 408-416.
- [9] 姚争, 冯长春, 阚俊杰. 基于生态足迹理论的低碳校园研究: 以北京大学生态足迹为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1163-1170.
- [10] 白钰. 基于生态足迹的天津市土地利用总体规划生态效用评价[J]. 经济地理, 2012, 32(10): 127-132.
- [11] 张义, 张合平, 李丰生, 等. 基于改进模型的广西水资源生态足迹动态分析[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1601-1610.
- [12] 王保利, 李永宏. 基于旅游生态足迹模型的西安市旅游可持续发展评估[J]. 生态学报, 2008, 27(11): 4777-4784.
- [13] 赵冠伟, 杨木壮, 陈健飞. 1990—2007 年中国能源足迹时空差异分析[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(2): 65-69.
- [14] Van Vuuren D P, Smeets E M W. Ecological footprints of Benin, Bhutan, Costa Rica and the Netherlands[J]. Ecological Economics, 2000, 34(1): 115-130.
- [15] 陈成忠, 林振山. 中国 1961—2005 年人均生态足迹变化[J]. 生态学报, 2008, 28(1): 338-344.
- [16] 刘建兴, 王青, 孙鹏, 等. 中国 1990—2004 年生态足迹动态变化效应的分解分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 61-68.
- [17] 方恺. 生态足迹深度和广度: 构建三维模型的新指标[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 267-274.
- [18] 张恒义, 刘卫东, 林育欣, 等. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2738-2748.
- [19] 刘乐冕. 炎陵县生态足迹动态分析与变化趋势研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009.

门和环境保护部门等,应该协调行动,增加生产者生产节能产品和消费者消费节能产品的渠道,缓解目前节能产品叫好不叫座的现状,才能更好地从生产和消费两个视角实现温室气体减排,最终实现多方共赢。

囿于研究区范围、数据结构等,本文的研究仅仅代表了部分地区城市居民对温室气体减排的认知,一些变量可能并未体现影响支付意愿的全貌,且因为仅仅是一年的数据,难以动态反映城市居民对气候变化、温室气体减排的支付意愿变化趋势,对相关政策的提出也因此存在一定局限性,特别是国家“十二五”规划已经明确了“到 2015 年,全国万元 GDP 能耗要比 2010 年下降 16%,化学需氧量、二氧化硫排放总量、二氧化碳排放总量分别要比 2010 年下降 8%,8%和 16%”的节能减排目标,并以省份为单位对这一节能减排目标进行了地区分解,这个可以作为一个自然试验,在几年之后进行检验,以验证消费者视角能否推进地区的节能减排。我们也可以比较从生产视角和消费视角对二氧化碳减排是否有显著不同。另外,如何寻找一个更好的工具变量,也是一个值得思考的议题。

参考文献:

- [1] Burghart D R, Cameron T A, Gerdes G R. Valuing publicly sponsored research projects: risks, scenario adjustments, and inattention[J]. *Journal of Risk and Uncertainty*,2007,35(1):77-105.
- [2] Viscusi W K, Zeckhauser R J. The perception and valuation of the risks of climate change: a rational and behavioral blend[J]. *Climatic Change*,2006,77(1/2): 151-177.
- [3] Lee J J, Cameron T A. Popular support for climate change

mitigation: evidence from a general population mail survey [J]. *Environmental and Resource Economics*,2008,41(2): 223-248.

- [4] 郑思齐,符育明,任荣荣. 居民对城市生活质量的偏好:从住房成本变动和收敛角度的研究[J]. *世界经济文汇*, 2011(2):35-49.
- [5] 曾贤刚. 我国城镇居民对 CO₂ 减排的支付意愿调查研究[J]. *中国环境科学*,2011,31(2):346-352.
- [6] 国家发展和改革委员会能源研究所课题组. 中国 2050 年低碳发展之路:能源需求暨碳排放情景分析[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [7] 齐晔. 中国低碳发展报告(2013)[M]. 北京:社会科学文献出版社,2013.
- [8] Andersen M S, Ekins P. Carbon-Energy Taxation: Lessons from Europe [M]. London: OUP Oxford,2009.
- [9] Train K E. Discrete Choice Methods with Simulation [M]. Cambridge: Cambridge University Press,2003.
- [10] 聂冲,贾生华. 离散选择模型的基本原理及其发展演进评价[J]. *数量经济技术经济研究*,2005,12(11):151-159.
- [11] Andrews R L, Ainslie A, Currim I S. An empirical comparison of logit choice models with discrete versus continuous representations of heterogeneity [J]. *Journal of Marketing Research*,2002,39(4):479-487.
- [12] 中国气候传播项目中心. 中国公众气候变化与气候传播认知状况调研报告[R]. 北京:中国气候传播项目中心,2012.
- [13] Leiserowitz A A. American risk perceptions: Is climate change dangerous [J]. *Risk Analysis*,2005,25 (6):1433-1442.
- [14] 赵现红. 基于游客特性的旅游目的地离散选择实证研究:以三大口岸中转型入境游客为例[J]. *旅游学刊*, 2009,24(12):60-62.

(上接第 290 页)

- [20] 陈兴鹏,逯承鹏,杨静,等. 基于生态足迹模型的宁夏 1986—2005 年人地协调度演变分析[J]. *干旱区资源与环境*,2011,25(10):15-20.
- [21] 孟伟庆,马春,鞠美庭,等. 天津市近 20 年生态足迹的动态测度与分析[J]. *安全与环境学报*,2008,8(2):67-71.
- [22] 杨屹,加涛. 21 世纪以来陕西生态足迹和承载力变化 [J]. *生态学报*,2015,35(24):7987-7997.
- [23] 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.
- [24] Shannon C E, Weaver W. *The Mathematical Theory*

of Communication [M]. Urbana: University of Illinois press, 2015.

- [25] 马明德. 宁夏东部风沙区生态安全评价研究[D]. 银川:宁夏大学,2014.
- [26] Ulanowicz R E. Growth and Development: Ecosystems Phenomenology[M]. New York:Springer Science & Business Media, 2012.
- [27] 王书玉. 基于生态足迹理论的县域生态经济系统评价 [D]. 南京:南京农业大学,2006.
- [28] 方恺,高凯,李焕承. 基于三维生态足迹模型优化的自然资源利用国际比较[J]. *地理研究*,2013,32(9):1657-1667.