

# 区域生态足迹与经济增长演进关系及其社会经济动因

王德录<sup>1</sup>, 高标<sup>2</sup>

(1. 白城师范学院 经济与管理学院, 吉林 白城 137000; 2. 白城师范学院 地理科学学院, 吉林 白城 137000)

**摘 要:**以吉林省白城市为例,在区域生态足迹计算、动态分析的基础上,研究区域生态足迹与经济增长演进关系及其社会经济驱动因素。基于生态足迹模型计算了白城市 2003—2013 年人均生态足迹、人均生态承载力与生态赤字(盈余),分析了三者的动态变化,评价了白城市可持续发展状况;基于环境库兹涅茨曲线(EKC)模型探究了白城市人均生态足迹与经济增长的演进关系;基于 STIRPAT 模型探讨了白城市人均生态足迹的社会经济驱动因素。结果表明:2003—2013 年,白城市人均生态足迹、人均生态承载力分别由 1.392 9、1.785 3  $\text{hm}^2/\text{人}$  增加到 2.967 0、3.064 6  $\text{hm}^2/\text{人}$ 。人均生态足迹增速大于人均生态承载力,生态盈余呈逐渐减小状态,由 0.392 4  $\text{hm}^2/\text{人}$  减小至 0.097 6  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,在 2012 年出现生态赤字 0.046 8  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,可持续发展状况开始恶化;白城市人均生态足迹与经济增长的演进曲线呈现为“勺子型”,预计拐点出现在 2014 年,之后人均生态足迹将随着经济增长呈下降走势;人口数、可比价格人均 GDP、单位 GDP 能耗、第二产业比率、城市化率、恩格尔系数为白城市人均生态足迹的社会经济驱动因素,驱动力指数分别为 0.157 5、0.164 7、1.050 0、0.471 9、0.020 6、0.588 5。白城市必须采取行之有效的对策,优化产业布局与能源结构,加大科技投入与转化力度,发展生态经济,加强耕地保护,提高人民生态文明水平,进而提升区域自然生态与社会经济的可持续性。

**关键词:**生态经济学;生态足迹;经济增长;可持续发展;STIRPAT 模型;驱动因素;白城市

**中图分类号:**F062.2; X22

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)05-0278-07

## Evolution Relationship Between Regional Ecological Footprint and Economic Growth and Its Socioeconomic Driving Factors

WANG Delu<sup>1</sup>, GAO Biao<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Baicheng Normal University, Baicheng, Jilin 137000, China;

2. School of Geography Science, Baicheng Normal University, Baicheng, Jilin 137000, China)

**Abstract:** A case study was conducted in Baicheng City of Jilin Province. Evolution relationship between regional ecological footprint and economic growth, and its socioeconomic driving factors are examined based on calculation and dynamic analysis of regional ecological footprint. The ecological footprint per capita, ecological capacity per capita and ecological deficit (surplus) were calculated based on the ecological footprint models from 2003 to 2013, their dynamic changes were analyzed, and the state of sustainable development was evaluated. Environmental Kuznets Curve (EKC) was used to analyze the evolution relationship between ecological footprint per capita and economic growth. The socioeconomic driving factors of ecological footprint per capita were studied based on STIRPAT model. The results indicate that ecological footprint per capita increased from 1.392 9  $\text{hm}^2$  per capita in 2003 to 2.967 0  $\text{hm}^2$  per capita in 2013, and ecological capacity per capita increased from 1.785 3  $\text{hm}^2$  per capita in 2003 to 3.064 6  $\text{hm}^2$  per capita in 2013. In the same period, ecological surplus decreased from 0.392 4  $\text{hm}^2$  per capita in 2003 to 0.097 6  $\text{hm}^2$  per capita in 2013 because the growth of the former was greater than the latter, and ecological deficit appeared in 2012 which its value was 0.046 8  $\text{hm}^2$  per capita, the state of sustainable development began to deteriorate. The evolution curve of ecological footprint per capita and economic growth was spoon-shape, and the turning point will appear in 2014, after 2014, ecological footprint per capita will decrease along with the economic growth. Population,

收稿日期:2015-10-28

修回日期:2015-11-15

资助项目:吉林省教育厅科技研究项目[吉教科合字(2014)第 561 号];吉林省科技发展计划项目(20120408);国家自然科学基金(41430857)

第一作者:王德录(1962—),男,吉林白城人,讲师,硕士,主要从事生态经济管理研究。E-mail: bcsygb@126.com

通信作者:高标(1980—),男,吉林白城人,副教授,博士,主要从事土地利用与生态环境研究。E-mail: niatgb@126.com

comparable price per capita GDP, the unit GDP energy consumption, second industry ratio, urbanization rate, Engel coefficient were the socioeconomic driving factors on ecological footprint per capita, and their driving force indexes were 0.157 5, 0.164 7, 1.050 0, 0.471 9, 0.020 6 and 0.588 5, respectively. Baicheng City must take effective measures to optimize the industrial layout and energy structure, increase the strength of input and transformation in science and technology, develop ecological economy, strengthen farmland protection and improve the people's ecology civilization, and then promote the regional sustainability of natural ecological and socioeconomic.

**Keywords:** ecological economics; ecological footprint; economic growth; sustainable development; STIRPAT model; driving factors; Baicheng City

可持续发展是指经济、社会、资源和环境保护协调发展,既要达到发展经济的目的,又要保护好人类赖以生存的自然资源<sup>[1]</sup>。自从可持续发展的概念提出以来,一直就是各国政府与学者关注的重点问题,尤其可持续发展的定量评价方法更是前沿热点问题<sup>[2]</sup>。生态足迹是加拿大生态经济学家 Rees<sup>[3]</sup>和 Wackernagel<sup>[4]</sup>等于 20 世纪 90 年代提出的定量评价区域可持续发展的科学方法。目前已经在各个地区、领域得到了广泛的应用<sup>[5-9]</sup>。就吉林省而言,顾康康<sup>[10]</sup>、李辉<sup>[11]</sup>、方恺<sup>[12]</sup>、高标<sup>[13]</sup>等分别从不同角度对吉林省整体的生态足迹做了实证分析,但对于吉林省地级市的研究很少涉及。生态足迹方法过于强调自然生态的可持续性,忽视了社会经济的可持续性,对区域宏观可持续发展政策的制定缺乏实用价值<sup>[14]</sup>。因此,定量评价区域可持续发展状况,探究生态足迹与经济增长的关系及其社会经济驱动因素具有重要意义。基于此,本研究以白城市为研究对象,基于生态足迹模型计算白城市 2003—2013 年的人均生态足迹、人均生态承载力与生态赤字(盈余),定量评价白城市可持续发展状况,基于环境库兹涅茨曲线(EKC)模型分析人均生态足迹与经济增长的演进关系;基于 STIRPAT 模型探究白城市人均生态足迹的社会经济驱动因素。本研究可为其他区域开展相关研究提供借鉴,并为吉林省、白城市政府或相关部门制定相关政策提供重要的科学依据。

# 1 研究区概况与数据来源

## 1.1 研究区概况

白城市为隶属于吉林省的地级城市,现有人口 199.1 万人,位于吉林省西北部,东经 121°38′—124°22′,北纬 44°13′—46°18′,处于吉林、内蒙古、黑龙江 3 省交界,总面积 25 745.1 km<sup>2</sup>,属温带大陆性季风气候。白城市辖洮北区、通榆县、镇赉县、洮南市、大安市。作为国家级大型商品粮基地市,是全国农业 4 大开发区之一,是吉林省农业发展的重要组成部分,2013 年实

现粮食产量 410.2 万 t。2013 年,全年降水量 555.7 mm,全年日照时数 2 579.5 h,年平均温度 5.3℃,无霜期 161 d;全市拥有林地面积 27.74 万 hm<sup>2</sup>,森林覆盖率为 11.95%;全市拥有地下水资源量为 20.83 亿 m<sup>3</sup>;年末耕地总资源为 99.75 万 hm<sup>2</sup>,农作物总播种面积 81.5 万 hm<sup>2</sup>。

## 1.2 数据来源

白城市 2003—2013 年生物资源消费、能源资源消费、人口数、GDP、单位 GDP 能耗、第二产业比率、城市化率与恩格尔系数等数据均收集整理于《白城市统计年鉴》(2004—2014 年);白城市 2003—2013 年各土地类型面积数据来源于《白城市统计年鉴》(2004—2014 年)与白城市国土资源局官方网站(<http://www.bcgtyj.gov.cn/>)。

# 2 研究方法

## 2.1 生态足迹计算模型

人均生态足迹是指研究区域个人消费所需的生產性土地的面积,以及吸纳产生的废弃物的土地面积之和<sup>[13]</sup>,主要包括两部分:生物资源消费与能源资源消费。人均生态承载力是指区域可提供的人均生产性土地面积。结合相关学者的研究成果<sup>[15-16]</sup>,计算公式如下:

$$ef = \sum(aa_i) = r_i \sum(c_i/p_i) \quad (1)$$

$$ec = \sum a_i r_i y_i \quad (2)$$

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

式中:ef 为人均生态足迹;*i* 为消费的资源类型;*aa<sub>i</sub>* 为第 *i* 种消费资源折算的人均生产性土地面积,主要有耕地、草地、林地、水域、化石燃料用地和建筑用地 6 种土地类型;*r<sub>i</sub>* 为均衡因子,主要为均衡、统一各个土地类型的生产力,将其转化为全球均衡面积<sup>[17]</sup>,结合相关研究成果,本研究采用全球一致的均衡因子:耕地为 2.82,草地为 0.54,林地为 1.14,水域为 0.22,化石燃料用地为 1.14,建筑用地为 2.82<sup>[18]</sup>; *c<sub>i</sub>* 为人均第 *i* 种资源消费量; *p<sub>i</sub>* 为第 *i* 种消费资源的世界平

均生产力;ec 为人均生态承载力; $a_i$  为人均拥有的第  $i$  种生产性土地面积,主要有耕地、园地、草地、林地、水域、建筑用地与未利用地 7 种土地类型; $y_i$  为产量因子;耕地为 1.66,园地为 1.66,草地为 0.19,林地 为 0.91,水域为 1.00,建筑用地为 2.19,未利用地为 1.00<sup>[18]</sup>;ed 为生态赤字;es 为生态盈余。

2.2 环境库兹涅茨曲线(EKC)模型

环境库兹涅茨曲线理论认为:随着经济水平的发展,环境水平先是呈现不断恶化的状态,但是,当经济水平达到一定程度之后,环境出现不断改善的局面,即这个变化曲线呈现“倒 U 型”<sup>[19-20]</sup>。本研究应用 SPSS 18.0 统计软件,以经济增长指标(可比价格人均 GDP)为自变量,用人均生态足迹表征区域环境水平,作为因变量,分别选用线性、二次项、对数、立方、指数分布及 Logistic 等多种函数进行回归模拟,建立人均生态足迹与人均 GDP 的演进模型,根据决定系数和模型检验参数进行优选<sup>[21]</sup>。

2.3 STIRPAT 社会经济驱动因素分析模型

20 世纪 70 年代,Ehrlich 等<sup>[22]</sup>提出了 IPAT 模型,其反映了人口因素、富裕程度以及技术因素对环境的驱动影响,具体如下:

$$I=P \cdot A \cdot T \tag{4}$$

式中: $I$  为环境水平,可以特指各种资源消耗量或排放量; $P$  为人口因素; $A$  为富裕程度; $T$  为技术因素。

而 STIPAT 分析模型起源于 IPAT 模型,York 等<sup>[23]</sup>在 IPAT 方程的基础之上,提出了 STIRPAT

模型,其是人口因素、富裕程度和技术因素的随机驱动模型,是建立驱动因素与环境水平之间关系的多变量非线性账户恒等式模型,其表达式如下<sup>[24]</sup>:

$$I=aP^bA^cT^de \tag{5}$$

式中: $a$  为模型的系数; $b,c,d$  分别表示人口因素、富裕程度和技术因素的驱动力指数; $e$  为模型误差。

借鉴经典 STIRPAT 模型,参考相关文献<sup>[14,25]</sup>,结合白城市社会经济情况,通过相关性分析,最终选取人口数、人均 GDP、单位 GDP 能耗、第二产业比率、城市化率、恩格尔系数为白城市人均生态足迹的主要社会经济驱动因素,具体数据见表 1,构建出人均生态足迹与各驱动因素之间的多变量非线性模型,具体表达式如下:

$$ef=kP^{a_1}A^{a_2}T^{a_3}R^{a_4}U^{a_5}En^{a_6}\epsilon \tag{6}$$

式中:ef 为白城市人均生态足迹(hm<sup>2</sup>/人); $k$  为常数; $P$  为人口因素,以区域人口数表征(万人); $A$  为富裕程度,表征区域经济发展水平,以可比价格人均 GDP 表示(以 2003 年为基准,万元); $T$  为技术因素,表征区域产业技术水平,以单位 GDP 能耗考量( $t$  标准煤/万元); $R$  为区域产业结构状况,以第二产业比率表征(%); $U$  为城市化发展状况,以城市化率(城镇人口/总人口)表示(%);En 为居民消费支出结构因素,以恩格尔系数表示(%); $a_1,a_2,a_3,a_4,a_5,a_6$  为驱动力指数,分别表示  $P,A,T,R,U,En$  每变化 1%,将引起 ef 的  $a_1\%,a_2\%,a_3\%,a_4\%,a_5\%,a_6\%$  的变化; $\epsilon$  为模型随机扰动项,表示影响人均生态足迹的其他因素。

表 1 白城市人均生态足迹社会经济驱动因素

年份	人口数/ 万人	人均 GDP/ 万元	单位 GDP 能耗/ (吨标准煤/万元)	第二产业 比率/%	城市 化率/%	恩格尔 系数/%
2003	200.82	0.6142	0.9427	33.2	67.00	35.7
2004	201.60	0.6528	1.1945	36.4	67.41	37.8
2005	201.57	0.7145	0.9622	31.2	71.74	33.6
2006	202.44	0.8762	0.8971	38.1	71.15	32.5
2007	202.93	1.0033	0.9274	40.5	71.79	29.5
2008	202.90	1.2130	0.9165	37.1	71.76	30.2
2009	203.17	1.4723	0.6760	42.7	71.64	30.0
2010	202.64	1.7934	0.9132	45.6	73.36	32.3
2011	202.54	2.1247	1.6501	48.8	74.51	28.6
2012	200.01	2.3297	1.5652	47.7	73.83	30.4
2013	199.10	2.5584	1.3585	47.7	74.20	23.9

3 结果与分析

3.1 白城市人均生态足迹、生态承载力动态分析

利用公式(1)—(3)对白城市 2003—2013 年的人均生态足迹、人均生态承载力与生态赤字(盈余)进行计算,其中生态足迹的计算分为两部分:(1)生物资源消费。因为白城市是全国农产品基地,很多物资输

送到其他地区,因此在收集数据时考虑到进出口贸易的调整,从而使白城市的生物资源消费数据更加准确。主要包括 17 个消费项,针对耕地、草地、林地和水域 4 类生产性土地面积,其中耕地:粮食、油料、猪肉、食糖、蔬菜、薯类、豆类、瓜果、酒类;草地:牛肉、羊肉、禽类、蛋类、奶类;林地:茶叶、水果;水域:水产品;(2)能源资源消费。白城市矿产资源匮乏,能源资源

需要依赖其他地区,而且 2013 年以前电力消费均为火电。主要包括 8 个消费项,针对化石燃料用地、建筑用地两类生产性土地面积,其中:化石燃料用地:原煤、洗精煤、焦炭、原油、汽油、柴油、天然气;建筑用地:电力。计算过程略去,计算结果见图 1。

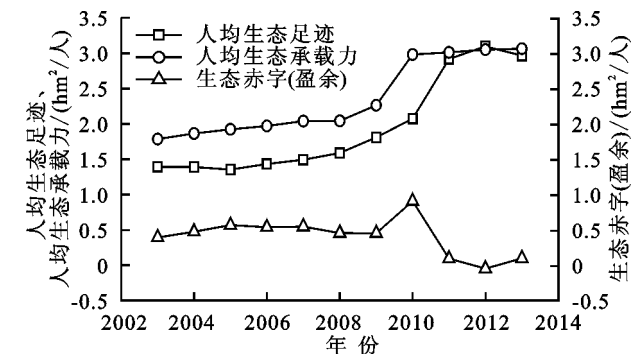


图 1 2003—2013 年人均生态足迹、生态承载力、生态盈余(赤字)动态变化

从图 1 可以看出,白城市 2003—2013 年人均生态足迹整体呈现增加态势,数量由 2003 年的  $1.3929 \text{ hm}^2/\text{人}$  增加到 2013 年的  $2.9670 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,增幅为  $1.5741 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,平均年增长率为  $11.30\%$ 。整体的动态变化分为 4 个阶段:缓慢降低阶段→低速增长阶段→高速增长阶段→平稳阶段。2003—2005 年,白城市人均生态足迹变化幅度较小,呈现稳中有降状态,从 2003 年的  $1.3929 \text{ hm}^2/\text{人}$  降到 2005 年的  $1.3542 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,降幅仅为  $0.0387 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,下降率为  $2.78\%$ ,年下降率仅为  $1.39\%$ 。2005—2010 年,白城市人均生态足迹变化幅度不大,呈现低速增加状态,这期间,从 2005 年的  $1.3542 \text{ hm}^2/\text{人}$  增长到 2010 年的  $2.0738 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,涨幅为  $0.7196 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,增长率为  $53.14\%$ ,年增长率为  $10.63\%$ 。2010—2011 年,白城市人均生态足迹突然呈现高速增长,两年间的涨幅达到  $0.8452 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年增长率为  $40.76\%$ 。2011—2013 年,白城市人均生态足迹呈现平稳变化(小幅度先升后降)状态,先由 2011 年的  $2.9190 \text{ hm}^2/\text{人}$  增加到 2012 年的  $3.0973 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,之后减小到 2013 年的  $2.9670 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,这阶段,整体人均生态足迹涨幅为  $0.0480 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,增长率为  $1.64\%$ 。

白城人均生态承载力的变化过程可以分为 3 个阶段:2003—2009 年为低速增长阶段,这阶段由 2003 年的  $1.7853 \text{ hm}^2/\text{人}$  增加到 2009 年的  $2.2642 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,涨幅为  $0.4789 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,增长率为  $26.82\%$ ,年增长率为  $4.47\%$ 。2009—2010 年为突然加速阶段,主要是由于“引嫩入白”和“西部土地整理工程”的大力实施,导致白城市的耕地面积大幅度增加,进而导致其人均生态承载力增加了  $0.7179 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,增长率达到  $31.71\%$ 。2010 年以后,由于基本农田保护政策和退

耕还林、退耕还草政策的持续有效实施,白城市人均生态承载力处于低速增长阶段。2003—2011 年,白城市处于生态盈余状态,其生态—经济系统一直处于可持续发展的良好态势,这期间,2003—2009 年变化平稳,2009—2010 年人均生态承载力突然加速,直接导致生态盈余大幅增加至  $0.9083 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,之后 2010—2011 年由于经济发展驱动大量化石能源的消费,带动人均生态足迹大幅增加,而人均生态承载力变化平稳,生态盈余逼近零点  $0.0935 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,2011 年后,人均生态足迹先升后降,于 2012 年超过人均生态承载力,出现生态赤字  $0.0468 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,白城市处于生态—经济系统不可可持续发展的边缘状态。随着人民生活水平进一步提高和区域经济的进一步发展,而区域生态承载力的增加额度有限,可以预见,未来白城市的生态赤字将进一步加大,白城市生态—经济系统的可持续发展状况将会进一步恶化。

3.2 白城市人均生态足迹与经济增长演进关系

基于环境库兹涅茨曲线(EKC)模型,应用 SPSS 18.0 统计软件,以可比价格人均 GDP 为自变量( $x$ ),以人均生态足迹作为因变量( $y$ ),选用多种类型函数进行回归模拟,建立人均生态足迹与人均 GDP 的演进模型,根据决定系数和模型检验参数进行优选,具体结果见图 2

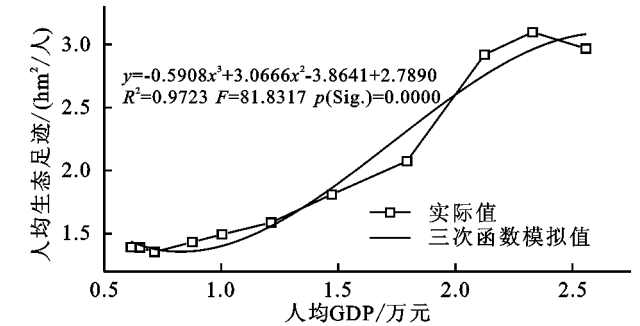


图 2 白城市生态足迹与经济增长演进曲线

如图 2 所示,白城市生态足迹与经济增长演进曲线为三次函数,不符合经典的“倒 U 型”,而是整体呈现为“勺子型”,即小“正 U 型”+“倒 U 型”的左半部分,这期间存在着一个拐点,对图 2 中演进方程取一阶导数  $y' = 0$ ,求解得到  $x_1 = 0.8283, x_2 = 2.6321$ ,对比表 1 中可比价格人均 GDP 数据,可知  $x_1$  在研究时间内,位于 2005—2006 年。基于 2003—2013 年可比价格人均 GDP,应用 SPSS 18.0 对人均 GDP( $y$ )与年份( $x$ )进行多种数学模型回归(以 2003 年为 1, 2004 年为 2,其余以此类推),具体回归过程略去,优选得到回归方程:  $y = -0.0020x^3 + 0.0507x^2 - 0.1447x + 0.7344$  ( $R^2 = 0.9978, F = 1070.3868, p(\text{Sig.}) = 0.0000$ ),由回归方程可以知道当人均 GDP

为 2.632 1 万元时,对应时间为 2013—2014 年。以上分析说明白城市 2003—2013 年人均生态足迹与经济增长的演进关系分为两个时间段,2003—2005 年,人均生态足迹随着人均 GDP 增长呈现微小下降,而且减速逐渐变缓,2006 年达到拐点,之后 2006—2013 年,人均生态足迹随着经济增长呈现增长状态,但是增速逐渐放缓,说明随着经济的发展,生态环境出现不断改善的局面,但是在研究时间段没有出现拐点,结合人均 GDP 模型预测可知,拐点出现在 2014 年,说明人均生态足迹在 2014 年后将随着经济的增长呈现下降走势。

3.3 白城市人均生态足迹社会经济驱动因素分析

基于公式(6),应用 SPSS 18.0 统计软件,从人口因素、经济发展水平、产业技术水平、产业结构状况、

城市化发展状况以及居民消费支出结构 6 个方面考虑,以人口数( $P$ )、可比价格人均 GDP( $A$ )、单位 GDP 能耗( $T$ )、第二产业比率( $R$ )、城市化率( $U$ )和恩格尔系数( $En$ )为驱动因素,以白城市 2003—2013 年人均生态足迹为因变量,进行社会经济驱动因素分析。

3.3.1 降维—因子分析 将表 1 中白城市人均生态足迹的 6 个驱动因素做自然对数变换后,作为原始变量,基于 SPSS 18.0 统计软件,利用主成分法,对原始变量做降维—因子分析,根据结果,提取出 3 个综合变量  $FAC_1$ ,  $FAC_2$ ,  $FAC_3$ , 具体数据见表 2—3, 由表 2 可以看出,主成分法提取出的 3 个综合变量能够解释 92.805 2% 的原始变量,由表 3 可以得到原始变量与综合变量  $FAC_1$ ,  $FAC_2$ ,  $FAC_3$  的具体数量关系。

表 2 主成分分析解释总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差的百分比	累积百分比	合计	方差的百分比	累积百分比	合计	方差的百分比	累积百分比
1	3.7605	62.6758	62.6758	3.7605	62.6758	62.6758	3.2748	54.5804	54.5804
2	1.2961	21.6011	84.2769	1.2961	21.6011	84.2769	1.1579	19.2987	73.8791
3	0.5117	8.5284	92.8052	0.5117	8.5284	92.8052	1.1356	18.9261	92.8052
4	0.2594	4.3238	97.1290						
5	0.1487	2.4789	99.6079						
6	0.0235	0.3921	100.0000						

表 3 主成分分析成分得分系数矩阵

原始变量	成分		
	$FAC_1$	$FAC_2$	$FAC_3$
$\ln P$	0.0460	0.9296	0.1916
$\ln A$	0.2635	0.0552	0.0864
$\ln T$	-0.1932	0.0441	0.9372
$\ln R$	0.1823	0.2936	0.3825
$\ln U$	0.3079	0.1277	-0.0405
$\ln En$	-0.4041	0.4094	0.6179

3.3.2 二阶段最小二乘回归分析 将白城市人均生态足迹作自然对数变换,以其为因变量,将综合变量  $FAC_1$ ,  $FAC_2$ ,  $FAC_3$  作为其解释变量,利用 SPSS 18.0 统计软件,作二阶段最小二乘回归分析,具体结果如下。

$$\ln ef = 0.6181 + 0.2571FAC_1 - 0.0860FAC_2 + 0.1774FAC_3$$
$$R^2 = 0.9505, F = 44.7951, p(\text{Sig.}) = 0.0001 \tag{7}$$

由公式(7)可知,拟合的模型效果比较显著,结合表 3 和公式(6),将公式(7)转换得到白城市 2003—2013 年人均生态足迹的社会经济驱动因素模型:

$$ef = 1.8554P^{0.1575}A^{0.1647}T^{1.0500}R^{0.4719}U^{0.0206}En^{0.5885}\epsilon \tag{8}$$

公式(8)即为白城市 2003—2013 年人均生态足迹的多变量非线性 STIRPAT 社会经济驱动因素模型,其中,

人口数( $P$ )、可比价格人均 GDP( $A$ )、单位 GDP 能耗( $T$ )、第二产业比率( $R$ )、城市化率( $U$ )和恩格尔系数( $En$ )的驱动力指数分别为 0.157 5, 0.164 7, 1.050 0, 0.471 9, 0.020 6, 0.588 5, 其现实意义为:白城市的人口数如果增加 1%,那么相应人均生态足迹将会增加 0.157 5%,同理,可比价格人均 GDP 每增加 1%,那么相应人均生态足迹将会增加 0.164 7%;单位 GDP 能耗每下降 1%,那么相应人均生态足迹将会降低 1.050 0%;第二产业比率每下降 1%,那么相应人均生态足迹将会减少 0.471 9%;城市化率每增加 1%,那么相应人均生态足迹将会增加 0.020 6%;恩格尔系数每下降 1%,那么相应人均生态足迹将会下降 0.588 5%。

4 结论与建议

2003—2013 年,白城市人均生态足迹、人均生态承载力处于同向增加状态,但人均生态足迹增速大于人均生态承载力,生态盈余呈逐渐减小状态,2012 年出现生态赤字 0.046 8  $\text{hm}^2/\text{人}$ ,可持续发展状况开始恶化;人均生态足迹与经济增长的演进曲线呈现“勺子型”,2006 年达到第一个拐点,另一个拐点将于 2014 年出现,说明人均生态足迹在 2014 年后将随着经济增长呈现下降走势;人口数、可比价格人均 GDP、单位 GDP 能耗、第二产业比率、城市化率、恩

格尔系数为白城市人均生态足迹的社会经济驱动因素,驱动力指数分别为 0.157 5,0.164 7,1.050 0,0.471 9,0.020 6,0.588 5。

与国内相关研究比较,本研究在研究时间内以生态盈余为主(2012 年有微小生态赤字),与绝大部分研究成果不相符合,主要原因有二:(1) 白城市是一个以农业为主的地级市,农作物耕作面积较大,再加上国家农业与土地政策的实施,近年来农作物耕作面积持续增加,造成该区域“地广人稀”的状况;(2) 白城市经济发展水平的欠发达性,直接影响区域生产投入与人民消费水平的提升。但结合变化走势,白城市未来的生态赤字将会加大,可持续发展状况逐步恶化。由于生态足迹方法忽视了社会经济的可持续性,因而对于制定区域政策缺乏实用性,而本研究以白城市为例,在生态足迹计算与动态分析之上,实证了生态足迹与经济增长的演进关系,明确了人均生态足迹的社会经济驱动因素,构建了社会经济驱动因素模型,可为制定相关政策提供重要科学依据。另外,由于白城市 2003 年以前缺乏科学的统计资料,导致本研究样本偏少,可能对研究结果存在一定影响,以后将持续研究,进一步完善。

为了有效控制生态足迹,提升区域自然生态与社会经济的可持续性,结合本研究相关结果,未来白城市应该在以下 6 个方面采取对策:(1) 优化产业布局。依靠白城市地理特点,开展精细化的农作物区划研究,培育水稻、葵花、绿豆、草原红牛、奶牛、白鹅等优势产业,提高单位面积生产性土地产出。降低第二产业比率,提升第三产业发展水平,如可利用白城市具有区域优势的草原、湿地等资源,优先发展生态旅游产业,减少能源资源消耗,降低生态足迹,减轻环境压力;(2) 优化能源资源结构。从本研究的结果来看,白城市人均生态足迹大幅增长的主要原因是大量化石能源的消费,因此在保证经济持续稳定发展的同时,要优化能源资源结构,减少化石能源消费,开发清洁能源,减小生态足迹。白城市具有极为丰富的太阳能、风能与生物质能资源,应该改变旧有的能源消费模式,加大这些清洁能源的开发和利用,如继续强化风电并网,增加太阳能热水器、节能灶的使用比率,开发利用发酵、热解、气化等生物质能利用技术。另外,建议推广天然气替代煤炭、柴油、汽油的使用,可以减少生态足迹的增长幅度;(3) 加快科技投入与转化生产力速度,提升能源资源利用率,降低单位 GDP 能耗。白城市应大力推广节能减排科技手段,推进实施重点领域、行业的节能水平,运用法律法规、财税以及考核等手段快速推动节能减排,将单位 GDP 能耗等指标纳入白城市“十三五”发展规划,在注重规章制度落实,强化制度约束力的基础上,支持和推动白城市产业的可持续发展;(4) 加强

全国生态保护与建设示范区建设,发展生态经济。白城市为全国首批生态保护与建设示范区,应该借此优势,大力发展生态经济、循环经济,如大力发展生态农业,减少农业物质投入,增强农产品的循环利用和生物质的综合利用水平,如秸秆饲料化技术、热解气化技术等,既可以减小生态足迹,又可以减少秸秆焚烧带来的环境问题。另外,白城市应出台循环经济发展规划,建立循环经济示范试点,通过生态经济、循环经济技术使白城市实现整体生态化;(5) 加强耕地保护,制定耕地保护红线。白城市应加快实现商品粮基地建设与生态环境保护的协调发展,制定耕地保护红线,提升耕地保护水平,加强建设“西部土地整理”和“引嫩入白”工程,进一步开发、利用、保护土地,防止土地退化;(6) 控制人口数量,提高人民生态文明水平。人口数是白城市生态足迹的影响因素之一,但白城市人口总数在 2003—2013 年变化幅度较小,近几年呈现下降趋势,而且未来存在进一步下降的可能,因此,白城市应该在响应国家政策的情况下,有效控制人口数量。城市化能够驱动区域经济增长,但也对生态环境有重要影响,因此在加快城市化进程中,应该加强人民的生态文明建设,白城市应该出台相关方案,采取相关策略,加快推动生活方式绿色化,优化居民消费支出结构,倡导人民环保消费、节约消费,实现生活方式和消费模式向勤俭节约、绿色低碳、文明健康的方向转变。

#### 参考文献:

- [1] 钱易,唐孝炎. 环境保护与可持续发展[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [2] 王艳,王力. 生态足迹研究进展述评[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):114-120.
- [3] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out [J]. *Environmental and Urbanization*1992,4(2):121-130.
- [4] Wackernagel M, Rees W. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth [M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1998.
- [5] Van Vuuren D P, Bouwman L F. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions [J]. *Ecological Economics*, 2005,52(1):43-62.
- [6] Senbel M, McDaniels T, Dowlatabadi H. The ecological footprint: a non-monetary metric of human consumption applied to North America [J]. *Global Environmental Change*, 2003,13(2):83-100.
- [7] Galli A, Kitzes J, Niccolucci V, et al. Assessing the global environmental consequences of economic growth through the Ecological Footprint: A focus on China and India[J]. *Ecological Indicators*, 2012,17(3):99-107.
- [8] 汪霞,张洋洋,怡欣,等. 基于生态足迹模型的舟曲县生态承载力空间差异[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2014,50(5):687-691.

- [9] 胡清宇,陆尤尤,龚士东,等. 浙江文成县近10年生态足迹与生态可持续发展分析[J]. 浙江农业学报,2012,24(4):686-692.
- [10] 顾康康,刘景双. 吉林省生态足迹动态分析与预测[J]. 中国科学院研究生院学报,2007,24(1):66-72.
- [11] 李辉,李淑杰,姬冬梅,等. 吉林省生态足迹的计算与动态分析[J]. 安徽农业科学,2010,38(23):12706-12707.
- [12] 方恺,沈万斌,董德明. 能源足迹核算的改进与预测:以吉林省为例[J]. 地理研究,2011,30(10):1835-1846.
- [13] 高标,崔凤午. 吉林省生态足迹与生态承载力动态变化分析与预测研究[J]. 水土保持研究,2012,12(6):105-110,116.
- [14] 鲁凤,徐建华,胡秀芳,等. 生态足迹与经济增长的定量关系及其社会经济驱动机制:以新疆为例[J]. 地理与地理信息科学,2012,28(5):70-74.
- [15] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, et al. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges [J]. Land Use Policy, 2004,21(3):271-278.
- [16] 高标,房骄,何欢. 吉林省生态足迹动态变化与可持续发展状况评价分析[J]. 农业现代化研究,2013,34(1):95-99.
- [17] 唐帅,宋维明. 温州市生态足迹分析[J]. 城市问题,2014(1):35-39.
- [18] Wackernagel M, Yount J D. The ecological footprint: an indicator of progress toward regional sustainability [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1998,51(1/2):511-529.
- [19] Ckossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1995,110(2):353-377.
- [20] 高标,许清涛,李玉波,等. 吉林省交通运输能源消费碳排放测算与驱动因子分析[J]. 经济地理,2013,33(9):25-30.
- [21] 许清涛,高标,房骄. 吉林省经济增长与环境污染水平演进关系的实证研究[J]. 水土保持研究,2013,20(4):258-263.
- [22] Ehrlich P R, Wolff G, Daily G C, et al. Knowledge and the environment [J]. Ecological Economics, 1999,30(2):267-284.
- [23] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts [J]. Ecological Economics, 2003,46(3):351-365.
- [24] 焦文献,陈兴鹏,贾卓. 甘肃省能源消费碳足迹变化及影响因素分析[J]. 资源科学,2012,34(3):559-565.
- [25] 王立群,李冰,郭轲. 北京市生态足迹变化及其社会经济驱动因子分析[J]. 城市问题,2014(7):2-8.

(上接第277页)

# 参考文献:

- [1] 祖皮艳木·买买提,玉米提·哈力克,肉孜·阿基,等. 基于生态系统服务价值变化的焉耆盆地环境与经济协调发展[J]. 应用生态学报,2015,26(3):875-883.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment(MA). Ecosystems and Human Well-Being: the Assessment Series [M]. Washington, DC: Island Press,2005.
- [3] 张学斌,石培基,罗君. 基于生态系统服务价值变化的生态经济协调发展研究:以石羊河流域为例[J]. 中国沙漠,2014,34(1):268-274.
- [4] 苏飞,张平宇. 基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展评价:以大庆市为例[J]. 地理科学进展,2009,28(3):471-477.
- [5] 胡喜生,洪伟,吴承祯. 福州市土地生态系统服务与城市化耦合度分析[J]. 地理科学,2013,33(10):1216-1223.
- [6] 叶延琼,章家恩,陈丽丽. 佛山市顺德区土地利用变化及社会经济发展对生态系统服务的影响[J]. 生态科学,2014,33(5):872-878.
- [7] 姚小微,曾杰,李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. 农业工程学报,2015,31(9):249-256.
- [8] 姚成胜,朱鹤健,吕晞,等. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J]. 自然资源学报,2009,24(2):225-233.
- [9] 张恒. 贵州喀斯特地区农村环境与贫困类型划分研究[J]. 凯里学院学报,2011,29(6):83-86.
- [10] 张文红. 贵州少数民族贫困县贫困发生率与经济增长和收入分配关系的实证分析[J]. 经济研究导刊,2013,204(22):86-89.
- [11] 朱士鹏,况学东,张美竹. 贵州省县域经济差异测度与分析[J]. 西北师范大学学报:自然科学版,2012,48(4):102-107.
- [12] 张晓珊,周红,周军,等. 贵州省退耕还林工程生态效益阶段评价研究[J]. 贵州林业科技,2008,36(2):1-6.
- [13] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-195.
- [14] 李明阳,刘敏,刘米兰. 基于GIS的森林调查因子地统计学分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2010,34(6):66-70.