

Coupling Analysis on Urbanization Quality and Ecological Environment Carrying Capacity in Guangxi Based on Emergy Ecological Footprint

Kaicheng Xiang¹ Li Tang^{2*}

1. Guangxi University of Finance and Economics, Nanning, Guangxi, 530003, China

2. Maternal and Child Health Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi, 530021, China

Abstract

Taking Guangxi Zhuang Autonomous region as the research object, this paper uses the emergy ecological footprint method, calculates the emergy ecological footprint and emergy ecological carrying capacity of Guangxi during 2007-2017, calculates the level of ecological deficit, and then uses the coupling analysis method to construct a new index system of urbanization quality and eco-environmental sustainability, and calculates the coupling index of Guangxi urbanization quality and eco-environmental carrying capacity during 2007-2017. The results show that: ① From 2007 to 2017, the ecological carrying capacity of Guangxi fluctuated up and down, the range of change was not very great, the fluctuation range of per capita ecological carrying capacity was 5.9hm^2 per capita, and the per capita ecological footprint showed an increasing trend, from the per capita ecological footprint of 3.67hm^2 in 2007. ② The ecological deficit of Guangxi is 2.01hm^2 in 2007 and 2.96hm^2 in 2017, which is in a strong unsustainable stage. ③ In 2007, the coordination coupling between the new urbanization quality and eco-environmental carrying capacity in Guangxi was low, which was in the antagonistic stage, and then entered a high-level coupling coordination stage.

Keywords

new urbanization quality; ecological footprint; sustainable development; coupling analysis

Fund Project

Discipline Construction Key Project of Fangchenggang College of Guangxi University of Finance and Economics (FCGXK2018ZD007); Open Project of School of Accounting and Auditing, Guangxi University of Finance and Economics (2018&KJ37).

基于能值生态足迹的广西城镇化质量与生态环境承载力耦合分析

向开成¹ 唐莉^{2*}

1. 广西财经学院, 中国·广西 南宁 530003

2. 广西壮族自治区妇幼保健院, 中国·广西 南宁 530021

摘 要

本文以广西壮族自治区为研究对象, 采用了能值生态足迹法, 计算了广西 2007-2017 年间能值生态足迹和能值生态承载力, 并计算了生态赤字水平, 然后采用耦合分析法, 构建了新型城镇化质量和生态环境可持续能力指标体系, 并计算了广西 2007-2017 年间新型城镇化质量和生态环境承载力耦合度指数。结果显示: ①广西 2007-2017 年间生态承载力呈上下波动状态, 变化的幅度不是很大, 人均生态承载力波动幅度为 5.9hm^2 , 人均生态足迹呈增长趋势, 由 2007 年的人均生态足迹 3.67hm^2 ②广西生态赤字 2007 年为 2.01hm^2 , 到 2017 年为 2.96hm^2 , 处于强不可持续阶段③ 2007 年广西新型城镇化质量与生态环境承载力协调耦合度低, 处于拮抗阶段, 此后进入高水平的耦合协调阶段。

关键词

新型城镇化质量; 生态足迹; 可持续发展; 耦合分析

基金项目

广西财经学院防城港学院学科建设重点项目 (FCGXK2018ZD007); 广西财经学院会计与审计学院开放课题 (2018&KJ37)。

1 引言

改革开放以来,中国经济一直高速发展,城镇化率大幅提高,截止2017年中国城镇化率达到了58.52%,而能源消耗已达44.9亿吨标准煤是2000年的3.06倍。经济快速发展,城镇人口快速增加,对自然资源、生态环境产生了巨大影响。十九大提出了要建设生态文明,要推进绿色发展,要建设人和自然和谐共生的现代化。人和自然的和谐共生就是要正确处理人的发展与资源环境开发和利用问题,要把人对自然环境资源的影响进行控制在其承载力以内。《国家新型城镇化发展规划2014-2020》指出,传统粗放的城镇化模式会导致资源环境恶化,社会矛盾增多的风险,要走低碳、环保、绿色的城镇化模式,要实行最严格的生态保护机制,走一条生态环境优良,人口与经济布局合理,区域发展协调的新型城镇化道路^[1]。

新型城镇化的“新”指的是不同于以往的新的城镇化模式和目标,新型城镇化更多的是强调高效率的经济增长,城镇化由外延式转为内涵式发展,人和环境更加友好^[2]。国际关于城镇化质量评价的文献比较少,如ZHOU等建立了一个比较完整的综合指标体系都杭州湾城市群的城镇化质量进行了评价,取得了较好的效果^[3]。吕丹等认为公共服务应该是新型城镇化的重要部分,并构建了有别于其他文献的评价体系^[4]。

生态环境可持续发展能力对社会经济发展、城镇化具有相互影响力,可持续发展能力强,生态环境承载力大能促进社会经济发展,为城镇化建设提供物质基础,反之将面临巨大的环境约束。所谓城镇化与生态环境的耦合,就是指城镇化建设与生态环境之间产生的相互作用,互相影响的现象^[5,6]。研究发现社会经济发展、城镇化发展速度具有明显的慢-快-慢的特征,而生态环境与城镇化的相互作用的演变规律可以用城镇化与生态环境在时间序列上的耦合关系来揭示,城镇化与生态环境的耦合过程基本可以分为低水平协调、拮抗、磨合、高水平协调四个阶段^[1]。

生态环境好坏可以用生态环境可持续发展能力表征。生态环境可持续发展能力的评价主要有以下几种:第一,是基于系统理论的驱动力-状态-响应评价方法^[7];第二,是基于环境货币化估值理论的评估方法^[8];第三,是生态足迹法^[9,10]。1999年徐中民等^[11]学者将生态足迹概念引入中国,很快得到中国研究机构和有关学者的关注,谢高地、谭伟文、陈

成忠等^[12-14]就相关理论和应用评价开展了系列研究。但是无论是基于价值流,还是物质都存在着不能简单进行加减,人为因素影响比较大的问题。20世纪80年代能值理论的出现为生态系统的定量研究提供了全新的途径。

本文基于能值生态足迹法测算广西2007-2017年间的生态足迹和生态承载力,进而评价广西的城镇化的可持续性,而后构建城镇化质量评价体系评价广西城镇化质量,再分析广西城镇化质量与生态环境可持续发展的耦合关系,以促进广西新型城镇化建设科学健康发展。

2 研究区概况

广西是中国西南重要的出海口,东与广东省毗邻,南临北部湾并与海南省隔海相望,西接云南,东北与湖南接壤,西北靠贵州省,西南与越南接壤。辖14个地级市,区域土地面积23.76万平方千米,管辖北部湾海域面积约4万平方千米。广西属亚热带季风气候,气候温暖,雨水丰沛,光照充足,平均年日照时数1540.4小时,年平均降水量1806毫米。广西山地多,山地、丘陵和石山面积占总面积的69.7%,2017年耕地面积438.74万公顷,人均耕地0.078公顷。广西属于欠发达的少数民族自治区,是全国少数民族人口最多的省(区)。2017年底,广西人口5600万,城镇人口率49.21%,GDP为20196.25亿元,增长了7.3%,为广东的22%,人均41955元,为广东的51%。2017年广西粮食种植面积2976.2公顷,占全国的22%,粮食产量1467.7万吨,只占全国的2.3%。2017年全区农村贫困人口246万占总人口的4.3%,有33个国家贫困县。近年来随着广西社会经济快速发展,环境污染问题、生态破坏问题日趋严重,如何实现人和自然环境的协调发展已经成为广西面临的急待解决的重大问题。

3 研究方法

3.1 生态足迹理论

生态足迹是指能持续提供资源和消纳废物,具有生物生产力的地域空间,是人类生存所消耗的所有物品的生物生产面积,也称为“生态占用”。生态足迹的核算就是将人类活动对资源的利用程度,按特定方法折算成土地面积,以此来评价资源环境利用程度和未来发展对资源环境的压力。生态承载力是指特定环境条件下(主要指生存空间、营养物质、阳光等生态因子的组合),某种个体存在数量的最高极限。

它是生态系统的自我维持与自我调节,对资源与环境子系统的供容能力,主要是指生态系统的弹性大小;另一方面是指生态系统内社会经济子系统的发展能力,是生态系统可维持的社会经济规模和具有一定生活水平的人口数量,为生态承载力的压力部分。生态承载力、生态足迹是以生物生产所需土地面积来测度。通过比较二者所需土地面积大小,就可以评价地区的资源环境可持续发展能力。如果生态足迹大于生态承载力即是“生态赤字”,反之则产生“生态盈余”^[14]。传统生态足迹模型主要包括三个:生态足迹模型,生态承载力模型和生态赤字或是盈余模型。

能值生态足迹模型^[15-16]把能值分析与传统生态足迹分析相结合,将各种形式的能量流按统一的能值标准转化为能值来衡量,有效弥补了传统生态足迹模型存在的计算因子选取口径不一致,土地类型功能划分单一等不足。其模型如下:

$$Eef = N \cdot ef = N \cdot \sum_{i=1}^n \frac{ci}{p} \quad (1)$$

式中: Eef 为能值生态足迹 (hm^2); N 指人口数; ef 为均能值生态承载力 (hm^2); e 为可更新资源的人均太阳能值 (sej); p 为区域平均能值密度 ($sej \cdot hm^2$), 指区域可更新资源总能值与区域土地面积的比值^[17]。

改进后的能值生态承载力模型为:

$$Eec = N \times ec = \frac{P_1}{P} \times 0.88 \quad (2)$$

式中: Eec 表示能值生态承载力; N 表示人口数量; ec 表示人均能值生态承载力; P_1 为人均区域能值密度; P 为全球均能值密度; 常数 0.88 为根据世界环境与发展委员会的报告, 扣除 12% 的生物多样性的修正系数^[18]。

将计算出来的生态足迹与生态足迹进行对比得到生态赤字或者生态盈余, 进而评估研究区域的可持续发展状况。

3.2 耦合度模型

通过借鉴物理学容量耦合和容量系数耦合再推广到多个系统耦合模型^[1]。

$$C_n = \left\{ (u_1 \times u_2 \times u_3 \cdots u_m) / [\prod (u_1 + u_2)] \right\}^{1/n} \quad (3)$$

为了分析城镇化与生态环境的耦合度,对模型进行简化模型为:

$$C = \left\{ (f(x) \times g(y)) / \left[\frac{(f(x)+g(y))}{(f(x)+g(y))} \right] \right\}^{1/2} \quad (4)$$

式中: c 是耦合度; u 是指标体系中各指标值; $f(x)$ 为城镇化质量指标体系函数; $g(y)$ 为生态环境承载力指标体系函数。

本文借鉴刘耀彬等^[19]在城镇化与生态环境耦合度的研究成果,对耦合度值的类型划分如下: ① $C = 1$; ② 当 $C = 0$; ③ $0 < C \leq 0.3$; ④ $0.3 < C \leq 0.5$; ⑤ 当 $0.5 < C \leq 0.8$; ⑥ 当 $0.8 < C < 1$, 因为篇幅有限,这里不对具体含义做说明,可以参见文献^[19]。

3.3 耦合协调度模型

耦合度 C 能够很好的反映城市化与生态环境耦合的程度,对揭示两者的耦合作用强度,预警二者发展关系具有很强意义。但是 c 值也存在不足,特别是多目标对比情况下,其指示作用不明显,为此本文构建城镇化质量与生态环境耦合协调度模型,来揭示二者的协调程度^[20]。

$$D = (C \times T)^{1/2} \quad (5)$$

$$T = af(x) + bg(y) \quad (6)$$

式中 D 为耦合协调度; T 为城镇化质量与生态环境综合承载力综合指数,它反映城镇化质量与生态环境承载力的协同效应; a, b 为待定系数,本文取 $a=b=0.5$ 。

我们采用了刘耀彬等^[19]的研究成果,将耦合协调度可划分为: 1) $0 < D \leq 0.4$, 为低度协调耦合; 2) $0.4 < D \leq 0.5$, 为中度协调耦合; 3) $0.5 < D \leq 0.8$, 为高度协调耦合; 4) $0.8 < D < 1.0$, 极度协调耦合。

3.4 数据来源及处理

本文数据主要来源于《广西统计年鉴 2008-2018》、《广西统计公报 2008-2018》、《中国统计年鉴 2008-2018》,为了解决不同指标的单位不一致,对生态承载力数据进行标准化处理,指标体系按照 AHP 层次分析法,根据不同指标的重

要性赋予不同权重。标准化公式为：

$$X=(X-\min)/(\max-\min) \quad (7)$$

3.5 指标体系构建

计算能值生态足迹时，主要包括两类指标生物类和能源类指标，一般包括农产品、林产品、水产品、动物产品、能源产品，根据广西能源消耗的特点，本文选取了共计28项指标，主要包括需要耕地生产的（稻谷、大豆、玉米、薯类、油菜籽、麻类、甘蔗、烟叶、蔬菜、猪肉）；林地生产的（木薯、茶叶、水果、蜂蜜、蚕茧）；牧草地生产的（牛肉、羊肉、禽肉、牛奶、禽蛋）；水域生产的水产品；能源指标主要包括化石能源用地的（煤炭、汽油、柴油、煤油、液化石油气、煤气）；建筑用地包括电力。

根据已有的研究成果，我们以效率—水平模型为基础，构建城镇化水平和城镇化效率两个二级指标，17个三级指标。而生态环境承载力指标参照刘耀斌¹、马利邦²、张引等^{11,19,20}建立的指标体系，构建了生态环境水平、生态环境压力、生态环境保护等3个二级指标，11个三级指标。

4 结果分析

4.1 广西能值生态足迹、生态承载力分析

根据公式（1）、（2）计算了广西2007-2017年间的能值生态足迹和能值生态承载力，计算涉及的太阳能值转换率

来自《生态经济系统能值分析》，各类产品的能值系数来自陈阜¹²⁴、骆世明¹²⁵等研究成果。

从表1可以看出，广西能值生态足迹总体呈上升趋势，人均能值生态足迹从2007年的3.67hm²增长到2017年的4.61hm²增长了25.26%。10年间大致可以分3个阶段，第一阶段2007到2013年，能值生态足迹增长较快，呈加速增长趋势；第二阶段是2014-2015年，能值生态足迹比2013年有所降低，第三阶段是2016-2017年，能值生态足迹又呈加速增长态势。由各土地类型可以看出，耕地、牧草地均保持一定增长而化石能源用地是广西能值足迹的主要组成部分，其中化石能源占到47%以上。国家实施西部大开发以来，广西经济保护快速发展，城市化水平也在不断增加，人民生活水平、消费结构都发生很大变化，化石能源消费也快速增加²¹⁻²³。2007年以来化石能源的消费是广西生态足迹的重要影响因素。也说明广西经济发展化石能源消费增长是主要因素。反映出广西经济发展对化石能源的依赖比较大，

广西未来城镇化面临着比较大的环境压力。

根据公式（2）计算了广西2007-2017年能值生态承载力变化。计算中采用通用的全球平均能值密度3.10x10¹⁴J/hm²，可更新资源主要包括太阳辐射能、风能、雨水化学能、雨水势能、地球旋转能，为了不重复计算广西可更新资源能量，本文取不同能量的最大值，也就是雨水化学能，这主要是广

表1 广西2007-2017年能值生态足迹演化表

项目	太阳能值										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
耕地 (×10 ²³)	1.06	1.10	1.08	1.05	1.08	1.15	1.19	1.20	1.19	1.21	1.23
林地 (×10 ²³)	0.29	0.28	0.32	0.35	0.39	0.42	0.45	0.08	0.08	0.58	0.64
牧草地 (×10 ²³)	1.35	1.38	1.40	1.40	1.47	1.57	1.64	1.28	1.27	1.79	1.86
水域 (×10 ²³)	0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08
化石能源用地 (×10 ²³)	2.76	2.80	2.84	2.86	3.00	3.19	3.34	2.62	2.62	3.65	3.80
建筑用地 (×10 ²³)	0.18	0.20	0.23	0.25	0.25	0.30	0.33	0.34	0.35	0.36	0.38
能值总量 (×10 ²³)	5.69	5.81	5.92	5.97	6.25	6.69	7.00	5.59	5.58	7.67	7.99
区域能值密度 (×10 ¹⁸)	2.41	2.45	2.50	2.52	2.64	2.82	2.96	2.65	2.36	3.24	3.37
区域面积 (×10 ⁵)	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67	23.67
全球平均能值密度 (×10 ¹⁴)	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
生态足迹 (×10 ⁹)	1.84	1.87	1.91	1.93	2.02	2.16	2.26	1.80	1.80	2.47	2.58
人均生态足迹 hm ²	3.67	3.71	3.75	3.73	3.88	4.12	4.28	3.30	3.26	4.45	4.61

西降雨量大, 雨水资源丰富。然后计算关系生态承载力和人均生态承载力见表 2。

从表 2 可以看出太阳辐射能、风能变化不大, 由于地球旋转能数据没法获得, 根据文献地球旋转能也比较小, 因此本文没有列出地球旋转能。从表 2 可以看出广西能值生态承载力有一定波动, 最小的是 2011 年人均生态承载力 1.27hm^2 最高的是 2008 年, 人均生态承载力 1.86hm^2 。广西今后需加强雨水资源的保护利用, 以获得比较大的区域生态承载力。

计算出广西的能值生态足迹和生态赤字后, 然后用生态足迹减去生态承载力就可以得出广西生态赤字水平, 具体见表 3。

从表 3 可以看出, 生态广西生态赤字呈增长趋势, 由 2007 年的人均赤字 2.01hm^2 增长到了 2017 年的 2.96hm^2 虽然

在 2014、2015 年人均赤字有所降低, 但 2016 年开始又保持了一定的增长。从数据可以看出, 广西生态赤字水平相对较高, 最少赤字水平的 2015 年也占到了生态承载力的 82%, 生态赤字最高的 2017 年, 生态赤字水平超过了生态承载力的 179%, 说明广西近 10 年的经济快速发展, 一定程度上是牺牲了生态环境, 今后要继续发展, 需要改变传统增长模式, 更要加强生态环境保护, 要发展环境友好型经济。

根据徐中明^[26]、斯蔼^[27] 等对生态赤字的等级划分, 将生态赤字划分为 5 个等级, 具体见表 4。根据表 4 的等级表可以看出广西 2008 年、2013 年及 2014 年为生态为不可持续,

其余年份生态为强不可持续, 说明广西人地关系比较紧张, 生态环境保护的压力很大, 而且这种趋势还在增加。

表 2 广西 2007-2017 年能值生态承载力变化表

可更新资源	太阳能值转化	年份					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
太阳辐射能	1	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21
风能	6.63×10^2	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15
雨水化学能	1.54×10^4	2.93097E+22	3.31889E+22	2.29341E+22	2.77652E+22	2.33472E+22	2.99921E+22
雨水势能	8.89×10^3	1.4596E+22	1.65278E+22	1.1421E+22	1.38268E+22	1.16267E+22	1.49358E+22
生态承载力 hm^2		5.85959E+18	6.57336E+18	4.50395E+18	5.38189E+18	4.4907E+18	5.72369E+18
人均生态承载力 hm^2		1.66	1.86	1.27	1.28	1.27	1.63
可更新资源	太阳能值转化	年份					
		2013	2014	2015	2016	2017	
太阳辐射能	1	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	1.18E+21	
风能	6.63×10^2	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	5.71E+15	
雨水化学能	1.54×10^4	3.03872E+22	2.94174E+22	3.47873E+22	2.98125E+22	3.25064E+22	
雨水势能	8.89×10^3	1.51326E+22	1.46496E+22	1.73238E+22	1.48464E+22	1.61879E+22	
生态承载力 hm^2		5.75298E+18	5.37305E+18	6.30433E+18	5.34371E+18	5.80472E+18	
人均生态承载力 hm^2		1.63	1.53	1.79	1.52	1.65	

表 3 2007-2017 年广西人均能值生态赤字计算表

项目	年份										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
人均生态足迹 hm^2	3.67	3.71	3.75	3.73	3.88	4.12	4.28	3.30	3.26	4.45	4.61
人均生态承载力 hm^2	1.66	1.86	1.27	1.28	1.27	1.63	1.63	1.53	1.79	1.52	1.65
生态赤字 hm^2	2.01	1.85	2.48	2.45	2.61	2.49	2.65	1.77	1.47	2.93	2.96

表 4 生态可持续评价等级表

评价等级	可持续	弱可持续	弱不可持续	不可持续	强不可持续
生态赤字 / 盈余 ED	$ED \geq 0.414$	$0 \leq ED \leq 0.414$	$-0.995 \leq ED \leq 0$	$-1.99 \leq ED \leq -0.995$	$ED \leq -1.99$

4.2 新型城镇化与生态环境耦合分析

选取广西 2007-2017 年新型城镇化质量和生态环境 28 个 3 级指标, 利用 AHP 层次分析法并结合张引^[2]等成果进行适当调整, 确定各要素的权重见表 4, 然后计算广西 2007-2017 年间的新型城镇化质量综合指数和生态环境承载力综合指数, 并根据公式 4、5、6 分别计算新型城镇化质量与生态承载力协调度 耦合度、协调度。

从表 5、图 1 可以看出 广西在 2007 年 -2017 年的 10 年间新型城镇化指数总体保持增长趋势, 但是呈现出一定的波动, 新型城镇化指数最小的 2007 年为 0.3731, 随后稳步上升, 到 2012 年最高为 0.6789, 随后又有一定降低, 到 2017 年新型城镇化指数为 0.5081。说明广西至国家实施西部大开发以来, 经济保持了比较高的速度发展, 广西加大城镇化建设力度, 城镇基础条件、城市社会服务, 城市环境得到了很大改

善, 城镇化建设速度比较快, 但是广西属于欠发达地区, 城镇化建设质量并不高, 城镇化建设还主要以外延式发展为主, 停留和周边其他省份相比差距比较明显。

从生态承载力指数看, 广西生态承载力比较大, 而且成上升趋势, 反映广西生态环境相对比较良好, 但是随着城镇化建设不断发展, 广西生态环境保护的压力也会越来越大。

从协调度指数 C 来看, 2007 年 C 值在 $0.3 < C \leq 0.5$ 阶段, 此阶段说明广西城镇化与生态环境处于拮抗阶段, 开始进入快速发展期, 生态环境受到破坏, 承载力有所下降; 2008 年协调度指数 C 为 0.8089 低于 0.9, 其余隔年均超过 0.96, 2008 年至 2017 年 C 均大于 0.8 小于 1, 说明广西从 2008 年开始城镇化开始得到较快发展, 城镇化建设质量有所提高, 城镇化建设与生态环境进入高耦合阶段。从协调发展指数 D 来看, 2007 年到 2017 年也呈现出稳步上升趋势, 其中 2007 年 D 值

表 5 新型城镇化质量和生态环境指标权重表

一级指标	二级指标	三级指标	权重	指标属性	
城镇化质量 x	城镇化水平 x1	常住人口城镇化率 x11	0.098	正指标	
		城镇建成区占比 x12	0.098	逆指标	
		非农产业产值 GDP 占比 x13	0.098	正指标	
	城镇化效率 x2	万元 GDP 能耗 x201	0.048	逆指标	
		单位劳动力产值 x202	0.048	正指标	
		R&D 投入 GDP 占比 x203	0.052	正指标	
		土地产出率 x204	0.057	正指标	
		人均中国生产总值 x205	0.042	正指标	
		二、三产业从业人员比 x206	0.039	正指标	
		义务教育普及率 x207	0.05	正指标	
		城乡医疗、养老保险覆盖率 x208	0.05	正指标	
		污水处理率 x209	0.04	正指标	
		垃圾集中处理率	0.04	正指标	
		城市首位率 x210	0.077	逆指标	
城乡居民收入比 x211	0.074	逆指标			
生态环境 y	生态环境水平 y1	乡村信息化覆盖率 x212	0.037	正指标	
		建成区绿地覆盖率 x213	0.053	正指标	
		森林覆盖率 y11	0.092	正指标	
		人均公园绿地面积 y12	0.066	正指标	
		人均耕地面积 y13	0.089	正指标	
		人均水资源量 y14	0.086	正指标	
		生态环境压力 y2	人均工业废水排放 y21	0.056	逆指标
			人均工业废气排放 y22	0.044	逆指标
			人均工业固体废弃物排放 y23	0.047	逆指标
			万元产值能源消耗量 y24	0.186	逆指标
		生态环境保护 y3	工业废水排放达标率 y31	0.076	正指标
			工业固体废物综合利用率 y32	0.054	正指标
			环保投资占 GDP 比重 y33	0.203	正指标

表 6 2007-2017 年广西新型城镇化质量与生态承载力综合指数及协调度值

项目	年份										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
新型城镇化质量指数	0.3731	0.5037	0.5154	0.6535	0.5675	0.6789	0.6740	0.5553	0.6398	0.5253	0.5081
生态承载力指数	0.0207	0.1307	0.3091	0.4045	0.4591	0.5514	0.6055	0.7342	0.7618	0.8055	0.8887
协调度 C 值	0.4463	0.8089	0.9682	0.9719	0.9944	0.9946	0.9986	0.9903	0.9962	0.9776	0.9622
综合评价指数 T	0.1969	0.3172	0.4122	0.5290	0.5133	0.6151	0.6397	0.6447	0.7008	0.6654	0.6984
协调发展度指数 D	0.2964	0.5065	0.6318	0.7171	0.7144	0.7822	0.7993	0.7991	0.8355	0.8065	0.8197

为 0.2964, 属于低度的协调耦合阶段; 2008 年-2014 年 D 值大于 0.5 小于 0.8, 说明广西这几年的城镇化和生态环境承载力高度协调耦合; 2015-2017 年 D 值大于 0.8 小于 1, 说明广西城镇化和生态环境承载力极度协调耦合。反映出广西在城镇化过程中比较好的保护了生态环境。说明广西近年来植树造林、加强城市污水处理、加强耕地保护、做大做强高科技企业等政策取得了较好的效果。尽管广西新型城镇化建设质量有待提高, 但是与生态环境承载力比较协调。

5 结论

本文基于能值生态足迹理论并利用耦合协调度分析法, 计算了广西 2007-2017 年以来的能值生态足迹和能值生态承载力, 然后构建了新型城镇化和生态环境承载力指标体系, 计算了广西新型城镇化和环境承载力的耦合协调度。研究显示:

第一, 广西 2007 年以来能值生态足迹呈快速增长趋势, 人均生态足迹从 2007 年的 3.67hm² 增长到了 2017 年的 4.60hm²。从能值生态足迹构成来看, 主要是化石能源用地、牧草地和耕地, 其中化石能源用地的太阳能值占绝大部分。以上表明广西 2007 年以来的社会经济、城市发展主要是以过量消费化石能源为代价, 而且由于社会经济发展及人民生活水平提

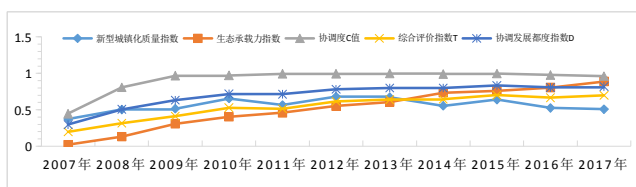


图 1 2007-2017 年广西新型城镇化质量与生态承载力综合指数及协调度趋势

高, 对粮食和肉类的消耗有了快速增长, 这是广西能值生态足迹增长的主要原因, 另外广西人口有 2007 年的 5002 万增长到了 2017 年的 5600 万人, 10 年增长了 12%, 人口增长也是生态足迹增长另一个重要原因。广西 2007 年至 2017

年人均能值生态承载力在 1.28hm² 到 1.79hm² 间波动, 人均生态承载力波动量是 2007 年的 39%, 10 年间生态承载力没有出现巨大增长, 广西生态承载力大小主要是雨水化学能, 与关系年降雨量密切相关。广西 2007-2017 年间生态赤字增长了 47%, 增到了 2017 年的 2.95hm²。

根据生态评价评价等级, 广西生态处于强不可持续阶段。广西从国家实施西部大开发战略以来经济保持了快速发展, 从 2002 年一直到 2013 年均实现了两位数的增长, 2014 年至今经济增速有所放缓, 但任然在 7% 以上, 广西经济快速发展, 城镇化进程的加快主要是以大力发展工业, 扩大城市规模, 以消耗过量的化石能源为代价, 对生态环境产生了很大破坏。广西还是农业大省, 农业发展水平低, 农业生产效率不高, 主要还是靠土地面积来获得产量。广西人口增长也是广西人均能值生态足迹、生态赤字的重要影响因素, 广西城镇化面临着比较大的环境压力。今后广西的发展要坚持绿色发展的理念, 要着力降低对化石能源的过度消费, 同时要加大农业科技投入, 提高农业生产效率, 努力提高粮食、养殖等的单产, 同时还要处理好人口发展和社会经济、城市发展的关系, 城镇化建设要更加注重生态环境保护, 走内涵发展的城镇化。

第二, 广西新型城镇化指数从 2007 年到 2012 年增长趋势比较明显, 在 2012 年达到最高达 0.6789, 此后指数开始降低, 降至到 2017 年的 0.5081。广西新型城镇化质量指数和经济发展有密切关系, 2007 年-2013 年新型城镇化指数增长明显恰好也是广西经济快速发展的几年, 这几年广西实现了每年 10% 以上的增长, 2014 年以来广西新型城镇化质量指数有所降低, 同时广西经济增速也有所减缓。说明广西新型城镇化建设还处在早期阶段, 此阶段城镇化主要驱动力是经济保持高速发展, 此阶段城镇化主要是城市规模的扩展, 城镇人口快速增加, 但往往以牺牲环境为代价。今后广西新型城镇化要实现更高水平的发展, 需要更加注重城镇化质量, 统筹

城市、人口、环境的关系。

第三, 广西新型城镇化和生态环境协调度 C 值及协调发展度 D 值反映出广西在 2007 年新型城镇化与生态环境是低协调耦合, 随着社会经济和城镇化发展, 两者耦合度在快速增加, 2014 年以来二者高度协调耦合。反映出广西城镇化建设过程中已经能够比较好的处理城镇化、生态环境的关系, 能够加强工业污染的防治, 加强处理工业和生活废水, 能够采用新技术保护改善环境, 也反映了广西人民环境保护意思的增强。

第四, 广西从 2007 年以来经济高速发展, 城镇化进程加快, 然而城市规模的简单面积扩展, 城镇化带来的生活方式的改变, 建设用地、交通用地、工矿用地快速增加, 耕地需求增加, 导致了园地、林地快速转为建设用地、交通用地、工矿用地和耕地, 资源过度开发, 环境的破坏。未来广西的发展必须重视资源合理开发, 要提高资源利用效率, 要节约集约利用土地资源, 保证生态用地需求。要大力提升每个人的保护生态环境意识, 加强对可更新资源的开发利用, 包括雨水资源、太阳能等, 提高广西的生态承载力, 不断增强广西城镇化的可持续性。

6 结语

本文计算了 2007–2017 年间广西壮族自治区的能值生态足迹和能值生态承载力, 并计算了生态赤字水平, 然后构建了新型城镇化质量和生态环境可持续能力指标体系, 并计算广西城镇化和生态可持续发展的协调度水平。本文的结论可以为广西城镇化建设提供一定的参考, 但城镇化与可持续发展只从协调度进行评价还不够, 还需要从更多的方面继续深入研究。

参考文献

[1] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析 [J]. 地理学报, 2016(05), 71(5): 817–828.

[2] 张引, 杨庆媛, 李闯, 等. 重庆市新型城镇化发展质量评价与比较分析. 经济地理, 2015, 35(7): 79–86.

[3] Zhou D, Xu J, Wang L, et al. Assessing urbanization quality using structure and function analyses: A case study of the urban agglomeration around Hangzhou Bay (UAHB), China. *Habitat International*, 2015, 49: 165–176.

[4] 吕丹, 叶萌, 杨琼. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦

合分析重构. 财经问题研究, 2014(9): 72–78.

[5] 冯维波. 城市化发展与生态环境质量的内在逻辑. 水土保持研究, 2007(1): 92–94.

[6] 方创琳, 黄金川, 步伟娜. 西北干旱区水资源约束下城市化过程及生态效应研究的理论探讨. 干旱区地理, 2004, 27(1): 1–7.

[7] ADRIAANSE A. Environmental policy performance indicators[M]. Uitgeverij, The Hague: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands, 1993.

[8] 仇蕾, 崔韵文. 江苏省生态足迹动态分解及区域差异 [J]. 长江流域资源与环境, 2018(06), 27(6): 1388–1396.

[9] R EES W E, WACKER NAGEL M. Urban ecological footprint: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability [J]. *Environmental impact assessment review*, 1996(1): 224 – 248.

[10] WACKER NAGEL M. R EES W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economies from an ecological footprint perspective [J]. *Ecological economic*, 1997(20) : 3 – 4.

[11] 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(5) : 607 – 616.

[12] 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): 189–196.

[13] 谭伟文, 文礼章, 全宝生, 等. 生态足迹理论综述与应用展望 [J]. 生态经济, 2012(6) : 173 – 181.

[14] 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.

[15] 王建源, 陈艳春, 李曼华, 等. 基于能值分析的山东省生态足迹 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1505 – 1510.

[14] 李扬, 汤青. 中国人地关系及人地关系地域系统研究方法述评 [J]. 地理研究, 2018, 37(8): 1655–1670.

[15] Pereira L, Ortega E. A modified footprint method: The case study of Brazil. *Ecological Indicators*, 2012, 16: 113–127.

[16] Siche J, Agostinho F, Ortega E, et al. Sustainability of nations by indices: Comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the emergy performance indices. *Ecological economics*, 2008, 66(4): 628–637.

[17] 张芳怡, 濮励杰, 张健. 基于能值分析理论的生态足迹模型及应用—以江苏省为例 [J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 653–660.

- [18] 杨灿, 朱玉林. 基于能值生态足迹改进模型的湖南省生态赤字研究 [J]. 2016, 26(07): 37-45.
- [19] 刘耀彬, 宋学峰. 城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究. 中国矿业大学学报, 2005, 34(1): 91-96.
- [20] 马利邦, 牛叔文, 李怡欣. 甘肃省城市化与生态环境耦合的量化分析. 城市发展研究, 2010, 17(5): 52-58.
- [22] 邓晓军, 陆永权等. 2004-2010年广西能值生态足迹动态分析 [J]. 广东农业科学, 2013, 16(016): 167-170.
- [23] 蓝盛芳, 钦佩. 生态经济系统能值分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [24] 陈阜. 农业生态学教程 [M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [25] 骆世明. 农业生态学教程 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- [26] 徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年生态足迹分析 [J]. 土壤学报, 2002, 39(3): 441-445.
- [27] 斯蔼, 汤洁, 王娟等. 基于生态足迹模型的可持续性度量研究——以吉林省大安市为例 [J]. 经济地理, 2005, 25(06): 757-760.