

# 市域生态足迹时空结构及演进机制研究

——以武汉市为例

徐艳飞

(江汉大学 武汉研究院, 武汉 430056)

**摘要:**以1990—2013年的统计数据为基础,首先测度武汉生态足迹的时空结构,然后基于STIRPAT模型采用岭回归方法剖析武汉生态足迹的影响因子及演进机制。研究发现:第一,武汉生态足迹逐年增加,长期处于生态赤字状态,尤其在2001年以后生态赤字逐年扩大。第二,在武汉13个区中,青山区的生态足迹最大,是武汉生态压力的主要来源地。第三,工业化、第三产业发展、固定资产投资和人口规模增加均会扩大生态足迹,收入水平的增加能有效降低生态足迹,缓解生态压力。从目前生态足迹与经济的关系看,经济增长对生态系统的制约效应尚处于主导地位。今后生态治理须以青山区为重心;推动以重工业为主的产业结构调整 and 升级;积极倡导生态理念减缓生态足迹,加快生态压力拐点的提早到来。

**关键词:**生态足迹;生态账户;时空结构;演进机制

**中图分类号:**X22;F205 **文章标识码:**A **文章编号:**1006-6152(2016)05-0069-07

**DOI:**10.16388/j.cnki.cn42-1843/c.2016.05.009

## 一、引言

改革开放以来,经济的高速增长给人们带来了丰富的物质享受。与此相伴的是,环境污染日趋严重,生态系统日益脆弱,已经难以承受人类高投入、高消耗、高排放的线性经济运行模式。在此背景下,可持续发展理论应运而生并不断得到普及。20世纪90年代,由加拿大生态经济学家Rees提出,Wackenagel进一步发展的生态足迹分析方法得到推广,并在不同国家和地区层面广泛应用。依照生态足迹模型,刘建兴等对中国1961—2001年生态足迹的构成及其变迁的研究发现,我国从1970年代初开始,生态系统就处于超负荷状态,能源和耕地在生态足迹中占主要份额<sup>[1]</sup>。更多学者针对我国不同地区测算生态足迹的变迁,研究结果均得出生态足迹增长高于生态承载能力,生态赤字逐年增加<sup>[2-3]</sup>。

近些年来,很多学者采用计量模型剖析生态足迹的影响因素,发现不同地区生态足迹的影响因子差异比较明显。吴开亚、王玲杰采用偏最小二乘回

归模型分析安徽省1990—2003年生态足迹的影响因子,研究得出影响生态足迹的因子依照影响程度大小依次为人口、GDP、固定资产投资和居民消费支出<sup>[4]</sup>。肖思思等基于PLS修正的STIRPAT模型甄别江苏省生态足迹变化的驱动因素,各驱动因素的重要性排序为城市化率>人均GDP二次项>一二产业产值占总产值比重>人均GDP>城市化率二次项>总人口>一二产业产值占总产值比重二次项<sup>[5]</sup>。

从已有文献来看,存在以下两个方面不足:已有研究生态足迹的区域多为省区或地级市等宏观或中观区域,缺乏从更微观的县级区域测算生态足迹的变迁;二是研究主题主要集中在生态足迹的变迁及其影响因素,缺乏对区域生态足迹演进机制的深入剖析。武汉市作为中部地区唯一的区域中心城市,既是长江中游城市群的发动机和增长极,也是全国资源节约型和环境友好型社会建设综合配套改革试验区。目前,对武汉市生态足迹的研究相对不足,缺乏从生态足迹的时间序列和空间格局探

收稿日期:2016-05-10

本刊网址·在线期刊:<http://qks.jhun.edu.cn/jhxs>

基金项目:武汉市社会科学界联合会定向立项课题“武汉生态足迹时空结构及其演进机制研究”(20141207)

作者简介:徐艳飞,男,湖北武汉人,江汉大学武汉研究院助理研究员,博士。

讨生态足迹的时空变迁,对其演进机制的研究更是欠缺。本文研究生态足迹的区域选择为武汉市,并将区域的解析尺度缩小到市辖区,这对政府的生态治理更具有实践意义,而且对其他城市也具有一定的借鉴参考价值。

## 二、武汉生态足迹时空结构

### 1. 计算方法及统计数据

生态足迹(Ecological Footprint)的计算是基于一个区域人口消费的资源 and 产生的废弃物的数量,将其转换成生产这些人口所消费的资源 and 吸纳产生的废弃物所需要的生物生产总面积<sup>[6]</sup>。全球生物生产性用地可以分为耕地、草地、林地、建筑用地、化石能源土地和水域六种类型。计算生态足迹时,首先将资源消费折算成相应的生产用地类型,最后通过均衡因子转化为统一的、可比较的全球土地生物生产面积。生态足迹、生态承载能力的测算方法借鉴已有研究成果<sup>[7]</sup>,在此不再列出。

本文统计数据主要来自《武汉统计年鉴》1991—2014年。本文生态足迹的计算包括生物资源消费和能源消费两种:生物资源消费品包括粮食、油料、水果、猪肉、禽肉、蛋类、水产品等7类;能源消费包括原煤、洗精煤、焦炭、原油、燃料油、汽油、柴油、煤油、炼厂干气、焦炉煤气、液化石油气、电力等。

均衡因子采用Global Footprint Network的数据<sup>[8]</sup>。借鉴已有研究成果<sup>[9]</sup>,产量因子和生物资源的世界平均单产取值:耕地、林地、草地和水域分别为1.66、0.99、0.19、1;粮食、油料、水果、猪肉、禽肉、蛋类和水产品的世界平均产量分别取2744Kg/hm<sup>2</sup>、1856 Kg/hm<sup>2</sup>、18000 Kg/hm<sup>2</sup>、74 Kg/hm<sup>2</sup>、400 Kg/hm<sup>2</sup>、400 Kg/hm<sup>2</sup>、29 Kg/hm<sup>2</sup>。

### 2. 武汉生态足迹时间序列

武汉生物资源消费的生态足迹演变见图1。1990—2013年,武汉人均生物资源消费生态足迹从0.466hm<sup>2</sup>增大到0.7hm<sup>2</sup>。其中,1990—2006年增幅较大;2007—2013年,生态足迹波动不大。随着经济社会的发展,满足居民基本生存需求的生物生产性土地面积大体保持平稳。

在人均生物资源消费生态足迹的构成中,粮食所占份额一直以来所占比重最高(图1):1990—2002年,粮食占比在60%—70%之间;2003—2013年,其比重在55%—60%之间。虽然粮食占比的变

化也遵循着恩格尔系数随着经济社会的发展而逐渐下降的这一规律,但在生物资源消费的生态足迹构成中仍然占据一半以上,处于主导地位。

工业化推进经济社会的发展,大大提高了人民的生活质量,但消耗大量能源污染环境,破坏自然生态的平衡。图2显示,能源消费生态足迹从1990年的人均1.026hm<sup>2</sup>增加到2013年的2.126hm<sup>2</sup>。其中,1990—2001年人均能源消费所占用的生态足迹大体保持平稳,在1hm<sup>2</sup>左右波动;2002年以后,人均能源消费生态足迹大幅上涨。

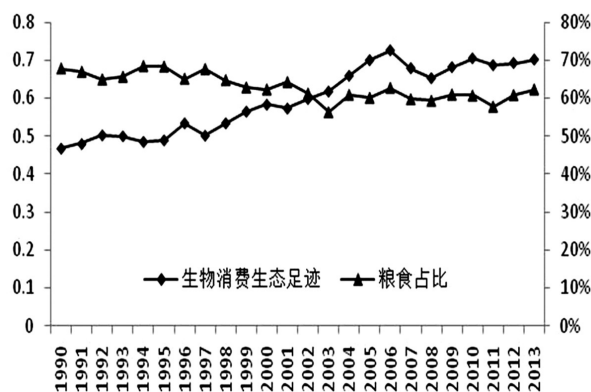


图1 生物资源消费生态足迹演变

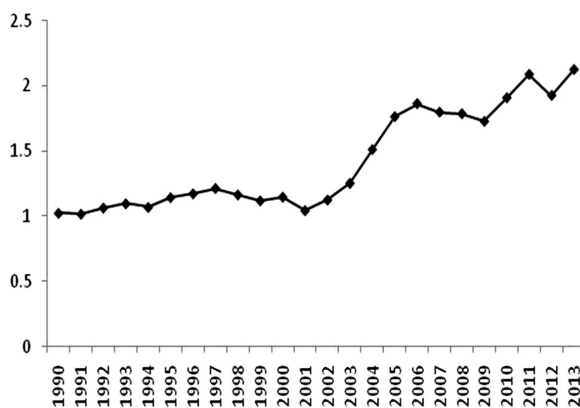


图2 能源消费占用的生态足迹演变

本文进一步测算代表年份1990年、1998年、2006年和2013年能源消费生态足迹的结构发现,原煤、洗精煤、焦炭一直是能源消费占用生态足迹的主要构成,这也与我国主要以煤炭为主的能源消费结构保持一致。

### 3. 武汉生态承载力时间序列

根据武汉耕地、林地和水域等的面积,本文计算了历年武汉人均生态承载力。从武汉人均生态承载力的演进图(图3)中可以看到,1990—2013年,武汉生态承载力逐年递减,从人均0.170hm<sup>2</sup>降至0.116hm<sup>2</sup>。

生态承载能力的结构显示,耕地面积是武汉生态承载力的主要来源。近些年来,城市化发展增加了建设用地占用面积,耕地面积逐年减少。2010年武汉耕地面积为240110hm<sup>2</sup>,到2013年下降到199440hm<sup>2</sup>。武汉人均生态承载能力下降主要源于人均耕地面积的持续减少。

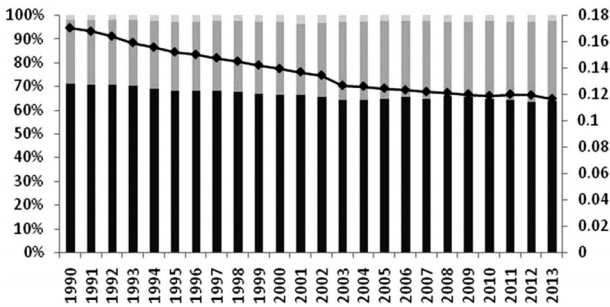


图3 武汉生态承载能力演进

生态足迹和生态承载力分别衡量了一定人口维持在某一物质消费水平下对生态生产性土地面积的需求和供给。从上文对武汉人均生态足迹和人均生态承载力的测算结果可以得出,武汉生态赤字日趋严重。1990年,武汉人均生态赤字为1.321hm<sup>2</sup>,到2013年,人均生态赤字扩大到2.710hm<sup>2</sup>。从生态赤字的演进均势看,2001年以后武汉生态赤字的增长速度加快。现有生产方式导致高环境污染、高资源消耗,使得生态系统处于越来越严重的超载状态。实现经济社会的可持续发展,必须转变生产方式。

4. 武汉生态足迹空间格局

鉴于数据的收集,本文收集了武汉13个区代表年份单位工业增加值能耗和工业增加值数据,估计出武汉各区工业能源消耗,进而可以折算出武汉各区人均能源生态足迹。从上文分析可知,武汉人均生态足迹包括生物资源消费和能源消费两种,能源消费的生态足迹占到整个生态足迹的70%左右。因此,本文计算出的武汉各区人均能源生态足迹也与各区人均整个生态足迹大体相当。

本文首先计算武汉13个区1993年、1998年、2006年和2013年人均生态足迹,然后采用SPASS统计软件基于欧氏距离K-Means聚类法进行聚类分析,最终得到生态足迹高值区、中值区和低值区三类。从武汉生态足迹的空间格局可以看到(图4):

青山区一直就是武汉生态占用的高值区,并且人均生态足迹远远高于其他市区,是武汉生态压力

的主要来源地;除青山区外,东西湖区和新洲区两地的生态足迹也很大;洪山区、江岸区、江汉区、硚口区、蔡甸区、汉南区的生态足迹处于中等位置;武昌区、汉阳区、江夏区的生态足迹一直保持在较低的水平。显然,生态足迹的空间格局与产业分布紧密关联。青山区是华中地区工业重镇,聚集了冶金、化工、电力、机械、船舶等重化工企业,生态压力最大。武昌区、江夏区是高等教育资源的聚集地,对资源、环境的破坏小,生态压力最轻。武汉的产业分布与生态足迹的空间格局耦合度很高,是不同产业造成生态压力的空间反映。

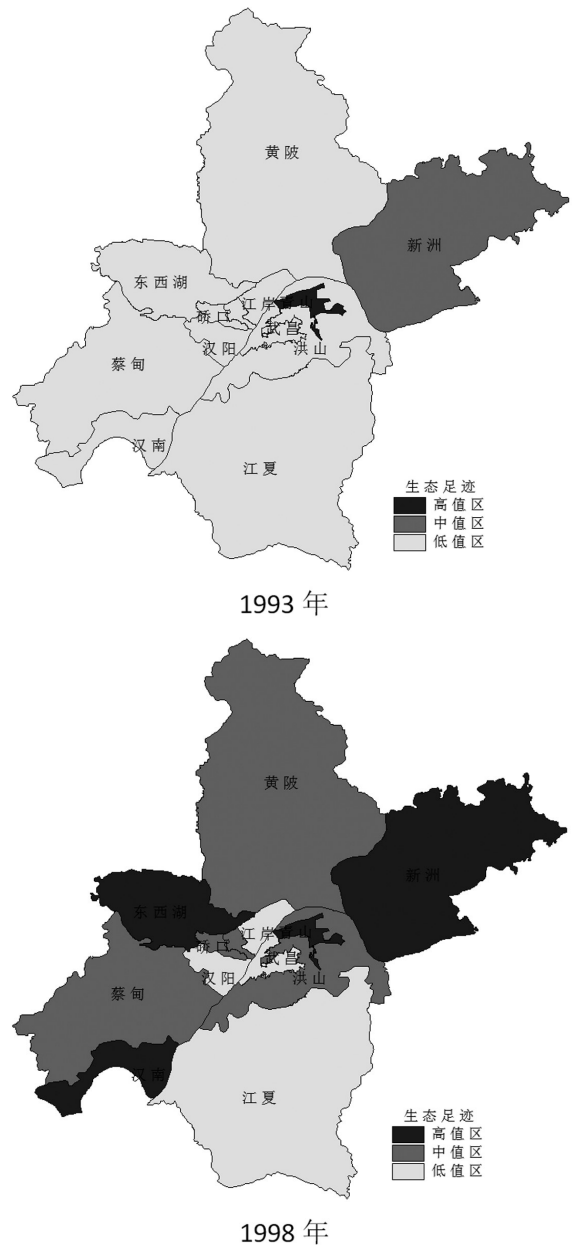
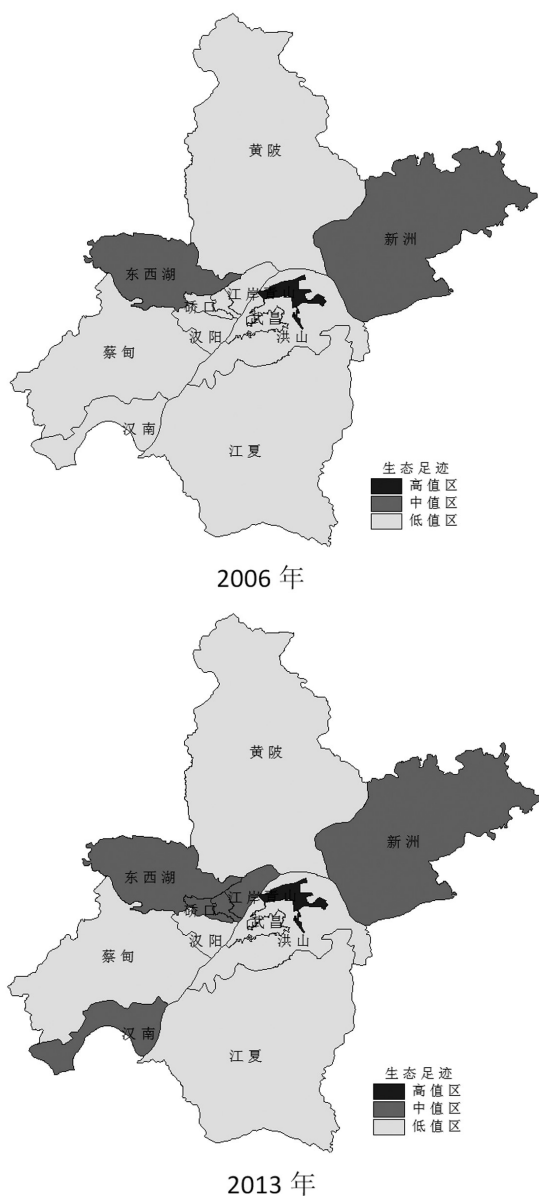


图4 武汉生态足迹空间格局





续图 4 武汉生态足迹空间格局

### 三、武汉生态足迹影响因素

#### 1. 模型设定

人类经济社会活动是影响生态足迹变化的主要驱动因素。早在 1971 年,由美国生态学家 Ehrlich 和 Holden 提出的“IPAT 模型”研究人口规模、富裕程度、技术水平对资源环境的影响。在此基础上, Dietz 等对此模型进行改进<sup>[10]</sup>,提出了 STIRPAT (stochastic impacts by regression on population, affluence and technology) 模型,即:

$$I = aP^\alpha A^\beta T^\gamma e \quad (1)$$

式(1)中,I 为环境压力,P、A、T 分别为人口规模、富裕程度和技术水平;a 为是该模型的系数;a、

b、g 分别表示人口规模、富裕程度和技术水平等人文驱动因素的指数;e 为随机误差项。

根据实践经验和已有研究成果,影响生态足迹除了上述三个驱动因素外,还有其他人文因素。将这些驱动因子纳入 STIRPAT 模型进行拓展,并将模型两边取自然对数转化为线性回归模型:

$$\ln EA = \alpha \ln popul + \beta \ln incom + \gamma \ln effc + \lambda varia + \varepsilon \quad (2)$$

式(2)中,EA 为本地生态账户余额,等于本地生态承载能力减去生态足迹。由上文可知,1990—2013 年,武汉生态账户余额均为负值,为了便于计量,本文此处取其绝对值,绝对值越大则表明本地生态欠账越多。popul 为本地年末人口数量。incom 为本地富裕程度,不同于其他研究文献采用人均 GDP 表征,本文采用城镇居民人均可支配收入衡量。effc 为地区生产效率,限于数据的收集,采用平均每万元工业总产值能源消费量衡量,数值越大生产效率越低。地区生产效率的内容主要包括因技术进步的硬件效率提升和制度、环境改善优化资源配置的软件效率提升两种。varia 为影响生态账户余额的其他变量,分别包括:indus 为地区产业结构,分别采用第一产业增加值(first)、第二产业增加值(second)和第三产业增加值(third)占地区生产总值的比重衡量;inves 为人均固定资产投资;urban 为城镇化水平,采用非农业人口占总人口的比重衡量。e 为模型残差。

经济类数据均以 1990 年为基期进行消膨:城镇居民人均可支配收入采用居民消费价格指数和商品零售价格指数消除物价因素的影响,两种物价权重分别为 0.5;固定资产投资数据采用固定资产投资价格指数进行缩减。

解释变量间的相关系数显示,城镇人均收入、生产效率和人均固定资产投资等解释变量存在较为严重的相关性。进一步采用方差膨胀因子(Variance Inflation Factor, VIF)对自变量的多重共线性进行检验,结果发现,6 个解释变量中,lnpopul、lnincom、lninves 和 lneffc 等变量的 VIF 值远大于 10,最大值为 139.81,证实解释变量间存在较为严重的多重共线性,经典最小二乘估计无法得到无偏估计。岭回归(Ridge Regression)以损失部分信息为代价可以有效解决解释变量间存在的多重共线性,得到更可靠、更符合实际的系数估计值。时间序列数据的回归前需要对变量进行单位根检验,ADF 检验表明

进入模型的各项变量均为平稳序列,满足回归条件。

2. 回归结果

为了更全面刻画地区产业结构对生态足迹的影响,本文分别以第一产业所占比重、第二产业所占比重和第三产业所占比重作为回归变量,回归结果见表1。同时,表1列出了生态账户余额和生态足迹两类回归结果。对比可以看到,被解释变量重新构造所得计量结果高度一致,表明回归结果具有稳健性。

回归结果显示,武汉人口规模、人均固定资产投资的增加可以显著推动生态足迹增长。这与经验事实基本一致,人口增长必然增加对资源的消耗和废弃物的排放,固定资产投资增加也会扩大能源消耗和污染物排放,生产这些人口所需的物质资源和吸纳所排放的污染物、废弃物所需的生态生产性土地面积必然相应增加,生态压力也就更大。有意思的是,在以第一产业所占比重的方程(1)和第三产业所占比重的方程(3)中均显示,人均收入水平的提升可以有效抑制生态足迹的增加,这与一些学者的地区个案研究所得结论略有不同。这表明在武汉地区,随着人均收入的提高,生态环境有大幅好转的趋势。这种变化在现实生活中也可以得以体现,近些年来,一些消失很久的野生动物,如野猪重新出现在人们的视野。生活水平的提升,人口城镇化的转移大大减轻了农村土地生态压力,表1中方程(1)城镇化水平变量的回归系数正好也印证了这一现实。产业结构变量的回归结果表明,第二产业所占比重或第三产业所占比重上升均会导致生态足迹增长,只有第一产业对生态足迹的影响不显著。这是由于第二产业所占比重增加,尤其是武汉以重工业为主的第二产业占比增加,能源消耗和污染排放也会同比增长,从上文中重工业所在地的青山区一直就是武汉生态压力最大的来源地就佐证了这点。从工业角度看,生产效率的提高有助于提高资源利用效率、降低生态污染,方程(2)中地区生产效率的回归结果显示了这种正面效应。在以第三产业占比表征的产业结构方程(3)中,生产效率的提高会显著增加生态足迹。对于这个结论有点难以理解,在第三产业中,餐饮、旅游业等传统服务行业的快速发展会导致一次性碗筷等消费用品大量使用增加生态足迹,由金融业为代表的现代服务业的发展也会加剧能源消费<sup>①</sup>。

表1 生态承载能力和生态足迹岭回归结果

解释变量	被解释变量:lnEA			被解释变量:lnEF		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnpopul	0.413*** (0.023)	0.443*** (0.023)	0.418*** (0.022)	0.410*** (0.025)	0.439*** (0.024)	0.414*** (0.023)
lnincom	-0.191*** (0.060)	0.039 (0.046)	-0.116** (0.055)	-0.189*** (0.064)	0.055 (0.048)	-0.108* (0.057)
lneffic	0.081 (0.261)	0.415*** (0.065)	-0.516*** (0.090)	0.036 (0.276)	0.435*** (0.067)	-0.553*** (0.094)
lnfirst	0.465 (0.345)			0.485 (0.365)		
lnsecon		0.557** (0.252)			0.552** (0.262)	
lnthird			0.761** (0.271)			0.777** (0.283)
lninves	1.435*** (0.415)	0.634* (0.317)	0.530* (0.323)	1.521*** (0.439)	0.674** (0.330)	0.560* (0.337)
lnurban	-0.865* (0.473)	-0.167 (0.720)	-0.480 (0.637)	-0.992* (0.500)	-0.186 (0.750)	-0.534 (0.665)

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在0.001、0.05和0.1水平下显著。

四、武汉生态足迹演进机制

根据上文对武汉生态足迹时空结构及影响因素的实证分析结果,可以很清楚地勾画出武汉生态足迹的演进机制(见图5)。随着人口规模的增长,供给这些人口所需的物质生产性土地面积相应增加。以固定资产投资推动的经济增长模式也对生态系统产生很大压力。

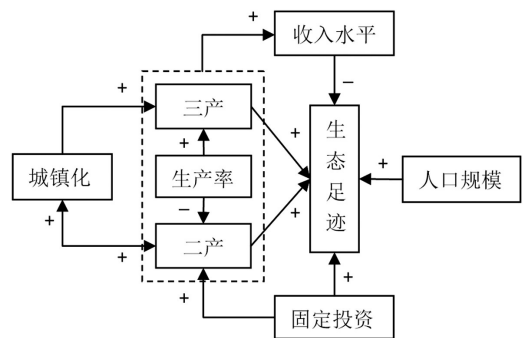


图5 武汉生态足迹演进机制

由于社会经济系统的复杂性,地区生态足迹的影响因子之间不是简单的线性关系,而是存在相互交织、相互作用的多向路径。任何影响因子的变化都可能会出现在所有互动因子中,通过多向的互动,建立起复杂的反馈机制。在武汉生态足迹演变的社会经济驱动机制中,第二、第三产业,尤其是其中的工业和服务业作为影响生态足迹的主要传导

媒介:固定资产投资和城镇化均能通过产业的传导增加生态压力。根据产业结构由低级向高级发展的演进规律,当进入工业化中期,工业发展成为城镇建设的推进剂。同时,城镇化不仅奠定了工业化进一步发展的基础,而且也同工业化一起推动服务业的发展。1990年以来,武汉工业化、城镇化和服务业都得到迅速发展,导致生态压力大幅增大,生态足迹持续增长。另一方面,工业和服务业的发展提高了居民的收入水平,又可以减缓生态压力。这与鲁凤(2011)对新疆生态足迹社会经济驱动机制的研究结论不同,主要原因是以GDP作为富裕程度的代理变量不仅存在多重共线性问题,而且难以剔除随GDP增长而增加的工业企业个数、社会固定资产投资额等影响因子<sup>[11]</sup>。在武汉,不同产业生产率的提升对生态足迹的影响也不相同:第二产业生产率的提升可以减轻生态压力,而在第三产业中,生产率的提升反而增加生态压力。对于前者不难理解,第二产业中生态效率的提升可以通过减少资源的消耗和废弃物的排放增加商品供给,而在第三产业中,生产效率的提升更多的是通过增加资源的消耗和废弃物的排放来提升服务效率。

经济社会发展使人们享受了更为丰富的物质财富,同时也不得不忍受生态系统破坏带来的环境污染。纵观世界各国经济发展与生态足迹的演进历程,不难发现二者呈倒U型关系。现阶段在影响武汉生态足迹的动力机制中,武汉尚处于经济发展加剧生态压力的阶段。推动经济增长的诸多影响因子对生态足迹的负面效应占据主导地位,虽然有利因素逐渐积聚,但尚未越过拐点。

## 五、结论及对策建议

本文对1990—2013年武汉生态足迹的时空结构及演进机制的研究发现:武汉生态足迹逐年增加,能源消费的快速增长是生态足迹快速增长的主要原因;武汉生态承载能力不断下降,主要是由于耕地面积持续减少;在武汉13个区中,青山区的生态足迹最大,是武汉生态压力的主要来源地。从生态足迹的空间格局看,武汉生态足迹的高值区主要集中在东西一线。1990—2013年,推动经济增长的动力因子,如工业化、服务业发展、固定资产投资、人口规模均会扩大生态足迹。另一方面,收入水平的增加能有效降低生态足迹,缓解生态压力,目前

武汉推动经济增长的诸多影响因子对生态系统的制约效应尚处于主导地位。

耕地和水域是武汉生态承载力的主要来源,今后须加强地理信息的监控,在确保生态供给能力不被削弱的前提下着力减少生态需求压力。总体来看,武汉生态治理须以空间治理为基础、以产业升级为动力、以倡导生态文明理念为抓手协调推进人—地关系的协调发展。

### 1. 空间治理

武汉生态系统压力的主要来源集中于以青山区为中心的东—西一线。武钢、武石化、青山热电等重化工业坐落于青山工业园区,产生的污染物排放占到武汉的六成以上。2013年青山区入选国家循环经济示范试点单位,这是继2007年后又一次获得国家循环化改造的政策和专项资金支持。武汉要充分利用这一有利契机,增加配套政策和资金支持力度,引导园区循环化改造转变经济发展方式,着力补缺工业循环产业链条短板,加快公共基础平台建设,探索工业废弃物综合利用的新机制、新模式,将青山区打造成名副其实的绿色低碳宜居城区。

生态文明城市建设需要投入大量的物力、人力。以青山区,尤其是青山工业园区循环产业建设为重心,将青山区国家循环化改造的成功经验推广、拓展到东西湖等其他经济实验区,培育壮大循环经济产业链,构建跨区域的大循环经济示范区。这样以点带线、以线带面的城市生态体系建设格局只需投入较少的财力就可以达到生态建设效益最大化。

### 2. 产业升级

1990年重工业总产值占总个工业总产值比重为58.26%,到2013年上升至76.97%。重工业比重偏高,一次能源消费以煤炭为主的工业能源结构是武汉生态足迹不断增大的主要动力源。推进钢铁、石化、热电等传统重工业通过节能技术创新减少,提高企业能源利用效率、减少废物排放。

设置产业准入门槛,严格限制高耗能企业的进入,淘汰落后产能。依托工业园区、高新技术开发区,大力发展高端装备制造业、电子信息产业,推进制造业智能化、信息化和集成化展,促进现代信息技术与传统制造业、服务业的深度融合。大力发展节能环保产业。绿色、循环、低碳发展是今后世界经济发展的大趋势。武汉应重点投资研发高效节



能、资源循环利用等生态技术,实现关键技术的部分突破,构建领先全国并在世界有较大影响的绿色环保产业集群。

### 3. 倡导生态理念

很多学者研究发现,经济增长(收入水平)与生态足迹呈倒U型关系。其中很重要的一个原因是,随着收入水平的提高,人们的生态保护意识逐渐增强,人为的生态破坏逐渐减少。因此,积极倡导生态文明理念,可以推动生态足迹的拐点加快到来。

作为“两型社会”建设的实验区,武汉需以现代网络传媒为载体开展多层次和形式多样的生态文明宣传,以社区、学校为主要依托设立生态文明建设的培养基地,普及生态文明科学知识。倡导适度消费、绿色消费,激发市民生态道德意识。鼓励市民节约资源,引导市民积极参与环保公益活动,在日常生活中践行绿色环保消费理念。

### 注释:

① 金融发展对能源消费的影响已经有很多前期研究成果。刘剑锋和黄敏(2014)在《能源消费与金融发展——基于MS-VAR的研究》中对金融发展促进能源消费的影响机制做了深入的分析。地方各级政府为晋升锦标赛的激励下,并受到升迁时间的约束,政府官员更加偏好短期经济的快速增长。目前我国经济结构中,主要还是以劳动力密集型和资源密集型经济形态为主,在竞赛压力下容易获得政府的支持和金融服务的支。而这些行业往往也是能源消耗的主要行业。此外,在现实中我们也可以观察到,近些年来金融资本更多地流入房地产行业,房地产及相关行业对能源消耗、生态环境具有显著的负面影响,因而也会提升生态足迹。

### 参考文献:

- [1] 刘建兴,顾晓薇,李广军,等. 中国经济发展与生态足迹的关系研究[J]. 资源科学,2005(5):33-39.
- [2] 胡新艳,牛宝俊,刘一明. 广东省的生态足迹与可持续发展研究[J]. 上海环境科学,2003(12):926-930.
- [3] 田玲玲,罗静,董莹,等. 湖北省生态足迹和生态承载力时空动态研究[J]. 长江流域资源与环境,2016(2):316-325.
- [4] 吴开亚,王玲杰. 生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回归模型与应用[J]. 资源科学,2006(6):82-88.
- [5] 肖思思,黄贤金,吴春笃. 江苏省生态足迹时间维度变化及其驱动因素分析——基于PLS方法对STIRPAT模型的修正[J]. 地理与地理信息科学,2012(3):76-82.
- [6] 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(3):654-662.
- [7] 张佳琦,段玉山,伍燕南. 基于生态足迹的苏州市可持续发展动态研究[J]. 长江流域资源与环境,2015(2):177-184.
- [8] Global Footprint Network. Calculation Methodology for the National Footprint Accounts [R]. 2010 Edition. California: 2012.
- [9] 鲁丰先. 中国省级区域生态占用的计算与分析[D]. 开封:河南大学,2003.
- [10] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology [J]. Human Ecology Review, 1994(1): 277-300.
- [11] 鲁凤. 生态足迹变化的动力机制及生态足迹模型改进研究[D]. 上海:华东师范大学,2011.

责任编辑:夏莹

(Email: silvermania@qq.com)