

低碳概念下武汉市生态足迹的动态分析与预测

江平平, 陈银蓉, 张苗

(华中农业大学 土地管理学院, 武汉 430070)

摘要: 社会的发展,使人类处于从工业文明时代迈向生态文明时代的转折期。大力倡导低碳经济,建设生态文明,成为这一时期的主旋律。以生态足迹模型为基础,对武汉市1996—2010年的人均生态足迹和人均生态承载力进行计算,并运用灰色系统GM(1,1)模型对2011—2015年的生态足迹状况进行预测。结果表明:(1)1996—2010年武汉市人均生态足迹有所增加;(2)可使用的人均生态承载力总体呈下降趋势;(3)武汉市一直处于生态赤字状态,生态压力指数持续较高;(4)2011—2015年武汉市人均生态足迹逐年增加,而人均生态承载力逐年减少,按照现行发展模式,到2015年,武汉市人均生态赤字率将达到253%。因此,大力推动低碳经济发展,建设资源节约型、环境友好型社会,已经成为武汉市可持续发展战略的重要组成部分。

关键词: 土地低碳利用; 人均生态足迹; 人均生态承载力; 灰色系统

中图分类号: F062.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)01-0246-06

Analysis and Prediction of Ecological Footprint Under the Concept of Low-Carbon in Wuhan

JIANG Pingping, CHEN Yinrong, ZHANG Miao

(College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The society development makes human beings towards into the turning point from the industrial civilization era to the ecological civilization era. Advocating a low-carbon economy and constructing the ecological civilization have become the main theme of this period. Based on the ecological footprint model, we calculated the per capita ecological footprint and per capita ecological capacity of Wuhan from 1996 to 2010. Then we forested the ecological footprint conditions from 2011 to 2015 by the model of gray system GM (1,1). Last we drew four conclusions: (1) the per capita ecological footprint increased in Wuhan in 1996—2010; (2) there was a tendency that the available per capita ecological capacity declined as a whole; (3) Wuhan has been in ecological deficit, the index of ecological pressure continues to be high; (4) the per capita ecological footprint increased year by year, while the per capita ecological capacity was decreasing. According to the current model of development, the rate of the per capita ecological deficit will reach upto 253% by 2015. Therefore, promoting the development of low-carbon economy vigorously and building a resource-saving and environment-friendly society have become an important part of the sustainable development strategy of Wuhan City.

Keywords: low-carbon land use; per capita ecological footprint; per capita ecological capacity; gray system

工业文明的出现,使社会生产力有了新的飞跃,人类利用自然的能力飞速提高。但由于长期实行粗放型经济增长的方式,使得能源和其他资源过度消耗,从而导致生态环境恶化的问题日益严重,最为突出的是全球气候变暖。早在20世纪80年代,全球变暖就受到人类普遍关注,评估报告表明,自1850年以

来全球有1/3的温室气体排放由土地利用变化直接导致,土地利用变化已成为仅次于化石能源燃烧的第二大温室气体排放源,其引起的碳排放对全球气候变暖有重要影响^[1]。因此,减少土地利用碳排放已成为土地利用调控的新课题,相关学者也试图通过创新土地利用方式,实现低碳土地利用。

收稿日期:2014-04-06

修回日期:2014-05-11

资助项目:国家社科资助项目“基于系统仿真的城市土地利用碳排放分析与低碳利用调控研究”(14BGL218);湖北省国土资源厅科技外事处系列研究项目(CSJ-ZC-2012-024);中央高校基本科研业务费专项基金资助(2013SC4)

第一作者:江平平(1989—),女,四川宜宾人,硕士,研究方向:土地利用管理。E-mail:18202715711@163.com

通信作者:陈银蓉(1963—),女,湖南长沙人,教授,研究方向:土地利用管理。E-mail:chyinrong@126.com

土地低碳利用是区域可持续发展的一部分,而区域的可持续发展必须以生态环境的可持续发展作为前提和保障^[2]。生态环境不仅为人类的社会活动提供了承载空间,而且为区域发展提供了自然物质基础和废弃物消纳空间,因此实现生态环境可持续是当前最为迫切的任务。衡量一个地区生态环境的可持续发展状况可以从自然环境、经济和人文系统等方面构建指标,国际上通常采用基于系统理论和方法的指标体系和基于环境经济学方法的指标体系,但这种指标体系过于复杂,自然资本、社会资本及人力资本的货币化比较困难^[3]。而生态足迹模型则采用具体的生物物理量的衡量指标,使其具有可理解性和可操作性,因此成为衡量生态环境可持续发展状况的重要尺度。

1 研究方法

1.1 生态足迹法

生态足迹概念及模型是由加拿大生态经济学家 William 和他的学生 Wackermagel Rees 于 20 世纪 90 年代初提出的一种可持续评价方法^[4]。生态足迹模型的基本原理从需求方面计算生态足迹的大小,从供给方面计算生态承载力的大小,通过二者的比较,评价研究对象的可持续发展状况。

1.1.1 人均生态足迹的计算 生态足迹分为 6 大类,即耕地、林地、牧草地、水域、建设用地和化石能源用地。其中前五类用地是基于生物资源的消耗折算的生物生产性土地,而化石能源用地足迹则是基于能源消费。当前化石能源用地足迹的计算方法主要包括替代法和碳汇法。其中碳汇法是采用估算吸收新增 CO₂ 所需要的土地面积来计算对化石能源用地的需求^[5],这与土地低碳利用的研究可以紧密结合。因此本文采用碳汇法计算化石能源用地足迹,亦称之为碳足迹。

计算生态足迹的一个基本假设是:各类土地在空间上是互斥的,使得我们能够对各类生物生产性土地进行加总^[6]。因此,人均生态足迹的计算公式为:

$$ef_a = \sum r_i \times (C_i / Y_i) \quad (1)$$

$$ef_c = (E_a + E_c) / (NP \times n) \quad (2)$$

式中: ef_a ——资源的生产性生态足迹; r_i ——均衡因子; C_i ——第 i 项的人均年消费量值; Y_i ——相应的生物生产性土地第 i 项消费项目的全球平均产量; ef_c ——碳足迹; E_a ——耕地碳排放,其计算方法参照刘英^[7]、赵荣钦^[8]等的研究; E_c ——建设用地碳排放,通过计算能源消耗所产生的碳排放间接得到; NP ——区域平均碳吸收能力; n ——区域人口总量。

1.1.2 人均生态承载力的计算 在生态承载力计算

中,因为碳吸收用地是一种假想的土地类型,实际中并不存在,所以其生态承载力面积为零,其他土地类型的人均生态承载力计算公式为:

$$ec = \sum (a_i \times y_i \times r_i) \quad (3)$$

式中: ec ——区域内人均生态承载力; a_i ——区域人均资源生物生产性土地面积; y_i ——第 i 类土地的产量因子; r_i ——第 i 类土地的均衡因子。同时根据世界环境与发展委员会(WCED)的建议,在生态承载力计算时应扣除 12% 的生物生产性土地用以保护生物多样性^[9]。

1.2 灰色系统模型

所谓灰色系统是指部分信息已知而部分信息未知的系统,灰色系统理论所要考察和研究的是对信息不完备的系统,通过已知信息来研究和预测未知领域从而达到了解整个系统的目的。灰色系统模型主要有 GM(1,1)模型、残差 GM(1,1)模型、GM(1,N)和 GM(0,N)模型以及 Verhulst 模型和离散灰色模型,其中最常用的是 GM(1,1)模型。GM(1,1)模型表示一阶、一个变量的灰色系统模型,可在 MATLAB 环境下进行设计和运行^[10]。

1.2.1 GM(1,1)的建模机制 令 $x^{(0)}$ 表示需要建模的序列, $x^{(1)}$ 为 $x^{(0)}$ 的 1-AGO(累加生成数)序列,则有:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad (4)$$

定义 $z^{(1)}$ 为 $x^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列:

$$z^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{2} \quad (5)$$

则可建立如下灰微分方程:

$$x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b \quad (6)$$

记 $\hat{a} = (a, b)^T$, 则灰微分方程的最小二乘估计参数列满足下式:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (7)$$

$$\text{其中, } B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, Y_n = \begin{bmatrix} x^{(1)}(2) \\ x^{(1)}(3) \\ \vdots \\ x^{(1)}(n) \end{bmatrix};$$

则灰微分方程 $x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b$ 的白化方程,也称为影子方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + a x^{(1)} = b \quad (8)$$

综上所述,则有

(1) 白化方程 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + a x^{(1)} = b$ 的解也成为时间响应函数:

$$\hat{x}^{(1)}(t) = [x^{(1)}(0) - \frac{b}{a}] - e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (9)$$

(2) GM(1,1)灰色微分方程 $x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b$ 的时间响应序列为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(1)}(0)-\frac{b}{a}\right]e^{-ak}+\frac{b}{a}$$

$(k=1,2,\cdots,n)$

(10)

(3) 取 $x^{(1)}(0)=x^{(0)}(1)$, 则有

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}\right]e^{-ak}+\frac{b}{a}$$

$(k=1,2,\cdots,n)$

(11)

(4) 将值还原得到

$$\hat{x}^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k)$$

(12)

1.2.2 GM(1,1)模型的检验 GM(1,1)模型的检验分为三个部分,即残差检验、关联度检验和后验差检验。但武汉理工大学的吴涛、李必强^[11]等通过对关联度系数存在不合理下限分析,得出关联度检验不适合 GM(1,1)模型的检验。因此这里仅介绍残差检验和后验差检验。

(1) 残差检验:设 ϵ 为残差, ξ 为相对误差,则计算公式为

$$\epsilon=|\hat{x}-X^{(0)}|$$

(13)

$$\xi=\frac{\epsilon}{X^{(0)}}$$

(14)

(2) 后验差检验: S_1, S_2 分别为残差序列的均方差和原序列的均方差, C 为后验差,则计算公式为:

$$S_1=\frac{\sqrt{\sum(\epsilon_i-\bar{\epsilon})^2}}{n-1}, \quad \bar{\epsilon}=\frac{\sum\epsilon_i}{n}$$

(15)

$$S_2=\frac{\sqrt{\sum[X^{(0)}(k)-\bar{X}^{(0)}]^2}}{n-1}, \quad \bar{X}^{(0)}=\frac{\sum X^{(0)}(k)}{n}$$

(16)

$$C=\frac{S_1}{S_2}$$

(17)

后验差检验判别如表 1 所示。

表 1 后验差检验判别参照表

C	模型精度
<0.35	优
<0.5	合格
<0.65	勉强合格
>0.65	不及格

2 实证分析

2.1 区域概况

武汉,简称“汉”,是湖北省省会,中部唯一的副省级城市,同时也是中国国家区域中心城市,华中地区最大都市及中心城市,长江中下游特大城市。因长江与

其最大的支流汉水交汇于此,故而隔江鼎立的武昌、汉口、汉阳三地被俗称武汉三镇。武汉是长江中下游地区重要的产业城市和经济中心,中国重要的科教中心和交通枢纽,被誉为世界开启中国内陆市场的“金钥匙”、经济发展的“立交桥”。但随着经济的发展,武汉市建设用地面积不断扩张,从 1996 年的 105 353 hm² 增加到 2010 年的 159 656 hm²。与此同时,耕地面积却在不断减少,2010 年的人均耕地面积仅为 0.038 hm²,低于联合国粮农组织规定的人均耕地 0.053 hm² 的警戒线。由此产生的土地利用碳排放也逐年增加,使武汉市的粮食安全和生态环境压力日益严峻。因此,发展低碳经济,促进武汉市社会经济和土地资源的可持续利用不仅是保障能源安全、应对气候变化的必然选择,也是优化产业结构,实现社会、经济和环境可持续发展的必由之路。由于 2010 年以后武汉市各地类面积数据暂时无法获取,因此本文只对武汉市 1996—2010 年的生态足迹进行计算和分析,并预测未来 5 a 的生态足迹状况,以此来定量评价武汉市生态环境的可持续发展状况,以期对武汉市的生态保护及经济社会可持续发展提供科学参考。

2.2 武汉市生态足迹的动态变化分析

武汉市生态足迹状况由生态足迹和生态承载力两部分组成。其中生态足迹的计算包括两个方面,一是生物资源的消耗,二是能源的消耗。生物资源消耗项目包括种植产品、林产品、畜产品以及水产品等,能源消耗项目包括煤炭、焦煤、原油、燃料油、汽油、柴油、煤油、天然气、炼厂干气、液化石油气和焦炉煤气。同时结合生态承载力的计算方法,即可测算出武汉市各年的生态足迹状况。

2.2.1 武汉市 2010 年生态足迹测算 由于单位面积耕地、草地、林地、建筑用地和水域之间的生态生产能力差异较大,要将这些具有不同生物生产力的土地面积转化为具有相同生物生产力的土地面积,就需要通过均衡因子和产量因子加以转换,本文的均衡因子和产量因子选取经典的“全球 hm² 模型”^[9] 的测算值。经计算,武汉市 2010 年生态足迹状况如表 2 所示。

从生物资源消耗看,2010 年武汉市人均水域足迹最大,为 0.357 8 hm²/人,其次是人均耕地足迹,为 0.234 1 hm²/人。从整个生态足迹结构来看,足迹排前三位的分别是水域、耕地和碳足迹,分别占人均总足迹的 43.4%,28.4%和 13.4%。林地所占比例最小,占人均总足迹的 0.18%。从人均生态足迹和人均生态承载力的对比来看,只有林地和建筑用地的生态足迹小于生态承载力,即存在生态盈余,其它类型的生态足迹均远远大于生态承载力,即处于生态赤字。由于武

汉市的耕地、草地、水域和碳足迹均存在较大的生态赤字,从而导致了武汉市人均总生态足迹远远大于人均总生态承载力,使其处于较为严重的生态赤字状态。因此,要想降低武汉市的生态赤字,必须从耕地、草地、

水域和碳足迹着手,一是采用高新技术提高单位土地面积的种植产品、畜产品和水产品的产量,从而提高生态承载力;二是调整土地利用结构及产业结构,采用清洁能源,推动低碳产业和低碳能源发展。

表 2 武汉市 2010 年生态足迹计算结果 hm²/人

人均生态足迹				人均生态承载力			
类型	需求面积	均衡因子	均衡面积	类型	供给面积	产量因子	均衡面积
耕地	0.0836	2.8	0.2341	耕地	0.0379	1.82	0.1933
林地	0.0014	1.1	0.0015	林地	0.0117	0.91	0.0117
草地	0.1341	0.5	0.0671	草地	0.0000	0.19	0.0000
水域	1.7890	0.2	0.3578	水域	0.0304	1.00	0.0061
建筑用地	0.0191	2.8	0.0534	建筑用地	0.0191	1.80	0.0962
碳足迹	0.1007	1.1	0.1108	碳吸收用地	0		0
总生态足迹			0.8246	总生态承载力			0.3073
				可使用生态承载力			0.2704
				生态赤字(-)/盈余(+)			-0.5542

2.2.2 武汉市 1996—2010 年生态足迹动态变化分析 传统的生态足迹法往往是静态评估一个地区的生态足迹与生态承载力,忽略了地区由于人口增长、技术进步及社会经济发展对生态足迹的影响,更无法预测未来的变化趋势,因此本文收集了武汉市 1996—2010 年有关生态足迹和生态承载力的相关计算指标,对武汉市近十五年的生态足迹和生态承载力进行了测算(表 3)。

表 3 武汉市 1996—2010 年生态足迹状况

年份	人均生态 足迹/ (hm ² /人)	可使用的 人均生态 承载力/ (hm ² /人)	人均生态 赤字(-)/ 盈余(+) (hm ² /人)	生态足迹 压力指数
1996	0.6978	0.3316	-0.3663	2.1047
1997	0.7241	0.3280	-0.3961	2.2078
1998	0.6978	0.3244	-0.3734	2.1510
1999	0.7031	0.3202	-0.3829	2.1955
2000	0.7153	0.3160	-0.3993	2.2639
2001	0.7127	0.3126	-0.4000	2.2795
2002	0.7184	0.3018	-0.4166	2.3802
2003	0.7246	0.2932	-0.4314	2.4714
2004	0.7768	0.2916	-0.4852	2.6636
2005	0.7953	0.2761	-0.5192	2.8805
2006	0.7772	0.2703	-0.5069	2.8752
2007	0.7085	0.2680	-0.4405	2.6436
2008	0.7601	0.2672	-0.4929	2.8446
2009	0.7856	0.2680	-0.5176	2.9313
2010	0.8246	0.2704	-0.5542	3.0497

由表 3 可以看出,武汉市人均生态足迹总体呈上升趋势,1996—2010 年人均生态足迹由 0.697 8 hm²/人增加到 0.824 6 hm²/人,增加了 18.17%;生态承载力则由 1996 年的 0.331 6 hm²/人减少到 2010 年的 0.270 4 hm²/人,减少了 18.48%,从而导致武汉市生态赤字的增加。其中 2003—2005 年和 2007—2010 年期间人均生态足迹的上升速度较快,说明了在这期间武汉市土地利用的粗放程度较为严重。其中生态足迹增加的原因在于,武汉市城市化和工业化的快速发展,不仅带动了经济的快速增长,同时也加大了人们对食品和能源的消耗,加之建设用地面积的不断扩张,人类利用化石能源产生的碳排放逐年增加,碳足迹明显加大,从而更加剧了生态足迹的上升;而生态承载力减少的原因主要在于武汉市人口数量的不断增加。1996—2010 年武汉市人均生态足迹与人均生态承载力的差值均为负,说明其长期处于生态赤字状态,其发展模式不具有可持续性。武汉市人均生态赤字的变化趋势和人均生态足迹的变化趋势基本一致,受人均生态承载力的影响相对较小。因此应从控制生态足迹入手,逐渐减小武汉市生态赤字状况。

2.3 武汉市生态足迹预测

2.3.1 预测模型的检验 根据人均生态足迹和人均生态承载力的计算结果,利用灰色系统方法建立灰色模型 GM(1,1)。

在人均生态足迹的预测模型中, $a=-0.009\ 9, b=0.687\ 1, b/a=-69.24$,所以预测公式为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=69.94e^{-0.0099k}-69.24$$
$$k=1,2,\cdots,n$$

(18)

在人均生态承载力的预测模型中, $a=-0.018\ 7$,
 $b=0.339\ 6$, $b/a=-18.20$,所以预测公式为:

$$\hat{y}^{(1)}(k+1)=-17.87e^{-0.0187}+18.20$$

$k=1,2,\cdots,n$

(19)

为检验上述模型是否合理,本文采用了后验差检验判断灰色模型的精度,其计算结果如表 4 和表 5 所示。

由公式(15),(16),(17)计算可得,人均生态足迹预测模型中 $S_1=0.004\ 5$, $S_2=0.011$, $C=0.406\ 3$ 。由于 C 小于 0.5,所以人均生态足迹的模型精度为合格,可以用来进行预测。

表 4 人均生态足迹 GM(1,1)灰色系统拟合值与实际值比较

年份	人均生态足迹/(hm ² /人)			相对
	真实值	拟合值	残差	误差/%
1996	0.6978	0.6978	0	0
1997	0.7241	0.6975	0.0266	3.68
1998	0.6978	0.7045	0.0066	0.95
1999	0.7031	0.7115	0.0084	1.19
2000	0.7153	0.7186	0.0033	0.46
2001	0.7127	0.7257	0.0131	1.83
2002	0.7184	0.7330	0.0146	2.03
2003	0.7246	0.7403	0.0157	2.17
2004	0.7768	0.7477	0.0292	3.75
2005	0.7953	0.7551	0.0401	5.05
2006	0.7772	0.7627	0.0146	1.87
2007	0.7085	0.7703	0.0618	8.72
2008	0.7601	0.7779	0.0179	2.35
2009	0.7856	0.7857	0.0002	0.02
2010	0.8246	0.7935	0.0311	3.77

表 5 人均生态承载力 GM(1,1)灰色系统拟合值与实际值比较

年份	人均生态承载力/(hm ² /人)			相对
	真实值	拟合值	残差	误差/%
1996	0.3316	0.3316	0	0
1997	0.3280	0.3303	0.0023	0.70
1998	0.3244	0.3242	0.0002	0.07
1999	0.3202	0.3182	0.0020	0.63
2000	0.3160	0.3123	0.0036	1.15
2001	0.3126	0.3065	0.0061	1.95
2002	0.3018	0.3009	0.0009	0.31
2003	0.2932	0.2953	0.0021	0.73
2004	0.2916	0.2899	0.0018	0.61
2005	0.2761	0.2845	0.0084	3.05
2006	0.2703	0.2792	0.0089	3.30
2007	0.2680	0.2741	0.0061	2.26
2008	0.2672	0.2690	0.0018	0.68
2009	0.2680	0.2640	0.0040	1.47
2010	0.2704	0.2592	0.0112	4.15

同理可得,人均生态承载力预测模型中 $S_1=0.000\ 9$, $S_2=0.006\ 6$, $C=0.138\ 8$ 。 $C<0.35$,说明人均生态承载力预测模型的预测精度高,可信度强,可用来很好的预测短期内武汉市人均生态承载力。

2.3.2 人均生态足迹和人均生态承载力的预测 由于两个预测方程均达到合格及以上水平,所以可以用来预测武汉市 2011—2015 年的人均生态足迹和人均生态承载力,其预测结果如表 6 所示。

从表 6 可以看出,2011—2015 年武汉市的人均生态足迹逐年增加,人均生态承载力逐年减少,从而导致人均生态赤字的不断加大。预计到 2015 年,武汉市人均生态赤字将达到 0.597 8 hm²/人,也就是说 2015 年武汉市人均生态赤字率达 253%。这意味着在 2015 年人们需要武汉现有资源的近 4 倍才能生产其所利用的可再生资源和吸收其所排放的二氧化碳。以上事实足以说明武汉市生态安全程度低,其人均消耗对生态系统产生的影响远远超过了其生态容量,生态环境退化较为严重,发展模式不具有可持续性。

表 6 武汉市 2011—2015 年人均生态足迹和人均生态承载力预测

年份	人均生态足迹	可使用的人均生态承载力	人均生态赤字/盈余
2011	0.8015	0.2544	-0.5471
2012	0.8094	0.2497	-0.5598
2013	0.8175	0.2450	-0.5725
2014	0.8257	0.2405	-0.5852
2015	0.8339	0.2361	-0.5978

3 结论与讨论

3.1 结论

本文将低碳概念融入到土地可持续利用评价中,运用生态足迹模型对武汉市 1996—2010 年的人均生态足迹和人均生态承载力进行了测算,结果表明武汉市人均生态足迹总体呈上升趋势,主要是因为城市的快速发展加大了生物资源和能源的消耗,加之建设用地的扩张,碳足迹明显加大,从而加剧了生态足迹的上升。而人均生态承载力总体呈下降趋势,主要原因在于随着城市建设用地的扩张,与生态承载力密切相关的耕地资源不断缩减,人口的不断增长,也使得人均生态承载力不断减小。正是由于人均生态足迹与人均生态承载力的一增一减,从而导致了人均生态赤字的不断加大。计算结果显示,武汉市一直处于生态赤字状态,生态压力指数持续较高,城市生态安全极低。

利用灰色系统 GM(1,1)模型对武汉市 2011—2015 年的人均生态足迹与人均生态承载力进行了预

测。结果显示,2011—2015年武汉市人均生态足迹逐年增加,而人均生态承载力逐年减少,按照现行发展模式,到2015年,武汉市人均生态赤字率将达到253%。

3.2 讨论

通过以上分析可知,武汉市的生态环境状况不容乐观,城市发展不具有可持续性。未来武汉市生态足迹将主要受经济发展、人口增长和以生产、消费活动为核心的各种人为活动的影响,因此为控制人类对自然造成的压力,维持武汉市生态环境的可持续发展,应积极转变武汉市现行的经济发展模式,切实考虑城市的生态环境容量,使经济增长与环境保护相协调,促进区域经济、社会和环境的和谐发展。同时还应调整土地利用结构,通过植树造林等减少土地利用碳排放,利用先进的生产技术提高单位土地单位面积的生产能力等。在控制生态足迹的同时提高生态承载力,从而逐步缩小城市的生态赤字,使城市的生态环境发展回归到健康、可持续的轨道上。

由于土地利用类型的面积数据收集较困难,因此本文对所选区域的分析具有一定的滞后性。在今后的研究中,首先要增加相关数据的时间跨度,通过对更长时间序列的生态足迹状况进行测算来提高预测的准确性。其次,可考虑采用张恒义^[12]研究的基于“省 hm^2 模型”的生态足迹法来测算市域的生态足迹,更能精确反映武汉市实际生产力状况和区域发展特征。

参考文献:

- [1] 姜伟,李萌. 低碳经济规划:理论·方法·模型[M]. 北京:社会科学文献出版社,2011.
- [2] 蒋依依,王仰麟,卜心国,等. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望[J]. 地理科学进展,2005,24(2):13-23.
- [3] 张鸣,叶艳妹. 杭州市生态足迹计算与分析[J]. 中国土地科学,2004,18(4):25-30.
- [4] 熊德国,鲜学福,姜永东. 生态足迹理论在区域可持续发展评价中的应用及改进[J]. 地理科学进展,2003,22(6):618-626.
- [5] 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.
- [6] 秦耀辰,牛树海. 生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进[J]. 资源科学,2003,25(1):1-8.
- [7] 刘英,赵荣钦,焦士兴. 河南省土地利用碳源/汇及其变化分析[J]. 水土保持研究,2010,17(5):154-157.
- [8] 赵荣钦,秦明周. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报,2007,23(2):1-6.
- [9] 张旺锋,苏珍贞,解雯娟. 基于生态足迹的资源性城市土地利用低碳模式的探求[J]. 生态经济,2010(11):73-76.
- [10] 韩红彩. 灰色系统预测的研究与分析[J]. 中国科技信息,2010(14):29-30.
- [11] 汪晓银,周保平. 数学建模与数学试验[M]. 北京:科学出版社,2010:258-259.
- [12] 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.
- [17] Manfred W B. The landscape-ecology risk information system for Namibia concept, methodology and examples of application [J]. Applied Geography and Development, 1999, 53(Z3):7-25.
- [18] 郝瑞卿,刘富民. 基于分形理论的土地利用景观格局变化研究[J]. 水土保持研究,2013,20(2):217-222.
- [19] 李冰,吴海锁. 从决策源头保护生态敏感区:江苏沿海地区发展规划环评经验[J]. 环境保护,2009(21):44-46.
- [20] 范一大,史培军,辜智慧,等. 行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J]. 地理科学,2004,24(1):105-108.
- [21] 梵文华,白中科,李慧峰,等. 复垦区土壤重金属污染潜在生态风险评价[J]. 农业工程学报,2011,27(1):348-354.
- [22] 臧淑英,梁欣,张思冲. 基于GIS的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报,2005,14(4):141-145.
- [23] 荆玉平,张树文,李颖. 基于景观结构的城乡交错带生态风险分析[J]. 生态学杂志,2008,27(2):229-234.
- [24] 岳文泽,徐建华,徐丽华,等. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究[J]. 应用生态学报,2005,16(11):2053-2059.
- [25] 王波,王元仲,李冬梅,等. 迁安市农田重金属含量空间变异性[J]. 应用生态学报,2006,17(8):1495-1500.
- [26] 王欣,吴殿廷,肖敏. 产业发展与中国经济重心迁移[J]. 经济地理,2000,26(6):978-981.
- [27] 王思远,刘纪远,张曾项,等. 近10 a中国土地利用格局及其演变[J]. 地理学报,2002,57(5):523-530.
- [28] 程晋南,赵庚星,李红,等. 基于RS和GIS的土地生态环境状况评价及其动态变化[J]. 农业工程学报,2008,24(11):83-88.