

陕西省人均生态足迹 ARIMA 模型测算

魏丽华,任志远

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 利用生态足迹方法, 计算了 1978~2006 年陕西省的生态足迹, 并利用时间序列模型 ARIMA 揭示了陕西省生态足迹随时间的变化规律。经过 4 种模型的比较, 确定 ARIMA(1,2,1)模型的 AIC 值最小, 因此确定此模型。根据 ARIMA(1,2,1)模型计算出的 1978~2006 年的人均生态足迹拟合值很好拟合了原始计算值, 相对误差较小。因此利用该模型预测了陕西省 2007~2016 年的人均生态足迹, 各年分别为: 1.80842, 1.9476, 2.09103, 2.23888, 2.39108, 2.54767, 2.70862, 2.87395, 3.04366, 3.21773 hm^2 , 从测算的数据中可以看出, 陕西省的人均生态足迹持续上升速度仍然比较快, 说明该省不可持续状况越来越严重。

关键词: 生态足迹; 时间序列; ARIMA 模型; 预测

中图分类号: X24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0245-04

随着社会的发展, 人们对资源的过度利用, 使我们的社会越来越处于不可持续发展的状态, 因此对于可持续发展状况的测度成为近年来科学家们的研究重点。生态足迹的研究方法最初是由加拿大生态经济学家 William 于 1992 年提出^[1], 1996 年由其学生 Wackernagel 加以完善^[2]。该方法从一个全新的角度考虑人类及其发展与生态环境的关系, 由于其科学、完善的理论基础和精简统一的指标体系, 使该方法一经提出, 就得到了国内外学者的广泛关注和应用。我国 1999 年引入了生态足迹分析理论, 并很快作为一种新的理论方法被应用于分析研究一些省市和地区的可持续发展态势^[3]。生态足迹法就是通过研究区域生态足迹、生态承载力、生态赤字来评价一个区域的可持续发展状况。然而生态足迹模型不能反应生态足迹随时间的变化规律, 而且无法对未来进行预测。

时间序列研究便有助于分析生态足迹随时间的变化规律, 为了得到一个区域的未来生态足迹, 就需找到生态足迹随时间发展的变化规律。为弥补这方面的不足, 本文使用时间序列分析模型 ARIMA 对陕西省 1978~2006 年的生态足迹计算结果进行建模, 来预测短期内陕西省的生态足迹, 为政府部门决策提供依据, 同时为生态足迹指标的预测性分析提供了可行的途径。

1 研究方法

1.1 区域概况与数据来源

陕西省地处我国内陆腹地, 位于东经 105°19' ~

111°14'、北纬 31°43' ~ 39°34', 总面积 19.86 万 km^2 。南北较长, 东西较窄。由于这里自然环境条件比较复杂和特殊, 区域生态环境问题特别突出, 水土流失严重、土地荒漠化加剧、森林破坏严重, 干旱、泥石流等自然灾害频繁发生。大部分地区生态都处于不安全状态, 严重影响了陕西省的社会、经济发展。

研究数据主要来源于 1978~2006 年陕西省统计局编写的《陕西省统计年鉴》^[4]。

1.2 生态足迹计算

生态足迹是指能够持续提供资源或消纳废物的具有生物生产力的区域空间。生态足迹的计算要基于以下两个基本事实: ①人类可以确定自身消费的绝大多数资源、能源及其所产生的废弃物的数量 ②这些资源和废弃物流能折算成生产和消纳这些资源和废弃物流的生物生产性面积。根据生产力大小差异, 生物生产性土地面积主要考虑如下 6 种类型: 耕地、草地、林地、水域、建筑用地和化石燃料用地。具体的计算公式为:

$$E_f = N \times e_f = N \times \sum (aa_i \times r_i) \\ = N \times \sum r_i \times (C_i / P_i) \quad (1)$$

式中, i 为消费商品和投入的类型; P_i 为 i 种消费商品的平均生产能力; C_i 为 i 种商品的人均消费量; r_i 为均衡因子, 其目的是将不同类型的生物生产性土地面积转化为生态生产力相同的均衡面积; aa_i 为人均 i 种商品折算的生物面积; N 为人口数; e_f 为人均生态足迹; E_f 为总的生态足迹^[5-7]。

利用生态足迹法对陕西省 1978~2006 年的人

收稿日期: 2008-07-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40771019)

作者简介: 魏丽华(1984—), 女, 内蒙古巴彦淖尔市人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail: weilihua08@163.com。

均生态足迹进行了计算,并根据计算结果做出了陕西省 1978~2006 年人均生态足迹时间变化趋势图,见图 1。从图 1 中可以看出陕西省的人均生态足迹有持续上升的趋势。为了得到陕西省人均生态足迹随时间的变化规律,则引入 ARIMA 模型。

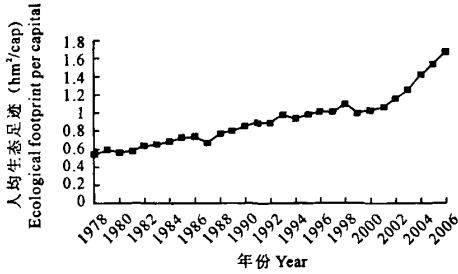


图 1 陕西省 1978~2006 年人均生态足迹时间变化趋势
Fig.1 The time trend of ecological footprint in Shaanxi Province

1.3 ARIMA 模型介绍

ARIMA(Autoregressive integrated moving average)称为整合自回归移动平均模型,它的基础是 ARMA(Autoregressive and moving average)称为自回归和移动平均模型,其表达式 ARMA(p, q)为:

$$\varphi(B)x_t = \theta(B)a_t \quad (2)$$

其中: $\varphi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p$ (3)

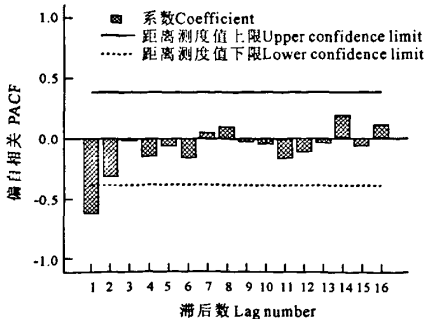
$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

模型变换式: $x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \dots + \varphi_p x_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$ (4)

ARIMA(p, d, q)模型的一般式:

$$\varphi(B)(1-B)^d x_t = \theta(B)a_t \quad (5)$$

式中, p 称自回归阶数, $(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p)$ 为自回归系数; q 为移动平均阶数, $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q)$ 为移动平均系数; a_t 为服从 0 均值、方差为 σ_a^2 的正态分布且相互独立的白噪声序列; B 为后移算子; d 是差分次数; x_t 为综合自回归移动平均序列^[8~12]。



1.3.1 数据处理 由于 ARIMA 模型适用于平稳时间序列,应用中就需要把非平稳时间序列转化为平稳时间序列,然后对平稳时间序列进行定阶和参数估计。必须要使处理后的数据达到均值接近于 0,才是平稳时间序列。以 1978~2006 年陕西省人均生态足迹作为样本,从图 1 中可以看出,样本序列有明显的上升趋势,且生态足迹的均值为 0.920523,不为 0,不属于平稳时间序列,因此要对样本进行差分,使其达到平稳。对数值进行二阶差分后见图 2。

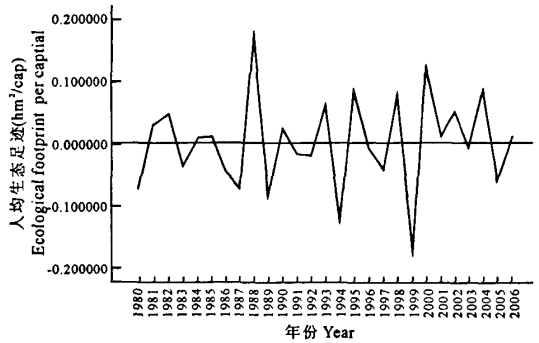


图 2 二阶差分后的陕西省人均生态足迹变化趋势
Fig.2 The ecological footprint trends after the second-order differential in Shaanxi Province

从图 2 中可以看出经过二阶差分后,样本的上升趋势消除,说明该时间序列处于平稳状态。

对差分后的数据需进行 0 均值化处理,假定差分后的平稳时间序列为 $x_1, x_2, x_3 \dots x_N$, 首先计算差分后的时间序列的均值: μ 计算得 0.003097354, 则 0 均值化处理公式为:

$$Y_t = x_t - \mu \quad (6)$$

1.3.2 模型的识别与定价 对 Y_t 分别做自相关函数 ACF 和偏自相关函数 PACF 图(图 3),从图 3 中可以看到,自相关函数和偏自相关函数都表现出拖尾

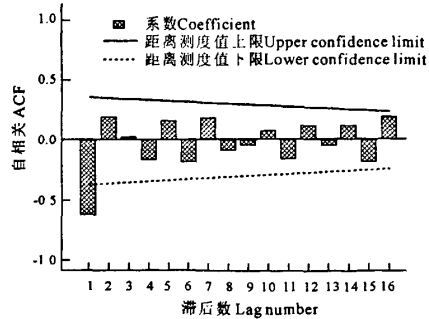


图 3 数据处理后的偏自相关与自相关图
Fig.3 Map of PACF and ACF after data processing

性,即图形是衰减的正弦型的波动,或者是以指数率衰减,因此选择 ARIMA(p, d, q)模型是合适的。

所谓模型定价是指确定 p, q 的值。定价方法有 FPE 准则、AIC 准则、BIC 准则等,其中,AIC 准则和 BIC 准则应用的最为广泛。AIC 和 BIC 定义函数分别为:

$$AIC(p, q) = N \ln \hat{\sigma}^2(p, q) + 2(p + q + 1)$$
$$BIC(p, q) = N \ln \hat{\sigma}^2(p, q) + (p + q + 1) \ln N$$

(7)

当样本数 N 固定时,随着 p, q 增加,式中的第一项减少,第二项增加,直到当 $AIC(p, q)$ 的值达到最小时,此时的 p, q 为最佳的模型阶数,同理用最小的 $BIC(p, q)$ 来确定最佳模型阶数。从图 3 中可以大致看出,显著不为 0 的自相关个数为 1 或 2,所以取 $q=1$ 或 2;偏自相关函数也为 1 或 2,所以 $p=1$ 或 2;样本经二阶差分后达到平稳状态,因此 $d=2$ 。所以初步建立的模型为 ARIMA(1,2,1), ARIMA(1,2,2), ARIMA(2,2,1), ARIMA(2,2,2)。对 4 个模型分别进行计算,将 4 个模型的相关检验结果汇总到表 1 中。

表 1 模型相关检验结果

Table 1 The test results of the mode

项目 Items	(p, d, q)			
	(1,2,1)	(1,2,2)	(2,2,1)	(2,2,2)
样本决定系数 Adjusted R - squared	0.083	0.083	0.082	0.081
AIC	-73.498	-71.369	-71.528	-69.916
BIC	-69.601	-66.186	-66.345	-63.436
标准误差 Model Std. Error	0.058	0.059	0.059	0.06

从表 1 中可以看出 ARIMA(1,2,1)的样本决定系数(Adjusted R - squared)达到最大,且 AIC 和 BIC 的值最小,模型的标准误差(Model Std. Error)也是最小,因此选择 ARIMA(1,2,1)模型是最合适的。

1.3.3 参数估计 在判断 ARIMA 模型的形式和阶数时,先需要对 x_t 进行自相关函数和偏相关函数的计算公式进行了解。

自协方差函数计算公式为:

$$r_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} x_i x_{i+k} \quad (k = 0, 1, 2, \cdots N - 1)$$

(8)

自相关函数计算公式为:

$$p_k = \frac{r_k}{r_0} \quad (k = 0, 1, 2, \cdots N - 1)$$

(9)

偏自相关函数的计算公式为:

$$\varphi_{11} = p_1$$
$$\varphi_{kk} = \frac{p_k - \sum_{j=1}^{k-1} p_k \varphi_{k-1,j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_j \varphi_{k-1,j}}$$
$$\varphi_{k+1,j} = \varphi_{kj} - \varphi_{k+1,k+1} \varphi_{k,k-1-j} \quad (j = 1, 2, \cdots k)$$

(10)

(11)

(12)

经过计算得到 ARIMA 模型的系数,根据模型系数表 2,给出 ARIMA(1,2,1)模型的具体形式:

$$(1 + 0.356B)(1 - B)^2 x_t = (1 - 0.506B) a_t$$

表 2 ARIMA(1,2,1)模型参数

Table 2 Parameters of ARIMA(1,2,1)

参数 Parameter	系数 Coefficient	标准差 Std	T 值 T value	P 值 P value
AR1	-0.356	0.258	-1.376	0.181
MA1	0.506	0.248	2.039	0.053

1.3.4 模型检验与数据预测 根据 ARIMA(1,2,1)模型进行计算,其拟合的结果如下图 4,从图 4 中可以看出模型拟合效果较好。在 95% 的置信区间内,2002~2006 年的生态足迹预测结果与真实值之间的相对误差见表 3。从表中可以看出,相对误差较小,总体没有超过 5%,说明此预测模型是合理的,因此可以对未来的生态足迹进行预测。利用 ARIMA(1, 2, 1)预测陕西省 2007~2016 年的人均生态足迹(hm²/cap)为:1.80842, 1.9476, 2.09103, 2.23888, 2.39108, 2.54767, 2.70862, 2.87395, 3.04366,3.21773。

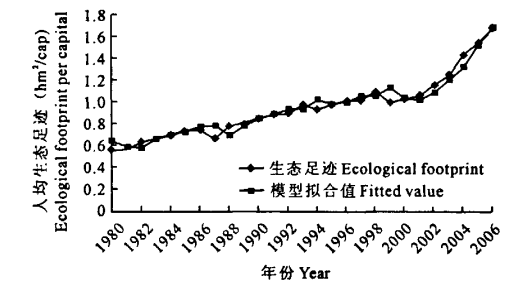


图 4 模型拟合效果图

Fig.4 Map fit model results

表 3 人均生态足迹预测分析结果

Table 3 The forecast results of ecological footprint per capita

年份 Year	原始计算值 Original value (hm ² /cap)	模型拟合值 Fitted value (hm ² /cap)	相对误差 Relative error (%)
2002	1.159187	1.08469	-6.42663
2003	1.247814	1.20199	-3.67232
2004	1.425003	1.32101	-7.29771
2005	1.542899	1.52396	-1.22748
2006	1.673955	1.67822	0.25481

2 结果分析与对策

从预测结果可以看出,陕西省的人均生态足迹有持续上升的趋势,人地矛盾将继续加剧。其主要是由于人口的增加,使人们对资源的需求量急剧加大,尤其是对耕地资源和能源的超负荷利用给生态环境带来了巨大的压力。然而我们的资源总量却是有限的,且对自然资源的利用效益比较小,浪费比较严重。城市化速度的加快,加大了对耕地面积的占用,使得城市的承载力越来越小。能源的过度开发与利用,严重地破坏了原本就脆弱的生态环境,给环境带来了巨大的压力,使得陕西省的经济、生态等都处于不可持续发展状态。

综合上面分析,为实现陕西省的可持续发展,其主要措施有:(1)控制人口数量,降低人均生态足迹,提高人口的整体素质。(2)加强对土地资源的管理和利用,要逐渐减少建筑用地对耕地资源的占用,并且要提高对土地的利用效率。(3)减少化石能源的消费,尽量减少私家车的使用,并且寻求绿色替代品。(4)发展循环经济,设法实现废物和某些中间产物的再循环利用,以挖掘资源和能源的使用潜力,充分实现资源的利用价值。

3 讨 论

生态足迹模型为度量人类系统的可持续程度提供了一个简化了的尺度,它通过生态空间概念对发展的可持续程度做出客观测度和比较。然而生态足迹方法所做的是静态分析,且缺乏对未来的预测,为了弥补不足,时间序列 ARIMA 模型则可以动态地预测未来的可持续发展程度。

在 95% 的置信度下 ARIMA 模型模拟的数据可

以满足设定的需要,也充分说明数据的质量是可靠的。ARIMA 模型在短期内预测比较准确,随着预测的延长,预测误差会逐渐增大,这是 ARIMA 模型的缺陷。然而与其他的预测方法相比,其预测的准确度还是比较高的,尤其在短期预测方面,但是对于模型的完善,还有待于进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] Rees W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out[J]. *Environment and Urbanization*, 1992, 42: 121—130.
- [2] Wackernagel Mand. Rees WE. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [3] 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.
- [4] 陕西省统计局. 陕西统计年鉴 1978 ~ 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 1978 ~ 2006.
- [5] 任志远,黄青,李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析[J]. *地理学报*, 2005, 60(4): 598—605.
- [6] 赵先贵,肖玲,兰叶霞,等. 陕西省生态足迹和生态承载力动态研究[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(4): 746—753.
- [7] 吴介军,蔡琳,张秋花,等. 1993 ~ 2004 年陕西省生态足迹分析与评价[J]. *陕西师范大学学报*, 2006, 34(4): 106—107.
- [8] 赵 玮,温小霓. 应用统计学教程(下册)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [9] 王淑芬. 应用统计学[M]. 北京: 北京大学出版社, 中国林业出版社, 2007.
- [10] 吴喜之. 统计学: 从数据到结论[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [11] 胡水红,吴志峰,李定强,等. 基于 ARIMA 模型的区域水生态足迹时间序列分析[J]. *生态环境*, 2006, 15(1): 94—98.
- [12] 臧东冉,林亮,刘星子. ARMA 模型在旅游业中的应用[J]. *现代经济*, 2007, 10(6): 19—20.

Prediction of ecological footprint per capita in Shaanxi Province with ARIMA model

WEI Li-hua, REN Zhi-yuan

(College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: The ecological footprint method was used to calculate Shaanxi Province's ecological footprint from 1978 ~ 2006, and the time-series model ARIMA was used to reveal the law of its variance with the change of the time. After comparing the four models, the ARIMA (1,2,1) model was chosen because its AIC value was the lowest. According to this model, the calculated result of ecological footprint per capita from 1978 ~ 2006 fitted well the original value, and the error is relatively smaller. So the model was used to predict the ecological footprint per capita in Shaanxi Province for 2007 ~ 2016, and the results were: 1.80842, 1.9476, 2.09103, 2.23888, 2.39108, 2.54767, 2.70862, 2.87395, 3.04366 and 3.21773 hm², from which we can find that Shaanxi Province's ecological footprint per capita increased by ever faster speed, and the province is faced with an increasingly unfavorable condition for sustainable development.

Key words: ecological footprint; time series; ARIMA model; forecast