

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

## 目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 ..... 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 ..... 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 ..... 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 ..... 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 ..... 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 ..... 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 ..... 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 ..... 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd<sup>2+</sup> 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 ..... 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 ..... 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应 .....	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd <sup>2+</sup> 的生物吸附特性 .....	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子 .....	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用 .....	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响 .....	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响 .....	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变 .....	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例 .....	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化 .....	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究 .....	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究 .....	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 .....	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例 .....	张勃,刘秀丽 (6251)
<b>专论与综述</b>	
孤立湿地研究进展 .....	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型 .....	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展 .....	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展 .....	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



**封面图说:** 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

张勃, 刘秀丽. 基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例. 生态学报, 2011, 31(20): 6251-6260.

Zhang B, Liu X L. Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model: a case study of Gansu Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6251-6260.

## 基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测 ——以甘肃省为例

张 勃<sup>1</sup>, 刘秀丽<sup>1,2,\*</sup>

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730000; 2. 忻州师范学院地理系, 忻州 034000)

**摘要:**生态足迹(EF)是一种定量测量人类对自然利用程度的方法。然而目前对其发展趋势准确的定量分析尚不多见。可采用自回归综合移动平均模型(ARIMA)来模拟并预测区域生态足迹。综合运用生态足迹方法和 ARIMA 模型对甘肃省 1949—2009 年的生态足迹和生态承载力进行了动态模拟和分析,在此基础上预测了 2010—2015 年的生态足迹变化趋势。结果表明:1949—2009 年,人均生态足迹呈现上升趋势,预计 2010—2015 年上升趋势明显加快,2015 年会增加到 2.6051 hm<sup>2</sup>/人,是 2009 年的 1.67 倍;1997—2004 年人均生态承载力逐年减少,2005 年之后逐年增加,预计 2010—2015 年仍会增加;预计 2010—2015 年所有人均生态足迹组成类型均呈现上升趋势,尤以人均化石能源生态足迹增长显著;1997—2009 年人均生态承载力均小于人均生态足迹,导致生态赤字,甘肃省生态环境处于不可持续状态,预计 2010—2015 年人均生态承载力略有增长,但仍小于人均生态足迹,生态赤字不断增大,预计 2015 年增长到 -2.0468 hm<sup>2</sup>/人,约为 2009 年(-1.0262 hm<sup>2</sup>/人)的两倍,甘肃省生态环境不断恶化;经济的发展依赖于化石能源的消耗而造成对自然资源的过度利用,大量耕地转换为建设用地,草地荒漠化是引起甘肃省生态赤字的主要原因;改变经济发展和资源消费模式,控制人口规模,减少人均生态足迹消耗,优化配置和集约节约利用自然资源,提高生态承载力是促进社会经济和资源环境可持续发展的有效途径。

**关键词:**ARIMA 模型;生态足迹;模拟;预测;甘肃省

### Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model: a case study of Gansu Province, China

ZHANG Bo<sup>1</sup>, LIU Xiuli<sup>1,2,\*</sup>

1 College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730000, China

2 Department of Geography, Xinzhou Teachers University, Shanxi Xinzhou 034000, China

**Abstract:** Ecological footprint (EF), as an excellent educational tool applicable to global issues, is essential for quantifying humanity's consumption of natural capital. At present, quantitative studies on the development trends of ecological footprint time series in a given region are still rare. Thus, the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model was introduced to stimulate and predict the regional ecological footprint. Taking Gansu province of China as a study area, we firstly computed the per capita ecological footprint and the per capita ecological carrying capacity from 1949 to 2009. Based on the computed results, the simulating process of the ARIMA model and the fitting and forecasting results were explained in detail. The final results showed that: the per capita ecological footprint in Gansu province presented a rising trend from 1949 to 2009, and we estimated that it would have a remarkable growth from 2010 to 2015 with increasing to 2.6051 hm<sup>2</sup>/cap in 2015, which would be 1.67 times than that of 2009; from 1997 to 2004, the per capita ecological carrying capacity had a decrease trend while it had an increase trend from 2005 to 2009, and it would still increase

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(40961038);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q10-4);生态经济学省级重点学科(5002-021);西北师范大学知识与科技创新工程项目(NWNU-KJXG-03-66)

收稿日期:2011-05-18; 修订日期:2011-07-11

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lxl820113@163.com

from 2010 to 2015; all types of per capita ecological footprint would present rising trends while the per capita fossil energy land ecological footprint would increase with an obvious growth rate; the total ecological footprint was always bigger than the total ecological carrying capacity from 1997 to 2009, which meant the ecological deficit was negative or the ecological environment of Gansu province was unsustainable, the total ecological footprint would increase rapidly while the total ecological carrying capacity would increase slowly from 2010 to 2015, thus the regional ecological deficit would increase and the ecological imbalance situation of Gansu province would be worse and worse; the main causes of ecological deficit were as follows, the economic development of Gansu province depended on fossil fuel consumption with the result of over-exploitation of natural resources, large areas of arable lands were transformed into construction lands, and grassland was degraded and desert; some relevant regional strategic plans were necessary in order to ensure the ecological balance: to change the unreasonable human consumption pattern; to curtail population; to optimize and intensive use of natural resources.

**Key Words:** ARIMA model; ecological footprint; simulation; prediction; Gansu province

生态足迹(Ecological Footprint, *EF*)模型是由 Ree 和 Wackernagel<sup>[1-2]</sup>于 20 世纪 90 年代提出的一种定量测量人类对自然利用程度的方法,具有指标指示意义明确、评估结果全球可比、模型方法简便、资料易获取、可操作性强等优点,已在世界各国得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。自 1999 年徐中民、张志强<sup>[4]</sup>等学者将该理论引入中国以来,大量学者使用该理论对部分省、市的可持续状况进行了评价<sup>[5-9]</sup>。

*EF* 回答了一个具体的研究问题:在一定时间内,一定的人类活动,包括资源消耗,生产商品或提供服务所需的地球再生生物承载力是多少<sup>[10]</sup>。然而,*EF* 本身是一个静态的指标,对其动态变化的准确定量分析还较少。目前,国外一些学者已经开始了对于 *EF* 的动态变化及发展趋势的研究。Haberl 等<sup>[11]</sup>在三种不同假设的基础上计算了 1926—1995 年澳大利亚 *EF*,并介绍了其在研究期间的变化状况,但在 Haberl 的研究中并未对 *EF* 未来的发展趋势进行讨论。Senbel 等<sup>[12]</sup>研究了北美 *EF* 的影响因素,并在假定几种情景下,预测了下个世纪的生态赤字(*ED*)。但情景分析方法随机性强,有很大的不确定性。我国一些学者也在尝试进行该方面的研究。岳东霞等<sup>[13]</sup>采用“变化率”和“剪刀差”的方法定量分析了甘肃省 1991—2004 年的 *EF* 和生态承载力(*EC*)的变化,并预测了其 2005—2015 年的发展趋势,然而,该方法会随着数据量的增加而不断增加误差,并且不能在一些极端的情况下使用,如时间序列样本数据的一些波浪状或阶梯状的变化<sup>[10]</sup>。此外,一些学者<sup>[3,14-15]</sup>采用传统的回归方法和灰色系统理论以及动力学方法来预测区域未来的 *EF*,但是这些方法也会随着数据量的增加而误差不断增加,导致预测准确性不高。采用何种方法来准确进行 *EF* 的预测是目前急需解决的一个问题。

自回归综合移动平均模型(ARIMA)由统计学家 Box 和 Jenkins 提出,是时间序列数据预测中最值得注意的一种模型,通常在计量经济学研究中使用<sup>[16]</sup>,可以较准确的预测非平稳时间序列。生态足迹时间序列影响因素较多,并且因子间关系复杂,属于非平稳时间序列,因而采用结构性因果模型(如传统的回归分析方法)对其进行预测一般难以达到较为理想的预测效果,理论上宜采用该模型进行预测。本文以我国干旱—半干旱区域—甘肃省为例,首先计算甘肃省 1949—2009 年的 *EF*,在此基础上使用 ARIMA 模型对甘肃省 2010—2015 年的未来 *EF* 发展趋势进行模拟和预测,以期对决策者对区域生态平衡和未来可持续规划提供参考。

## 1 研究区概况

甘肃省位于北纬 32°31′—42°57′,东经 92°13′—108°46′之间,地处黄河上游,黄土高原、内蒙古高原和青藏高原交汇处,跨长江、黄河和内陆河三大流域。全省土地总面积 42.58 万 km<sup>2</sup>,占全国总面积的 4.72%。2009 年耕地面积为 462.17 万 hm<sup>2</sup>,人均占有耕地 0.18hm<sup>2</sup>,比全国人均占有量高出一倍多。山地和丘陵占总土地面积的 78.2%,全省土地利用率为 56.93%,尚未利用的土地有沙漠、戈壁、高寒石山、裸岩、低洼盐碱、沼泽等。总人口 2635.46 万人,占全国的 1.97%,辖 14 个市(州)和 86 个县(市、区)。2009 年全省 GDP 为

3387.56 亿元,仅占全国的 1%,全国排名第 27 位,其经济发展水平远远滞后于我国经济相对发达地区。

近年来,甘肃省由于人口、经济快速增长,生态环境恶化,导致多数地区产生了地下水位下降、水土流失、草场退化、土地盐渍化、荒漠化、环境污染等一系列生态环境问题,资源浪费问题突出,严重阻碍了甘肃省环境、资源、经济三者的协调发展。

## 2 研究方法和数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 生态足迹(EF)

生态足迹模型通过跟踪区域的能源和资源消费,将它们转化为提供这种物质流所必须的各种生物生产性土地类型的面积,并同区域能提供的生物生产性土地面积进行比较,来定量判断一个区域的发展是否处于生态承载能力的范围内<sup>[17]</sup>。

生态足迹模型的计算基于两个前提<sup>[2]</sup>:①人类能够估计自身消费的大多数资源、能源及其所产生的废弃物数量;②这些资源和废弃物流能折算成生产和吸纳这些资源和废弃物流的生物生产性面积。

生态足迹模型的计算主要是计算生态足迹和区域生态承载力。

$$(1) \text{ 生态足迹的计算} \quad ef = \sum r_i A_i = \sum r_i c_i / p_i \quad (1)$$

式中, $ef$ 为区域人均生态足迹, $A_i$ 为第  $i$  种资源人均生态足迹, $r_i$ 为均衡因子, $c_i$ 为第  $i$  种资源消耗量,由  $i$  种资源的生产力加上贸易余额(进口减去出口)计算得出, $p_i$ 为第  $i$  种资源全球平均单产水平。人均生态足迹被分为 6 种类型:人均耕地生态足迹( $ef_a$ ),人均牧场生态足迹( $ef_p$ ),人均林地生态足迹( $ef_{for}$ ),人均化石能源用地生态足迹( $ef_{os}$ ),人均建设用地生态足迹( $ef_b$ )和人均水/渔业生态足迹( $ef_w$ )。

$$(2) \text{ 区域生态承载力的计算} \quad ec = \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中, $ec$ 为人均生态承载力, $a_j$ 为实际人均占有的第  $j$  类生物生产土地面积, $r_j$ 为均衡因子, $y_j$ 为产量因子。

将区域总的生态足迹(EF)和生态承载力(EC)进行比较,当生态足迹小于生态承载力时,表示生态承载力供给大于需求,为生态冗余(ER),说明生态环境处于可持续状态;当生态足迹大于生态承载力时,表示生态承载力供给不能满足需求,为生态赤字(ED),说明生态环境处于不可持续状态<sup>[18]</sup>。

#### 2.1.2 ARIMA 模型

ARIMA 模型的基本原理是:把时间序列视为随机过程,用一个数学模型来描述或模拟;一旦该模型可确定,就可用该时间序列的过去值和现值来预测未来值。该模型考察了时间序列的动态特征、持续特征,揭示了时间序列过去与现在、将来与现在的相互关系<sup>[19]</sup>。

ARIMA 模型的方程可以用不同形式表示,本文采用的是普遍使用的一个方程。

若序列  $\{Y_t\}$  能通过  $d$  次差分后变成平稳序列  $\{Z_t\}$ , 则

$$Z_t = \Delta^d y_t = (1 - B)^d y_t \quad (3)$$

于是可建立 ARIM( $p, q$ ) 模型:

$$Z_t = c + \varphi_1 z_{t-1} + \cdots + \varphi_p z_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \cdots + \theta_q \varepsilon_{t-p} \quad (4)$$

经过  $d$  阶差分后的 ARIMA( $p, d, q$ ) 为本文采用的模型。其中  $p$  为自回归模型的阶数, $q$  为移动平均阶数, $\varepsilon_t$  为一个白噪声序列。通常,ARIMA 模型建模步骤有 4 个阶段:序列平稳性检验,模型初步识别,模型参数估计和模型诊断分析。

#### 2.1.3 技术路线

### 2.2 数据来源

甘肃省消费数据主要来源于《甘肃年鉴》(1984—2010 年),贸易余额数据来源于 1984—2010 年的《中国统计年鉴》、新中国 60 周年统计资料汇编,以及由联合国粮农组织 FAO 提供的数据库。使用分析软件为 EViews 5.0。

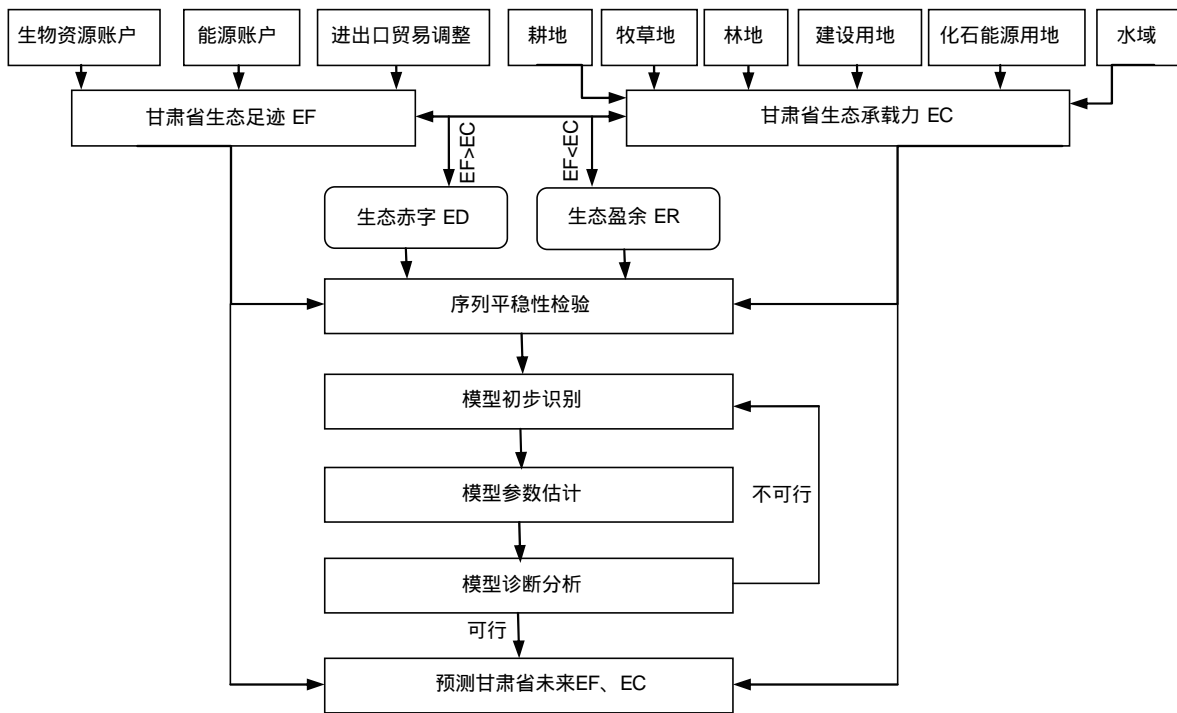


图1 计算方法流程图

Fig.1 Calculation flow chart of integrating *EF* method with ARIMA model

### 3 结果和讨论

#### 3.1 *EF* 计算

计算生物资源账户的生产性面积时采用联合国粮农组织(FAO)1993年计算的有关生物资源的世界平均产量资料<sup>[17]</sup>,计算能源账户的化石能源生态足迹时将能源的消费转化为化石燃料生产土地面积,采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量作为标准<sup>[19]</sup>,将甘肃省能源消费所消耗的热量折算成一定的化石燃料土地面积<sup>[20]</sup>。由于目前无法获得人类消耗的所有生物资源账户的统计数据,因此,本文计算所得的生态足迹是甘肃省各年人均生态足迹的最小值。由于篇幅所限,不在此显示该部分的计算结果。

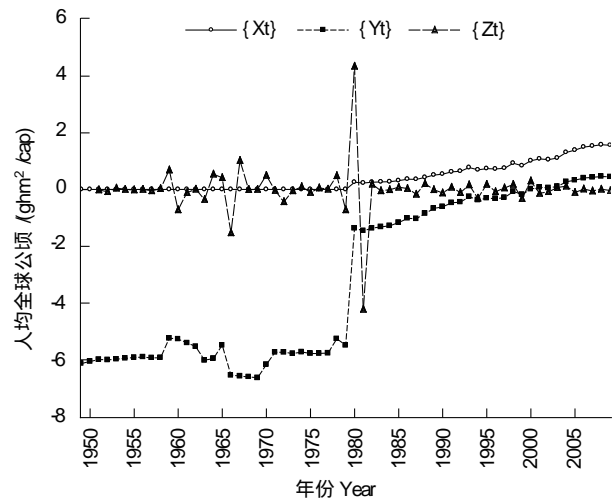
#### 3.2 *EF* 的模拟结果和 ARIMA 模型预测

本文以  $ef$  为例,来阐述 ARIMA 模型的实施过程。

##### 3.2.1 序列的平稳化处理

本文用  $\{X_t\}$  代表  $ef$ ,采用 EViews 5.0 软件对其进行分析。从  $\{X_t\}$  序列的线性趋势图(图2)中可以直观看出  $\{X_t\}$  随着时间的增长而增长,不是平稳序列。这也可采用 ADF 检验和 PP 检验来证明。进行 ADF 检验和 PP 检验时需要对其进行对数转换。令  $Y_t$  是  $X_t$  的对数函数, $Z_t$  是  $Y_t$  的二阶差分函数。对  $\{Y_t\}$  和  $\{Z_t\}$  进行单位根检验,其 ADF 检验和 PP 检验结果如表1所示。

表1显示,在时间序列  $\{Z_t\}$  中 ADF 和 PP 值分别为 -9.311226 和 -41.59576,小于临界值 1%,5% 和 10%,因此时间序列  $\{Z_t\}$  在 99% 的置信度水平下同时通过 ADF 检验和 PP 检验,可以被看成是平稳时间序列。同样,  $\{X_t\}$  和  $\{Y_t\}$  被检验为非平稳时间序列。

图2  $\{X_t\}$ 、 $\{Y_t\}$ 、 $\{Z_t\}$  序列的线性趋势图Fig.2 Trend plot of  $\{X_t\}$ ,  $\{Y_t\}$  and  $\{Z_t\}$

### 3.2.1 模型初步识别

在确定  $\{Z_t\}$  序列是平稳时间序列之后,通过该序列的自回归函数(ACF)和偏自回归函数(PACF)来确定 ARIMA( $p, d, q$ )模型的阶数  $p$  和  $q$ 。 $\{Z_t\}$  序列的 AC 值和 PAC 值见图 3。

表 1 序列的单位根检验结果

Table 1 Result of series unit root test				
检验方法		$\{X_t\}$	$\{Y_t\}$	$\{Z_t\}$
Autocorrelation				
Partial Correlation				
ADF 检验	1%	-3.546099	-3.544063	-3.550396
	5%	-2.911730	-2.910860	-2.913549
	10%	-2.593551	-2.593090	-2.594521
	ADF 值	3.283793	-0.600021	-9.311226
PP 检验	1%	-3.54406	-3.54406	-3.54610
	5%	-2.91086	-2.91086	-3.548208
	10%	-2.59309	-2.59309	-2.594027
	PP 值	3.014966	-0.54504	-41.59576

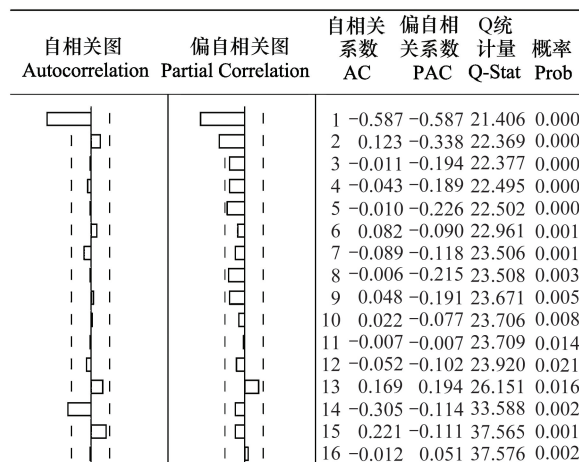


图 3  $\{Z_t\}$  序列的 AC 和 PAC 图

Fig. 3 The AC and PAC graph of  $\{Z_t\}$

从图 3 中看出,  $\{Z_t\}$  序列 AC 值和 PAC 值都是拖尾的, AC 函数是在一次滞后呈现几何速度递减, PAC 函数是二次滞后几何递减。因此,可以评估  $p$  值可能是 2,  $q$  值可能是 1。前文已经知道  $d = 2$ , 因此建立了 ARIMA(2, 2, 1) 模型。

### 3.2.3 模型参数估计

确定了适当的  $p$  和  $q$  值后,可以根据一定的准则,如 AIC 准则或 SC 准则等综合确定模型的参数。一般而言,较小的 AIC 值表示滞后阶数是合适的。经过 Eviews 反复推算,选出最优的模型为 ARIMA (2, 2, 1)。模型的决定系数  $R^2 = 0.55$ , 修正后的决定系数  $R^2 = 0.54$ , 标准误差(S.E)为 0.60。AIC 值为 1.87, SC 值为 1.97, 因此可初步确定 ARIMA (2, 2, 1) 为  $\{Z_t\}$  序列的最佳预测模型。

### 3.2.4 模型诊断分析

建模的最后一步是对其进行诊断分析,来证实所得的模型确实与所观察到的数据特征相符<sup>[20]</sup>。一般要求,(1)模型 AR 和 MA 的根的倒数在单位圆内;(2)模型的残差序列为白噪声序列。可通过残差序列的 Q 检验或者单位根检验的方法进行检验。

经过运算,AR 和 MA 的特征根的倒数分别为 0.21、-0.32 和 0.99,均在单位圆内;从图 4 中看出,它们的残差序列 Q 检验是合适的,因为 P 值足够大;残差序列的 ADF 统计量为 -7.086100,小于 1%、5%、10% 显著性水平的临界值。说明残差序列是个白噪声序列。模型的拟合情况见图 5。

图 5 下方说明框中的曲线为残差、实际值和拟合值,横轴为时间(1949—2005 年),纵轴代表时间序列的数据,其中实际值为  $ef$  取自然对数后的二阶差分。从图 5 中可以看出,模型的拟合值和实际值的变动具有较好的一致性,模型的残差值较小,说明模型具有较好的拟合效果。把模型中的所有参数输入到公式(3)中,可以首先获得  $\{Z_t\}$  序列的公式:

$$Z_t = -0.107922 Z_{t-1} + 0.067092 Z_t + \varepsilon_t - 0.986678 \varepsilon_{t-1} \tag{5}$$

$\{Z_t\}$  序列是  $\{Y_t\}$  序列的二阶差分,所以  $\{Y_t\}$  序列被表述为:

$$Y_t = 2 Y_{t-1} - Y_{t-2} + 0.107922 Z_{t-1} + 0.067092 Z_t + \varepsilon_t - 0.986678 \varepsilon_{t-1} \tag{6}$$

$\{Y_t\}$  序列是  $\{X_t\}$  序列的对数函数,所以  $\{X_t\}$  序列被表述为:

$$X_t = e^{2Y_{t-1} - Y_{t-2} + 0.107922 Z_{t-1} + 0.067092 Z_t + \varepsilon_t - 0.986678 \varepsilon_{t-1}} \tag{7}$$



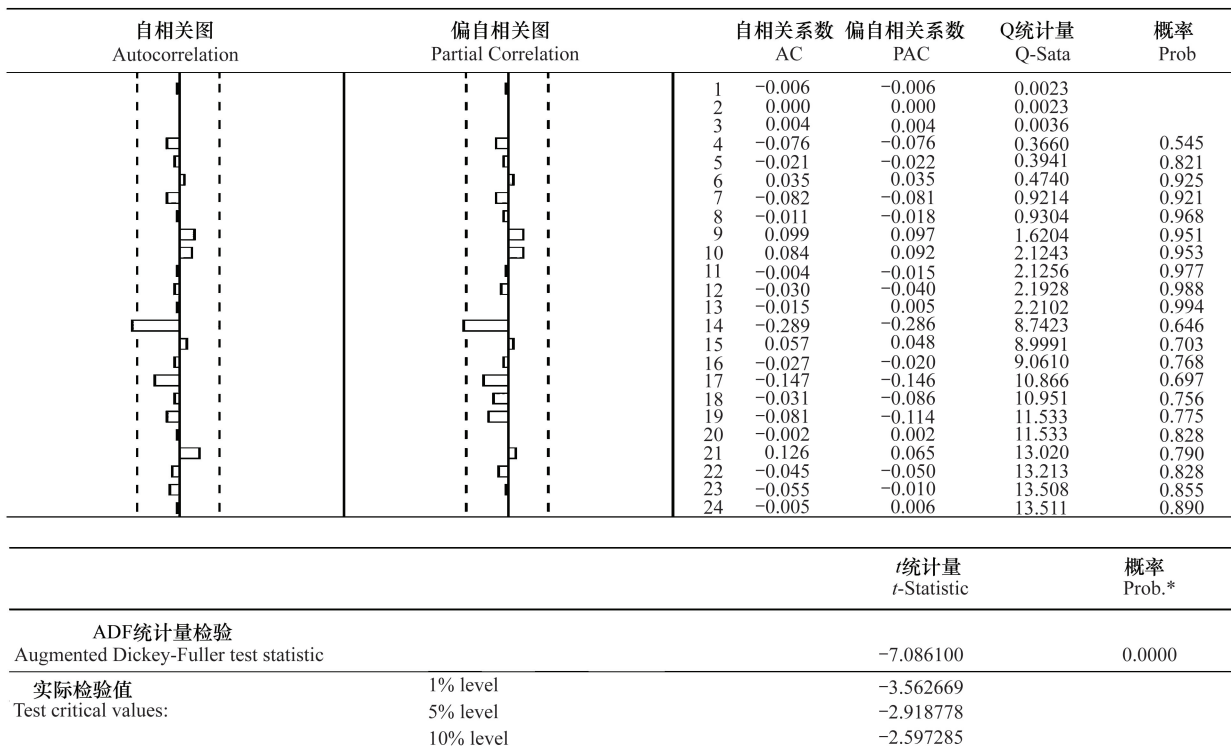


图 4 模型残差序列的 Q 检验和 ADF 检验结果

Fig. 4 Residual sequence Q test and ADF test of Model

上述公式可以被看作  $ef$  的最终方程。用同样的方法,可以得到人均耕地生态足迹( $ef_a$ ),人均牧场生态足迹( $ef_p$ ),人均林地生态足迹( $ef_{for}$ ),人均化石能源用地生态足迹( $ef_{fos}$ ),人均建设用地生态足迹( $ef_b$ )和人均水/渔业生态足迹( $ef_w$ )的模拟方程。为了节省篇幅,省略了其他模拟方程。其拟合效果见图 6(a—f)。

可以看到,甘肃省人均耕地生态足迹( $ef_a$ )从 1949 年  $0.0015 \text{ hm}^2/\text{人}$ ①到 2009 年  $0.1169 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.1154 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $7.47\%$ ;人均林地生态足迹( $ef_{for}$ )从 1949 年  $0.000609 \text{ hm}^2/\text{人}$ 到 2009 年  $0.1231 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.1224 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $9.25\%$ ;人均牧场生态足迹( $ef_p$ )从 1978 年  $0.0036 \text{ hm}^2/\text{人}$ 到 2009 年  $0.0746 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.0709 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $10.25\%$ ;人均化石能源用地生态足迹( $ef_{fos}$ )从 1980 年  $0.2517 \text{ hm}^2/\text{人}$ 到 2009 年  $1.1461 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.8943 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $5.36\%$ ;人均建设用地生态足迹( $ef_b$ )从 1989 年  $0.0717 \text{ hm}^2/\text{人}$ 到 2009 年  $0.1476 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.0759 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $3.67\%$ ;人均水/渔业生态足迹( $ef_w$ )从 1959 年  $0.0001 \text{ hm}^2/\text{人}$ 到 2009 年  $0.0031 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,总量增长了  $0.0030 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,年均增长率为  $6.97\%$ 。

### 3.3 讨论

#### 3.3.1 ARMIR 模型预测

通过 ARMIR 模型可以对甘肃省未来生态足迹变化趋势进行预测。见图 7—10。

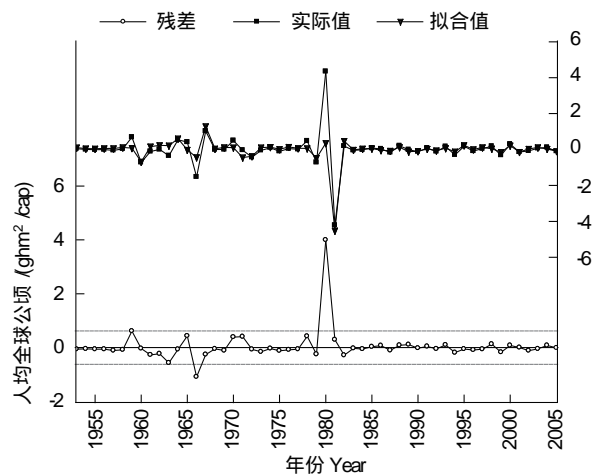


图 5  $\{Z_t\}$  序列拟合效果

Fig. 5 Fitting effect graph of  $\{Z_t\}$

①  $\text{gh}^2$  表示全球公顷,用于生态足迹研究

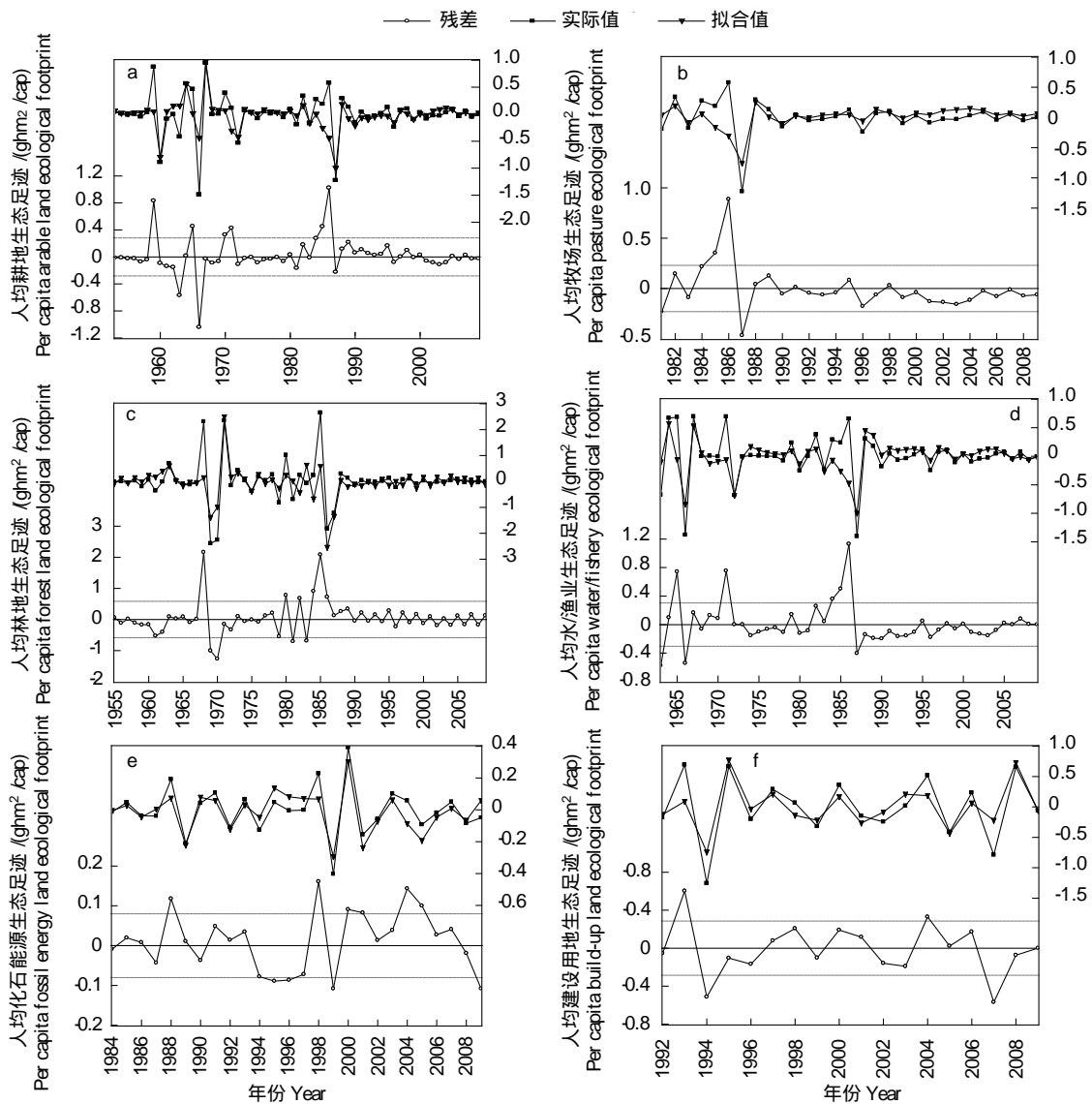


图 6 模型拟合效果图

Fig. 6 Fitting effect graphs of models

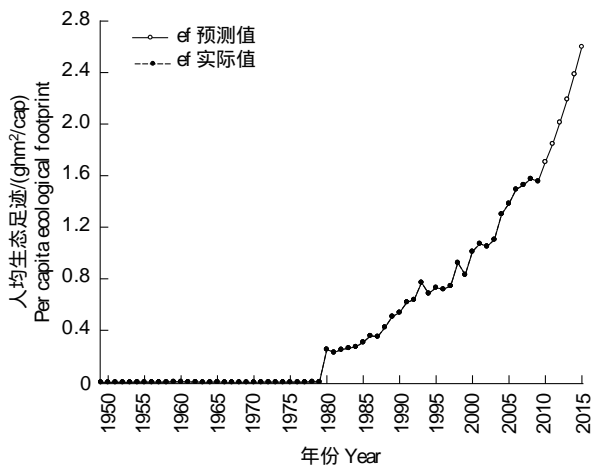


图 7 1949—2015 年甘肃省  $ef$  变化趋势及预测效果图

Fig. 7 Trend and predictive effect graph of  $ef$  in Gansu province from 1949 to 2015

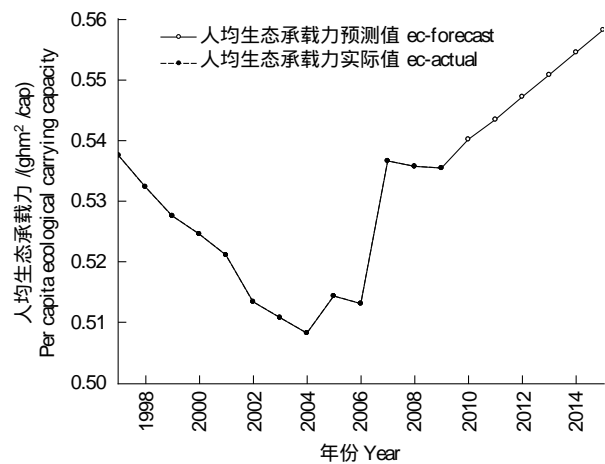


图 8 1997—2015 年甘肃省  $ec$  变化趋势及预测效果图

Fig. 8 Trend and predictive effect graph of  $ec$  in Gansu province from 1997 to 2015

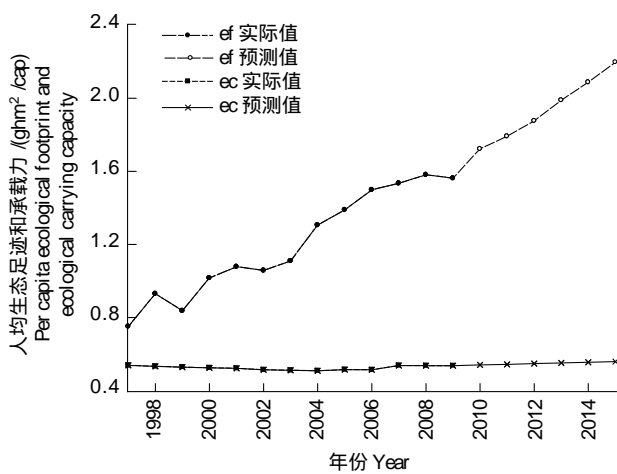
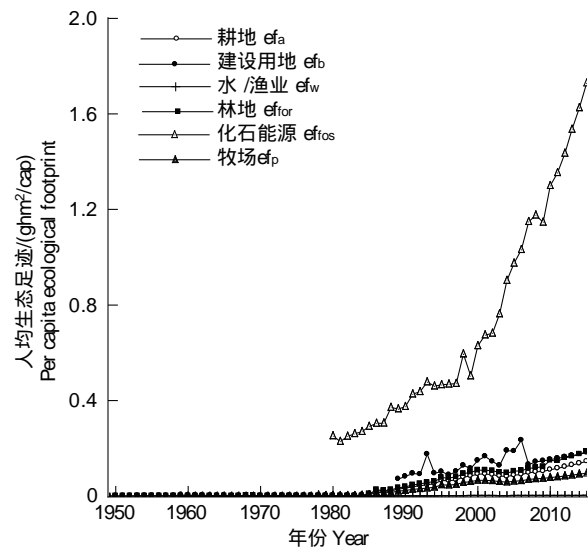
图9  $ef$  和  $ec$  预测效果对比图Fig. 9 Predictive effect graph of  $ef$  and  $ec$ 

图10 所有人均生态足迹组成类型预测效果图

Fig. 10 Predictive effect graphs of all kinds of  $ef$ 

如图7所示,1949—2010年甘肃省人均生态足迹( $ef$ )呈现上升趋势,2010—2015年上升趋势明显加快,预计到2015年会增加到 $2.6051 \text{ hm}^2/\text{人}$ ,是2009年的1.67倍。这与甘肃省“十一五”期间经济快速发展,人民生活水平提高,消耗大量的能源、资源,且预计“十二五”期间会继续加快增长是一致的。由于数据有限,关于人均生态承载力( $ec$ )计算所需的数据只能收集到1997年到2009年。从图8中可看出,和人均生态足迹相反,1997—2004年甘肃省生态承载力在逐年减少,主要是因为甘肃省经济的发展依赖于化石能源的消耗而造成对自然资源的过度利用,大量耕地转换为建设用地,草地荒漠化等等。2005—2009年,甘肃省人均生态承载力呈现逐年上升趋势,归因于甘肃省近几年加大土地整理复垦开发力度成效显著有关,预计2010—2015年仍呈现上升趋势。从图9中可看出,1997—2009年甘肃省人均生态承载力( $ec$ )均小于人均生态足迹( $ef$ ),属于生态赤字,甘肃省生态环境处于不可持续状态。虽然2010—2015年 $ec$ 呈增长趋势,但由于 $ef$ 增长较快,致使甘肃省生态赤字不断增大,预计到2015年生态赤字为 $-2.0468 \text{ ghm}^2/\text{人}$ ,约为2009年( $-1.0262 \text{ ghm}^2/\text{人}$ )的两倍。

如图10所示,2010—2015年所有类型的人均生态足迹均呈现上升趋势。人均化石能源生态足迹( $ef_{fos}$ )1978—2009年几乎呈现直线式增长,预计2010—2015年,增长速度继续加快,这与甘肃省经济持续增长不断消耗化石能源是一致的,但同时也带来了大量的环境污染问题。此外,相比较各种类型的人均生态足迹,1949—2009年人均牧草地生态足迹( $ef_p$ )的年均增长率是最大的,表明甘肃省人们的饮食结构向肉类转变,并且预计2010—2015年 $ef_p$ 将继续增加。1949—2015年人均耕地生态足迹( $ef_a$ )保持稳定增长。人均建设用地生态足迹( $ef_b$ )从2009年达到低峰以后,预计2010—2015年将会持续增长,但增长速度较慢。但1980—2009年有几个快速下降和起伏,这与实际是不符的,具体原因可能是数据或者模型本身的错误。

### 3.3.2 ARMIR 模型的适用性

影响 $EF$ 的因素是极其复杂的,包括自然环境状况、经济发展水平、经济增长方式、技术进步、人口变动、国家政策等等。因此,采用传统的回归分析方法,难以达到理想的预测效果,另外,因子之间的关系还会导致严重的多重共线性<sup>[24]</sup>。ARMIR模型克服了回归分析的不足,在对时间序列过去值和现值分析的基础上,考察了未来值的变化,是一种精度很高的预测方法,尤其是在短期预测中精度更高。从生态学的角度,综合运用ARIMA模型,可以对 $EF$ 的长期时间序列进行模拟和预测,其结果可以为当地决策者制定区域可持续发展战略规划提供参考。

但该模型中数据趋势外推法的假设是任何其他因素已经影响了过去的  $EF$  并且在将来会继续影响,而实际上,这些因子可能随着时间和不同的状况而发生变化<sup>[10]</sup>。此外,还有初始数据本身的错误,以及  $EF$  理论固有的缺陷,这都是在模型使用中不可避免的问题。

#### 4 结论

(1) 本文采用  $EF$  理论和 ARIMA 模型对甘肃省 1949—2009 年人均生态足迹( $ef$ )和人均生态承载力( $ec$ )进行了模拟和分析,并预测了其 2010—2015 年的变动情况。结果表明,在未来五年内甘肃省人均生态足迹( $ef$ )持续增长,而人均生态承载力( $ec$ )增长较缓慢,导致人均生态赤字( $ed$ )进一步增大,甘肃省生态环境不可持续状况越来越严重。

(2) 2010—2015 年所有类型的人均生态足迹均呈现上升趋势。尤以人均化石能源生态足迹( $ef_{fos}$ )增长速度显著,这与甘肃省经济持续增长不断消耗化石能源是一致的,但同时也带来了大量的环境污染问题。人均牧草地生态足迹( $ef_p$ )将继续增加。人均耕地生态足迹( $ef_a$ )保持稳定增长。人均建设用地生态足迹( $ef_b$ )从 2009 年达到低峰以后,预计 2010—2015 年将会持续增长,但增长速度较慢。

(3) 采用 ARIMA 模型可以有效地用于  $EF$  时间序列的模拟和预测。虽然由于一些可能的原因,导致  $EF$  预测值有一些误差,但其预测结果仍然可以为当地的决策者制定可持续发展战略规划提供参考。

(4) 针对目前甘肃省人均生态赤字不断增长,生态环境处于严重的不可持续的状况,应从以下几方面进行改善。第一,减少人均生态足迹的消耗。必须改变甘肃省过度依靠矿产资源发展经济的模式,重点发展知识密集型产业,减少对不可更新资源的消耗。控制人口规模,减少人口对环境的压力。改变人们的生产和消费方式,引导人们合理消费来降低生态赤字。第二,提高甘肃省生态承载力。要继续大力进行土地整治工作,实施严格的耕地资源保护措施。实施资源的优化配置和集约利用,提高资源利用效率。大力加强生态环境保护,生态建设与环境保护并举,进一步提高单位土地生态承载力水平。

#### References:

- [ 1 ] Rees W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 1992, 4 (2): 121-130.
- [ 2 ] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [ 3 ] Zhu J L, Li Y P, Cai Y L. Analysis and prediction of ecological footprint by Gray Forecasting Model for Hebei Province. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(2): 24-28.
- [ 4 ] Zhang Z Q, Xu Z M, Cheng G D, Chen D J. The ecological footprints of the 12 provinces of West China in 1999. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 599-610.
- [ 5 ] Chen D J, Zhang Z Q, Cheng G D, Xu Z M. Calculation and analysis on ecological footprints of China. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 441-445.
- [ 6 ] Chen D J, Xu Z M. Application and discussion of ecological footprint in arid areas of China: a case study in Xinjiang Uygur Autonomous Region. *Arid Land Geography*, 2001, 24(4): 305-309.
- [ 7 ] Dong Z Q, Sun T H. Ecological footprints: calculation and analysis of ecological footprints from 1999 to 2001 in Liaoning Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2735-2739.
- [ 8 ] Wang G G, Yang D G, Qiao X N, Yang L, Tang H. Variations of ecological and economic sustainable development capacities in Xinjiang Region based on ecological footprint model. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(5): 969-975.
- [ 9 ] Zhang H Y, Liu W D, Lin Y X, Dan N N, Wang S Z. A modified ecological footprint analysis to a sub-national area: the case study of Zhejiang Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2738-2748.
- [ 10 ] Jia J S, Zhao J Z, Deng H B, Duan J. Ecological footprint simulation and prediction by ARIMA model — a case study in Henan Province of China. *Ecological Indicators*, 2010, 10(2): 538-544.
- [ 11 ] Haberl H, Erb K H, Krausmann F. How to calculate and interpret ecological footprints for long periods of time: the case of Austria 1926—1995. *Ecological Economics*, 2001, 38(1): 25-45.
- [ 12 ] Senbel M, McDaniels T, Dowlatabadi H. The ecological footprint: a non-monetary metric of human consumption applied to North America. *Global*

- Environmental Change, 2003, 13(2): 83-100.
- [13] Yue D X, Xu X F, Li Z Z, Hui C, Li W L, Yang H Q, Ge J P. Spatiotemporal analysis of ecological footprint and biological capacity of Gansu, China 1991—2015: down from the environmental cliff. *Ecological Economics*, 2006, 58(2): 393-406.
- [14] Lu F, Xu J H, Wang Z Y, Hu X F. Qualitatively analysis on influence factors of ecological footprint and dynamic prediction of ecological footprint: a case study in Xinjiang. *Geography and Geo-Information Science*, 2010, 26(6): 70-74.
- [15] Zhang Y G, Lin Z S, Li M L, Liang R J. Prediction on the dynamics of ecological footprint and ecological capacity based on EMD in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5027-5032.
- [16] Ediger V Ş, Akar S, Uğurlu B. Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model. *Energy Policy*, 2006, 34(18): 3836-3846.
- [17] Xu Z M, Cheng G D, Zhang Z Q. Measuring sustainable development with the ecological footprint method—take Zhangye prefecture as an example. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [18] Wackernagel M, Yount J D. Footprints for sustainability: the next steps. *Environment, Development and Sustainability*, 2002, 2(1): 23-44.
- [19] Zheng S Z, Yang W X. Analysis and forecasting of GDP in China based on the ARIMA model. *Chinese Market*, 2010, (48): 24-28.
- [20] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. *Ecological Footprints of Nations [R]*. Toronto: Commissioned by the Earth Council for the Rio+ 5 Forum International council for local Environmental Initiatives, 1997: 10-21.
- [21] Qiu D X. *Energy Program and System Analysis*. Beijing: Tsinghua University Press, 1995: 48-48.
- [22] Box G, Jenkins G, MacGregor J. Some recent advances in forecasting and control, part two. *Statist*, 1974, (4): 158-179.
- [23] Pan S C. *Econometrics*. Beijing: China Renmin University Press, 2002.
- [24] Chi Q S. Forecasting the increase of petroleum consumption in China based on the ARIMA model. *Resources Science*, 2007, 29(5): 69-73.

#### 参考文献:

- [3] 朱金亮, 李玉平, 蔡运龙. 基于灰色预测模型的河北省生态足迹动态分析与预测. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(2): 24-28.
- [4] 张志强, 徐中民, 程国栋, 陈东景. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹. *地理学报*, 2001, 56(5): 599-610.
- [5] 陈东景, 张志强, 程国栋, 徐中民. 中国 1999 年的生态足迹分析. *土壤学报*, 2002, 39(3): 441-445.
- [6] 陈东景, 徐中民. 生态足迹理论在我国干旱区的应用与探讨——以新疆为例. *干旱区地理*, 2001, 24(4): 305-309.
- [7] 董泽琴, 孙铁珩. 生态足迹研究—辽宁省生态足迹计算与分析. *生态学报*, 2004, 24(12): 2735-2739.
- [8] 王国刚, 杨德刚, 乔旭宁, 杨莉, 唐宏. 基于生态足迹模型的新疆区域生态经济可持续发展能力变化分析. *冰川冻土*, 2009, 31(5): 969-975.
- [9] 张恒义, 卫东, 林育欣, 单娜娜, 王世忠. 基于改进生态足迹模型的浙江省域生态足迹分析. *生态学报*, 2009, 29(5): 2738-2748.
- [14] 鲁凤, 徐建华, 王占永, 胡秀芳. 生态足迹影响因子定量分析及其动态预测比较研究——以新疆为例. *地理与地理信息科学*, 2010, 26(6): 70-74.
- [15] 张衍广, 林振山, 李茂玲, 梁仁君. 基于 EMD 的中国生态足迹与生态承载力的动力学预测. *生态学报*, 2008, 28(10): 5027-5032.
- [17] 徐中民, 程国栋, 张志强. 生态足迹方法: 可持续性定量研究的新方法——以张掖地区 1995 年的生态足迹计算为例. *生态学报*, 2001, 21(9): 1484-1493.
- [19] 郑少智, 杨卫欣. 基于 ARIMA 模型的我国国内生产总值的分析与预测. *中国市场*, 2010, (48): 24-28.
- [21] 邱大雄. *能源规划与系统分析*. 北京: 清华大学出版社, 1995: 48-48.
- [23] 潘省初. *计量经济学*. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.
- [24] 池启水. 中国石油消费量增长趋势分析——基于 ARIMA 模型的预测与分析. *资源科学*, 2007, 29(5): 69-73.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

- Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port ..... WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
- Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer ..... FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
- Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics ..... XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
- Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain ..... LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
- Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu ..... WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
- Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ..... ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
- Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area ..... LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
- Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern ..... LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
- Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ..... ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
- Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China ..... HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
- Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau ..... LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
- Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts ..... LAN Wenlu (5970)
- Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province ..... PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
- Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China ..... GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
- Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute ..... WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
- Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* ..... LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
- Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. .... HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
- Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain ..... WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
- Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China ..... WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
- Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China ..... CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
- Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ..... ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
- Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field ..... DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc .....	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land .....	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland .....	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment .....	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study .....	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen .....	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China .....	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties .....	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress .....	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy .....	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd <sup>2+</sup> .....	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd <sup>2+</sup> using the fruiting bodies of two macrofungi .....	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir .....	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i> .....	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae) .....	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems .....	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities .....	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City .....	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009 .....	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan .....	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area .....	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China .....	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China .....	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
<b>Review and Monograph</b>	
A prospect for study on isolated wetland .....	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy .....	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering .....	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China .....	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

## 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China  
**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

**广告经营**  
**许 可 证** 京海工商广字第 8013 号



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元