

文章编号:1003-2398(2013)02-0104-07

## 西安市人地关系协调状态评价及动态预测

尚海龙,潘玉君

(云南师范大学 旅游与地理科学学院,昆明 650500)

THE ANALYSIS ON THE EVOLUTION STATE OF MAN-LAND RELATIONSHIP  
AND THE DYNAMIC PREDICTION IN XI'AN

SHANG Hai-long, PAN Yu-Jun

*(College of Tourism & Geography Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)*

**Abstract:** Understanding the causal feedback link of man-land relationship elements and building quantitative model of man-land system are key points for evaluating the city's coordination state. It is of great significance to discuss the evolution trend of man-land relationship in Xi'an under the background of the construction plan for Guanzhong-Tianshui economic zone. It is one of the key regions constructed that are put forward in the outline of 11th five-year plan for development of the west region in China, according to regional economic development theory. Highlighting the role of urban environmental factor in the man-land relationship running system, this paper optimizes the evaluation index system, uses the function between environment and the social-economic development to construct the model of coordinated man-land relationship, and does quantitative analysis on the levels and types of the coordination state of the man-land relationship in Xi'an since the implementation of the strategy of western development. The results show that the evolution of the area's man-land relationship coordination state has six development stages, including moderate disorders, mild disorders, barely coordination, primary coordination, intermediate coordination and good coordination. At present, man-land relationship of Xi'an is in a positive cycle of coordination development and environment lag type, and a declining trend has emerged since 2009. This paper further predicts sequence of analog values between the region's total population and the amount of cultivated land in the follow-up 10 years through the gray model GM (1, 1). The analysis shows that in the coming ten years, the total population of Xi'an would increase by 13.99% per year, cultivated land would decrease by 14.30% per year, and the ecological balance and environmental protection would be faced with serious challenge.

**Key words:** man-land relationship; the China's West Development Strategy; coordinated development degree; GM (1,1 model); Xi'an

**提 要:** 认识人地关系要素因果反馈联系和构建定量模型是进行城市协调状态评价的关键,以“关中—天水经济区”规划为背景,探讨大西安人地关系协调演进趋势具有现实意义。本文在突出表征城市环境因素对人地关系地域系统运行作用的基础上,优化指标体系,运用资源环境与经济社会发展函数构建复合人地关系协调发展度模型,对西部大开发以来研究区人地关系协调状态的等级与类型进行定量评价。在此基

础上,通过灰色模型GM (1,1),预测2011—2020年研究区总人口与耕地面积的模拟值。分析发现:未来10年研究区的总人口年均增长13.99%,耕地面积年均递减14.30%,人多地狭的矛盾使生态安全将会受到严重挑战。

**关键词:** 人地关系; 西部大开发; 协调发展度; GM (1,1) 模型; 西安市

**中图分类号:** F129.9 **文献标识码:** A

基金项目:国家哲学社会科学基金项目(BHA100058)

作者简介:尚海龙(1981—)男,甘肃宁县人,讲师,硕士研究生,研究方向为区域经济开发。E-mail:591627824@qq.com。

通讯作者:潘玉君(1965—)男,黑龙江人,二级教授,博士生导师,研究方向为区域发展、地理学思想史、人文地理学等。

收稿日期:2011-12-26;修订日期:2012-04-04

## 1 引言

人地关系是人类经济活动与地理环境之间的相互关系，即人口、资源与环境的相互协调关系。解决以人口与耕地为主形成的矛盾是人地关系协调发展的根本途径。城市是区域生产、流通的高度集中地区，其较小的空间范围加剧了人地矛盾。西安市作为西陇海—兰新经济带上国家实施西部大开发战略的桥头堡、西北首位城市、国家确定的重点发展区域及亚欧大陆桥经济带的金融中心，其人口与耕地的矛盾深刻影响着全市生态环境与社会经济的协调发展。该市人地关系能否更好的协调发展不仅关系到国家发展战略与宏观规划，而且也对西部和北方内陆地区发展具有重要的影响。

1999年启动的西部大开发战略，使西安市基础设施改善、发展加快，成为西部经济新的“增长极”；2009年规划的关中—天水经济区，使西安市成为继北京、上海之后从国家层面上提出的第三个国际化大都市，这在全国区域战略格局中具有重要意义。

但是面对国家的重大战略举措，近年来，西安市整体发展出现了诸多不容忽视的问题：第一，能源消费量逐年增长，单位工业增加值能耗偏高。2005—2009年全市社会能源消费总量从1353.35增长到1891.79万吨标准煤<sup>[1]</sup>，年均增长率为8.73%，2008年单位工业增加值能耗为1.375，明显高于东部发达省区<sup>[2]</sup>。第二，流经西安的渭河断面污染严重，流域环境质量下降。其干流水质为重度污染、支流水质为中度污染，治理无明显优化；环境状况局部改善，总体恶化，多数指标逐年好转，但仍处于亚理想状态。第三，水资源短缺，降水量递减趋势明显。西安市水资源总量27亿m<sup>3</sup>，人均占有量不到350m<sup>3</sup>，仅相当于全国的1/8、世界的1/25<sup>[3]</sup>，远远低于国际公认的1000m<sup>3</sup><sup>[4]</sup>的缺水警戒线；1991—2007年平均降水比1951—2007年均值减少28.7mm，比1951—1990年均值减少40.9mm<sup>[5]</sup>，2010年降水量仅为504.4mm。第四，主城区人口过于集中，医疗卫生、就业与社会保障等民生工程面临严峻挑战。据第六次人口普查数据显示，主城区总人口高达556万，西部省区排名第二。针对现状，国内学者进行了广泛的研究，例如通过对西安市的生态足迹进行测算<sup>[6-8]</sup>，得出生态赤字逐年增大的结论；通过对大气状况与人居环境进行研究<sup>[9-11]</sup>，表明城市大气污染较为严重，强沙尘暴天气造成了严重的TSP和PM10污染，市区人居环境属于一般适宜区等。综上，可认为西安市近年来人口不断增多，耕地资源逐渐减少，而经济的快速发展，对资源环境造成的压力已经超出了生态承载力<sup>[12-15]</sup>范围，制约着全市生态安全<sup>[16]</sup>与人地关系的协调发展。鉴于目前对西安市人地关系协调发展研究主要集中于单纬度层面上，缺少综合研究成果，本文以促进人地关系地域系统协调发展为切入点，着力对西部大开发以来研究区人地关系协调演进状态及未来动态变化进行探讨。此研究将对研究区建设生态城区，发展环保效益经济，增强核心竞争力，实现自然环境与社会经济的和谐发展具有借鉴意义。

## 2 研究方法

为了能够客观评价人地关系演进状态，本文运用协调度模型对西安市人地关系可持续性做定量评价<sup>[17,18]</sup>。同时，利用GM(1,1)模型对研究区2011—2020年总人口与耕地变量进行情景预测，以探讨未来数年内人地关系协调演进趋势、生态安全状况及调适策略。研究方法步骤如下：

### 2.1 指标体系的构建及数据来源

基于协调发展度模型的特点，本文依据评价指标的代表性、可比性、客观性与层次性原则，借鉴已有指标体系研究成果<sup>[19-22]</sup>，采用理论分析法对评价指标进行确定，用资源环境基础与经济社会水平两大方面的发展能力来展现西安市人地关系的持续发展状态。考虑到西安市的资源、环境、经济、社会等状况，在选择针对性强、使用频率较高指标的基础上，突出了表征城市环境现状的大气质量、水环境、声环境等因素及旅游资源丰度指数<sup>[23]</sup>、产业结构演进系数<sup>[24]</sup>等指标对人地关系系统运行的作用。鉴于数据的连续性、可获得性，选取26项既相互联系又有区别的分指标构建多层次评价体系（见表1），力求能够全面、准确的表现西安市11年来的人地关系协调演进状态。

数据源于2001-2011年西安市统计局、国家统计局西安调查队编写的《西安统计年鉴》，西安市环境保护“十一五”规划，国家A级旅游景区名录，国家旅游局、陕西省旅游局、西安市统计局、西安市环境保护局网站及相关文献<sup>[25-29]</sup>的统计数据。

### 2.2 指标权重的确定

为避免权重确定的主观因素影响，本文使用熵值法<sup>[30,31]</sup>确定权重。信息熵值的数学含义主要指系统状态不确定性程度的度量。一般，信息熵值越高，系统结构越均衡，差异越小；反之，信息熵越低，系统结构越不均衡，差异越大。所以根据信息熵值大小，计算权重。具体程序如下：

(1) 为了使数据的量纲一致，利用极差法对确定的26项指标值进行标准化处理。基本公式为：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (1)$$

$$X''_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (2)$$

公式中：(1)式为正向指标计算方法，(2)式为负向指标计算方法， $X_{ij}$ 代表第*i*年份第*j*项评价指标的数值， $\max\{X_j\}$ 与 $\min\{X_j\}$ 分别代表评价年份中*j*项评价指标的最大值及最小值， $X'_{ij}$ 代表指标标准化以后的值。

### (2) 权重计算方法

根据西安市人地关系地域系统的特征，把收集数据按照公式(1)、(2)处理后，利用熵值法计算西安市人地系统各指标的权重。方法如下：

$$Y_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^m X'_{ij} \quad (3)$$

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (y_{ij} \cdot \ln y_{ij}), 0 \leq e_j \leq 1 \quad (4)$$

$$w_i = 1 - e_j / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (5)$$

式中： $Y_{ij}$ 表示*i*年份*j*项指标的比重， $e_j$ 表示*i*项指标的信息熵， $w_i$ 表示*i*项指标的权重， $1 - e_j$ 代表冗余度， $m$ 代表评价年数， $n$ 代表指标个数；为了保证信息熵为正值，令 $k=1/\ln m$ 。运用以上公式对确定指标数据进行处理与计算，得到26项指标的权重值（见表1）。

2.3 协调发展度模型

协调发展度模型综合了环境与经济发展指标的协调状况并反应两者的发展程度，具有简便、概括与综合的特点。可用于不同城市之间、同一城市在不同时期环境与经济协调发展状况的定量评价和比较<sup>[18,32]</sup>，也适应于人地关系协调等级与发展阶段的评价。

(1) 综合资源环境效益与综合经济社会效益函数

根据度量要素之间协调状况的定量指标，令  $x_1、x_2、x_3 \dots x_{11}$  为描述资源环境效益的指标；令  $y_1、y_2、y_3 \dots y_{12}$  为描述

经济社会效益的指标。则函数关系式为：

$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i x'_i \quad g(y) = \sum_{j=1}^n w_j y'_j \quad (6)$$

式中： $f(x)$ 代表资源环境效益， $g(y)$ 代表经济社会效益； $x'_i、y'_j$ 代表资源与经济各指标标准化后的数值。

(2) 复合协调发展度模型

协调发展度，也称协调发展系数，是两种或者两种以上系统之间发展水平程度的定量。文中复合协调发展度是用来衡量环境与经济两系统的耦合水平，用  $D$  表示：

$$D = \sqrt{[af(x)+bg(y)] \times \left\{ \frac{f(x) \cdot g(y)}{[\frac{f(x)+g(y)}{2}]^2} \right\}^k} \quad (7)$$

式中： $af(x)+bg(y)$ 代表环境与经济效益的综合评价指数，通常用  $T$  表示； $a、b$  为待定系数，考虑到资源环境与经济发展对城市和谐的贡献率是等同的，所以均设定为 50%； $k$  为调节系数，由于评价体系指标分为两大类，故计算时设定  $k=2$ 。为了使协调发展系数能对应定性标准，在借鉴现有研

表1 西安市人地系统各项指标权重

Tab.1 The Weight of the Indicators of Man-land System in Xi'an

系统层	子系统层	指标层	单位	信息熵	冗余度	权重	
西安市 人地关 系协调 发展	资源环境 基础 (X)	耕地 $X_1$	hm <sup>2</sup>	0.7753	0.2247	0.1344	
		森林 $X_2$	hm <sup>2</sup>	0.8755	0.1245	0.0745	
		水资源 $X_3$	hm <sup>2</sup>	0.9263	0.0737	0.0441	
		园林绿地 $X_4$	hm <sup>2</sup>	0.7497	0.2503	0.1497	
		旅游资源丰度指数 <sup>①</sup> $X_5$	1	0.9185	0.0815	0.0487	
		水域养殖面积 $X_6$	hm <sup>2</sup>	0.8918	0.1082	0.0647	
	环境	大气环境					
		空气质量达标率 $X_7$	%	0.9296	0.0704	0.0421	
		水环境					
		人均饮水量 $X_8$	L	0.9046	0.0954	0.0571	
		水资源利用率 $X_9$	%	0.8896	0.1104	0.0661	
		地表水综合污染指数 $X_{10}$	1	0.9447	0.0553	0.0331	
		声环境					
		区域噪声平均值 $X_{11}$	Db(A)	0.8380	0.1620	0.0969	
	经济社会发 展 (Y)	经济	固体废物综合利用率 $X_{12}$	%	0.9264	0.0736	0.0441
			垃圾无害化处理率 $X_{13}$	%	0.8786	0.1214	0.0726
			建成区绿化覆盖 $X_{14}$	%	0.8796	0.1204	0.0720
			人均 GDP $Y_1$	RMB	0.8289	0.1711	0.1235
			城市居民人均可支配收入 $Y_2$	RMB	0.7965	0.2035	0.1469
			农村居民纯收入 $Y_3$	RMB	0.8029	0.1971	0.1423
		社会	GDP 年增长率 $Y_4$	%	0.9053	0.0947	0.0684
			三产占 GDP 的比重 $Y_5$	%	0.9448	0.0552	0.0398
			产业演进系数 <sup>②</sup> $Y_6$	1	0.8727	0.1273	0.0919
			人口密度 $Y_7$	人/km <sup>2</sup>	0.9067	0.0933	0.0673
	建成区面积 $Y_8$	km <sup>2</sup>	0.8507	0.1493	0.1077		
	人口城市化率 $Y_9$	%	0.8935	0.1065	0.0768		
城镇居民恩格系数 $Y_{10}$	%	0.9328	0.0672	0.0485			
农村居民恩格系数 $Y_{11}$	%	0.9335	0.0665	0.0480			
城镇登记失业率 $Y_{12}$	1	0.9462	0.0538	0.0389			

表 2 协调发展水平的度量标准

Tab.2 The Metrics of the Coordinated Development

协调发展度 D	0.20—0.39	0.40—0.49	0.50—0.59	0.60—0.69	0.70—0.79	0.80—0.89	0.90—1.00
协调等级	中度失调	轻度失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调

究成果的基础上<sup>[19,22,30,33]</sup>，本文设定的西安市人地关系协调发展水平的度量标准见表 2。

2.4 灰色预测模型

目前运用最广泛的灰色预测模型是关于数列预测的一个变量、一个微分的 GM(1,1)模型<sup>[34,35]</sup>。当原始时间序列隐藏着指数变化规律时，灰色模型 GM(1,1)的预测是非常成功的。灰色模型以微分方程为表现形式，揭示事物连续发展的过程与渐变规律。所以，本文将人口与耕地的数量变化过程认定为一个灰色系统，构建灰色预测模型对西安市 2011—2020 年总人口与耕地面积变量进行预测，以分析研究区人口与耕地变化趋势。构造如下：

设已知数据变量组成序列为  $x^{(0)}$ ，则可得到数据序列：

$$X^{(0)}=(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\dots,x^{(0)}(n))$$

用 1-AGO 生成以累加生成序列为：

$$X^{(1)}=(x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\dots,x^{(1)}(n))$$

其中：

$$x^{(1)}(k)=\sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad k=1,2,\dots,n$$

$Z^{(1)}$ 为  $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列：

$$Z^{(1)}=(z^{(1)}(2),z^{(1)}(3),\dots,z^{(1)}(n))$$

其中： $z^{(1)}(k)=0.5x^{(1)}(k)+0.5x^{(1)}(k-1),k=2,3,\dots,n$ 。则称灰色微分方程。

$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b$  为 GM(1,1)模型， $\frac{dx^{(1)}}{dt}+ax^{(1)}=b$  为 GM(1,1)模型的白化方程。

$$\text{若 } \hat{a}=\begin{Bmatrix} a \\ b \end{Bmatrix} \text{ 为参数列，且 } Y=\begin{Bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{Bmatrix}, B=\begin{Bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{Bmatrix},$$

则称灰色微分方程。

$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b$  可以表示为  $Y=B\hat{a}$ ，利用最小二乘估计可以得到参数满足： $\hat{a}=(B^T B)^{-1} B^T Y$ ，求解的白化方程即可得预测模型：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=(x^{(0)}(1)-\frac{b}{a})e^{-a(k-1)}+\frac{b}{a} \quad (8)$$

一般取  $x^{(0)}(0)=x^{(1)}(1)$ ，并对其做累减还原，即可得到原始数列的灰色预测模型：

$$x^{(0)}(k+1)=\hat{x}^{(1)}(k+1)-\hat{x}^{(1)}(k) \quad (\text{其中 } k=1,2,\dots,n-1)$$

3 计算结果及评价

对 2000—2010 年西安市经济发展与资源环境指标原始数据按照公式 (1)，(2) 进行标准化处理，利用公式 (3)—(5) 计算出 26 项指标的权重，通过公式 (6)，(7) 得出研究区 11 年来的人地协调发展系数 (见表 3)。该系数是评价人地关系现势的稳定值，越大说明发展水平越高；对 1995—2010 年的总人口与耕地面积数据利用公式 (8) 计算，得出后续 10 年模拟值序列，以预测研究区未来的耕地与人口变化趋势及其对人地关系协调发展的影响。

3.1 西安市人地关系协调状态综合评价

3.1.1 综合资源环境效益评价

从自然与人文地理环境赋予的资源环境综合效益分析，西部大开发战略实施 11 年来，西安市的综合资源环境效益评价指数呈现出“低—高—低”的变化趋势 (见图 1)，说明资源环境基础支撑经济社会发展的能力的轨迹是“弱—强—稍弱”。结合面板数据分析，可以看出，全市林园与建成区绿地面积逐年增加，降低市区噪声污染，有效缓解热岛效应。旅游资源丰度指数稳中有升，增强了城市生态系统的独立性、稳定性与调节能力，使城市这种典型的社会—经

表 3 西安市人地关系协调发展水平及其度量标准

Tab.3 The Coordinated Development Level of Man-land Relationship and Its Metrics

年份	f(x)	g(y)	T	D	协调发展等级	具体类型 <sup>①</sup>
2000	0.3310	0.0915	0.2113	0.3120	中度失调	f(x)>g(y)，中度失调衰退类经济损益型
2001	0.2837	0.1341	0.2089	0.3985	中度失调	f(x)>g(y)，中度失调衰退类经济损益型
2002	0.4519	0.1706	0.3113	0.4441	轻度失调	f(x)>g(y)，轻度失调衰退类经济损益型
2003	0.3788	0.2875	0.3332	0.5664	勉强协调	f(x)>g(y)，勉强协调发展类经济滞后型
2004	0.4164	0.3318	0.3741	0.6038	初级协调	f(x)>g(y)，初级协调发展类经济滞后型
2005	0.4114	0.4193	0.4154	0.6444	初级协调	f(x)>g(y)，初级协调发展类经济滞后型
2006	0.4463	0.4977	0.4720	0.6850	初级协调	f(x)>g(y)，初级协调发展类经济滞后型
2007	0.4750	0.6477	0.5614	0.7315	中级协调	f(x)<g(y)，中级协调发展类环境滞后型
2008	0.6319	0.7069	0.6694	0.8156	良好协调	f(x)<g(y)，良好协调发展类环境滞后型
2009	0.5986	0.7822	0.6904	0.8152	良好协调	f(x)<g(y)，良好协调发展类环境滞后型
2010	0.5692	0.8387	0.7040	0.8083	良好协调	f(x)<g(y)，良好协调发展类环境滞后型

济—自然复合生态系统生态健全、环境美化、小气候改善，也有益于人体健康，是西安市生态环境改善、人地关系协调度提升的积极因素。但是耕地资源总量逐年减少，地表水综合污染指数持续升高、水资源日益短缺，成为制约整个关中—天水经济区发展的“瓶颈”。渭河水质污染严重，断面水质>V类，属于重度污染。人均饮水量由2000年的241.51L下降到2010年的186.23L，人均水资源占有量只有380m<sup>3</sup>，仅相当于全国人均水平的1/8。空气质量达标率从2007年起，快速下降，现在仅为83.30%。区域噪声平均值是55.40Db(A)，交通噪声近三年均值达到了68.04Db(A)。面对困境，西安市能够加大开发新能源的力度、重视环境保护，不断提高废弃物的综合利用率与无害化处理率，使西安市的资源环境实现了综合效益最大化，呈现出快速增长的趋势，2001—2008年年均增长率为8.42%。生态系统脆弱是本区典型的地理特征，西安市资源环境演进的具体类型已经由经济损益型转变为环境滞后型。因此，西安市的资源环境现势评价为：总体处于良性发展状态，但已经出现了回落趋势。

### 3.1.2 综合经济社会效益评价

从生产力的进步赋予经济社会综合发展的角度分析，11年来，西安市的经济社会发展速度之快，能够引领与辐射带动西部与北方内陆地区的发展。以2000年为基年进行可比价计算，西安市GDP以年均14.22%的速度增长，2010年第三产业占GDP的比重达到了52.28%，人均GDP以15.04%的年均增长率提高；ESD从2000年的15.42上升到2010年的23.15，尽管07、08与10年数值出现波动，但总体呈上升趋势，年均增长率为4.15%。ESD上升标志着单位GDP能耗下降的速度加快，能源消耗总量减少，经济总量的增长速度与能源消费总量的增长速度持平。说明了产业结构演进渐趋合理，产业转型使一次能源消耗总量正在减少、工业污染减少、人居环境改善，有利于人地关系的协调发展及经济社会综合效益的提高。以新医药、新能源、新材料为重点优势产业快速发展，即节能环保又增加了经济社会效益。人口城市化率快速增长，城镇居民人均可支配收入的年均增长率为13.33%，农村居民人均纯收入的年均增长率为12.70%；全市经济社会综合效益评价指数从2000年的0.0915上升到2010年的0.8387，年均增长率为31.91%。这说明，西安市经济社会综合效益快速提高是自身优势发挥与国家宏观战略引导共同作用的结果。

### 3.1.3 环境与经济效益的综合评价

经济与环境效益的综合评价指数，反映了环境与经济效益的整体水平，其功能与要素的种类、数量、规模、层次、组合等从根本上影响着区域人地关系演进状态。新世纪以来，西安市的人地关系综合评价指数呈先降后升的趋势，但总体以稳定增长为主（见图1）。从贡献率考虑，人地关系综合评价效益在2005年以前主要是资源环境要素占优势，此后逐渐让渡于经济社会发展要素；从ESD数值变化思考，2004—2010年产业结构演进系数分别为18.13、19.91、21.85、22.51、22.42、24.68、23.15，这种趋势变化反映出，西安市将逐渐结束以消耗自然资源为基础促进经济社会快速发展的模式，产业结构演进趋于合理。一般来说，自然资源

禀赋较好的区域，经济社会的发展是以消耗本区资源为代价，资源环境综合效益指数较大。分析结果表明，西安市的综合发展已经转入了社会经济综合效益因素运行占绝对优势的阶段（见图1），西安市在基础性要素运行平台上核心要素、驱动型要素与管理性要素整合水平居高。它们对西安市的人地关系地域系统之发展起着控制与调节作用。

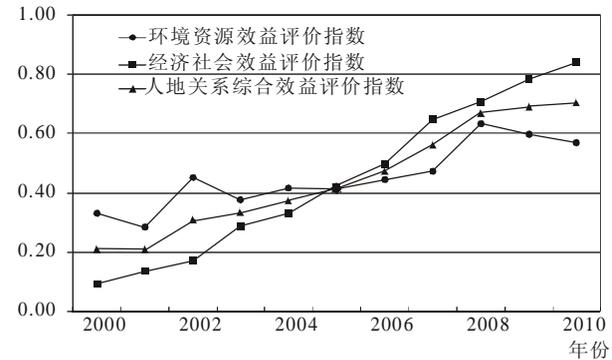


图1 西安市2000—2010年人地关系综合效益评价指数  
Fig.1 The Comprehensive Benefit Evaluation Indexes of Man-land Relationship in Xi'an from 2000 to 2010

### 3.2 人地关系协调演进状态评价

由表3可知西部大开发以来，西安市人地关系协调发展水平在2009年以前处于上升趋势，经历了“中度失调—轻度失调—勉强协调—初级协调—中级协调—良好协调”六个阶段。特别是2008年协调发展系数为0.8156，达到了最高水平。但2009年以后人地关系协调发展系数下降，年均递减速度为0.11%，协调发展等级处于良好协调的边缘。11年来，尽管人地关系协调发展度呈现出较快增长的趋势（见图2），却未实现优质协调的目标。西安市人地关系演进主流是符合经济社会发展目标的，但距更理想的状态仍有差距。

### 3.3 未来10年总人口与耕地面积动态预测及评价

1995—2010年，全市耕地面积与人口总量如表4所示。据此数据，对西安市2011—2020年的耕地面积与总人口分别予以预测。根据预测模型，表4数据生成人口、耕地原始数列 $x^{(0)}$ 与一阶累加生成序列 $x^{(1)}$ 数列，然后分别对这两组数列的光滑性及准指数规律进行检验，得到 $k>3$ 有 $p(k)<0.5$ 满足光滑性条件， $6^{(1)}(k) \in [1, 1+6]$ 满足准指数规律。综上，可对 $x^{(1)}$ 建立GM(1,1)模型。

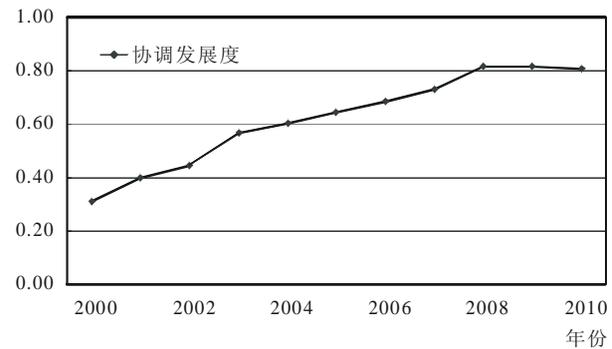


图2 西安市2000—2010年人地关系协调发展系数  
Fig.2 The Coordinated Development Indexes of Man-land Relationship in Xi'an from 2000 to 2010

表 4 西安市 1995—2010 年总人口与耕地数量统计表(单位:万人;万公顷)  
Tab.4 The Table of Cultivated Land and Population Statistics in Xi'an from 2000 to 2010

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
人口	648.2100	654.8700	662.0600	668.2200	674.5000	688.0000	694.8400	702.5900
耕地	30.9310	30.1000	30.4410	30.4430	30.0490	29.5580	28.7790	28.2297
年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
人口	716.5800	725.0078	741.7263	753.1126	764.2527	772.3000	781.6700	782.7260
耕地	27.5893	26.9910	26.6780	26.3860	26.1180	26.0510	25.8590	25.5540

资料来源:《西安统计年鉴》(1996-2011)。

(1) 总人口预测与模型检验<sup>[36]</sup>

利用 GM(1,1)模型,对表 4 中的人口数据进行处理,求解得:

$$\hat{a}=(B^T B)^{-1} B^T Y=\begin{Bmatrix} -0.0139 \\ 637.2428 \end{Bmatrix}$$

最小二乘估计得到的参数列为:  $a=-0.0139$ ,  $b=637.2428$ 。所以根据公式(8)得到总人口数预测模型为:

$$\hat{X}^{(1)}=(k+1)=46493.0157553957e^{0.0139(k-1)}-45844.8057553957$$

还原后得到人口数量模拟值序列(见表 5)。

模型检验:发展灰数表现为  $-a<0.3$ ,说明此 GM(1,1)模型可用于中长期预测,得到的结果有意义。下面进一步对 1995—2010 年时段的实际值与模拟值进行检验:

1) 残差检验,相对误差系列:

$$\phi(i)=\frac{\Delta^{(0)}(i)}{X^{(0)}(i)} \times 100\% \quad i=1,2,\dots,n$$

$$\phi(i)=(0,0.63\%,-0.13\% \dots,0.44\%,0.26\%,-1.00\%)$$

$$\phi(i)_{\text{avg}}=0.031\%$$

2) 关联度检验,对于关联系数  $\eta(k)$ 有:

$$\eta(k)=\frac{\min_k \min_k |\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)| + \rho \max_k \max_k |\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)|}{|\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)| + \rho \max_k \max_k |\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)|}$$

其中,两极限差:

$$\min_k \min_k |\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)|=0$$

$$\max_k \max_k |\hat{X}^{(0)}(k)-X^{(0)}(k)|=0.8746$$

对于分辨率  $\rho$ ,有  $0<\rho<1$ , $\rho$  越小,关联系数间差异越大,区分能力越强。一般取  $\rho=0.5$ 。所以关联度为:

$$r=\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta(k)=0.8534$$

3) 后验差检验,用绝对误差序列标注差比原始序列标准差:

$$s_1=\frac{\sqrt{\sum [X^{(0)}(i)-\bar{X}^{(0)}]^2}}{n-1}=20.80685$$

$$s_2=\frac{\sqrt{\sum [\Delta^{(0)}(i)-\bar{\Delta}^{(0)}]^2}}{n-1}=0.640797$$

$$c=s_2/s_1=0.30797$$

4) 小误差概率检验:

$$p=P\left\{|\Delta^{(0)}(i)-\bar{\Delta}^{(0)}|<0.6745s_1\right\}。其中 s_0=0.6745, s_1=$$

$$14.03422。令偏差序列 \epsilon_i=|\Delta^{(0)}(i)-\bar{\Delta}^{(0)}|$$

故误差概率为:  $p=P\{\epsilon_i < s_0\}=1$ 。

结果评价:平均误差  $0.31\%<0.01$ ;关联度  $r=0.8746$  介于  $0.8-0.9$  之间;后验差比值  $c=0.30797<0.35$ ;小误差概率  $p=1>0.95$ 。各项指标值均为一级水平,等级精度为优,说明预测结果精度之高。

(2) 耕地面积预测与模型检验

根据表 4 数据,利用 GM(1,1)模型求解得  $a=0.0144$ ,  $b=31.4809$ 。故利用公式(8)得耕地面积预测模型为:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1)=-2158.584311111111e^{-0.0144(k-1)}+2186.173611111111$$

还原后得到耕地面积模拟值序列(见表 5)。

表 5 1995—2020 年西安市总人口与耕地数量预测值(单位:万人;万公顷)

Tab.5 The Total Population and Predictive Value of Cultivated Land in Xi'an from 1995 to 2020

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
人口	648.2100	650.7652	659.8741	669.1103	678.4759	687.9726	697.6022	707.3666	
耕地	30.9310	30.8609	30.4197	29.9848	29.5561	29.1335	28.7170	28.3064	
年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
人口	717.2676	727.3072	737.4873	747.8100	758.2772	768.8908	779.6530	790.5659	
耕地	27.9016	27.5028	27.1096	26.7221	26.3400	25.9634	25.5922	25.2264	
年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
人口	801.6315	812.2295	824.2295	835.7663	847.4645	859.3265	871.3546	883.5510	
耕地	24.8657	24.5102	24.1598	23.8144	23.4740	23.1383	22.8075	22.4814	
2019 年: 人口 895.9181 耕地 22.1600				2020 年: 人口 908.4583 耕地 21.8432					

模型检验：按照人口预测模型精度检验的方法得平均误差  $0.13\% < 0.01$ ；关联度  $r=0.83069$  介于  $0.8-0.9$  之间；后验差比值  $c=0.03697 < 0.35$ ；小误差概率  $p=1 > 0.95$ 。各项指标值均为一级水平，等级精度为优，说明预测结果精度之高，具有很好的参考价值。

从表6可见，未来10年西安市的总人口年均增长率为  $13.99\%$ ，耕地面积年均递减率为  $14.30\%$ 。耕地能值承载力将越来越小，生态赤字逐渐增大，生态安全面临严峻挑战，“人多地狭”的矛盾将对人地关系协调发展产生较大威胁。

#### 4 结论

从定量研究的角度出发，按照选取指标—收集数据—处理数据—构建模型—确立标准—评价结果的技术路线对西部大开发11年来西安市人地关系演进态势进行分析，对未来10年耕地面积与总人口进行预测。结果发现：

(1) 西安市人地关系协调状态呈现出“中度失调—轻度失调—勉强协调—初级协调—中级协调—良好协调”六个发展阶段，轨迹是持续上升后略降。

(2) 2000年，西安市协调发展度为  $0.3120$ ，属于中度失调；2010年为  $0.8083$ ，属于良好协调；综合经济社会效益指数10年内提高了9倍多。说明西部大开发战略实施，使研究区经济社会获得快速发展，人地关系矛盾缓解，实现了更高层次的协调发展。

(3) 2010年，西安市综合资源环境指数  $f(x)=0.5962$ ，综合经济社会效益指数  $g(y)=0.8387$ ，协调发展度  $D=0.8083$ ， $f(x) < g(y)$ 。表明人地关系现状状态是良好协调类环境滞后型，人地关系协调发展系数较2008年  $0.8156$ （峰值）有小幅下降。

(4) 从预测结果看，今后10年西安市的总人口年均增长率为  $13.99\%$ ，耕地面积年均递减率为  $14.30\%$ 。反应出西部大开发战略实施与关天经济区的规划对未来研究区“人多地狭”的矛盾缓解短期内难以实现，调适研究区及关中城市群人地关系不容忽视。

当前和今后一段时间要实现西安市的人口、资源与环境更高层次的协调与可持续发展，应采取有效的调适策略：尊重人地关系地域系统发展规律，促进要素有效配置，健全环境与经济发展互补机制；以循环经济为理念，调整经济结构以“减量化、再利用、再循环”的“3R”理念作为人地系统运行的原则；充分发挥生物科技对战略产业的培育作用，以绿色GDP作为衡量经济发展的重要指标；强化科技等非物质类要素在环境保护与经济发展中的贡献能力；实现西安市面向生态化、宜人化、家园化的目标发展。

#### 注释：

①参照国家旅游局、陕西省旅游局公布的西安市A级旅游景区数量，依照国家标准《旅游区质量等级的划分与评定》(GB/T17775-2003)运用公式对其进行了丰度指数计算，该指数反映了区域旅游资源的吸引力与竞争力。参见文献[23]。

②产业结构演进系数的计算方法如下： $ESD = (P+S+T)/P$ ，式中，ESD为产业结构演进系数；P、S、T分别为研究区第一、第二、第三产

业的产值。参考文献[24]。

③ $f(x) > g(y)$ 代表经济损失型； $f(x) < g(y)$ 代表环境滞后型。参见文献[32]。

#### 参考文献

- [1] 李兰华. 西安市全社会能源消费与生产实证分析[EB/OL]. 陕西统计局, (2010-09-30)[2010-10-11]. <http://www.sn.stats.gov.cn/news/sxxx/201092985837.htm>.
- [2] 李忠民, 黄湛冰, 刘磊, 等. 中国关中—天水经济区发展报告[R]. 北京: 社会科学文献出版社, 2011: 2-216.
- [3] 邵琨. 西安市的水资源管理和可持续发展研究[D]. 西安: 西北大学, 2010: 1.
- [4] 赖臻. 北京多招缓解供水难[N]. 中国建设报, 2011-10-19(2).
- [5] 邓芳莲. 西安近57年降水量变化分析[J]. 陕西气象, 2008(4): 21-23.
- [6] 杨海焕, 曹明明. 西安市生态足迹与生态承载力动态测度分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 1024-1028.
- [7] 杨勇, 任志远. 西安市耕地动态变化与社会经济发展的关系[J]. 干旱区研究, 2007, 24(3): 316-320.
- [8] 闫博雅, 毕超. 西安市旅游环境承载力测算与评价研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2011, 41(4): 719-722.
- [9] 张睿珍. 西安市工业环境污染问题及调控政策[J]. 陕西师范大学学报(社科版), 1997, 25(4): 95-99.
- [10] 王建鹏, 王式功, 孟小绒, 等. 沙尘天气对西安市空气污染影响研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(5): 558-563.
- [11] 张芝, 任志远. 关中—天水经济区人居环境适宜性评价与人口分布[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 46-50.
- [12] Monfreda C, Wackernagel M, Deumling D. Establishing National nature capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments [J]. Land Use Policy, 2004, 21 (3): 220-245.
- [13] 张秋华, 薛惠锋, 寇晓东, 等. 西安市2004年生态足迹分析[J]. 西北农林科技大学学报, 2007, 35(10): 110-114.
- [14] 黄青, 王让会, 任志远. 西安市生态足迹估算与动态变化分析[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(4): 153-156.
- [15] 赵先贵, 韦良焕, 马彩虹, 等. 西安市生态足迹与生态安全的动态研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 1-5.
- [16] 王美霞, 任志远, 杨忍, 等. 关中—天水经济区人口与经济发展协调性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(1): 34-38.
- [17] Munda G. Measuring sustainability: A multi-criterion frame work [J]. Environment development and Sustainability, 2005, 7: 118-133.
- [18] Ronchi E, Federico A, Musmeci F. A system oriented in tegrated in dicator for sustainable development in Italy [J]. Ecological indicator, 2002, 2(1/2): 198-209.
- [19] 李鹤, 张平宇, 刘文新. 1990年以来辽宁省环境与经济协调度评价[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 486-492.
- [20] 杨海焕, 曹明明, 雷敏. 陕西省经济发展与资源环境协调演进分析[J]. 人文地理, 2009, 24(3): 125-128.
- [21] 张雷, 刘毅. 中国东部沿海地带人地关系状态分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 311-319.
- [22] 胡超美, 朱传耿, 车冰清. 淮海经济区区域系统动态协调发展研究[J]. 人文地理, 2010, 25(1): 66-72.
- [23] 陆林, 余凤龙. 中国旅游经济差异的空间特征分析[J]. 经济地理, 2005, 25(3): 406-410.

(下转第90页)

## 参考文献

- [1] 刘建军,郑有飞,吴荣军. 热浪灾害对人体健康的影响及其方法研究[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 151-156.
- [2] 杨振东. 全球环境变化与人类健康[J]. 中国水电医学, 2010(3): 164-167.
- [3] 李永红,程义斌,金银龙. 气候变化及其对人类健康影响的研究进展[J]. 医学研究杂志, 2008, 37(9): 96-97.
- [4] 黄匡时. 脆弱性分析与脆弱人口的社会保护[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19: 222-231.
- [5] 叶旭军. 城市外来农民工的健康状况及影响因素研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [6] 高扬,王冬,陈立明. 广州市城中村居民健康状况、行为及认知调查[J]. 中国误诊学杂志, 2008, 8(4): 999-1000.
- [7] Xing Biao. Migration and health in China: problems, obstacles and solutions [J]. Asian Meta Centre Research Paper Series, 2005.
- [8] 盛雅焜. 农民工就医行为研究——以兰州市为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [9] Smyth F. Medical geography: therapeutic places, spaces and networks [J]. Progress in Human Geography, 2005, 29(4): 488-495.
- [10] Andrews, et al. Understanding the reproduction of health care: towards geographies in health care work [J]. Progress in Human Geography, 2008, 32(6): 759-780.
- [11] 杨林生,李海蓉,李永华,等. 医学地理和环境健康研究的主要领域与进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(1): 31-44.
- [12] Kearns R. Place and health: towards a reformed medical geography [J]. The Professional Geography, 1993, 45(2): 139-147.
- [13] 刘晓霞,邹小华,王兴中. 国外健康地理学研究进展[J]. 人文地理, 2012, 27(3): 23-27.
- [14] Gesler W. The Culture Geography of Health Care [M]. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1991: 1-245.
- [15] Parr H. The politics of methodology in "post-medical geography": mental health research and the interview [J]. Health and Place, 1998, 4(4): 341-353.
- [16] Frazer S L, et al. Across the water: reviewing geographical studies of asylums and other mental health facilities [J]. Health and Place, 1997, 3(2): 73-89.
- [17] Curtis S, Riva M. Health geographies I: complexity theory human health [J]. Progress in Human Geography, 2010, 34(2): 215-223.
- [18] Stephanie E C, Nancy A R. Exploring the material basis for health: characteristics of parks in Montreal neighborhoods with contrasting health outcomes [J]. Health and Place, 2006, 12(4): 361-371.
- [19] Smyt F h. Medical geography: understanding health inequalities [J]. Progress in Human Geography, 2008, 32(1): 119-127.
- [20] Kearns R A, et al. Placing racism in public health: a perspective from Aotearoa/New Zealand [J]. Geojournal, 2009, 74(2): 123-129.
- [21] 王五一,杨林生,Thomas Kraft,等. 全球环境变化与健康[M]. 北京: 北京气象出版社, 2009.
- [22] 张鹭鹭,胡善联,魏颖,等. 区域内城乡居民医疗服务需要、需求及影响因素分析[J]. 中国卫生经济, 2002, 21(3): 36-39.
- [23] 任苒,叶圣权,李公明,等. 老年人口医疗服务需求及影响因素分析[J]. 中国卫生事业管理, 2001, 17(8): 488-490.
- [24] 李星敏,白爱娟. 西安市气候变化与城市发展[J]. 陕西气象, 1998(5): 23-25.
- [25] 高红艳,蔡新玲,贺皓,等. 西安城市化对气温变化趋势的影响[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1093-1102.
- [26] 杨红龙,许吟隆,陶生才,等. 高温热浪脆弱性与适应性研究进展[J]. 科技导报, 2010, 28(19): 98-102.
- [27] 西部网[EB/OL]. (2010-08-04)[2011-12-01]. <http://www.cnwest.com>.
- [28] 张文忠,李业锦. 北京城市居民消费区位偏好与决策行为分析——以西城区和海淀中心地区为例[J]. 地理学报, 2006, 10(61): 1037-1045.
- [29] 钱东福,王长青,徐玲,等. 我国城市居民自我医疗利用的影响因素研究[J]. 中国卫生政策研究, 2011, 4(7): 51-55.
- [30] 张娜. 农村居民就医行为研究——对江苏省淮安市 X 镇的调查[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.

责任编辑: 赵永宏

(上接第 110 页)

- [24] 余小东,沈镭,周维琼. 基于产业结构演进的云南省节能潜力分析[J]. 中国矿业, 2007, 16(6): 4-7.
- [25] 张侠,王繁强,杜继稳. 西安大气环境要素变化特征分析[J]. 内蒙古环境科学, 2009, 21(6): 63-68.
- [26] 邵天杰,赵景波. 西安空气质量时空变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 723-728.
- [27] 翟萌,卢新卫,龚文姣,等. 西安市近十年空气质量变化趋势及治理成效分析[J]. 江西农业学报, 2009, 21(12): 173-175.
- [28] 郎海鸥,周杰. 西安市地表水质变化与城市化过程的关系[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 460-465.
- [29] 刘俊含,李戈莹,韦珩,等. 西安市声环境功能区噪声污染现状调查[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(2): 175-176.
- [30] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398.
- [31] 其木格,孙艳,海山. 内蒙古哈尔右翼后旗大九号村人地关系研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2011, 32(1): 2-6.
- [32] 廖崇斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 171-177.
- [33] 刘兆顺,尚金城,许文良,等. 吉林省东部资源型县域经济与生态环境协调发展分析——以汪清县为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(2): 265-269.
- [34] Deng Ju Long. Introduction to Grey System Theory [J]. Journal of Grey Systems, 1989, 1(1): 1-24.
- [35] 邓聚龙. 灰色数理资源科学导论[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2007: 161-164.
- [36] 刘思峰,党耀国,方志耕,等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 96-99.

责任编辑: 汪丽