

# 陇东黄土高原地区可持续发展综合测度研究

## ——以甘肃省庆阳市为例

鹿晨昱<sup>1</sup>, 朱卫利<sup>1</sup>, 李恒吉<sup>2</sup>, 薛冰<sup>3</sup>, 张子龙<sup>4</sup>

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 中国科学院 兰州文献情报中心, 兰州 730000;  
3. 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 4. 兰州大学 中国西部循环经济研究中心, 兰州 730000)

**摘要:**以2000—2012年数据为基础,构建包括人口、经济、社会、资源和环境五个子系统的可持续发展评价指标体系和综合评价模型,运用层次分析法(AHP)、主成分分析、回归分析和模糊隶属度等方法对庆阳市的可持续发展水平、持续度、协调度和趋势度进行测度分析。结果表明:(1)2000—2012年,庆阳市的可持续发展水平整体呈现持续上升的良好趋势,但人口、资源和环境子系统的可持续发展水平相对滞后;(2)可持续发展持续度总体呈现稳定的非减速特性,但可持续性能力不强;(3)各子系统间可持续发展协调度总体上是基本协调的,但部分系统间不协调的状况也比较明显,可见人口、资源、环境和经济社会发展的矛盾仍然较为突出;(4)可持续发展趋势度在整体上呈增长趋势,但有待于进一步提高发展质量。因此,庆阳市在今后的发展中,应稳步推进、统筹规划,促进人口、经济、社会、资源和环境各子系统的协调、持续发展。

**关键词:**可持续发展;持续度;协调度;趋势度

**中图分类号:**K901

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)05-0210-08

## Study on Comprehensive Measurement of Regional Sustainable Development in the Loess Plateau of East Gansu Province

### —A Case Study of Qingyang City

LU Chenyu<sup>1</sup>, ZHU Weili<sup>1</sup>, LI Hengji<sup>2</sup>, XUE Bing<sup>3</sup>, ZHANG Zilong<sup>4</sup>

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China; 2. Lanzhou Literature and Information Center, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 4. Research Center for Circular Economy of Western China, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Based on the actual situation of Qingyang City in the Loess Plateau of east Gansu Province, we built the comprehensive evaluation index system for regional sustainable development including population, economy, society, resources and environment subsystem, and introduced the comprehensive evaluation model to make a quantitative analysis on comprehensive appraisal of regional sustainable development. Based on the relative data from 2000 to 2012, the fluctuation of sustainable development status was quantitatively described using analytic hierarchy process, principal component analysis, regression analysis and fuzzy membership and four item indicators which were defined as the function of level indicator of sustainable development, sustainable degree, coordination degree and tendency degree. The results showed that: (1) from 2000 to 2012, the general level of sustainable development in Qingyang City was at the good state of increasing steadily, but the problems on resources, environment and population were serious; (2) the sustainable degree of sustainable development in Qingyang City generally presented the steady and sustainable state, but the sustainability was weak; (3) the coordination degree of sustainable development for the whole system was at the coordination phase or basic coordination phase, but the coordination of certain subsystems was at the incoordination phase, the conflict among subsystems was prominent; (4) the tendency degree of sustainable development for the whole system presented growth trend, but we still need to promote the development

quality. So, in the future, it will be a long way to go for Qingyang City to realize the regional sustainable development, it should steadily advance and overall plan in order to promote the coordinated and sustainable development for the subsystems, including population, economy, society, resources and environment.

**Keywords:** sustainable development; sustainable degree; coordination degree; tendency degree

陇东黄土高原地区属于中国西部,21世纪以来,在国家西部大开发战略的良好契机下,实现了地区经济的持续快速增长,但经济增长主要依赖粗放的加工制造业,农业产业化程度低,第三产业发展缓慢,资源的过度开采利用加剧了生态环境保护的压力,使原本脆弱的生态环境不断恶化。因此,陇东黄土高原地区经济开发必须走可持续发展道路,实现经济、社会、生态环境的和谐发展<sup>[1-2]</sup>。可持续发展的概念在1987年由世界环境与发展委员会提出,是指在发展过程中,既要满足当代需要,又不能损害后代满足其需要能力的发展<sup>[3]</sup>。自此以来,对可持续发展的研究便成为各国际组织、国家政府及专家学者们关注的重点。对可持续发展进行定量测度可直接反映区域可持续发展能力的高低,并为实践可持续发展提供及时的反馈信息,利于调控各系统协调发展,因而,关于定量测度一直是可持续发展研究的重要内容和关键问题之一<sup>[4-5]</sup>。目前国内外对其研究主要分为三个方面:(1)采用可持续发展水平指数对可持续发展做出简单的概括性说明。杨宇<sup>[6]</sup>、蔡邦成<sup>[7]</sup>、任占峰<sup>[8]</sup>、张婧<sup>[9]</sup>等分别采用可持续发展晴雨表、多边形综合指标法、主成分分析法等对可持续发展水平进行评价,但可持续发展水平是对可持续发展的简单反映,对可持续发展的诠释不够完善,因而不能为决策者提供有力的参考依据;(2)有学者在可持续发展水平的基础上,对复合系统内部各子系统间协调度进行研究。如覃成林等<sup>[10]</sup>结合 Moran's I 系数和模糊隶属度函数对我国四大区域、31个省市区的经济协调度进行了研究,薛冰等<sup>[11]</sup>基于能值分析模型对宁夏生态环境与经济耦合效应进行测度,Wang Enchuang 等<sup>[12]</sup>采用数据包络分析方法分析了我国能源消耗、碳排放及经济增长的协调发展问题;赵安周等<sup>[13]</sup>应用关联度及协调度模型对西安市城市化与城市生态环境的耦合协调发展进行测度;(3)在前两方面基础上,进一步对可持续发展进行综合测度研究。典型代表如仇方道<sup>[14]</sup>通过建立新沂市的四级指标体系,对经济、社会与环境三个子系统的可持续发展水平及可持续发展持续度、协调度、趋势度分别进行了研究;褚玉楠<sup>[15]</sup>基于鄂尔多斯市的社会、资源、环境与经济四个子系统的指标体系,来测度可持续发展水平、持续度、协调度及趋势度。总体而言,大多数研究都只针对具

有三个或四个子系统的复合系统进行研究,没有推广到具有五个子系统的复合系统。

庆阳市位于甘肃省东部的陇东黄土高原区,属黄河中游黄土高原沟壑区,该区域属于地表水缺乏的半干旱区,由于自然条件和人类经济活动的原因,生态环境脆弱。随着农—工产业转型的深入和经济的迅速发展,区域人地关系逐渐恶化,制约了区域可持续发展战略的实施。本文借鉴前人的研究成果,以庆阳市2000—2012年的统计数据为基础,尝试构建包括人口、经济、社会、资源和环境五个子系统的可持续发展评价指标体系,综合采用层次分析法、主成分分析法、模糊隶属度及回归分析等方法,对庆阳各子系统和整个复合系统的可持续发展水平、可持续发展的持续度、协调度和趋势度进行综合测度研究,揭示其可持续发展演化规律及发展中存在的问题,并对改进措施进行探讨,从而为庆阳实施可持续发展战略提供科学依据。

## 1 研究区概况

庆阳,甘肃省省辖市,位于甘肃省最东部,陕甘宁三省区的交汇处,是陇东黄土高原区的主体部分,习称“陇东”。全市总土地面积 27 119 km<sup>2</sup>,总人口 222.35 万(2014年)。工业已形成了化工、煤炭、石油和天然气为支柱的工业体系,农业产业化已初具规模,第三产业发展较为迅速。这里大多为半干旱区,自然条件较为严酷,生态系统脆弱,人口增长趋于稳定,但局部地区分布较为密集,对资源环境压力较大。随着西部大开发战略实施,庆阳迎来了新的高强度开发,社会经济发展水平取得明显进步,但对资源环境的破坏更加明显。人口、资源、环境和经济、社会发展之间矛盾日益突出,对庆阳的发展产生不利影响,并且对庆阳的可持续发展构成威胁。因此,以庆阳市为例进行区域可持续发展综合测度研究具有较强的典型性和代表性。

## 2 庆阳区域可持续发展综合测度模型

### 2.1 指标体系构建

评价指标体系的正确选取及合理测度是系统分析和评价的重要基础。有关可持续发展评价指标体系的相关文献很多,本文在总结借鉴现有研究成果<sup>[16-17]</sup>的基础上,充分结合庆阳市自身实际情况及其

发展特点,遵循全面性、系统性、代表性、简明性、可获取性和实用性的原则<sup>[18-19]</sup>,通过开展指标频度分析、理论分析及专家咨询等对指标进行设置和筛选。最终从人口、经济、社会、资源和环境五个方面选取相应的指标,构建能较全面地反映庆阳区域可持续发展的四级指标体系,并根据其历年统计年鉴获取各系统指

标相应数据。

第一层是目标层,是庆阳市实现可持续发展目标;第二层是系统层,由人口、经济、社会、资源、环境五个子系统构成,是对指标层的高度概括;第三层是准则层,是对指标层的初级概括;第四层是指标层,是基础性指标,由统计资料直接提取或间接计算得到(表 1)。

表 1 庆阳区域可持续发展评价指标体系

目标层	系统层	权重	准则层	指标层	属性(正负向)
庆阳市 可持续 发展	人口系统	0.16	人口规模 人口结构 健康水平	人口数量(A <sub>1</sub> )	—
				人口密度(A <sub>2</sub> )	—
				人口自然增长率(A <sub>3</sub> )	—
				非农业人口比重(A <sub>4</sub> )	+
				平均预期寿命(A <sub>5</sub> )	+
				人均 GDP(B <sub>1</sub> )	+
	经济系统	0.20	经济规模 经济结构 经济效率 经济开放度	经济密度(B <sub>2</sub> )	+
				人均固定资产投资(B <sub>3</sub> )	+
				人均财政收入(B <sub>4</sub> )	+
				GDP 增长率(B <sub>5</sub> )	+
				第一产业占 GDP 比重(B <sub>6</sub> )	—
				第三产业占 GDP 比重(B <sub>7</sub> )	+
				投入产出比(B <sub>8</sub> )	+
				进出口总额(B <sub>9</sub> )	+
				农民人均纯收入(C <sub>1</sub> )	+
				农民人均生活消费支出(C <sub>2</sub> )	+
	社会系统	0.19	人民生活质量 社会发展水平 社会活跃度	城镇居民人均可支配收入(C <sub>3</sub> )	+
				城镇居民人均消费性支出(C <sub>4</sub> )	+
				每万人从事科学研究人数(C <sub>5</sub> )	+
				每万人在校学生人数(C <sub>6</sub> )	+
				人均拥有住宅使用面积(C <sub>7</sub> )	+
				人均邮电业务量(C <sub>8</sub> )	+
				社会消费品零售总额(C <sub>9</sub> )	+
				人均耕地面积(D <sub>1</sub> )	+
				人均园地面积(D <sub>2</sub> )	+
				人均林地面积(D <sub>3</sub> )	+
	资源系统	0.22	自然资源 社会资源	人均草地面积(D <sub>4</sub> )	+
				人均粮食产量(D <sub>5</sub> )	+
				每万人拥有卫生技术人员数(D <sub>6</sub> )	+
				每万人拥有医院床位数(D <sub>7</sub> )	+
				废水排放总量(E <sub>1</sub> )	—
				工业固体废物排放量(E <sub>2</sub> )	—
	环境系统	0.23	环境污染 环境保护	工业废气排放总量(E <sub>3</sub> )	—
				化肥施用强度(E <sub>4</sub> )	—
				工业废水排放达标率(E <sub>5</sub> )	+
				工业固体废物综合利用率(E <sub>6</sub> )	+
				烟尘排放达标率(E <sub>7</sub> )	+
				废气治理设施处理能力(E <sub>8</sub> )	+

为了使数据尽可能地反映研究区域的实际情况,消除指标量纲的不同可能对评价结果的影响,采用极值标准化公式对评价指标做无量纲化处理,计算公式为:

正向指标: $Z_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$  指标值越大越好; (1)

逆向指标: $Z_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}}$  指标值越小越好。 (2)

式中: $Z_{ij}$ —— $X_{ij}$  的标准化值; $X_{ij}$ ——第  $i$  个指标在第  $j$  期的实际值; $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$ ——不同时期同一指标的最大值和最小值。

2.2 可持续发展水平指数

运用主成分分析法进行分析,消除各个指标可能包含的重复信息,提取出主要因子成分,并分别得出各子系统的各主成分因子得分及其方差贡献率,再采用线性加权模型分别计算出各子系统的主成分综合得分,即为该子系统的可持续发展水平指数<sup>[14-15]</sup>:

$$F_m = \sum_{j=1}^n W_j X_j \tag{3}$$

式中: $F_m$ ——各子系统的可持续发展水平指数; $m$ ——子系统的个数; $n$ ——每个子系统的主成分个数; $W_j$ ——每个子系统中各主成分的贡献率; $X_j$ ——每个子系统的各主成分得分。

可持续发展水平综合指数可以反映区域可持续发展的综合水平。本文根据得到的各子系统的可持续发展水平指数,进行线性加权计算来加以测度:

$$SDI = \sum_{j=1}^m \alpha_j F_m \tag{4}$$

式中:SDI——区域可持续发展水平综合指数; $F_m$ ——各子系统的可持续发展水平指数; $\alpha_j$ ——通过AHP方法求得的各子系统的权重(表1)。

2.3 持续度

持续度是用来衡量区域可持续发展系统及其各子系统发展的可持续性标准,采用可以反映各个子系统的发展速率作为测算标准<sup>[14-15]</sup>:

$$SI = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^{T-1} S(t-i) \tag{5}$$

式中:SI——区域可持续发展的持续度; $S(t-i)$ ——系统在 $t-T+1 \sim t$ 时段的各时刻的发展速率, $i=0, 1, \dots, T-1$ ;  $T$ ——基准时间段。

2.4 协调度

系统是动态发展的,协调度是衡量系统之间或系统内部各要素之间协调状态好坏的定量指标,通过进行协调度计算可以定量判断区域系统之间的协调发展程度。本文主要采用主成分分析、回归拟合模型以及模糊数学中的隶属度函数方法对子系统间的协调程度进行评价<sup>[18-19]</sup>。基于各子系统的发展水平指数,进行回归曲线拟合得到各子系统可持续发展水平指数的预测值(即协调值),结合模糊隶属度函数,计算各子系统间的协调度<sup>[14-15]</sup>。

$$u(i/j) = \exp \left\{ -\frac{(F_i - F')^2}{S^2} \right\} \tag{6}$$

式中: $u(i/j)$ —— $i$ 系统相对于 $j$ 系统的状态协调度; $F_i$ —— $i$ 系统的发展水平指数(实际值); $F'$ —— $j$ 系统对 $i$ 系统的最佳发展水平预测值(协调值); $S^2$ —— $i$ 系统的实际方差。

通过状态协调度计算两个系统间的协调度 $U(i,j)$ ,

具体计算公式如下:

$$U(i,j) = \frac{\min \{u(i/j), u(j/i)\}}{\max \{u(i/j), u(j/i)\}} \tag{7}$$

式中: $U(i,j)$ —— $i,j$ 两个系统的协调度; $u(i/j)$ —— $i$ 系统对 $j$ 系统的状态协调度; $u(j/i)$ —— $j$ 系统对 $i$ 系统的状态协调度。 $U(i,j) \in [0,1]$ ,越趋近于1,说明 $i,j$ 两系统越协调;反之,越不协调。

三个系统之间协调度可由下式求得:

$$U(i,j,k) = \frac{\begin{bmatrix} u(i/j,k) \times U(j,k) \\ + u(j/i,k) \times U(i,k) \\ + u(k/i,j) \times U(i,j) \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} U(j,k) \\ + U(i,k) \\ + U(i,j) \end{bmatrix}} \tag{8}$$

式中: $U(i,j,k)$ —— $i,j$ 和 $k$ 三系统间的协调度; $u(i/j,k)$ —— $i$ 系统对 $j,k$ 系统的状态协调度; $U(j,k)$ —— $j,k$ 系统的协调度; $u(j/i,k)$ —— $j$ 系统对 $i,k$ 系统的状态协调度; $U(i,k)$ —— $i,k$ 系统的协调度; $u(k/i,j)$ —— $k$ 系统对 $i,j$ 系统的状态协调度, $U(i,j)$ —— $i,j$ 系统的协调度。

4个及以上系统之间协调度可用下式计算:

$$U_k(1,2,\dots,k) = \frac{\sum_{i=1}^k u(i/\bar{i}_{k-1}) \times U_{k-1}(\bar{i}_{k-1})}{\sum_{i=1}^k U_{k-1}(\bar{i}_{k-1})} \tag{9}$$

( $k=3,4,\dots,m$ )

式中: $m$ ——子系统的个数; $\bar{i}_{k-1}$ 为除第 $i$ 个子系统外的其他任意 $k-1$ 个子系统的集合; $u(i/\bar{i}_{k-1})$ ——第 $i$ 个子系统对其他任意 $k-1$ 个子系统的状态协调度; $U_{k-1}(\bar{i}_{k-1})$ 除第 $i$ 个子系统外的其他任意 $k-1$ 个子系统的协调度。

根据得到的状态协调度测算公式,实际值越接近协调值,状态协调度越大,系统协调程度越高,反之系统协调程度越差。参考相关文献<sup>[20-21]</sup>中的协调度分层方法,将系统间的协调度分为极不协调、不协调、基本协调、协调4个层次(表2)。

表 2 协调度度量标准

值域	0~0.50	0.50~0.85	0.85~0.95	0.95~1
等级	极不协调	不协调	基本协调	协调

2.5 趋势度

趋势度指的是区域系统维持或延续至将来的能力,是衡量和诊断区域发展系统健康发展程度的标识,它是系统的发展度、持续度、协调度的综合体现和内在的统一<sup>[14-15]</sup>:

$$S = \alpha_1 SDI + \alpha_2 SI + \alpha_3 U \tag{10}$$

式中: $S$ ——可持续发展趋势度;SDI,SI, $U$ ——可持续发展水平综合指数、持续度、协调度; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ——

相应的权重,本文认为三者同等重要,采用均值法确定权重,取  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1/3$ 。

### 3 结果与分析

基于庆阳市 2000—2012 年的统计年鉴与统计公报,按照上述的评价指标体系及综合测度模型,分别计算出庆阳市 2000—2012 年各子系统可持续发展水平指数、持续度和庆阳可持续发展水平综合指数、持续度,并根据模糊隶属度函数测算出人口、经济、社会、资源、环境各系统之间的协调度。在此基础上,根据可持续发展水平综合指数、持续度、协调度计算得到庆阳可持续发展的趋势度,揭示庆阳区域可持续发展的基本演变规律。

#### 3.1 可持续发展水平分析

人口系统的可持续发展水平整体呈上升趋势,2000—2005 年缓慢增长,2005—2009 年持续快速增长,2009—2012 年下降后缓慢增长。主要原因是随着计划生育政策全面推行,2000—2003 年人口自然增长率持续下降,其中 2001 年下降幅度最大,因而减缓了人口数量增长速度,使人口系统的可持续发展水平持续缓慢增长。2004 年后,非农业人口比重的持续上升和平均预期寿命的增加使人口系统的可持续发展水平持续快速增长。2010 年人口系统可持续发展水平出现暂时下降,之后又缓慢增长,但其在 2010 年后低于复合系统的可持续发展水平。总体而言,人口系统的可持续发展水平在逐渐增长,处于相对较为良好的发展态势,但后期低于综合可持续发展水平,应当引起足够重视(图 1)。

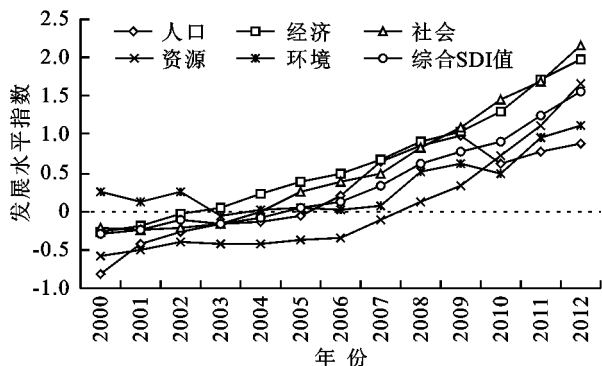


图 1 庆阳市可持续发展水平变化趋势

2000—2012 年经济系统的可持续发展水平稳步上升。庆阳在西部大开发良好契机下,依托石油、天然气和农副产品等资源优势,加快工业化进程和推动农业产业化经营,使各项经济指标持续快速增长。2008 年,虽有经济危机的冲击,但庆阳积极响应国家政策,扩大内需,加大基础设施建设,改善投资环境和推进城镇化进程,并积极调整产业结构,因此庆阳经

济仍然持续快速发展。但庆阳经济增长主要依赖资源消耗型的加工制造业,产业结构单一,第二产业比重偏大,第三产业发展缓慢,如不改变粗放的经济增长方式,失去资源依托后,经济的较快平稳发展将受到制约。因此,必须逐步减弱对资源的依赖,调整产业结构,变粗放型的发展为资源节约型、技术知识型的发展,提高资源利用率,加大对高新技术产业的投资力度,大力发展金融、商贸、特色旅游等第三产业,提高其产业结构层次。

2000—2012 年社会系统的可持续发展水平可分为两个阶段:2000—2003 年基本保持不变,2003—2012 年稳步上升。由于 2000—2003 年西部大开发政策、制度等尚处于探索阶段,经济发展不平衡,城镇经济得到较快发展,但农业经济发展缓慢,农民人均纯收入及生活消费支出增长幅度较小,同时,对教育的重视程度不够,从而使社会系统的发展水平基本停滞不前。2003—2012 年,在经济快速增长的带动下,社会系统得到良好发展,城镇居民和农民的收入都有较大提高,消费市场活跃,基础设施和医疗卫生体系不断完善,人民生活质量明显提高。2001—2008 年经济系统的可持续发展水平高于社会系统的可持续发展水平,对社会系统有明显的促进作用;2009—2012 年,经济系统的可持续发展水平低于社会系统的可持续发展水平,说明经济系统的发展相对滞后社会系统,表现为社会系统反哺经济系统,促进经济与社会同步发展。

2000—2012 年资源系统的可持续发展水平总体呈现上升趋势,可分为三个阶段:2000—2002 年,资源系统的可持续发展水平有小幅提高,由于十五规划前,庆阳经济基础薄弱,西部大开发实施后,经济虽然快速发展,但仍小于资源的承载能力;2002—2006 年,经济的持续快速增长加大了对资源的依赖、加剧了资源消耗,从而致使 2003—2006 年,资源系统可持续发展水平基本停滞不前;2006—2012 年,随着一系列资源保护和生态环境建设措施的推进,人均耕地和林地面积增加,经济社会的发展也提高了农业、工业的科技水平,促进了医疗卫生条件的完善,从而使其可持续发展水平持续上升。总体而言,近十余年资源系统的可持续发展水平基本上处于可持续发展综合水平之下,其发展状况不容乐观。

2000—2012 年环境系统的可持续发展水平总体呈上升趋势,但波动幅度较大。2000—2002 年环境系统的可持续发展水平略微提高,虽然经济发展导致的环境压力逐渐增大,但由于经济基础薄弱,而退耕还林、整理复垦等生态环境建设的推进及对工业固体废物的综合利用、工业废水的积极治理,进一步提高

了环境的承载力,因此环境系统的可持续发展水平较高;2003—2007 年环境系统的可持续发展水平基本停滞不前,说明经济发展加剧了环境污染和环境治理压力;2007—2012 年,庆阳在保持经济持续稳定发展的同时加强了环境保护,重视改善环境质量,因此环境系统的可持续发展水平又有所提升。总体而言,近十余年环境系统的可持续发展水平基本上处于可持续发展综合水平之下,其发展状况不容乐观。

2000—2012 年,庆阳可持续发展水平综合指数呈现出持续上升的良好趋势(图 1),说明近十余年来庆阳总体发展状况良好。但是,繁荣的表象下,也隐藏着一些危机。近十余年,经济和社会的可持续发展水平基本上处于综合水平之上,而资源和环境的可持续发展水平基本上处于综合水平之下,人口的可持续发展水平后期也低于综合水平。这表明庆阳可持续发展综合水平的持续上升,是在经济和社会的快速发展下拉升起来的,而背后的资源、环境和人口问题将日益凸显,其发展状况并不乐观。

3.2 持续度分析

在各子系统的持续度演化中(图 2),人口系统的持续度总体呈非持续性,在 2001—2005 年持续下降,2005—2009 年小幅度上升后基本平稳发展,2010—2012 年,持续度基本维持在 0.14,但有下降趋势;经济系统的持续度在 2001—2004 年表现为波动下降趋势,之后有所上升,但亦有震荡;社会系统的持续度持续上升;资源系统的持续度在 2001—2004 年有所下

降,2005—2012 年持续增长,且大多时期低于对应的综合持续度;环境系统的持续度在 2001—2003 年下降幅度较大,2004—2012 年波动性上升,且全部时期均低于对应的综合持续度。五个子系统的综合作用使庆阳可持续发展综合持续度在 2001—2003 年稍有下降,其后持续增长,说明庆阳的可持续发展总体呈现稳定的非减速特性,其发展状况是平稳可持续性的,但可持续性能力不强。因此,在可持续发展中应提高人口、资源和环境系统的持续度,以提高庆阳可持续发展整体持续度,使可持续发展战略能够平稳、长期、有效地实施。

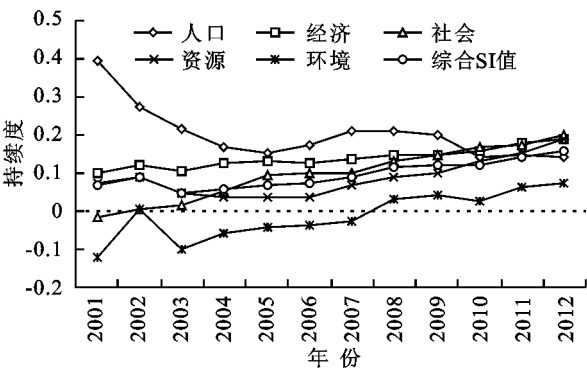


图 2 庆阳市可持续发展持续度变化趋势

3.3 协调度分析

基于人口(X)、经济(Y)、社会(Z)、资源(K)、环境(L)系统的发展水平指数,进行回归曲线拟合,并结合模糊隶属度函数,测算出各系统之间的协调度(表 3—5)。

表 3 庆阳市两个子系统之间的协调度

年份	$U(X,Y)$	$U(X,Z)$	$U(X,K)$	$U(X,L)$	$U(Y,Z)$	$U(Y,K)$	$U(Y,L)$	$U(Z,K)$	$U(Z,L)$	$U(K,L)$
2000	0.9810	0.7133	0.9982	0.2161	0.9555	0.9923	0.6219	0.9970	0.8428	0.9972
2001	0.9401	0.9821	0.9943	0.8487	0.9972	0.9726	0.8446	0.9922	0.8860	0.9801
2002	0.9838	0.9044	0.9244	0.8481	0.9942	0.9397	0.9069	0.9116	0.8539	0.8854
2003	0.9941	0.9030	0.9994	0.8233	0.9903	0.9974	0.8632	0.9687	0.9462	0.8379
2004	0.9350	0.9999	0.9936	0.9849	0.9838	0.9672	0.9982	0.9992	0.9860	0.9391
2005	0.8595	0.8196	0.9996	0.9908	0.9960	0.9459	0.9277	0.9524	0.9283	0.9631
2006	0.9965	0.9387	0.9230	0.8190	0.9963	0.9306	0.9891	0.9430	1.0000	0.9566
2007	0.6596	0.4763	0.4587	0.8964	0.9985	0.9983	0.9549	0.9944	0.9655	0.9347
2008	0.8652	0.7028	0.5530	0.9878	0.9947	0.9971	0.9824	0.9890	0.9644	0.9664
2009	0.9258	0.9330	0.8257	0.8767	0.9972	0.9964	0.9662	0.9990	0.9279	0.9842
2010	0.7673	0.9651	0.9337	0.9455	0.9999	0.9860	0.9239	0.9932	0.8375	0.8180
2011	0.7561	0.7907	0.6593	0.4892	0.9991	0.9905	0.9393	0.9960	0.8827	0.8696
2012	0.4638	0.3653	0.1401	0.3683	0.9923	0.9992	0.9785	0.9995	0.9818	0.9824
平均值	0.8582	0.8289	0.7851	0.8242	0.9839	0.9374	0.9598	0.9832	0.9116	0.9135

由表 3 可知,每两个相互作用子系统的平均协调度从大到小依次是  $U(Y,Z)>U(Z,K)>U(Y,L)>U(Y,K)>U(K,L)>U(Z,L)>U(X,Y)>U(X,Z)>U(X,L)>U(X,K)$ 。式中:人口与社会  $U(X,Z)$ 、

人口与资源  $U(X,K)$ 、人口与环境  $U(X,L)$  的平均协调度分别为 0.828 9、0.785 1、0.824 2,都处于不协调状况,人口与经济  $U(X,Y)$ 、社会与环境  $U(Z,L)$ 、资源与环境  $U(K,L)$  和经济与资源  $U(Y,K)$  处于基

本协调状况,其他两相互作用子系统处于协调状况。2011—2012 年人口系统与其他子系统都不协调,2012 年甚至出现人口系统与其他子系统均极不协调的情况。因此,人口系统可持续发展水平亟需提高,

以实现人口与经济、社会、资源、环境的协调发展。且在经济发展的同时应加强对环境的保护,提高环境的可持续发展水平,以利于环境系统与其他系统的协调发展。

表 4 庆阳市三个子系统之间的协调度

年份	$U$ (X,Y,Z)	$U$ (X,Y,K)	$U$ (X,Y,L)	$U$ (X,Z,K)	$U$ (X,Z,L)	$U$ (X,K,L)	$U$ (Y,Z,K)	$U$ (Y,Z,L)	$U$ (Y,K,L)	$U$ (Z,K,L)
2000	0.9173	0.9674	0.7906	0.8282	0.5791	0.6899	0.9061	0.9765	0.8902	0.6987
2001	0.9929	0.9758	0.9452	0.9905	0.9668	0.9300	0.9855	0.9839	0.9609	0.9801
2002	0.9944	0.9498	0.8571	0.9137	0.8063	0.9220	0.9616	0.8536	0.9683	0.9471
2003	0.9930	0.9817	0.9583	0.9348	0.9841	0.8811	0.9767	0.9893	0.8735	0.8631
2004	0.9223	0.9408	0.8873	0.9995	0.9750	0.9586	0.9818	0.9857	0.9878	0.9697
2005	0.9799	0.8719	0.8465	0.8988	0.8656	0.9771	0.9802	0.9422	0.9832	0.9789
2006	0.9958	0.9312	0.8706	0.9295	0.8675	0.9463	0.9583	0.8798	0.9681	0.9548
2007	0.9212	0.9579	0.8676	0.8557	0.8477	0.7520	0.9861	0.9238	0.9532	0.9406
2008	0.8706	0.9293	0.7275	0.8771	0.6970	0.5921	0.9864	0.9621	0.8285	0.8795
2009	0.8076	0.8820	0.6592	0.9314	0.7429	0.5918	0.9750	0.9947	0.8765	0.8700
2010	0.9856	0.9944	0.8663	0.9159	0.7208	0.8473	0.9745	0.8055	0.9112	0.9387
2011	0.8774	0.9396	0.9450	0.9947	0.9579	0.9758	0.9794	0.8843	0.9625	0.9813
2012	0.9115	0.9825	0.8890	0.9727	0.8771	0.7276	0.9593	0.9782	0.9252	0.9493
平均值	0.9388	0.9451	0.8561	0.9231	0.8526	0.8273	0.9744	0.9325	0.9326	0.9350

由表 4 可知,每三个相互作用子系统的平均协调度从大到小依次  $U(Y,Z,K)>U(X,Y,K)>U(X,Y,Z)>U(Z,K,L)>U(Y,K,L)>U(Y,Z,L)>U(X,Z,K)>U(X,Y,L)>U(X,Z,L)>U(X,K,L)$ 。人口、资源、环境  $U(X,K,L)$  平均协调度处于不协调状况,各年协调度总体处于基本协调或不协调,2000 年人口、资源、环境  $U(X,K,L)$  处于不协调,2001—2006 年人口、资源、环境  $U(X,K,L)$  处于基本协调,但 2007—2012 年人口、资源、环境  $U(X,K,L)$  协调性下降,基本又处于不协调。人口、经济与环境

$U(X,Y,L)$  和人口、社会与环境  $U(X,Z,L)$  平均协调度较低,分别为 0.856 1,0.852 6,是由于人口与环境  $U(X,L)$  处于不协调状况,从而降低了人口、环境系统与其他子系统的协调度。

可见人口的增长和经济的发展增加了资源和环境压力,粗放的经济 development 方式使环境保护压力较大,因此,在发展经济的同时,应控制人口的过快增长,提高资源利用率,推动第三产业和高新技术产业发展,并加强生态建设和环境保护,使各要素同步协调发展。

表 5 庆阳市四、五个子系统之间的协调度

年份	$U(X,Y,Z,K)$	$U(X,Y,Z,L)$	$U(X,Y,K,L)$	$U(X,Z,K,L)$	$U(Y,Z,K,L)$	$U(X,Y,Z,K,L)$
2000	0.9678	0.9622	0.8964	0.7659	0.9614	0.9622
2001	0.9775	0.9875	0.9769	0.9948	0.9937	0.9875
2002	0.9640	0.8931	0.9780	0.9350	0.9697	0.8931
2003	0.9821	0.9865	0.8922	0.8870	0.9341	0.9865
2004	0.9535	0.9395	0.9714	0.9799	0.9869	0.9395
2005	0.9182	0.9207	0.9291	0.9299	0.9933	0.9207
2006	0.9573	0.9153	0.9739	0.9549	0.9842	0.9153
2007	0.9761	0.9438	0.9191	0.8770	0.9784	0.9438
2008	0.9564	0.8414	0.9241	0.8533	0.9076	0.8414
2009	0.9112	0.8058	0.9138	0.8786	0.9377	0.8058
2010	0.9858	0.8658	0.9522	0.9028	0.9077	0.8658
2011	0.9554	0.8984	0.9086	0.9854	0.9556	0.8984
2012	0.9882	0.9599	0.9792	0.9769	0.9709	0.9599
平均值	0.9610	0.9169	0.9396	0.9170	0.9601	0.9169

由表5可知,每四个相互作用子系统的平均协调度从大到小依次为 $U(X,Y,Z,K)>U(Y,Z,K,L)>U(X,Y,K,L)>U(X,Z,K,L)>U(X,Y,Z,L)$ ,每四个子系统都处于基本协调或协调状态。五个子系统的平均协调度为0.9169,处于基本协调状况,2008—2011年人口、经济、社会和环境 $U(X,Y,Z,L)$ 协调性的降低使五个子系统的协调性也同步降低。总的来说,庆阳的可持续发展是基本协调的,但在发展中应注重各子系统的同步稳定协调发展。

### 3.4 趋势度分析

从可持续发展趋势度变化图(图3)可看出,庆阳的可持续发展趋势度水平整体呈现增长趋势,说明庆阳正在逐步向可持续发展状态迈进,但仍处于中等偏上水平,有待于进一步改进发展质量,这是符合该省市情的。2000—2005年增长缓慢,2005—2012年迅速增长,主要是由于2000—2005年环境系统的可持续发展水平下降,资源系统的可持续发展水平基本停滞不前,而2005—2012年环境系统的可持续发展水平波动性上升,资源系统的可持续发展水平持续上升所致。因此,在保证可持续发展具有良好上升趋势的前提下,应加强环境保护和产业结构优化升级,提高资源利用率,使人口、经济、社会、资源、环境各系统协调同步发展,进一步提高其发展质量。

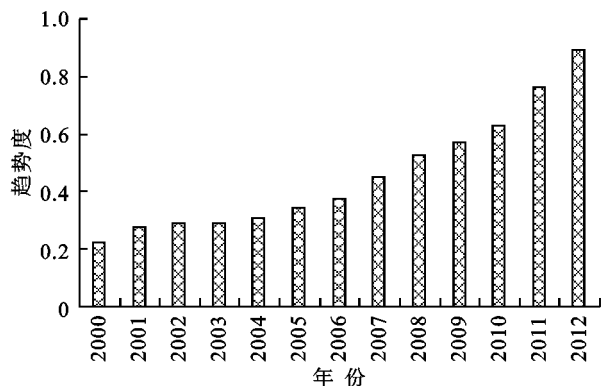


图3 庆阳市可持续发展趋势度变化趋势

## 4 结论与讨论

近十余年来,庆阳市可持续发展综合水平总体发展状况良好,但各子系统的发展水平并不均衡,经济和社会系统的可持续发展水平相对较高,而资源和环境系统的可持续发展水平相对滞后,人口系统的可持续发展水平后期低于综合水平,近年来也需加以适当关注;庆阳市可持续发展持续度总体呈现稳定的非减速特性,其发展状况是平稳可持续性的,但可持续性能力不强;庆阳市各子系统间协调度总体上呈现基本协调状态,但部分子系统间不协调的状况也较为明显,可见人口、经济、社会、资源、环境之间的矛盾仍然

较为突出,各系统并未达到最优化的协调发展状态;庆阳市的可持续发展趋势度水平整体呈现增长趋势,处于中等偏上水平,说明庆阳正在逐步向可持续发展状态迈进,但有待于进一步改进发展质量。

庆阳市作为陇东黄土高原地区的主体组成部分,具有较为典型的代表性。针对陇东黄土高原地区而言,今后的发展中,应控制人口的过快增长,加强人口素质培养,提高人口子系统的可持续发展水平。同时,在保持经济社会持续稳定发展的前提下,加强生态建设和环境保护,提高环境的承载力,并加强产业结构调整和优化升级,推动第三产业和高新技术产业发展,提高资源利用率,节约资源和能源,使资源环境的可持续发展水平逐步提高。在此基础上,最终实现人口、经济、社会、资源、环境各子系统协调同步发展,促进整个陇东黄土高原地区可持续发展战略的稳步推进和全面实现。

### 参考文献:

- [1] 何炼成,姚慧琴,蔡立雄.西部大开发十周年[J].西北大学学报:哲学社会科学版,2009,39(6):24-28.
- [2] 邓凤祥,钟海玥,白雪梅,等.中国西部城镇化可持续发展路径的探讨[J].中国人口·资源与环境,2013,23(10):24-30.
- [3] World Commission on Environment and Development Our Common Future (Brundtland Commission Report) [M]. New York: Oxford University Press, 1987.
- [4] 乔家君,许叔明.区域可持续发展度量方法比较分析[J].地域研究与开发,2003,22(4):9-12.
- [5] 李天星.国内外可持续发展指标体系研究进展[J].生态环境学报,2013,22(6):1085-1092.
- [6] 杨宇,张小雷,雷军,等.基于资源开发利用的区域可持续发展研究[J].地理科学,2010,30(3):363-369.
- [7] 蔡邦成,陆根法,韩尚富,等.江苏省经济的可持续发展评价[J].中国环境科学,2006,26(4):496-499.
- [8] 任占峰,李豫新.新疆区域可持续发展水平分析与评价[J].科技进步与对策,2011,28(14):126-129.
- [9] 张婧,李强,周渊.陕西省城市可持续发展评价[J].中国人口·资源与环境,2013,23(11):448-453.
- [10] 覃成林,郑云峰,张华.我国区域经济协调发展的趋势及特征分析[J].经济地理,2013,33(1):9-14.
- [11] 薛冰,张子龙,郭晓佳,等.区域生态环境演变与经济增强的耦合效应分析:以宁夏回族自治区为例[J].生态环境学报,2010,19(5):1125-1131.
- [12] Enchuang W, Bin L, Chunyan D. China's energy consumption, carbon emissions and economic growth coordinated development evaluation Indicating system and its application[J]. Energy Procedia, 2012(6):1241-1246.

升高,流域的蒸发量增大,影响了土体表层,但仅仅是对很薄的表层有抑制作用,在某种程度上影响了泥石流形成所需土源——固体物质的土壤含水量程度,从而对泥石流规模的大小产生一定程度的影响。

(3) 泥石流输沙量与降水、气温之间表现为明显的非线性关系,在温度不变的情况下,输沙量随降水量的增加基本表现增加的趋势,而在降水量不变的情况下,输沙量随夏季温度的升高,总体趋势小幅减小,在降水量和温度都增加的情况下,输沙量呈现增加趋势,降水因素的影响要远远大于气温要素。

致谢:作者深深地感到本项研究无论是 38 年的气象观测资料的获得,还是近 48 年泥石流侵蚀输沙量的观测资料的获得,都凝聚着二代人长期野外工作的艰辛。在此作者对国家气象观测站与中国科学院东川泥石流观测研究站的新老同仁们表示最诚挚的敬意和感谢。

#### 参考文献:

- [1] 苏布达,姜彤. 长江流域降水极值时间序列的分布特征[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 123-128.
- [2] 张小玲,陶诗言,卫捷. 20 世纪长江流域 3 次全流域灾害性洪水事件的气象成因分析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(6): 669-682.
- [3] Plummer N, Salinger M J, Nicholls N, et al. Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century [J]. Climatic Change, 1999, 42(1): 183-202.
- [4] 任洪玉,赵健. 长江上游滑坡泥石流灾害现状与预警系统建设探讨[C]//中国科学技术协会. 2007 年中国科学技术协会年会论文集, 2007.
- [5] 田冰,王裕宜. 基于功率谱分析的蒋家沟泥石流侵蚀输沙量准周期的探讨[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 244-246.
- [6] 王裕宜,李昌志,洪勇. 暴雨泥石流输沙年际变率的旋回性研究:以云南东川蒋家沟泥石流为例[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(4): 99-533.
- [7] 康志成,崔鹏,韦方强,等. 中国科学院东川泥石流观测研究站观测试验资料集(1961—1984)[Z]. 北京:科学出版社, 2006.
- [8] 康志成,崔鹏,韦方强,等. 中国科学院东川泥石流观测研究站观测试验资料集(1995—2000)[Z]. 北京:科学出版社, 2007.
- [9] 张超,杨秉康. 计量地理学基础[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社, 1991.
- [10] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 3 版. 北京:气象出版社, 2004.
- [11] 苏布达,姜彤,任国玉,等. 长江流域 1960—2004 年极端强降水时空变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 9-14.
- [12] 王裕宜,詹钱登,田冰,等. 极端强降水变化与泥石流侵蚀输沙特征相关性分析:以长江上游小江流域蒋家沟泥石流为例[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 165-169.
- [13] 王志福,钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [14] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 1-10.
- [15] 田冰,王裕宜,洪勇. 泥石流预报中前期降水量与始发日降水量的权重关系:以云南省蒋家沟为例[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 71-75.

(上接第 217 页)

- [13] 赵安周,李英俊,卫海燕,等. 西安市城市化与城市生态环境耦合协调发展研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 152-156.
- [14] 仇方道. 县域可持续发展综合评价研究[J]. 经济地理, 2003, 23(3): 319-322.
- [15] 褚玉楠. 内蒙古鄂尔多斯市可持续发展水平的评价研究[J]. 内蒙古农业大学学报:社会科学版, 2010, 12(1): 43-46.
- [16] 鹿晨昱,马忠,张子龙,等. 基于元指标理论的庆阳区域可持续发展研究[J]. 生态科学, 2012, 31(1): 62-68.
- [17] 洪开荣,浣晓旭,孙倩. 中部地区资源—环境—经济—社会协调发展的定量评价与比较分析[J]. 经济地理, 2013, 33(12): 16-23.
- [18] 曹斌,林剑艺,崔胜辉. 可持续发展评价指标体系研究综述[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 99-105.
- [19] 张琳,薛冰,鹿晨昱,等. 基于 AHP 与 GIS 的城市可持续性测度与空间比较研究:以东北地区 35 市(州)为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 86-91.
- [20] 李艳,曾珍香,武优西,等. 经济—环境系统协调发展评价方法研究及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003(5): 54-58.
- [21] 石培基,杨银峰,吴燕芳. 基于复合系统的城市可持续发展协调性评价模型[J]. 统计与决策, 2010(14): 36-38.