

黄土高原生态—经济—社会耦合协调发展研究 ——以长武县、绥德县、神木市和淳化县为例

姜悦¹, 侯现慧¹, 刘国彬², 吴阳², 王杰²

(1.西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 研究黄土高原生态、经济和社会系统之间的耦合协调发展关系, 为实现黄土高原地区可持续发展提供参考。[方法] 以黄土高原典型地区长武县、绥德县、神木市和淳化县 2001—2019 年生态、经济和社会发展状况为研究对象, 利用耦合协调度模型和剪刀差法研究该区的生态—经济—社会系统耦合协调发展趋势。[结果] 黄土高原典型地区生态系统综合评价指数波动上涨, 经济系统和社会系统综合评价指数稳步上升, 生态—经济—社会耦合协调度持续升高; 生态和经济系统、生态和社会系统的剪刀差值逐年降低, 反映了该地区生态、经济和社会系统之间的关系不断改善, 且基本实现了协调发展。经济系统和社会系统对生态环境的影响逐年减弱。[结论] 目前黄土高原地区生态和经济系统、生态和社会系统处于协调发展阶段, 但生态环境依然是制约当地发展的重要因素。稳固和发展该区域生态文明建设, 缓解经济和生态系统、社会 and 生态系统之间的矛盾仍然是黄土高原地区可持续发展需要面对的重要问题。

关键词: 黄土高原; 剪刀差; 耦合协调模型; 生态—经济—社会系统

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0234-08

中图分类号: X24, F224

文献参数: 姜悦, 侯现慧, 刘国彬, 等. 黄土高原生态—经济—社会耦合协调发展研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 234-243. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.030; Jiang Yue, Hou Xianhui, Liu Guobin, et al. Research on coordinated development of ecological-economic-social coupling of Loess Plateau [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 234-243.

Research on Coordinated Development of Ecological-Economic-Social Coupling of Loess Plateau

—Take Changwu County, Suide County, Shenmu City and Chunhua County as Examples

Jiang Yue¹, Hou Xianhui¹, Liu Guobin², Wu Yang², Wang Jie²

(1. Collage of Economics & Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The coordinated development among the unique ecology, economy, and society of the Loess Plateau was studied to guide the sustainable development of the Loess Plateau. [Methods] The study used data from the typical areas of in Loess Plateau of Changwu County, Suide County, Shenmu City, and Chunhua County from 2001 to 2019 to investigate the ecological, economic, and social development of the area. The coupled coordination degree model and the scissors difference method were used to study the coordinated development trend of the ecology-economy-society system. [Results] The comprehensive evaluation index of the ecosystem for the typical areas of the Loess Plateau fluctuated and increased, the comprehensive evaluation index of the economic system and the social system increased steadily, and the degree of ecological-economic-social coupling and coordination continued to increase. The scissors difference between the ecological and economic systems, and between the ecological and social systems decreased over time, reflecting continuous improvement in the relationships between the ecological, economic, and social systems in the region, and indicating coordinated development. The impact of the economic and social systems on the ecological environment

收稿日期: 2022-04-21

修回日期: 2022-06-06

资助项目: 国家自然科学基金青年项目“休耕政策影响下农户耕地利用行为响应、环境效应及优化策略研究”(72104202); 教育部人文社科基金青年项目(18YJCZH049); 陕西省软科学研究计划项目(2022KRM158); 中国博士后科学基金面上项目(2018M633596)

第一作者: 姜悦(1997—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 硕士研究生, 研究方向为生态与经济耦合关系。Email: jiangyue2019@nwfau.edu.cn.

通讯作者: 侯现慧(1986—), 男(汉族), 黑龙江省牡丹江市人, 博士, 副教授, 主要从事资源经济与环境管理方面的研究。Email: houhx2017@nwfau.edu.cn.

weakened year by year. [Conclusion] Ecological and economic systems, and ecological and social systems of southern border area of the Loess Plateau were in a stage of coordinated development. However, the ecological environment is still an important factor restricting local development. Stabilizing and developing the ecological civilization construction in this region and alleviating the competition between the economy and the ecosystem, and between society and the ecosystem are still important issues that need to be faced for the sustainable development of the Loess Plateau.

Keywords: the Loess Plateau; scissors difference; coupling coordination model; ecological-economic-social system

黄土高原地区位于中国中北部,属于干旱—半干旱气候。由于其悠久的农业历史和严重的土壤侵蚀,该区已成为世界上生态最为脆弱的地区之一,严重影响了当地的经济发展和生产^[1]。自1999年开始,中国在黄土高原地区实行退耕还林还草政策,旨在将农田改为林地和草地来缓解土壤侵蚀和退化,通过改善生态环境的方式缓解当地贫困现状^[2-3]。近20 a来,退耕还林还草政策取得了巨大成就,从2000—2020年,黄土高原地区植被覆盖面积增加了22%^[4],水土流失量从1991—1995年的1 013 t/(km²·a)下降到2011—2015年的595 t/(km²·a)^[5]。近些年,由于城市的发展和扩张,在经济发展的同时,地表植被严重退化和消失,生态环境和社会、经济发展之间的矛盾日益突出。如何在社会、经济高速发展的同时,保护好生态环境是亟须解决的关键问题。因此,探索退耕还林还草政策对当地生态环境、经济和社会系统的影响及三者之间的耦合协调发展过程具有现实意义。生态系统、经济系统和社会系统之间存在着对立统一的关系,生态系统是人类发展中经济系统和社会系统的基础,经济系统和社会系统在依赖自然系统存在的同时又反过来影响自然生态系统。探究生态—经济—社会系统之间的耦合关系是揭示三者之间同步发展态势,解决社会经济生态系统协调发展问题的重要方法。研究三者的耦合过程有助于了解生态环境、经济和社会系统之间的耦合协调程度和动态演变特征,对揭示当地人与自然和谐发展,确定高效的人与自然关系具有重要意义。现如今研究耦合协调发展主要采用EKC计量模型^[6-7]、耦合协调度和耦合度综合评价模型^[8-9]、系统动力学模型^[10]和剪刀差方法^[8,11]等。耦合协调度模型和剪刀差法由于其准确性高,灵敏度好已经越来越多地被用于评价系统之间的耦合协调发展过程。本研究使用综合评价指数、耦合协调度模型、剪刀差方法和耦合度模型为分析工具,通过筛选数据、建模和定量分析近20 a黄土高原地区生态环境、经济系统和社会系统协调发展的动态变化过程,以期探索该地区生态系统、经济系统和社会系统之间的耦合协调关系和演变规律,厘清黄土高原地区生态环境、经济发展和人文

社会的时空变化趋势,为当地生态恢复、经济发展和产业优化提供科学的决策依据。

本研究选择长武县、绥德县、神木市和淳化县4个典型县域为研究对象(图1),分别位于黄土高原地区的南缘和北缘,涵盖了黄土高原地区南北地域差异,且以上县域均是黄土高原地区退耕还林政策实施的示范区之一,可有效地反映出退耕还林政策对黄土高原地区生态、经济和社会系统的影响。查询以上4县2001—2019年统计年鉴,收集可以反映生态、经济和社会系统的相关数据,用于研究黄土高原地区生态—经济—社会系统耦合协调发展状况。

1 研究区概况

黄土高原地区(107°28′—111°15′E,35°21′—39°34′N)位于中国中北部,面积约为6.40×10⁵ km²,地形呈西高东低,属温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温3.6~14.3℃,降水量300~800 mm,年蒸发量1 400~2 000 mm,平均海拔1 100~1 200 m,森林覆盖率为35%~45%,属于半干旱地区^[12]。长武县(107°38′49″—107°58′E,34°59′09″—35°18′N)和淳化县(108°18′—108°50′E,34°43′—35°03′N)隶属于陕西省咸阳市,位于黄土高原南缘,具有典型的黄土高原地区塬、坡、滩地貌。两县总面积分别为567和983 km²,常住人口分别为148 404和141 756人,2020年地区生产总值99.15和82.02亿元。绥德县(110°04′—110°41′E,37°16′—37°45′N)和神木市(109°40′—110°54′E,38°13′—39°27′N)隶属于陕西省榆林市,位于黄土高原北缘,是典型的崩梁状黄土丘陵沟壑区和黄土沙漠丘陵区。两县(市)总面积分别为1 853和7 635 km²,常住人口分别为255 294和572 869人,2020年地区生产总值100.15和1 294亿元。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与指标体系构建

2.1.1 数据来源 本文数据来源于国家地球系统科学数据中心黄土高原分中心(<http://loess.geodata.cn>),国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn/>)和《长武县统计年鉴(2001—2019年)》《绥德县统计

年鉴(2001—2019年)》《神木市统计年鉴(2001—2019年)》《淳化县统计年鉴(2001—2019年)》。

2.1.2 评价指标体系构建 根据典型性、层次性、稳定性及动态性原则,结合长武县、绥德县、神木市和淳化县的生态环境—经济—社会系统发展的实际情况,并参考相关的研究成果^[8-9,11],构建了能够全面反映黄土高原地区 4 县域的生态环境质量、经济发展水平和社会稳定状况的综合评价指标体系。生态系统可以反映当地生态环境质量的生态气候指标、人工造林面积、人为环境污染因素和生态产出等 4 个方面,分

为生态资源、生态压力和生态响应 3 个层次;经济系统指标包括地区不同产业生产总值和农村居民收入,可以从宏观和微观角度客观反映当地经济发展情况;社会系统涵盖了当地医疗资源、教育资源以及地方财政用于社会服务功能的支出,从一定程度上可以反映当地居民的生活环境和生活条件,所有被选择指标参考前人研究成果^[8-14],结合当地实际统计数据,客观反映当地生态系统、经济发展和社会系统基本情况,结合模型的应用,让数据直观反映黄土高原地区生态—经济—社会系统耦合发展机制(表 1)。

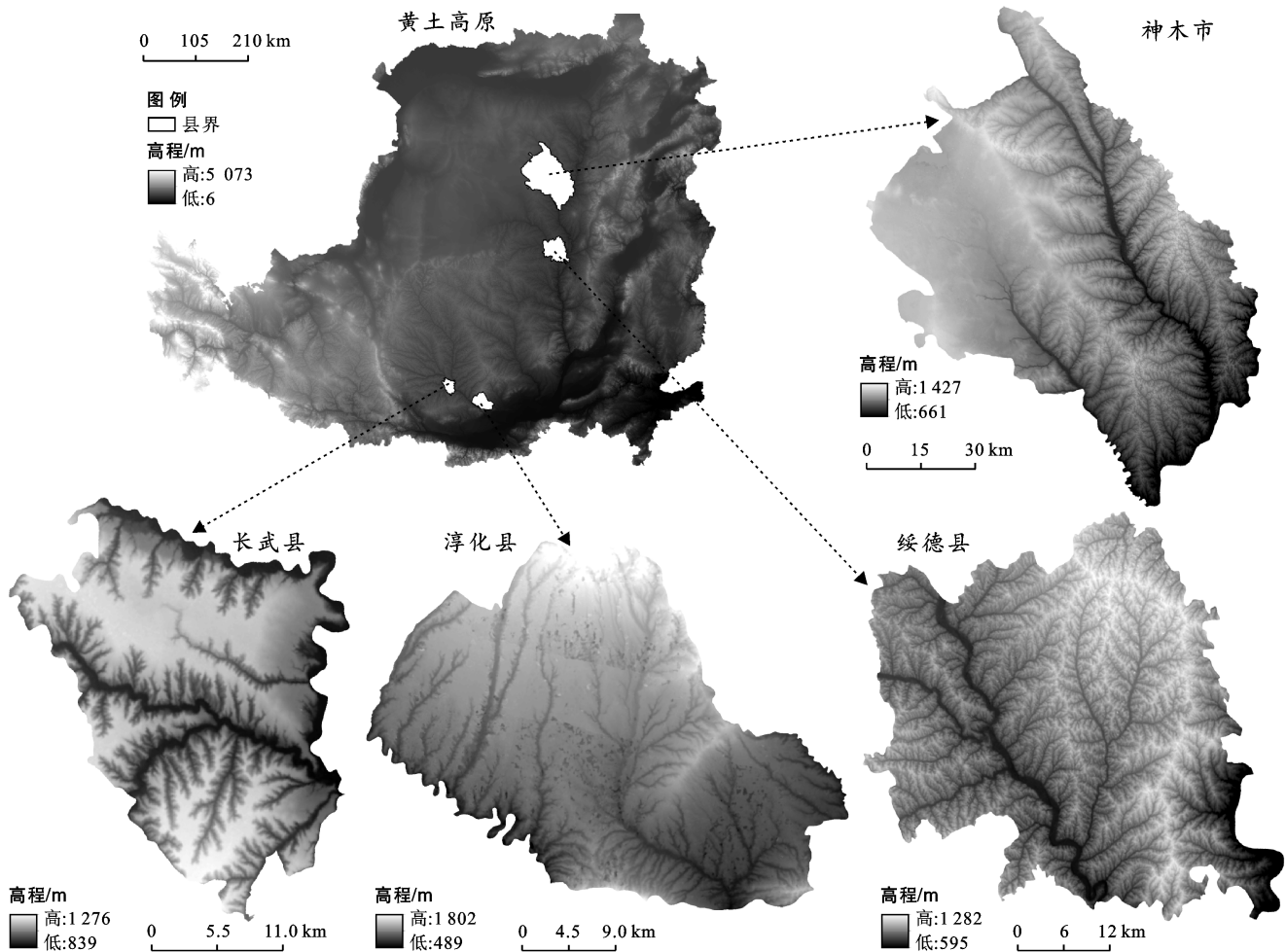


图 1 黄土高原典型地区地形地貌及位置示意图

2.2 研究方法

2.2.1 综合评价指数 本文采用客观赋权法中的嫡值法计算各个指标的权重。该方法是在综合考虑各因素提供信息量的基础上计算的,具有所获取的信息程度有序性、效用性和客观性自然的优势^[15],其计算步骤和公式为:

(1) 计算指标的信息熵 e_j :

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (1)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (2)$$

(2) 计算各指标的去权重 w_j :

$$w_j = \frac{1 - e_j}{k - \sum_{i=1}^m e_j} \quad (3)$$

式中: m 为某项指标的个数; k 为各个子系统的指标数。通过公式(1)–(3)计算得出的生态系统指标权重 a_i ,经济系统指标权重 b_i 和社会系统指标权重 c_i 。

(3) 采用极差变换法^[16]对各指标进行量化,计算
公式为:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (\text{正向指标}) \quad (4)$$

$$X_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (\text{逆向指标}) \quad (5)$$

式中: X_{ij} 表示系统指标的原始值; $\max x_{ij}$, $\min x_{ij}$ 分别表示第 j 个指标第 i 年的最大值和最小值; X_{ij} 为指标标准化后的数值,介于 0~1 之间。

表 1 黄土高原典型地区生态—经济—社会系统评价指标体系

系统	一级指标	二级指标	指标类型	典型地区指标权重			
				长武县	绥德县	神木市	淳化县
生态系统	生态资源	年降水量	+	0.060 8	0.002 3	0.009 2	0.013 2
		年平均气温	+	0.000 8	0.000 2	0.001 4	0.000 7
		年蒸散量	-	0.012 2	0.001 7	0.013 3	0.006 7
		造林面积	+	0.253 6	0.100 6	0.118 1	0.255 5
	生态压力	化肥使用量	-	0.222 2	0.032 1	0.247 2	0.170 5
		农用塑料薄膜使用量	-	0.004 3	0.004 8	0.112 7	0.177 8
		农业机械总动力	-	0.077 3	0.050 3	0.062 3	0.170 3
	生态响应	人口密度	-	0.001 2	0.688 2	0.003 4	0.000 9
		粮食产量	+	0.008 7	0.029 3	0.075 0	0.013 0
		园林水果产量	+	0.245 4	0.056 9	0.337 0	0.120 9
经济系统	经济基础	肉类产量	+	0.113 4	0.033 7	0.020 4	0.070 6
		地区总产值	+	0.093 3	0.116 4	0.120 9	0.109 7
		第一产业生产总值	+	0.075 6	0.118 2	0.079 9	0.073 0
		第二产业生产总值	+	0.115 2	0.114 5	0.132 7	0.163 3
		第三产业生产总值	+	0.349 9	0.150 2	0.138 9	0.136 8
	经济质效	人均国内生产总值	+	0.096 7	0.121 4	0.125 1	0.116 1
		农村居民纯收入	+	0.053 7	0.089 1	0.073 3	0.088 1
		居民储蓄存储余额	+	0.070 4	0.148 4	0.143 7	0.119 4
		城镇在职工平均工资	+	0.065 7	0.076 5	0.064 5	0.071 3
		社会消费品零售总额	+	0.079 4	0.065 3	0.120 9	0.122 3
社会系统	医疗资源	福利院收养性单位	+	0.225 0	0.018 4	0.176 9	0.028 4
		医院、卫生院数	+	0.006 1	0.093 6	0.037 3	0.008 8
		卫生机构卫生技术人员	+	0.025 1	0.016 7	0.028 2	0.024 4
	教育资源	中小学在校学生数	+	0.393 7	0.406 4	0.299 6	0.494 9
		小学、普通中学专任教师数	+	0.000 7	0.004 1	0.001 0	0.001 3
		小学及普通中学数	+	0.023 4	0.083 0	0.105 2	0.052 1
社会服务	农林水事务支出	+	0.116 8	0.154 7	0.107 3	0.120 6	
	教育支出	+	0.068 7	0.065 3	0.066 2	0.071 5	
	医疗支出	+	0.050 3	0.069 9	0.066 4	0.068 3	
	科学技术支出	+	0.034 9	0.059 0	0.073 6	0.089 5	
	从业人员年平均数	+	0.055 3	0.029 0	0.038 4	0.040 2	

(4) 通过极差变换法分别得到 3 个系统的标准化值 x_i , y_i 和 z_i 。利用指标权重与量化值计算综合评价指数,计算模型为:

$$G(x) = \sum_{i=1}^m a_i x_i, G(y) = \sum_{i=1}^m b_i y_i, G(z) = \sum_{i=1}^m c_i z_i \quad (6)$$

式中: $G(x)$, $G(y)$, $G(z)$ 分别为生态系统、经济系统和社会系统的综合评价指数。

2.2.2 协调发展度模型 设 $f(x)$, $g(y)$ 和 $h(z)$ 分别为生态系统评价函数、经济系统评价函数和社会系统评价函数^[16-17]。为评价生态—经济—社会系统交

互耦合的程度,引入耦合协调度模型:

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) + \gamma h(z) \quad (7)$$

$$C = \left[\frac{\alpha f(x) \cdot \beta g(y) \cdot \gamma h(z)}{\alpha f(x) + \beta g(y) + \gamma h(z)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (9)$$

式中: C 为协调度; D 为协调发展度; T 为生态—经济—社会的综合评价指数,它反映三者的整体效益或水平; α, β, γ 为待定权数,本文假设生态发展、经济发展和社会发展同等重要,故 $\alpha = \beta = \gamma = \frac{1}{3}$ (表 2)。

表 2 黄土高原协调发展度评判标准^[16]

协调发展类型	耦合度协调度范围	协调发展亚类
失调衰退类	[0,0.1)	极度失调衰退类
	[0.1,0.2)	严重失调衰退类
	[0.2,0.3)	中度失调衰退类
	[0.3,0.4)	轻度失调衰退类
过度发展类	[0.4,0.5)	濒临失调衰退类
	[0.5,0.6)	勉强协调发展类
协调发展类	[0.6,0.7)	初级协调发展类
	[0.7,0.8)	中级协调发展类
	[0.8,0.9)	良好协调发展类
	[0.9,1)	优质协调发展类

2.2.3 剪刀差法 剪刀差法是一种反映两种变化趋势之间相对变化差异性的方法^[18]。首先通过多项式回归模型拟合生态系统 $f(x)$ 、经济系统 $g(y)$ 和社会系统 $h(z)$ 随时间的相对变化趋势;然后利用给定时刻两系统拟合曲线的切线夹角 μ 表示该时刻的剪刀差。 μ 值越大,表示两种指标的相对变化趋势之间的差异越大。计算公式为:

$$\mu = \arctan \left| \frac{f'(x) - g'(y)}{1 + f'(x)g'(y)} \right| \quad \left(0 \leq \mu < \frac{\pi}{2} \right) \quad (10)$$

$$f'(x) = \frac{dx}{dt} g'(y) = \frac{dy}{dt} h'(z) = \frac{dz}{dt} \quad (11)$$

2.2.4 协调发展的耦合度模型 耦合度模型是根据生态系统、经济系统和社会系统两两系统之间各自的耦合元素产生相互影响的程度,进一步判定二者间的协调作用关系和表现的一种方法^[11]。若把两者及其关系作为一个系统考虑,假定这个系统只有 $f(x)$ 与 $g(y)$ 两个元素,按照贝塔兰菲的一般系统论^[19],任何一个子系统的变化都会导致整个系统的变化。当 $f(x)$ 与 $g(y)$ 协调时,整个系统也是协调发展的,整个系统的演化速度 V 可以看作是 $f'(x), g'(y)$ 的函数,所以有 $V = f'(x) \cdot g'(y)$ ^[20]。首先建立 V 的简单模型,假定经济的变化具有周期性的特点,生态受经济的影响也出现周期性变化。在每个周期内,由于 V 的变化受 $V(x)$ 与 $V(y)$ 的影响,因此可以在两维平面 $[V(x), V(y)]$ 中来分析 V ,以 $V(x)$ 与 $V(y)$ 为变量建立平面坐标系,则 V 的变化轨迹为坐标系中的一椭圆(因为经济发展一般大于生态环境发展速度), $V(x)$ 与 $V(y)$ 的夹角 δ 满足: $\operatorname{tg} \delta = \frac{V(x)}{V(y)}$,即 $\delta = \frac{\arctan V(x)}{V(y)}$ 。根据 δ 的取值,可以判定整个系统的演化状态以及经济系统与环境系统协调发展的动态耦合程度^[21](表 3)。

表 3 黄土高原经济系统与生态系统耦合度模型^[21]

角度范围	发展阶段	作用表现
$-90^\circ < \delta \leq 0^\circ$	低级协调共生阶段	经济发展缓慢,且基本不受生态环境的限制和约束,经济发展对生态环境的影响也几乎为零
$0^\circ < \delta \leq 45^\circ$	初级协调发展阶段	$V(x) < V(y)$,经济发展速度小于生态环境演化速度,经济发展已经开始表现出对生态环境的胁迫作用,生态环境制约了经济发展
$\delta = 45^\circ$	和谐发展阶段	$V(x) = V(y)$,经济与生态发展速度相当,二者和谐发展
$45^\circ < \delta \leq 90^\circ$	共同发展阶段	$V(x) > V(y)$,经济发展速度逐渐加快,经济和生态开始相互影响,环境对经济发展的约束与限制矛盾开始显露,但尚不突出
$90^\circ < \delta \leq 180^\circ$	极限发展阶段	经济高速发展期,其快速发展加速了对资源的索取和对生态的破坏,经济与生态之间的矛盾日益突出,导致约束经济发展的限制圈也相应越来越小,生态环境危机进入潜伏期
$-180^\circ < \delta \leq -90^\circ$	螺旋式上升阶段	经济发展与生态环境之间由交互胁迫的关系逐步转化为相互促进的关系,并最终达到经济与生态高度协调共生发展状态

注: $V(x)$ 和 $V(y)$ 分别代表经济系统和生态系统发展速率, $V(x)$ 与 $V(y)$ 的夹角为 δ , $-180^\circ < \delta < 180^\circ$ 。

3 结果与分析

3.1 生态—经济—社会系统综合发展指数分析

长武县、绥德县、神木市和淳化县的生态环境系统的综合发展水平在 2001—2007 年呈现波动下降趋势,表明该时期生态系统功能逐渐降低。2007—2019 年,生态环境系统综合水平呈波动上升趋势,表明在此期间生态系统功能的作用得到一定程度体现,生态系统的影响力开始加强(图 2)。在具体分类指标中,研究发现生态压力逐年降低,生态响应逐年升高。在经济

发展领域,经济系统在研究期间综合水平逐年提升,经济实力得到了明显提高。在分类指标中,经济基础和经济质效均稳步提升,且随着年限的增长,增速逐渐变大,其中经济基础增长最为明显(图 2),从而带动了整体经济的发展。在社会领域,社会系统综合指数随着时间的推移逐渐升高且增速逐渐增大,表明该地区社会系统发展迅速。在分类指标中,除教育资源外,医疗资源和社会服务逐年提升,人民生活质量逐渐得以提高。教育资源随着时间的推移逐渐降低,这和中国经济发展不均衡和人口外流严重息息相关(图 2)。

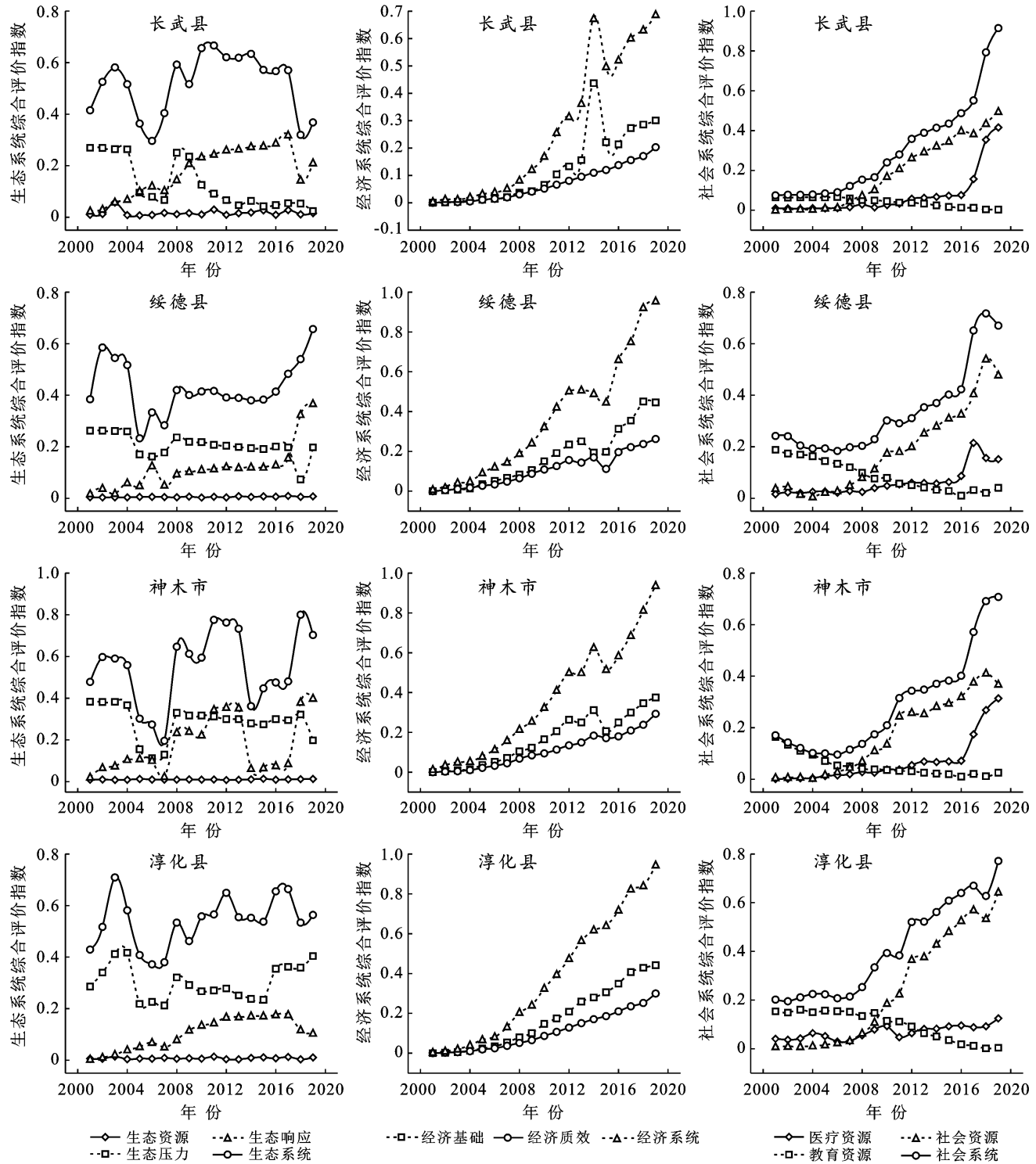


图 2 黄土高原典型地区生态系统、经济系统和社会系统综合发展指数

3.2 生态—经济—社会系统耦合协调发展分析

黄土高原 4 个典型市的生态 $[F(x)]$ —经济 $[F(y)]$ —社会 $[F(z)]$ 系统耦合协调度指数 $[D(x, y, z)]$ 分别由 2001 年的 0.216 9, 0.296 2, 0.318 0, 0.251 8 增长到 2019 年的 0.783 5, 0.865 3, 0.880 4 和 0.862 1。根据耦合度评判标准, 该区域生态—经济—社会系统三者之间的关系逐渐趋于协调(图 3)。2001—2007 年,

该区域耦合协调度指数虽然整体呈缓慢上涨趋势, 但是耦合协调度指数值均小于 0.50, 表明在该时段这些区域的生态—经济—社会系统三者之间的关系严重不协调, 地方发展受限(图 3)。

2007—2010 年, 黄土高原 4 个典型市县的生态 $[F(x)]$ —经济 $[F(y)]$ —社会 $[F(z)]$ 系统耦合协调度指数位于 0.50~0.59 之间, 表明这 4 年间, 黄土高原

地区生态—经济—社会系统三者之间的关系逐渐趋于勉强协调(图 3);2010—2012 年,生态 $[F(x)]$ —经济 $[F(y)]$ —社会 $[F(z)]$ 系统耦合协调度指数位于 0.60~0.69 之间,说明到 2012 年左右,黄土高原地区

生态—经济—社会系统三者之间的关系处于初级协调阶段(图 3);2012—2019 年,除长武处在中级协调阶段的末期以外,其余 3 市县均达到了良好协调阶段(图 3)。

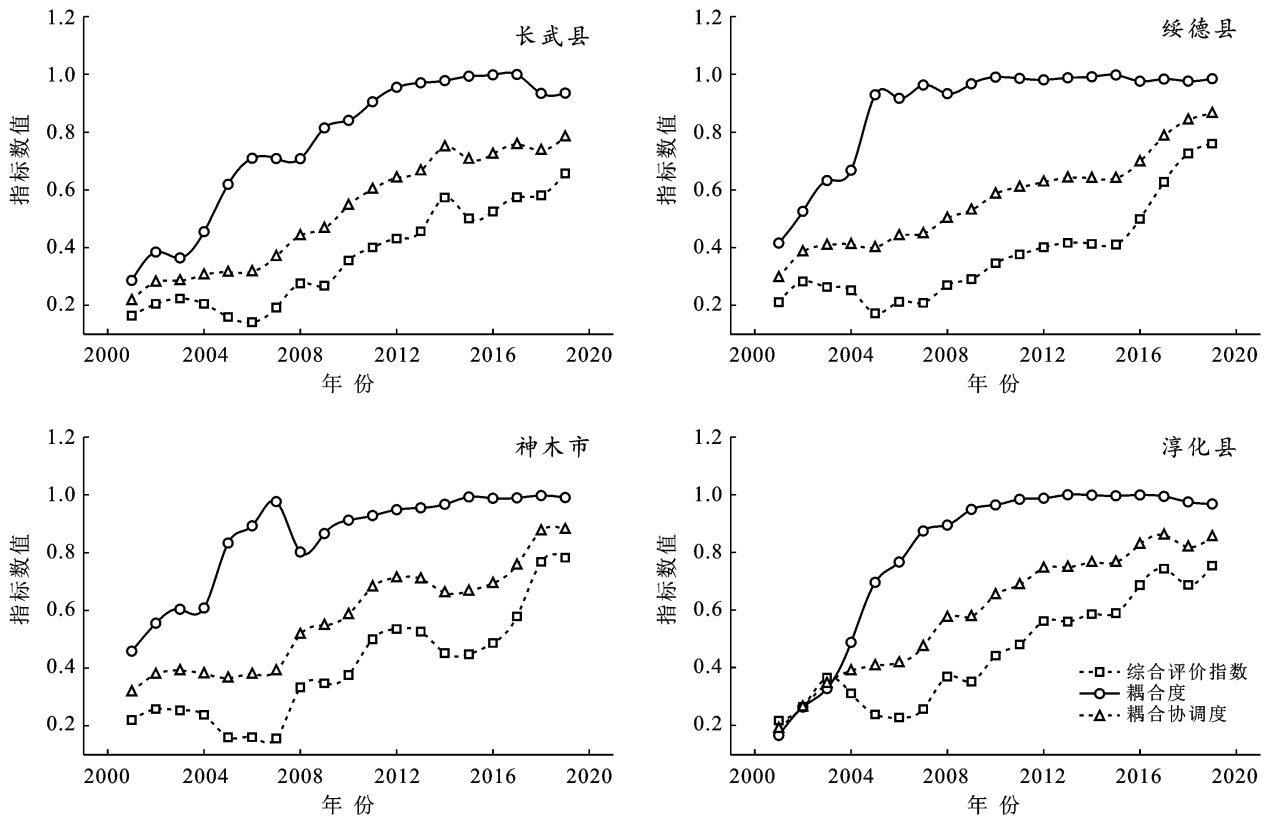


图 3 黄土高原黄型地区生态系统、经济系统和社会系统的耦合协调度

3.3 生态—经济—社会系统演化的剪刀差及耦合度分析

黄土高原 4 个典型市县的生态系统、经济系统和社会系统随时间的多项式拟合曲线如表 4 所示。两系统拟合曲线的切线夹角即为两个系统之间的剪刀差。研究期间,黄土高原地区 4 市县生态系统和经济系统演化速率的剪刀差除长武县在变速降低外,均处于均速降低状态,表明随着黄土高原地区的生态治理和经济发展,经济对生态产生的负面影响越来越小(图 4)。相似地,生态系统和社会系统除长武县处于变速降低外,其余 3 地处于均速降低状态。这说明随着时间的推移,黄土高原地区社会对生态的负面影响越来越小,人与自然趋于和谐(图 4)。此外,经济系统和社会系统演化速率的剪刀差均在匀速降低,表明二者的发展逐渐趋于和谐,从相互制约的状态更加趋近于相互促进的状态(图 4)。

经过对黄土高原地区 4 市县生态和经济系统耦合度模型的分析,结果表明神木市的耦合度处在 $45^\circ < \delta < 90^\circ$ 的区间内,说明神木市生态和经济开始互相

影响。由于经济的发展,生态环境和经济发展之间的矛盾出现,但是二者矛盾尚不突出,且随着时间的变化缓慢增加(图 5)。长武县和绥德县耦合度处在 $0^\circ < \delta < 45^\circ$ 的区间内,随着时间的推移先增加后降低,表明前期经济 and 生态发展逐步趋向协调发展阶段,然而从 2008 年以后,经济发展开始对生态环境表现出胁迫作用,生态环境制约了经济发展(图 5)。淳化县相对于其他 2 县随着时间的变化 δ 值更加趋近 45° ,表明淳化县的生态和生态发展更加协调(图 5)。

从生态和社会的耦合度模型分析的结果可知,长武县处在 $0^\circ < \delta < 45^\circ$ 的区间内,表明社会的发展已经开始对生态环境表现出胁迫作用,生态环境制约了社会的发展。随着时间的变化,这种制约先逐渐减弱后逐渐增加(图 5)。绥德县和神木市处在 $45^\circ < \delta < 90^\circ$ 的区间内,表明神木市的生态和社会开始互相影响。由于社会的发展,生态环境和社会发展之间的矛盾出现,但是二者矛盾尚不突出,且随着时间的推移矛盾逐渐降低,二者发展逐渐趋于协调(图 5)。淳化县的生态和社会的耦合度随着时间的推移先降低后增加

逐渐趋于 45°,表明生态和社会发展在 2012 年以后逐渐趋于和谐(图 5)。相同地,分析经济和社会的耦合度模型结果表明,经济和社会发展与生态和社会关系

相同,长武县、绥德县和神木市的经济的发展制约了社会的发展,但是二者的矛盾并不突出,且淳化的经济和社会发展比较协调(图 5)。

表 4 黄土高原典型地区综合评价指数曲线拟合

县市	生态系统		经济系统		社会系统	
	曲线方程	R ²	曲线方程	R ²	曲线方程	R ²
长武县	$y = -0.0005x^3 + 3.0239x^2 - 6.0739x + 4E+06$	0.5457	$y = -0.0003x^3 + 1.7768x^2 - 3.5749x + 2E+06$	0.951	$y = 0.0001x^3 - 0.8355x^2 + 1.6732x - 1E+06$	0.974
绥德县	$y = 0.0001x^3 - 0.6875x^2 + 1.3771x - 919.488$	0.4603	$y = 6E-05x^3 - 0.3841x^2 + 767.81x - 511.653$	0.969	$y = 4E-05x^3 - 0.2163x^2 + 428.94x - 283.524$	0.947
神木市	$y = -0.0001x^3 + 0.8324x^2 - 1.6742x + 1E+06$	0.1113	$y = -4E-05x^3 + 0.2154x^2 - 435.89x + 294.001$	0.973	$y = -4E-05x^3 + 0.2483x^2 - 504.72x + 341.860$	0.961
淳化县	$y = -0.0002x^3 + 1.1477x^2 - 2.3076x + 2E+06$	0.2282	$y = -0.0002x^3 + 1.146x^2 - 2.3069x + 2E+06$	0.997	$y = -0.0002x^3 + 1.2699x^2 - 2.555x + 2E+06$	0.974

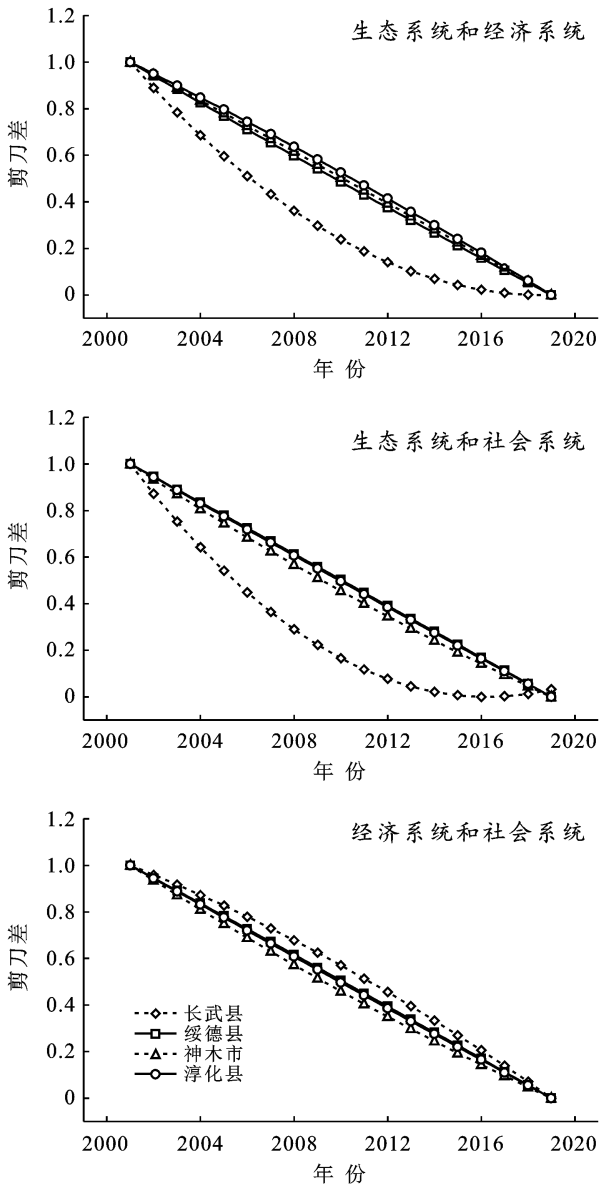


图 4 黄土高原典型地区生态系统、经济系统和社会系统的剪刀差

4 讨论与结论

4.1 讨论

黄土高原地区由于其脆弱的生态环境所引起生态—经济—社会系统发展失衡,一直是研究的热点问题^[3,22-24]。本研究通过计算 2001—2019 年生态系统、经济系统和社会系统的综合发展评价指数发现,4 市县的综合评价指数整体上趋势相同,生态系统呈现波动上升趋势,经济系统和社会系统呈现稳定上升趋势,生态系统与经济系统和社会系统在某些时间段内出现发展步调不一致现象。这表明由于经济和社会的发展,所引起的生态环境问题一直存在,经济和社会的发展必然会引起对生态环境的破坏,从而导致生态系统的综合评价指数上下波动。分析认为,退耕还林还草政策的实行及近些年人们对生态环境质量的重视,使得黄土高原地区生态恢复成效显著^[25]。同时,国家对西部大开发在政策上的重点扶持,使得黄土高原地区经济和社会系统高速发展。然而经济系统和社会系统的快速发展也造成了自然生态环境的进一步破坏,最终造成了生态系统的综合发展指数上下波动的现象。通常生态环境对经济和社会的影响具有明显的滞后性^[8]。自 1999 年国家实行退耕还林还草政策以来,生态环境得到了逐步的改善,生态系统综合评价指数在前期明显提升,然而后期经济和社会发展对生态的影响也逐步暴露,生态系统综合评价指数明显下降,之后随着经济和社会系统的高速发展生态系统综合评价指数上下波动,出现了边治理边破坏的现象。近些年,随着人们环保意识的提高以及当地政府有关的政策完善,经济和社会系统的高速发展对生态系统的影响逐渐减小,经济和社会系统逐步向协调发展的方向迈进。

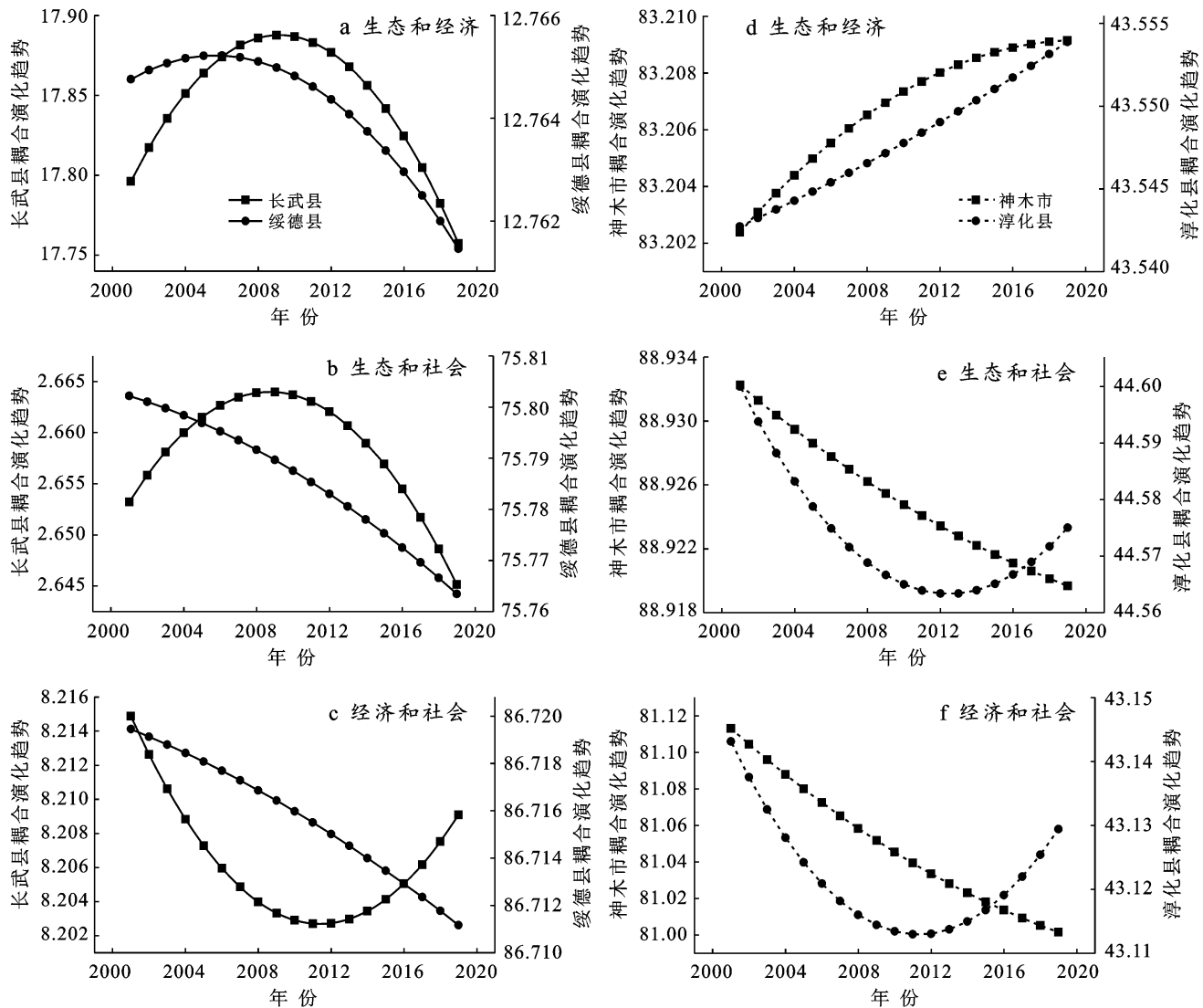


图 5 黄土高原典型地区生态系统、经济系统和社会系统的耦合度演化趋势

通过对研究期内黄土高原地区耦合协调度的研究结果分析发现,在 21 世纪初期,黄土高原 4 市县的生态—经济—社会系统处于不协调发展状态。当时,退耕还林还草政策还没有凸显成效,社会发展滞后。2007 年开始,在经历了 8 a 的治理以及政策扶持后,黄土高原 4 市县生态—经济—社会系统的发展逐步开始协调,尤其是 2012 年以后,生态—经济—社会系统的耦合协调度逐步上升至 0.8 附近,耦合协调性逐步趋于良好。这和当地的生态治理政策以及经济扶持政策是密不可分的。黄土高原地区经济发展逐步从破坏生态以满足经济发展变为在生态保护中发展社会和经济^[26],产业结构逐步合理,人民生活幸福指数显著提高。此外,本研究通过分析生态和经济系统,生态和社会系统耦合度的结果发现,现如今制约当地经济和社会发展的重要瓶颈依然是生态环境因素。生态和经济系统,生态和社会系统之间的耦合发展关系还有很大的提升空间。近些年,地方政府逐渐

重视对生态环境的建设,并取得了一定的成效,使得经济和社会的发展对生态环境的影响越来越小,二者的发展逐渐趋于协调^[8]。然而,由于黄土高原地区长期的环境问题,生态和经济系统、生态和社会系统之间发展的矛盾依然突出。

因此,如何保护生态环境,在不破坏生态环境的基础上发展经济,仍是黄土高原地区未来需要面对的重要问题。以往的发展经验表明,经济和社会的发展是以降低当地生态环境质量为代价的^[25]。然而,在新形势下应该积极探索生态—经济—社会系统协调发展的模式,在落实中国基本生态保护方针,巩固退耕还林还草政策的成果下,充分发挥地域优势,调整地方产业结构,把经济和社会的发展从生态环境破坏中获取变更为在生态环境保护中获取,要实现“绿水青山”向“金山银山”的价值转化,使得生态—经济—社会系统协调发展,从而实现黄土高原地区的可持续发展。

4.2 结论

(1) 2001—2019年黄土高原典型地区生态系统综合指数呈现波动上升趋势,经济系统和社会系统稳步提升,经济和社会系统的发展速度要快于生态系统的发展速度。

(2) 2001—2019年黄土高原典型地区生态—经济—社会系统耦合协调度不断上升,由中度失调衰退阶段发展到良好协调发展阶段。这说明黄土高原地区的生态、经济和社会系统发展关系不断优化,较好地实现了三者的耦合协调发展。

(3) 2001—2019年黄土高原典型地区生态和经济系统,生态和社会系统剪刀差均处于匀速降低阶段,表明经济和社会系统的发展对生态环境的负面影响越来越弱。

(4) 2001—2019年,黄土高原典型地区的生态和经济系统,生态和社会系统耦合度均处于耦合度模型的第Ⅱ区域,处于协调发展阶段,但生态环境依然是制约当地发展的重要因素。因此,应该在稳步提高生态环境质量的基础上发展经济,达到生态—经济—社会系统协调发展,以实现黄土高原地区的可持续发展。

[参 考 文 献]

[1] 陈灵芝,鲍显诚,陈清朗,于午岭辽东栎林林窗主要树种更新生态位[J].植物生态学报,1985,9(2):101-111.

[2] Liu Dan, Chen Yang, Cai Wenwen, et al. The contribution of China's grain to green program to carbon sequestration [J]. *Landscape Ecology*, 2014, 29(10): 1675-1688.

[3] Tsunekawa A, Liu Guobin, Yamanaka N, et al. Restoration and development of the degraded Loess Plateau, China [J]. *Restoration & Development of the Degraded Loess Plateau China*, 2014, 67(9): 507-8.

[4] 王逸男,孔祥兵,赵春敬,等.2000—2020年黄土高原植被覆盖度时空格局变化分析[J].水土保持学报,2022,36(3):130-137.

[5] Jin Fengmei, Yang Wuchao, Fu Jinxia, et al. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 773: 1455-14.

[6] Dinda S. Environmental kuznets curve hypothesis: A survey [J]. *Ecological Economics*, 2004, 49(4): 431-455.

[7] Copeland B R, Taylor M S. Trade, growth, and the environment [J]. *Journal of Economic Literature*, 2004, 42(1): 7-71.

[8] 马亚亚,刘国彬,张超,等.陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展[J].生态学报,2019,39(18):6840-6849.

[9] 郝梦露,彭守璋.宁南山区生态环境与社会经济的耦合协

调发展[J].水土保持通报,2021,41(5):319-326.

[10] 袁绪英,曾菊新,吴宜进.渭水河流域经济环境协调发展系统动力学模拟[J].地域研究与开发,2011,30(6): 84-88.

[11] 李双江,胡亚妮,崔建升,等.石家庄经济与人居环境耦合协调演化分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(4): 8-15.

[12] 万冰,宋俊学,张登越.黄土高原地区土地利用动态变化的空间差异分析[J].资源节约与环保,2018(6): 29-30.

[13] 姜磊,柏玲,吴玉鸣.中国省域经济、资源与环境协调分析:兼论三系统耦合公式及其扩展形式[J].自然资源学报,2017,32(5):788-799.

[14] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J].广州环境科学,1996(1):12-16.

[15] 李亮.评价中权系数理论与方法比较[D].上海:上海交通大学,2009.

[16] 张丽君,刘佳骏.内蒙古自治区社会、资源、生态与经济协调发展研究[J].中央民族大学学报(哲学社会科学版),2009,36(1):61-67.

[17] 党建华,瓦哈甫·哈力克,张玉萍,等.吐鲁番地区人口—经济—生态耦合协调发展分析[J].中国沙漠,2015,35(1):260-266.

[18] 王明全,王金达,刘景双,等.吉林省西部生态支撑能力与社会经济发展的动态耦合[J].应用生态学报,2009, 20(1):170-176.

[19] 黄金川,方创琳.城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J].地理研究,2003,22(2):211-220.

[20] 韩瑞玲,佟连军,佟伟铭,等.沈阳经济区经济与环境系统动态耦合协调演化[J].应用生态学报,2011,22(10): 2673-2680.

[21] 熊建新,陈端吕,彭保发,等.洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J].地理科学,2014,34(9):1108-1116.

[22] 董锁成,吴玉萍,王海英.黄土高原生态脆弱贫困区生态经济发展模式研究:以甘肃省定西地区为例[J].地理研究,2003,22(5):590-600.

[23] 齐拓野,米文宝.黄土高原丘陵区生态因子与经济发展耦合关系研究:以宁夏彭阳县为例[J].生态经济,2014, 30(9):88-90.

[24] 张青峰,吴发启,王力,等.黄土高原生态与经济系统耦合协调发展状况[J].应用生态学报,2011,22(6):1531-1536.

[25] 黄艳嘉.基于生态足迹理论的江西省生态审计研究[D].江西南昌:华东交通大学,2014.

[26] 魏媛,王晓颖,吴长勇,等.喀斯特山区经济发展与生态环境耦合协调性评价:以贵州省为例[J].生态经济, 2018,34(10):69-75.