

DOI: 10.5846/stxb202111213281

罗万云,王福博,戎铭倩.国家重点生态功能区生态-经济-社会系统耦合协调的动态演化——以新疆阿勒泰地区为例.生态学报, 2022, 42(12): 4729-4741.

Luo W Y, Wang F B, Rong M Q. Dynamic evolution of ecological-economic-social system coupling coordination in national key ecological function areas: Take the Altay region of Xinjiang as an example. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(12): 4729-4741.

国家重点生态功能区生态-经济-社会系统耦合协调的动态演化

——以新疆阿勒泰地区为例

罗万云^{1,3}, 王福博^{2,*}, 戎铭倩^{1,3}

1 新疆大学经济与管理学院, 乌鲁木齐 830046

2 西安交通大学经济与金融学院, 西安 710061

3 新疆创新管理研究中心, 乌鲁木齐 830046

摘要:探究国家重点生态功能区生态-经济-社会系统耦合协调的演化特征,对实现可持续发展目标、建设美丽中国有重要意义。运用耦合协调模型、剪刀差方法、耦合度模型以及 VAR 模型对 2007—2019 年阿勒泰地区 EES 系统耦合协调度的动态演化进行分析。结果表明:(1)2007—2019 年阿勒泰地区整体耦合协调度呈现不断上升趋势,由 2007 年的中度失调(0.271)向 2019 年的轻度失调(0.371)演进,生态系统与经济系统、社会系统的发展水平呈现“X”型变动趋势,经济系统与社会系统持续上升,而生态系统略微下降。(2)经济系统与社会系统、生态系统与社会系统演化速率的剪刀差在 2014 年以后出现较大幅度的波动,而生态系统与经济系统演化速率的剪刀差趋于稳定态势,生态系统与经济系统、经济系统与社会系统的耦合度呈现出由无序到有序的初始过渡。(3)由脉冲响应函数及方差分解可得,阿勒泰地区 EES 系统耦合协调水平的提升是三系统共同作用的结果,前期主要由社会系统、经济系统驱动,后期主要依赖生态系统的改善。研究表明:国家重点生态功能区应着重减轻经济系统对社会系统和生态系统的胁迫强度,进而实现三者的协同发展。

关键词:国家重点生态功能区;生态-经济-社会系统;耦合协调水平;动态演化;阿勒泰地区

Dynamic evolution of ecological-economic-social system coupling coordination in national key ecological function areas: Take the Altay region of Xinjiang as an example

LUO Wanyun^{1,3}, WANG Fubo^{2,*}, RONG Mingqian^{1,3}

1 School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China

3 Center for Innovation Management Research, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: The national key ecological function areas in the western region are not only fragile in ecological environment, but also lagging in economic development and social public services. In the past several decades, the contradiction between ecology, economy, and society caused by human behavior has aroused widespread concern. Therefore, exploring the evolution characteristics of ecological-economic-social (EES) system coupling and coordination degree in the national key ecological function areas is of great significance for achieving sustainable development goals and building a beautiful China.

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金青年项目(2021D01C107)

收稿日期:2021-11-21; **采用日期:**2022-05-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1780672812@qq.com

In this paper, we use the coupling coordination model, scissors difference model, coupling degree model, and vector autoregressive model (VAR model) to explore and analyze the dynamic evolution of the coupling coordination degree of the EES system in the Altay region from 2007 to 2019. The results show that: (1) from 2007 to 2019, the overall coupling coordination degree of the Altay region in Xinjiang showed a rising trend, which was evolving from a moderate imbalance (0.271) in 2007 to a mild imbalance (0.371) in 2019. The development level of the ecological system and the development level of the economic system and the social system presented a trend of “X”. Specifically, the development level of the economic system and the social system continued to rise, while the ecological system decreased slightly. (2) The scissors difference in the evolution rate of “the economic system and the social system” as well as “the ecological system and the social system” fluctuated significantly after 2014, while the scissors difference in the evolution rate of “the ecological system and the economic system” tended to be stable. The coupling degree of “the ecological system and the economic system” and “the economic system and the social system” showed an initial transition from disorder to order. (3) According to the analysis results of impulse response function and variance decomposition, the improvement of the coupling coordination degree of the EES system in the Altay region was the result of the interaction of the three systems. To be specific, in the early stage, it was mainly driven by the social system and the economic system, while in the late stage, it mainly depended on the improvement of the ecological system to promote the coupling coordination degree of the EES system. The research showed that the national key ecological function areas should focus on reducing the stress intensity of the economic system on the social system and the ecological system in the future, so as to achieve the coordinated development of the three systems.

Key Words: national key ecological function areas; ecological-economic-social system; coupling coordination level; dynamic evolution; the Altay region of Xinjiang

国家重点生态功能区作为主体功能区中的“限制开发区”,承担着水源涵养、水土保持、防风固沙以及生物多样性等优质生态产品供给责任。国家重点生态功能区的建立在提高生态文明建设水平的同时,却带来了生态与经济社会系统的矛盾^[1]:一方面,中央财政资金对于改善人民生活的作用有限;另一方面,作为限制开发区域,城镇化和工业化的发展需要服从主体功能目标而受到限制,这种结果并非是中央政府对国家重点生态功能区的未来期待。因此,甄别国家重点生态功能区的生态-经济-社会(Ecological-economic-social, EES)系统耦合协调发展的关键因子,深入揭示 EES 系统耦合协调水平与各系统间的互动关系,对解决生态与经济社会的矛盾,推动国家重点生态功能区生态文明建设具有重要意义。

19 世纪末,英国学者霍华德率先提出了“田园城市”的构想^[2],标志着人类开始认识到生态与环境-经济-资源系统的共轭体系。之后,著名学者 Norgaard 提出,耦合协调发展理论强调生态系统与经济社会系统的共同发展^[3]。Grossman 和 Krueger 发现,经济发展与生态环境之间存在互斥互竞的关系,即环境状况并不会随着经济增长而一直变坏,当经济增长到一定水平后,环境就会逐渐改善,俗称环境库兹涅茨曲线(ECK)^[4]。后来,意大利学者 Brown 等从经济发展与生态资源相互作用关系进行实证研究,提出了可用于评估的生态技术、不可再生投资等指标^[5]。Martínez 等选择全球沿海地区为研究对象,对生态、经济、社会之间的耦合协调关系进行了实证研究^[6]。后来,数据包络方法^[7]和生态足迹法^[8]等定量模型逐渐被应用在生态、经济和社会协调的研究之中。实践层面,联合国在“2015 年发展议程”中提出“经济、社会与环境三个方面的 17 个目标和 169 个子目标”^[9],旨在建立全球可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)。

20 世纪 70 年代以后,国内一些学者在国外成果的基础之上,开始了本地化探索。理论层面,著名学者马世俊和王如松率先提出“社会-经济-自然符合生态系统”理论,强调社会、经济、自然系统的整体性^[10]。后来,吴传钧院士提出人地关系学说^[11],进一步解释了三大系统的互动机理。相比理论层面的突破,实证研究也逐渐兴起,概括起来具有以下特点:第一,研究区域逐渐由国家或者省域的大尺度^[12]向微观小尺度转换^[13]。第二,方法层面逐渐由耦合协调评价模型^[14]向多个方法交叉综合应用转换^[15]。第三,静态耦合向动态耦合的互动切换^[16]。已有成果为本研究构建 EES 系统指标评价体系以及耦合协调度评价模型的选择提供有益借鉴,但也存在有待完善之处。例如:如何将生态、经济、社会三大系统纳入到一个整体框架下进行实证,讨论耦

合协调程度的动态演化趋势?此外,如何突破现有研究范围的经验缺失,选择承担着更多“生态功能”和“生产功能”的国家重点生态功能区,考察其 EES 系统耦合机理?

截止到 2021 年,国家重点生态功能区有 25 个,分布在中西部地区的有 16 个,占到国土总面积的 30.1%^[17]。相比沿海地区,西部地区的国家重点生态功能区不仅生态环境脆弱,而且经济发展和社会公共服务滞后。中国生态文明建设目标并非是浅尝辄止地追求生态保护,而是寄希望国家重点生态功能区建设能实现生态、经济、社会之间的平衡和充分发展。阿尔泰山地森林草原生态功能区作为西部地区最为重要的国家重点生态功能区之一,过去的几十年里人类行为造成的生态、经济、社会的矛盾引起了广泛关注。论文以此为研究对象,构建 EES 系统评价体系,运用耦合协调度模型、剪刀差方法、耦合度模型以及 VAR 模型对 EES 系统耦合协调水平以及动态演化趋势进行实证研究,为国家重点生态功能区出台更加有效的治理政策提供可靠的理论借鉴。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区概况

阿尔泰山地森林草原生态功能区位于新疆阿勒泰地区,区域行政主体为阿勒泰地区及兵团第十师(图 1),包括阿勒泰市、布尔津县、富蕴县、福海县、哈巴河县、青河县、吉木乃县、北屯市(下面统称六县二市),东部与蒙古国接壤,西部、北部与哈萨克斯坦共和国、俄罗斯联邦共和国交界,总面积 11.80 万 km²,占全疆面积的 7.2%。2007—2019 年阿勒泰地区总人口由 64.51 万人增加到 65.95 万人,GDP 从 99.28 亿元增加到 284.09 亿元,农牧民人均纯收入由 4157 元增加到 14392 元,三次产业结构从 21.98:45.86:32.16 调整为 16.7:36.1:47.2。阿勒泰地区大小河流 50 余条,是额尔齐斯河的发源地,境内森林、草地、冰川发育完整,2010 年被明确划为国家重点生态功能区水源涵养型保护区。2014 年国家林业局颁布的《阿尔泰山地森林草原生态功能区生态保护与建设规划(2014—2020 年)》(以下简称“保护规划”)明确提出,增强额尔齐斯河和乌伦古河流域的水源涵养能力,建设西北干旱地区重要的生态文明示范区。

1.2 数据来源

本研究数据主要来源于 2008—2020 年《阿勒泰地区统计年鉴》、《中国县域统计年鉴》、《新疆生产建设兵团第十师北屯市统计年鉴》、《新疆生产建设兵团统计年鉴》以及阿勒泰地区各县市统计公报等资料,缺失数据通过 SPSS 20.0 软件采用临近点均值法补齐。耕地面积、林地面积和草地面积通过 ArcMap 10.8 软件对 2007—2019 年土地利用数据计算得出,栅格分辨率为 30m,数据来源为质量较好的 Landsat 影像(所有影像的轨道号均为 141-146/28-32),该数据来自美国地质调查局(<http://glovis.usgs.gov>)。

为了避免指标数据单位、方向以及数值量级间的悬殊对评价结果的影响,本研究采用归一化方法对指标数据进行无量纲化处理(式 1 与式 2)。此外,为了使指标数据的运算有意义,同时尽可能的保留原始数据内在的规律性,本研究对无量纲化后的指标数据进行整体小幅度的平移,即 $h'_{kij} = h_{kij} + b$,这里 b 取 0.001。

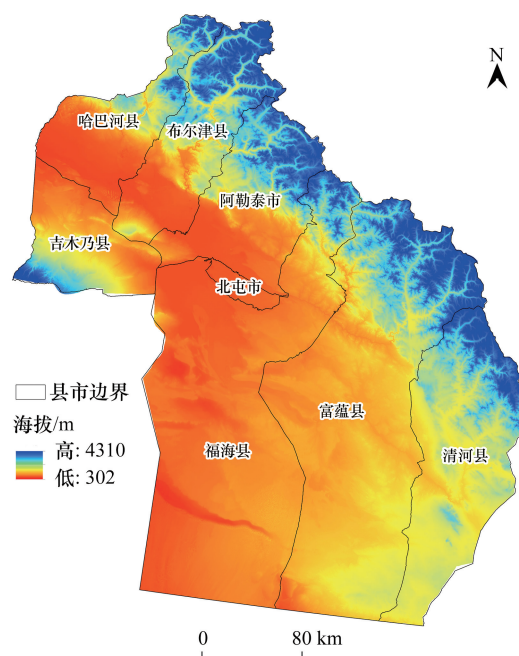


图 1 研究区示意图

Fig.1 Distribution of study area

正向指标:

$$h_{kij} = \frac{H_{kij} - \text{Min } H_j}{\text{Max } H_j - \text{Min } H_j} \quad (1)$$

负项指标:

$$h_{kij} = \frac{\text{Max } H_j - H_{kij}}{\text{Max } H_j - \text{Min } H_j} \quad (2)$$

式中, H_{kij} 、 h_{kij} 分别代表无量纲化前、后第 k 年第 i 个县市第 j 个指标数值。

2 EES 系统评价体系与模型构建

2.1 EES 系统结构及互动关系

国家重点生态功能区具有限制性色彩,生态与经济社会之间产生了较大冲突,使得生态保护与经济社会发展陷于两难境地^[18]。可见 EES 系统的耦合协调发展是国家生态功能区实现人与自然和谐共生的关键^[19]。国家重点生态功能区的生态系统作为经济系统和社会系统发展的基础,为经济系统和社会系统提供土地、能源等资源,分解吸收人类活动所产生的剩余物质和排放物(图2)。但是生态系统有限的承载能力,又会阻碍经济系统和社会系统的发展:一方面,随着经济系统的发展,经济系统对资源的需求将不断扩大,进而带来资

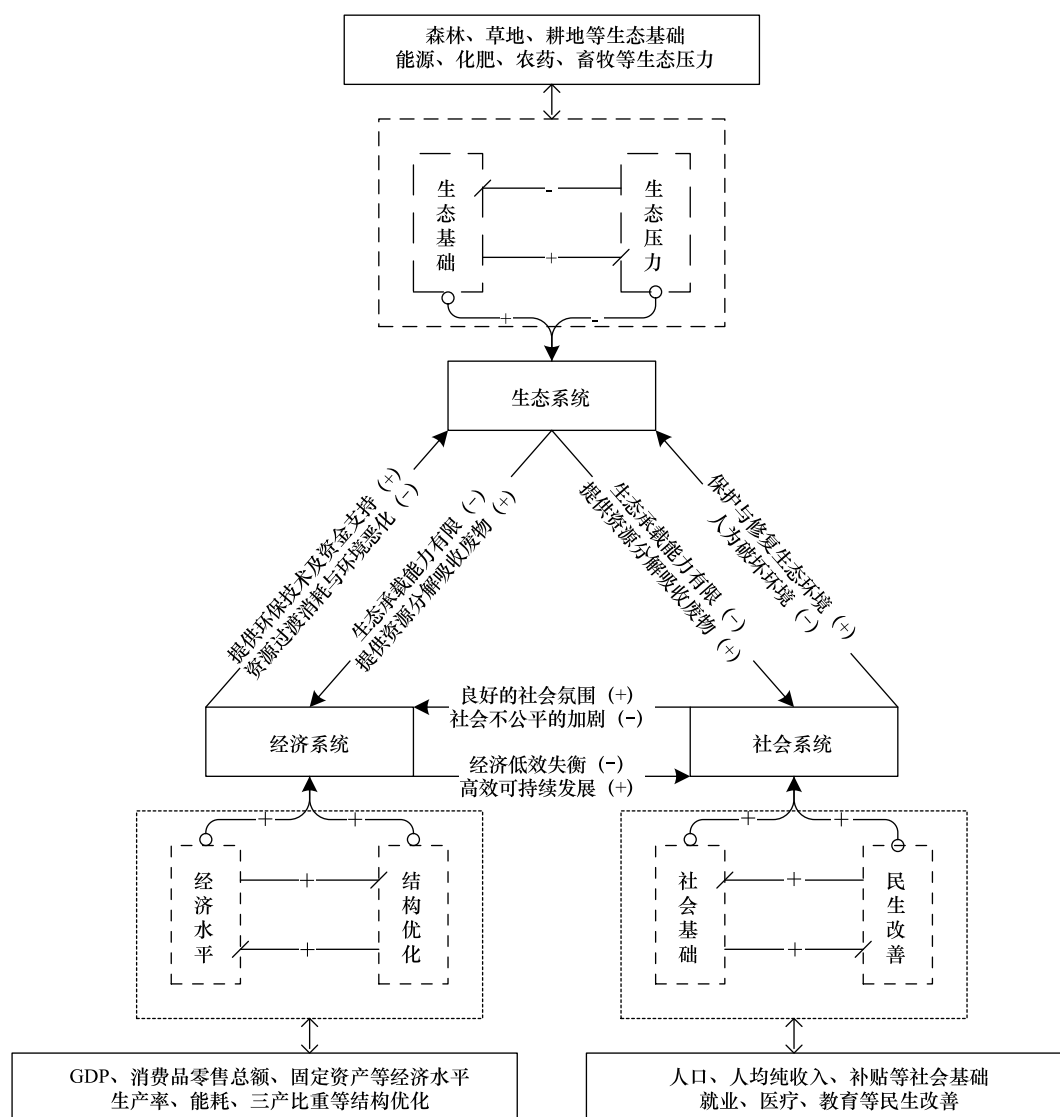


图2 国家重点生态功能区生态-经济-社会系统结构与互动关系

Fig.2 Structure and interaction of ecological-economic-social system in the national key ecological function areas

源的过渡消耗与环境恶化;另一方面,社会系统中人类的某些社会活动,又会给生态环境带来负面影响。此外,良好的社会环境是经济系统高效可持续发展的前提,反过来,经济系统的高效可持续发展必然促进社会发展,改善民生,推动精神文明建设,进而促进社会系统对生态系统的修复与保护。综上,国家重点生态功能区 EES 系统的发展是相互交织、相互影响的复杂耦合过程,三系统相互制约,协同共生,如果单一方面追求某个系统的发展,将会导致其他系统的失衡。

2.2 EES 系统评价体系构建

2010 年国务院正式下发《全国主体功能区规划》,按照不同国土空间的功能,分别划分为优先开发区、重点开发区、限制开发区与禁止开发区^[20],后两类区域最大特征是经济发展相对落后,基本公共服务薄弱,保障基础较差,生态脆弱,但环境资源丰富。国家重点生态功能区属于限制开发区,与其他功能区相比较,如果不采取差别化和“倾斜”政策照顾,很容易出现两种极端,一是生态功能区为了获得短时间的经济增长与民生福祉的改善不惜破坏生态环境;二是经济水平以及公共服务维持在低水平的生态环境改善。前者会使得国家重点生态功能区走上“先污染、后治理”的不可持续道路,而后者会使得原本存在的不平衡、不充分的问题进一步加剧,这一结果并非是中央政府对生态文明建设的未来期待。

中央政府对国家重点生态功能区的定位并非是浅尝辄止的保护与发展^[21],而是以维护和改善区域重要生态功能为目标,调整区域社会经济布局,进一步减少人类行为造成的负外部性,统筹人与自然和谐发展,将生态保护与地方社会经济发展、群众生活水平提高有机结合起来,实现重点生态功能区生态、经济社会的协调发展。本研究认为国家重点生态功能区 EES 系统的耦合协调发展更加侧重生态环境改善,在提高生态基础(森林、草地等生态要素好转)的同时,推动经济系统的结构优化(第三产业发展,生产效率、能源利用效率提高)、巩固民生与社会基础(就业、教育、医疗等方面的改善),推动经济高质量发展,进而减轻经济社会发展对生态系统造成的压力与胁迫,实现 EES 系统的协调发展。据此,本研究参考相关复合系统耦合协调的研究^[15,22],选取 3 个宏观系统,6 个一级指标,17 个二级指标,构建符合国家重点生态功能区特征的 EES 系统评价体系(表 1),运用熵权法计算出指标权重,能较为全面地反映 EES 系统的发展水平。

表 1 生态-经济-社会系统评价体系					
Table 1 The evaluation system of ecological-economic-social system					
宏观系统	一级指标	二级指标	单位	指标类型	权重
Systems	First-class indicators	The secondary indicators	Units	Indicators types	Weights
生态系统 Ecological system	生态基础	林地覆盖率	%	正向	11.25%
		草地覆盖率	%	正向	6.14%
	生态压力	人均耕地面积	hm ² /人	负向	1.28%
		地区总能耗	吨标煤	负向	1.18%
经济系统 Economic system	经济水平	每公顷牧草地牲畜数	头/hm ²	负向	0.64%
		地区国民生产总值	万元	正向	7.75%
		人均社会消费品零售总额	万元/人	正向	12.49%
	结构优化	人均固定资产投资	万元	正向	7.38%
		全社会劳动生产率	万元/人	正向	7.17%
		单位 GDP 能耗	吨标煤/万元	负向	2.86%
		第三产业占 GDP 比重	%	正向	3.88%
社会系统 Social system	社会基础	人口规模	万人	正向	11.33%
		农牧民人均纯收入	元	正向	7.25%
		人均公共财政支出	万元/人	正向	8.58%
	民生改善	城镇登记失业率	%	负向	3.69%
		中小学师生比例	人/100 人	正向	3.58%
		每 100 人拥有床位数	张/100 人	正向	3.55%

2.3 研究方法

2.3.1 耦合协调模型

为了更好地反映阿勒泰地区 EES 系统间相互作用、相互胁迫的动态演化进程。本研究采用耦合协调模型对阿勒泰地区 EES 系统的耦合协调水平进行定量评价。但是,在计算耦合度 C 值时,国内外学者所采用的方法存在较大差异,同时存在一定使用误区以及表述不当等问题。因此,本研究采用从晓男^[23]纠正后的耦合度模型来计算 EES 系统的耦合度 C 值。具体步骤如下:

计算耦合度 C 值。

$$U_{kl}(x) = \sum_j^n w_j \times h'_{klj} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, $U_{kl}(x)$ 表示同一县市第 k 年系统第 l 个系统的综合发展水平; h'_{klj} 表示同一县市第 k 年系统中的第 j 个指标,无量纲化和小幅度平移后的数值。 w_j 表示第 j 个指标的权重。

$$C = 3 \times \left\{ \frac{U_1(x) \times U_2(x) \times U_3(x)}{[U_1(x) + U_2(x) + U_3(x)]^3} \right\}^{1/3} \quad (3)$$

式中, U_1 、 U_2 、 U_3 分别表示同一县市、同一年份不同系统的综合发展水平; C 为耦合度 ($0 \leq C \leq 1$), C 越大表示耦合度越高,系统间的关联越明显。

计算耦合协调度 D 值。

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 + \gamma U_3 \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (5)$$

式中, D 表示表示同一县市、同一年份的 EES 系统的耦合协调度, T 为综合发展值,其中 $\alpha = \beta = \gamma = 1/3$ ^[24],并参照熊曦等^[25]的划分标准,将阿勒泰地区 EES 系统的耦合协调度 D 值划分为极度失调、严重失调、中度失调等十个亚类,失调衰退区间、过渡调和区间以及协调发展区间三大区间(表 2)。

表 2 耦合协调类型划分表

Table 2 Coupling coordination type partition table

失调衰退区间 Imbalance recession interval				过渡调和区间 Transition harmonic interval		协调发展区间 Coordinated development interval			
极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
(0.0—0.1)	[0.1—0.2)	[0.2—0.3)	[0.3—0.4)	[0.4—0.5)	[0.5—0.6)	[0.6—0.7)	[0.7—0.8)	[0.8—0.9)	[0.9—1.0)

2.3.2 剪刀差方法

在耦合协调模型的基础上,本研究采用剪刀差进一步反映阿勒泰地区 EES 系统间的演化速率差异。剪刀差最初主要用来衡量工农产品的不等价交换,后来被用来反映两个系统之间演化速率的差异^[26],通过分析系统之间的变化速率在二维平面上构成的投影轨迹的夹角 θ ,来判断和分析 EES 系统之间演化趋势的差异。生态系统、经济系统和社会系统的演化速率 $V(x)$ 、 $V(y)$ 和 $V(z)$ 可通过其曲线的切线斜率 $F'(x)$ 、 $F'(y)$ 和 $F'(z)$ 来表示:

$$V(x) = F'(x) = \frac{dx}{dt}, V(y) = F'(y) = \frac{dy}{dt}, V(z) = F'(z) = \frac{dz}{dt} \quad (6)$$

两系统间变化速率的剪刀差值 θ 可按照式(7)、式(8)、式(9)计算:

$$\theta_1 = \arctan \left| \frac{F'(x) - F'(y)}{1 + F'(x) F'(y)} \right|, \quad \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

$$\theta_2 = \arctan \left| \frac{F'(x) - F'(z)}{1 + F'(x) F'(z)} \right|, \quad \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right) \quad (8)$$

$$\theta_3 = \arctan \left| \frac{F'(y) - F'(z)}{1 + F'(y) F'(z)} \right|, \quad \left(0 \leq \theta < \frac{\pi}{2} \right) \quad (9)$$

式中, θ 是系统之间在给定时刻的两切线夹角, θ 越小, 表明两系统间的变化趋势差异越小, 反之, 则越大。

2.3.3 EES 系统的耦合度模型

为了更好探究两系统之间的耦合关系, 本研究采用耦合度模型进一步分析。耦合度模型是根据两系统各自的耦合元素产生相互影响的程度, 来判定两者之间的协调关系及表现^[15]。若把两系统作为一个整体考虑, 假定这个系统只有 $F(x)$ 与 $F(y)$ 两个元素, 按照贝塔兰菲的一般系统论^[27], 当系统内各元素协调时, 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 $V(x)$ 与 $V(y)$ 的函数, 所以有 $V=f(V(x), V(y))$ 。同时系统之间的影响又具有周期性, 所以可以用两维平面 $[V(x), V(y)]$ 来描述 V 。即 $V(x)$ 与 $V(y)$ 的夹角 β 满足: $\tan\beta = V(x)/V(y)$, 即 $\beta = \arctan V(x)/V(y)$, 根据 β 的取值, 可以判定整个系统的演化状态以及 $F(x)$ 与 $F(y)$ 协调发展的动态耦合程度。参照马亚亚等^[15]的分类标准, 将阿勒泰地区 EES 系统耦合度水平划分为低级协调共生阶段、初级协调发展阶段、和谐发展阶段等六大发展阶段, I、II、III、IV 四大区域(表 3)。

表 3 生态-经济-社会系统耦合度类型划分
Table 3 Classification of coupling degree of ecological-economic-social system

角度范围 Angle range	区域 Area	发展阶段 Development stage	作用表现 Action performance
$-90^\circ < \beta \leq 0^\circ$	I	低级协调共生阶段	x 系统的发展缓慢, 且基本不受 y 系统的限制和约束, x 系统的发展对 y 系统的影响也几乎为零
$0^\circ < \beta < 45^\circ$	II	初级协调发展阶段	$V(x) < V(y)$, x 系统发展速度小于 y 系统演化速度, x 系统发展已经开始显现出对 y 系统的胁迫作用, y 系统制约了 x 系统的发展
$\beta = 45^\circ$		和谐发展阶段	$V(x) = V(y)$, x 系统与 y 系统发展速度相当, 二者和谐发展
$45^\circ < \beta \leq 90^\circ$		共同发展阶段	$V(x) > V(y)$, x 系统发展速度逐渐加快, x 系统和 y 系统开始相互影响, y 系统对 x 系统发展的约束与限制矛盾开始显露, 但尚不突出
$90^\circ < \beta \leq 180^\circ$	III	极限发展阶段	x 系统高速发展期, 其快速发展加速了对 y 系统的索取和破坏, x 系统与 y 系统之间的矛盾日益突出, 导致约束 x 系统发展的限制圈也相应越来越小, y 系统危机进入潜伏期
$-180^\circ < \beta \leq -90^\circ$	IV	螺旋式上升阶段	x 系统发展与 y 系统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 x 系统与 y 系统高度协调共生发展状态

2.3.4 向量自回归 (VAR) 模型

VAR 模型被国内外学者^[28]广泛用于时间序列分析, 主要用于研究无约束下联合内生变量之间的交互影响。本研究采用 VAR 模型对各系统与耦合协调度的互动效应和贡献程度进行分析, 模型如下:

$$Y_t = C + \Phi_1 Y_{t-1} + \Phi_2 Y_{t-2} + \cdots + \Phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{9}$$

式中, Y_t 表示 $n \times 1$ 维的向量时间序列, C 表示 $n \times 1$ 维的常数向量, $\Phi_i (i=1, 2, \cdots, p)$ 表示 $n \times n$ 维的自回归系数矩阵, n 表示时间序列变量个数, t 表示年份, p 表示 VAR 模型阶数, ε_t 代表 $n \times 1$ 维的向量白噪声。

3 结果与分析

3.1 EES 系统耦合协调水平的时间演进分析

3.1.1 EES 系统耦合协调水平

2007—2019 年, 阿勒泰地区整体耦合协调水平呈现上升趋势, 由 2007 年的中度失调 (0.271) 逐渐调整到轻度失调状态 (0.371), 而中度失调的持续时间为 2007—2010 年, 2011 年整体耦合协调水平进入轻度失调状态, 一直持续到 2019 年。

从各县市的耦合协调类型来看(表 4), EES 系统耦合协调水平并没有呈现出与整体趋势一致的态势, 其中阿勒泰市由轻度失调 (0.362) 逐渐上升为濒临失调 (0.453), 布尔津县由轻度失调 (0.308) 逐渐上升为濒临失调 (0.426)。富蕴县由中度失调 (0.284) 逐渐上升到轻度失调 (0.364), 但是初期的耦合协调水平存在较大波动性, 2010 年后其维持在轻度失调状态。福海县的耦合协调水平并未发生较大幅度变化, 但是从具体得分

数值来看,从 2007 年的 0.229 上升到 2019 年的 0.299。哈巴河县初期表现(2007—2008 年)为波动上升,但是到 2009 年之后处于轻度失调状态,并且哈巴河县(2008 年)进入轻度失调的时间明显早于整体水平(2010 年)。值得注意的是,青河县、吉木乃县、北屯市虽从中度失调进入到轻度失调状态,但是进入时间均依次滞后于整体水平。

表 4 2007—2019 年阿勒泰地区各县市生态-经济-社会系统耦合协调度

Table 4 Coupling coordination degree of ecological-economic-social system in counties and cities of Altay region from 2007 to 2019

年份 Year	阿勒泰市	布尔津县	富蕴县	福海县	哈巴河县	青河县	吉木乃县	北屯市	整体水平 Integral level
2007	轻度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调
2008	轻度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调
2009	轻度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调
2010	轻度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	中度失调
2011	轻度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	轻度失调
2012	轻度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	中度失调	轻度失调
2013	濒临失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	中度失调	轻度失调
2014	濒临失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调
2015	濒临失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调
2016	濒临失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调
2017	濒临失调	轻度失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调
2018	濒临失调	濒临失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调
2019	濒临失调	濒临失调	轻度失调	中度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调	轻度失调

3.1.2 EES 系统综合发展水平

2007—2019 年生态系统综合发展水平呈现略微下降趋势(图 3),由 2007 年的最高点(0.115)下降到 2019 年的最低点(0.093),略微下降这一趋势可能的原因是:阿勒泰地区是以牺牲生态环境质量为代价来推动经济和社会的发展。

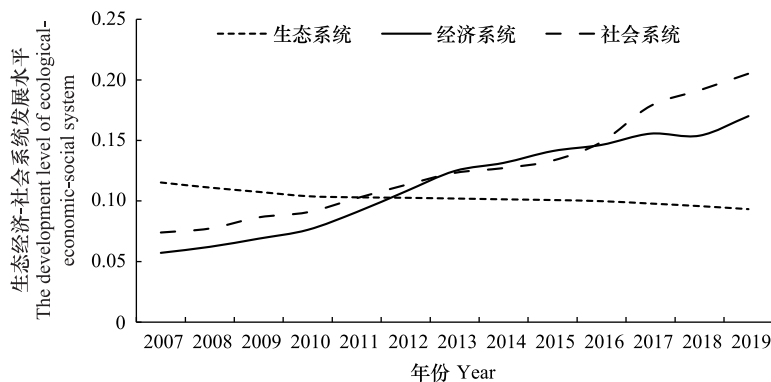


图 3 2007—2019 年阿勒泰地区生态-经济-社会系统发展水平

Fig.3 The level of ecological-economic-social system development in Altay region from 2007 to 2019

经济系统和社会系统整体呈现出稳步上升趋势。2007—2019 年经济系统综合发展水平大体上呈“增长-波动下滑-回升”的发展趋势,经济系统由 2007 年的 0.057 持续上升到 2017 年的 0.156,在 2018 年呈现略微下降之后在 2019 年达到峰值(0.170),拉动其达到顶峰的是人均社会消费品零售总额,其权重最高达 12.49%,其次是地区 GDP(7.75%)和人均固定资产投资(7.38%),这在一定程度上显示出,自 2007 年以来阿勒泰地区人民消费水平显著提高,消费与需求的增加正逐渐推动阿勒泰地区经济系统稳步发展,而 2018 年经济系统略微下降主要是由结构优化准则层中人均固定资产投资水平的下降所致。

社会系统总体上呈现持续上升的发展趋势,由 2007 年的 0.077 上升到 2019 年的 0.205,年均增长率为

8.87%, 社会系统的持续增长主要源于公共基础和民生改善准则层, 人均财政支出(年均增长率为 25.77%) 和农牧民人均纯收入(年均增长率为 20.40%) 是促进社会系统增长的核心因子。此外, 每 100 人拥有床位数量(年均增长率为 7.93%) 也是社会系统持续上升过程中的重要驱动因子。

2007—2019 年生态系统与经济系统、社会系统的发展水平呈现较为明显的“X”型变动趋势, 经济系统与社会系统呈现持续上升趋势, 而生态系统一直处于低水平且呈现略微下降趋势。2007—2011 年, 生态系统水平高于其他两个系统, 而社会系统与经济系统在 2012 年超过生态系统后呈现持续上升趋势。

3.2 EES 系统间演化速率的剪刀差及耦合度分析

3.2.1 EES 系统间演化速率的剪刀差

为了进一步探究各系统演化速率的差异, 本研究采用剪刀差方法对 EES 系统相互之间的演化过程进行分析(图 4)。生态系统与经济系统演化速率的剪刀差在 2008—2013 年呈现稳步上升趋势, 但到 2013 后呈现波动下降趋势, 并在 2019 年呈现快速上升趋势。经济系统与社会系统演化速率的剪刀差呈现出先平缓上升后倒“U”的趋势, 于 2017 年以后呈现快速下降趋势。生态系统与社会系统演化速率的剪刀差呈现出左低右高的“M”型波动趋势。EES 系统相互之间的演化过程大体可以分为 3 个阶段, 即 2007—2013 年的波动上升、2013—2014 年的快速下降、2014—2019 年的剧烈波动。经济系统与社会系统、生态系统与社会系统演化速率的剪刀差在 2014 年以后突然增大, 并出现剧烈波动, 而生态系统与经济系统演化速率的剪刀差趋于稳定态势。从波动趋势来看, 2014 年后经济系统与社会系统经历了较大幅度的调整, 并且这一剧烈变化逐渐影响了生态系统, 而生态系统演化递减趋势在 2015 年以后的逐渐上升则进一步印证了这一结论。

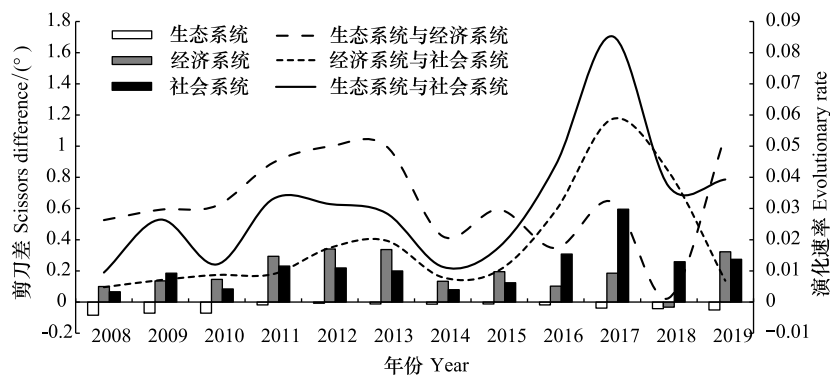


图 4 2008—2019 年阿勒泰地区生态-经济-社会系统演化速率的剪刀差变化趋势

Fig.4 The changing trend of scissors difference in the evolution rate of ecological-economic-social system in Altay region from 2008 to 2019

3.2.2 EES 系统耦合度分析

2008—2015 年, 经济系统与社会系统的耦合角度在共同发展阶段($45^\circ < \beta \leq 90^\circ$) 波动, 即经济系统的演化速率逐渐加快, 经济系统与社会系统开始相互影响, 社会系统对经济系统发展的约束与限制矛盾开始显露, 但尚不突出(图 5)。在 2016—2018 年间出现了短期调整, 经济系统与社会系统耦合角度由 II 区域向 I 区域过渡, 耦合度水平从共同发展阶段下降到低级协调共生阶段($-90^\circ < \beta \leq 0^\circ$), 说明社会系统的演化速率逐渐加快, 进而超越经济系统, 社会系统对经济系统发展的约束与限制的矛盾得到缓和。2017 年以后经济系统与社会系统的耦合角度出现先快速下降又快速上升的大幅度波动, 在 2018 年到达谷底, 这可能是经济系统的剧烈波动所致。从具体指标来看, 2018 年阿勒泰地区固定资产投资呈现快速下滑趋势, 全年完成投资 90.17 亿元, 比上年下降 39.6%, 从产业分类来看, 第一产业下降 39.6% 和第三产业下降 46.5%, 阿勒泰地区的固定资产投资不足与新疆整体发展水平具有较高一致性, 同年新疆固定资产投资下降 25.2%, 第一产业下降 42.1%、第三产业下降 32.6%, 经济系统对社会系统发展的约束与限制矛盾逐渐减弱。

2008—2017 年, 生态系统与经济系统的耦合度处于低级协调共生阶段(角度范围值为 $-90^\circ < \beta \leq 0^\circ$), 说明

生态系统发展缓慢,且基本不受经济系统的限制和约束,经济系统发展对生态系统的影响也几乎为零。直到2018年,生态系统与经济系统的耦合度由Ⅰ区域上升到Ⅱ区域,角度范围值相应调整到 $45^{\circ}<\beta\leq 90^{\circ}$ (共同发展阶段),说明生态系统的演化速率逐渐加快,生态系统与经济系统开始相互影响,经济系统对生态系统发展的约束与限制矛盾开始显露,但尚不突出。2019年,生态系统与经济系统的耦合度再次回到低级共生阶段,经济系统对生态系统发展的约束与限制有所减弱。而生态系统与社会系统的耦合度一直处于低级协调共生阶段,说明生态系统发展缓慢,且基本不受社会系统的限制和约束,社会发展对生态系统的影响也几乎为零。

从EES系统耦合度整体演变趋势来看,生态系统与经济系统的耦合度趋于稳定(一直处于低级协调共生阶段),经济系统与社会系统的耦合度以及生态系统与社会系统的耦合度,呈现先稳定后大幅波动的趋势。而这一现象可能与2014年颁布的“保护规划”有较为紧密的联系,2014年后,阿勒泰地区开始加大生态环境的保护力度,促使经济系统与社会系统进行调整,而生态系统与经济系统、经济系统与社会系统耦合度的此消彼长的关系也进一步说明EES系统的耦合度呈向好趋势,复合系统呈现出由无序到有序的初始过渡。

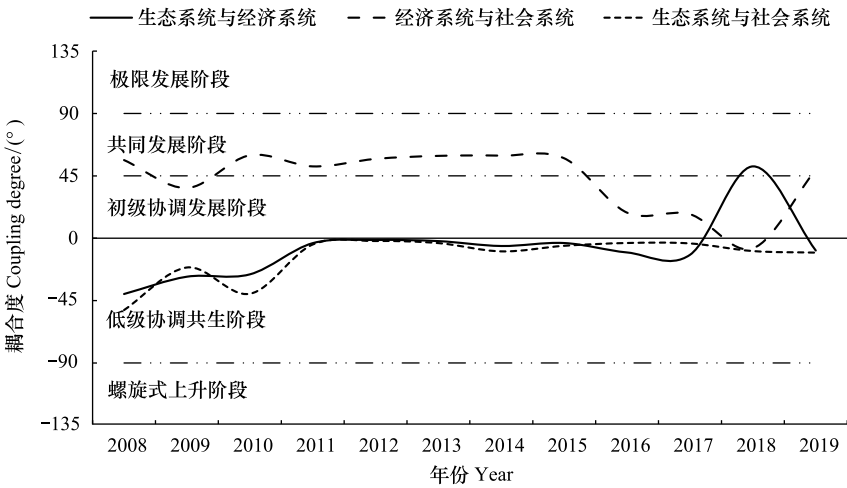


图5 2008—2019年阿勒泰地区生态-经济-社会系统耦合度演化趋势

Fig.5 The evolution trend of coupling degree of ecological-economic-social system in Altay region from 2008 to 2019

3.3 EES 系统耦合协调的脉冲响应分析

3.3.1 构建脉冲效应函数

首先,在进行检验之前,先对时间序列数据取对数,来消除异方差的影响。再对模型中各时间序列数据进行单位根检验,并对非平稳的时间序列进行差分处理,进而保证数据的平稳性(表5)。其次,确定最优滞后阶数(1阶)以及格兰杰因果检验(在10%的显著性水平下,具有因果关系)。再次,对模型进行稳定性检验(经检验模型是稳定的)。最后,构建耦合协调度D值对生态系统、经济系统以及社会系统的脉冲响应函数(图6)。

表5 平稳性检验

Table 5 Stationarity test

变量 Variables	ADF 统计值 ADF statistics	临界值 Critical value			P	结论 Conclusion
		1%	5%	10%		
D(lnST)	-4.214713	-5.52186	-4.107833	-3.515047	0.0446	平稳
lnJJ	-6.653125	-2.771926	-1.974028	-1.602922	0.0000	平稳
lnSH	-5.941676	-2.771926	-1.974028	-1.602922	0.0000	平稳
lnD	-7.108009	-2.771926	-1.974028	-1.602922	0.0000	平稳

ST;生态系统 Ecological system;JJ;经济系统 Economic system;SH;社会系统 Social system;D;耦合协调度 D 值 Coupling coordination degree D value,ln 表示对变量取对数处理,D(lnST)表示 lnST 的一阶差分

3.3.2 脉冲响应分析

脉冲响应函数可以对相关变量的动态关系进行分析,运用脉冲响应函数判断出 EES 系统的耦合协调度对三系统冲击的动态响应过程(图 6)。EES 系统的耦合协调度对经济系统的响应呈现“上升-略微下降-略微上升”的波动趋势,前 3 期逐渐加强,第 4 期以后逐渐减弱,呈现略微下降趋势,到第 8 期,响应开始略微增强。EES 系统的耦合协调度对社会系统的响应在第 2 期达到最低值(-0.002),此后一直处于持续上升趋势,呈现“下降-上升”的“U”型趋势。而对生态系统的响应同样在第 2 期达到极值(0.008),此后,正向响应转向负向响应,一直持续到第 15 期(-0.133)。整体来看,EES 系统耦合协调度在第 3 期之前主要受经济系统、生态系统的影响较为显著,而第 3 期后对社会系统响应力度逐渐增强,并且在第 7 期超越经济系统。从长期来看,EES 系统耦合协调度对经济系统与社会系统的响应具有相似趋势,而对生态系统则具有显著相反的趋势。

为进一步明晰阿勒泰地区各系统发展水平对 EES 系统耦合协调度的贡献程度,本研究在脉冲响应函数的基础上对 EES 系统耦合协调度进行方差分解(图 7)。第 1 期三系统对阿勒泰地区 EES 系统耦合协调度的贡献度存在显著差异,社会系统的贡献度高达 67%,其次是经济系统贡献度为 26%,生态系统贡献仅为 6%。初期(第 1 期到第 3 期),经济系统对 EES 系统耦合协调度的贡献程度快速提高,达到 63%,此后贡献程度处于持续缓慢下降的过程,直至第 15 期(10%),整体呈现先升后降的趋势。生态系统对 EES 系统耦合协调度的贡献度由第 1 期的 6%持续上升到第 2 期的 14%,到第 3 期之后趋于快速上升趋势,在第 6 期生态系统的贡献度明显超越了经济系统,可以得出生态系统的贡献度明显强于经济系统。而社会系统的贡献度在第 1—4 期呈现缓慢下降趋势,自第 4 期以后,社会系统的贡献度稳步上升,在第 11 期超过经济系统。整体来看,各系统对阿勒泰地区 EES 系统耦合协调度的贡献度存在明显的前后阶段差异,初期的主要是社会系统与经济系统驱动,到了后期逐渐向生态系统过渡。

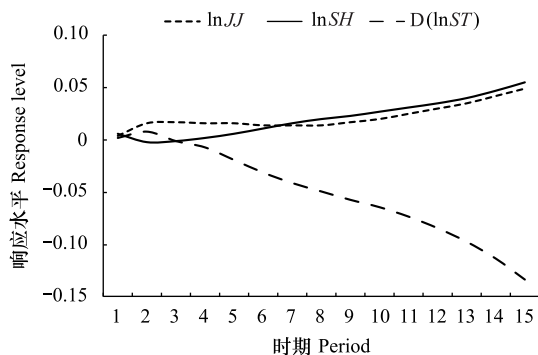


图 6 耦合协调度对生态、经济和社会系统的脉冲响应

Fig. 6 Impulse response of coupling coordination degree to ecological, economic and social systems

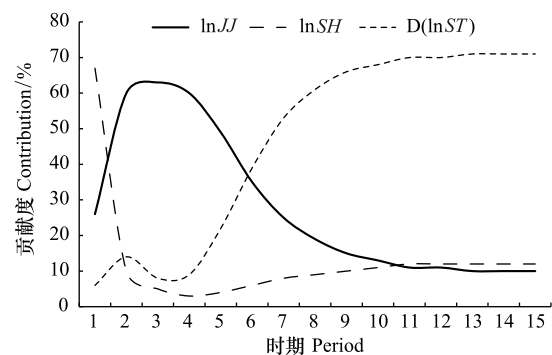


图 7 耦合协调度 D 值的方差分解

Fig. 7 Variance decomposition of coupling coordination D value

4 讨论与结论

4.1 讨论

首先,本研究通过对 2007—2019 年 EES 系统耦合协调的动态演化趋势进行分析,发现阿勒泰地区 EES 系统耦合协调水平整体呈现上升趋势,由 2007 年的中度失调(0.256)逐渐过渡到轻度失调状态(0.371),这一结论与徐洁等^[29]得出国家生态功能区的生态系统质量在 2000—2010 年有所提升的客观生态事实相符合。但是,在整体耦合协调水平提升的背景下,国家重点生态功能区还存在内部发展不均衡问题,例如:从 EES 系统内部趋势变动来看,生态系统与经济系统、社会系统呈现“X”型演化趋势,生态系统在 2007—2019 年间变化幅度有限,而经济系统与社会系统发展水平得到了快速提升,两个系统在 2012 年超过生态系统,可能是过度强调人类主体在经济-社会系统的中心地位所致;阿勒泰地区在“经济建设为中心”政策推动下,通过生产、

交换、分配与消费等经济环节,实现了由资源到产品的价值转换,尤其是在“十三五”期间阿勒泰地区凭借资源优势大力推进“新型工业化”,有色金属、水电等资源性产业得到快速发展。

其次,从 EES 系统间演化速率的剪刀差以及耦合度来看,阿勒泰地区在 2014 年以后经济系统与社会系统经历了较大浮度的调整,并且这一剧烈变化逐渐影响了生态系统,例如:2015 年后 EES 系统间演化速率的剪刀差与耦合度出现较大波动,尤其是生态系统与经济系统的耦合度从低级协调共生阶段向共同发展阶段过渡。这一结论的原因可能是:2014 年国家林业局颁布《阿尔泰山地森林草原生态功能区生态保护与建设规划(2014—2020 年)》,中央政府实施生态工程、完善公共服务体系等措施取得了较大成效,符合李玥等^[30]认为生态修复工程与 EES 系统具有紧密协同性的观点。此外,本研究初步判断生态修复工程的外部干预也会显著影响 EES 系统的内部结构调整,尤其生态系统与经济系统、经济系统与社会系统产生的反馈较为明显,但这一结论还需要结合具体的生态保护工程建设加以考察和验证。

再次,本研究运用脉冲响应函数及方差分解判断出三系统对阿勒泰地区耦合协调水平的贡献具有明显的前后阶段差异,初期主要依靠社会系统与经济系统驱动,后期逐渐向生态系统过渡,这一结论也符合著名学者叶俊^[31]提出的系统状态是由于涨落运动或随机扰动在不停演变的这一观点。然而,国家重点生态功能区与其他功能区具有显著区别,即政策设计之初的本意是以提高生态环境质量,弱化经济增长为前提,同时强调公共服务水平改善^[32],通过干预物质交换、能量和信息流动,实现 EES 系统处于更高水平的耦合协调,由此进入一种良性循环过程。如图 7,三系统对耦合协调水平的贡献并没有呈现“协同性”,这也进一步印证了 Li 等^[33]认为阿勒泰地区存在的“功能协同”障碍的观点,而国家重点生态功能区要想获得高水平的系统稳定状态,除了需要坚持樊影等^[34]强调的山水林田湖生态系统各要素耦合协调以外,还需要在经济层面构建一个行之有效的约束与激励补偿机制,实现三系统间的功能协同,一方面实现生态环境改善达到新高度,另一方面还需要注重经济激励与公共服务投入,扭转地方政府长期在生态保护中形成的机会主义,避免国家重点生态功能区陷入“生态保护与经济发展”的两难困境。

最后,本研究重点在于关注国家重点生态功能区 EES 系统耦合协调水平以及动态演化趋势,而中央政府对国家重点生态功能区的未来期待不仅仅局限在提供生态产品,还试图运用多种组合政策达到区域发展以及减贫的目标。因此,以后的研究还需要进一步考虑构建基于服务与福祉的复合系统评价体系,考察长周期下不同空间尺度的动态演化特征,深入揭示耦合过程与传导机制,为国家重点生态功能区可持续发展提供可靠的理论支撑。

4.2 结论

本研究构建国家重点生态功能区 EES 系统评价体系,运用耦合协调模型、剪刀差方法、耦合度模型以及 VAR 模型对 2007—2019 年阿勒泰地区 EES 系统耦合协调水平的动态演化趋势进行分析。结果表明:

(1)2007—2019 年阿勒泰地区整体耦合协调水平呈现上升趋势,2011 年阿勒泰地区 EES 耦合协调水平整体进入轻度失调状态,并一直持续到 2019 年。

(2)2007—2019 年阿勒泰地区经济系统与社会系统发展水平呈持续上升趋势,而生态系统则呈现下降趋势,生态系统与经济系统、社会系统的发展水平呈现出较为明显的“X”型变动趋势。

(3)EES 系统相互之间的演化过程可以分为 3 个阶段,即 2007—2013 年的波动上升、2013—2014 年的快速下降、2014—2019 年的大幅波动。从 EES 系统耦合度的演变趋势来看,生态系统与社会系统的耦合度一直处于低级协调共生阶段,经济系统与社会系统的耦合度以及生态系统与经济系统的耦合度,呈现先稳定后大幅波动的趋势。

(4)2007—2019 年阿勒泰地区各系统对 EES 系统耦合协调度的贡献具有显著的阶段性差异,初期主要由社会系统、经济系统驱动,后期生态系统的贡献度不断增强。

参考文献 (References):

- [1] 李宝林,袁烨城,高锡章,许丽丽.国家重点生态功能区生态环境保护面临的主要问题与对策.环境保护,2014,42(12):15-18.

- [2] 杨士弘. 城市生态环境学: 城市生态环境学, 2003: 25-27.
- [3] Norgaard R B. Economic indicators of resource scarcity: a critical essay. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1990, 19(1): 19-25.
- [4] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [5] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 1997, 9(1/2): 51-69.
- [6] Martínez M L, Intralawan A, Vázquez G, Pérez-Maqueo O, Sutton P, Landgrave R. The coasts of our world: ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 254-272.
- [7] Suzuki S, Nijkamp P. An evaluation of energy-environment-economic efficiency for EU, APEC and ASEAN countries: design of a target-oriented DFM model with fixed factors in data envelopment analysis. *Energy Policy*, 2016, 88: 100-112.
- [8] Charfeddine L, Mrabet Z. The impact of economic development and social-political factors on ecological footprint: a panel data analysis for 15 MENA countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 76: 138-154.
- [9] 吕永龙, 王一超, 苑晶晶, 贺桂珍. 可持续生态学. *生态学报*, 2019, 39(10): 3401-3415.
- [10] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1): 1-9.
- [11] 吴传钧. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统. *经济地理*, 1991, 11(3): 1-6.
- [12] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析. *自然资源学报*, 2005, 20(1): 105-112.
- [13] 刘承良, 段德忠, 余瑞林, 王涛. 武汉城市圈社会经济与资源环境系统耦合作用的时空结构. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(5): 145-152.
- [14] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测——以长江经济带沿线各省市为例. *经济地理*, 2016, 36(3): 186-193.
- [15] 马亚亚, 刘国彬, 张超, 王杰. 陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展. *生态学报*, 2019, 39(18): 6840-6849.
- [16] 崔学刚, 方创琳, 刘海猛, 刘晓菲, 李咏红. 城镇化与生态环境耦合动态模拟理论及方法的研究进展. *地理学报*, 2019, 74(6): 1079-1096.
- [17] 何帅, 陈尚, 郝林华. 国家重点生态功能区生态补偿空缺分析. *环境保护*, 2020, 48(17): 34-40.
- [18] 李国平, 杨雷, 刘生胜. 国家重点生态功能区县域生态环境质量空间溢出效应研究. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2016, 16(1): 10-19.
- [19] 叶峻. 社会生态经济协同发展论: 可持续发展的战略创新. 合肥市: 安徽大学出版社, 1999. 329-334.
- [20] 国务院. 国务院关于印发全国主体功能区规划的通知. 2010. (2021-11-27) [2022-03-10]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2011-06/08/content_1441.htm
- [21] 樊杰, 赵艳楠. 面向现代化的中国区域发展格局: 科学内涵与战略重点. *经济地理*, 2021, 41(1): 1-9.
- [22] 任祁荣, 于恩逸. 甘肃省生态环境与社会经济系统协调发展的耦合分析. *生态学报*, 2021, 41(8): 2944-2953.
- [23] 丛晓男. 耦合度模型的形式、性质及在地理学中的若干误区. *经济地理*, 2019, 39(4): 18-25.
- [24] 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. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799.
- [25] 熊曦, 肖俊. 武陵山片区城镇化与生态环境耦合协调度时空分异——以六个中心城市为例. *生态学报*, 2021, 41(15): 5973-5987.
- [26] 符海月, 李满春, 毛亮, 刘永学. 基于生态足迹的土地利用规划生态成效定量分析——以河北省廊坊市为例. *自然资源学报*, 2007(2): 225-235.
- [27] 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. *地理研究*, 2003(2): 211-220.
- [28] 王兆峰, 刘庆芳. 长江经济带旅游生态效率时空演变及其与旅游经济互动响应. *自然资源学报*, 2019, 34(9): 1945-1961.
- [29] 徐洁, 谢高地, 肖玉, 李娜, 江源, 陈文辉. 国家重点生态功能区生态环境质量变化动态分析. *生态学报*, 2019, 39(9): 3039-3050.
- [30] 李玥, 王继军, 刘普灵, 成思敏, 李茂森, 乔梅. 退耕还林工程与农业生态经济社会系统协同性研究——以安塞县为例. *自然资源学报*, 2018, 33(7): 1179-1190.
- [31] 叶峻. 协同发展论与社会生态学. *太原师范学院学报: 社会科学版*, 2015, 14(4): 58-61.
- [32] 李国平, 李潇. 国家重点生态功能区转移支付资金分配机制研究. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(5): 124-130.
- [33] Li Y, Liu Y J, Zhang Q, Zhu S, Liu H, Liu S. Research on ecological protection and restoration measures in altay region based on the coupling perspective of the mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands system. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(6): 791-800.
- [34] 樊影, 王宏卫, 陆胜天, 刘勤, 衡嘉尧, 高一薄. 基于生境质量和生态安全格局的阿勒泰地区生态保护关键区域识别. *生态学报*, 2021, 41(19): 7614-7626.