

县域生态效率影响因素分析及趋势预测

——以宁南山区三县为例

周俊俊¹, 樊新刚², 杨美玲³, 贾红丽³, 肖成权³

(1.西北大学 城市与环境学院, 西安 710127;

2.宁夏大学 西部发展研究中心, 银川 750021; 3.宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

摘 要:为了协调经济发展、资源节约与生态保护三者之间的关系,以同心县、西吉县和隆德县为研究区,运用扩展熵分析方法、地理探测器和灰色预测模型,对 2008—2017 年宁南山区三县生态效率及其影响因素进行了分析,预测其发展趋势,探析与资源环境承载力相适应的县域发展模式。结果表明:(1)从变化特征来看,2008—2017 年,同心县的生态效率变化幅度大于其他两县,西吉县变化比较平缓,隆德县生态效率水平高于其他两县,整体上三县的生态效率变化差异比较显著,但发展水平整体偏低,均存在较大的提升空间。(2)从影响因素来看,城市化率、一产占 GDP 的比重、人均 GDP、政府投资总额、科技支出等因素对三县生态效率的影响最显著,其中城市化率是影响同心县和西吉县的主导因素,一产占 GDP 比重是影响隆德县的主导因素,整体上各因素对三县生态效率的影响程度比较相近。(3)从预测趋势来看,2018—2025 年,同心县呈现持续缓慢下降趋势,西吉县呈现持续上升趋势,隆德县变化幅度微小。总体上三县生态效率的预测趋势差异性比较显著。

关键词:生态效率;影响因素;地理探测器;扩展熵分析方法

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)05-0318-08

Analysis and Prediction of Influential Factors on Ecological Efficiency

—Case of Three Counties in Southern Ningxia

ZHOU Junjun¹, FAN Xingang², YANG Meiling³, JIA Hongli³, XIAO Chengquan³

(1.College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China; 2.West Development Research Center, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 3.College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract:In order to coordinate the relationship between economic development, resource conservation and ecological protection, taking Tongxin County, Xiji County and Longde County as research areas, we used extended exergy analysis method, geographic detector and grey prediction model to analyze the ecological efficiency and its influencing factors of the three counties in southern Ningxia from 2008 to 2017. Finally, we measured its development trend to propose green development model with county, exploring the County development model that was compatible with the resources and environmental carrying capacity. The results show that: (1) from the characteristics of change between 2008 to 2017, the ecological efficiency of Tongxin County was greater than those of the other two counties, and the change of Xiji County was relatively flat; the level of Longde County was higher than those of the other two counties. The difference in ecological efficiency among the three counties was quite significant, but the overall level of development was low, and there was room for the improvement; (2) in terms of influencing factors, such as urbanization rate, the proportion of primary production to GDP, per capita GDP, total government investment, and scientific and technological expenditure had the most significant impact on the ecological efficiency of the three counties. The urbanization rate was the dominant influence factor in Tongxin County and Xiji County; the ratio of primary production to GDP was the dominant factor in Longde County; the overall impact of various factors on

收稿日期:2019-10-04

修回日期:2019-11-19

资助项目:国家自然科学基金(41761116);宁夏大学民族学一流学科建设项目(NXYLXK2017A02)

第一作者:周俊俊(1993—),女,甘肃天水人,博士研究生,主要研究方向为犯罪地理。E-mail:nxdxzzj@163.com

通信作者:杨美玲(1979—),女(回族),宁夏灵武人,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为区域可持续发展。E-mail:nxdxyml@163.com

the three counties was similar; (3) with respect to judging from the forecasting trend, from 2018 to 2025, Tongxin County showed the sustained and slow downward trend, Xiji County showed a continuous upward trend, and the change range of Longde County was small; generally, the forecasting trends of ecological efficiency in the three counties were significantly different.

Keywords: ecological efficiency; influential factors; geo-detectors; extended-exergy Analysis

“十三五”是全面建设小康社会和生态文明的关键时期,提出以提高环境质量为核心,加大生态保护力度,提高资源利用效率的发展要求。宁南山区作为西部典型的生态脆弱区,在短期经济利益的驱使下,资源短缺、环境污染、生态退化等问题比较突出,成为制约县域生态经济系统可持续发展的瓶颈^[1]。因此,在社会经济转型期,如何协调经济发展、资源节约与生态保护三者之间的关系,明确影响县域生态效率提升的关键因素及其重要程度,提高县域资源利用率,探索与生态环境承载力相适应的经济发展模式,成为今后宁南山区新型城镇化建设与乡村振兴过程中的重要任务。

Schaltegger 和 Sturn^[2]首次提出生态效率的概念,用于测度社会经济活动中的资源利用率。高效的生态效率以满足人类发展需求为基本点,通过高效的社会资源配置与自然环境投入,降低生态环境压力,最终实现整个人地关系地域系统的可持续发展。目前生态效率的研究尺度开始由国家省域宏观尺度^[3-4]、大城市群中观尺度^[5-6]向区域市县微观尺度^[7-8]逐步聚焦;方法由单一数据统计分析法^[9]向多元线性与非线性回归模型^[10-11]综合集成发展,主要有数据包络分析模型(DEA)^[12]、生命周期评价模型(LCA)^[13]、向量空间模型(VSM)^[14]、随机前沿模型(SFA)^[15]等应用最广泛;内容由单一行业向多部门产业交叉拓展,多侧重于对宏观产业^[16-17]、中观行业^[18-19]、微观企业^[20-21]、工业部门^[22-23]生态效率本身的评价应用与方法测算研究,探讨不同时空尺度下的资源投入量与经济产出率之间的关系,对转变经济发展方式,促进生态保护具有重要意义。

总体而言,目前国内对经济欠发达区县域尺度的生态效率影响因素研究相对较少,尤其是对单因素和双因素共同作用对生态效率的影响程度研究更少,导致无法明确辨析哪些因子是影响生态效率提升的主导因素,从而制约了区域社会经济可持续发展。基于此,文章以同心县、西吉县、隆德县为研究区,首先运用扩展焓分析法计算 2008—2017 年三县的生态效率水平,分析不同时间序列三县生态效率的变化特征;其次通过地理探测器分析影响县域生态效率提升的多重因素和作用程度;最后利用灰色预测模型,对 2018—2025 年三县的生态

效率发展趋势进行预测,最后探析县域绿色发展模式,对于更好地推进经济与生态协调发展具有重要的实践意义,这也是本研究要解决的关键问题。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

宁南山区包括同心县、海原县、西吉县、原州区、彭阳县、隆德县和泾源县等 7 个县区,按照自然地理特征和生产生活方式划分,同心县属于中部干旱带传统农业与畜牧业相结合的交错发展区,西吉县是黄土高原传统旱作农业区,隆德县兼具六盘山生态农业区与生态保护区的双重特征,因此选择这 3 个代表性区域开展研究。2 017 同心县总人口 37.97 万人,实现地区生产总值 63.3 亿元,三次产业结构规模比例分别为 18 : 44 : 38,对 GDP 的贡献率分别是 10%, 57%, 33%,年末全县消费品零售总额达到 13.2 亿元。西吉县总人口 49.58 万人,实现地区生产总值 61.5 亿元,三次产业增加值占全县 GDP 比重分别为 24.6%, 23.7% 和 51.8%,年末全县消费品零售总额达到 16.28 亿元。隆德县总人口 17.54 万人,完成地区生产总值 25.01 亿元,三次产业的比重为 21 : 30 : 49,对 GDP 的贡献率分别是 13.9%, 28.9%, 57.2%,年末全县实现社会消费品零售总额 6.47 亿元。

1.2 研究方法

1.2.1 扩展焓方法 扩展焓方法(Extended-Exergy Analysis)是 Sciubba 基于传统焓分析提出的一种热力学方法,赋予了资本、劳动力焓价值,实现了全面分析社会经济系统有用能转化效率的准确评价^[24]。本文运用焓扩展方法计算三县生态效率,即生态效率值越高,焓耗费越低,生态环境压力越小,反之亦然。限于文章篇幅,具体操作步骤与计算过程参考相关文献^[25]。

1.2.2 地理探测器 地理探测器模型由王劲峰提出^[26],被广泛应用于生态服务价值^[27]和土地利用变化^[28]等影响因素空间分异研究中。本文运用地理探测器分析单因素与双因素对县域生态效率的共同作用。计算公式为:

$$q=1-\frac{1}{n\sigma^2}\sum_{n=1}^1nh\sigma\delta^2$$

式中:q 为县域生态效率探测因素 X 的探测力值;n

为研究区样本数, σ^2 为整个区域的离散方差。当 $q = 1$ 时, 表明县域生态效率的发生分异完全由因素 X 决定的理想状态; 当 $q = 0$ 时, 表明因素 X 对县域生态效率发生分异影响为零。 q 值越大, 因素对生态效率的分异影响越大。 通过比较 q 值的大小, 探测影响县域生态效率的主导因素。

1.2.3 灰色预测模型 20 世纪 80 年代邓聚龙教授首次提出灰色预测模型 GM(1,1), 被广泛应用于农业^[29]与生态^[30]等领域, 用以解决“小样本、贫信息、不确定”等系统分析、预测、决策问题。 鉴于县域生态效率变化趋势的不确定性与复杂性, 灰色预测是一个比较适合的评价过程。 具体操作步骤与计算过程参考相关文献^[31], 预测精度等级划分见表 1。

表 1 后验差及小误差频率精度等级

精度等级	相对误差	小误差频率	后验差比值
一级(好)	<0.01	>0.95	<0.35
二级(合格)	<0.05	>0.8	<0.5
三级(勉强)	<0.10	>0.7	<0.65
四级(不合格)	>0.20	≥0.65	≤0.7

1.3 数据来源

经济、人口和环境治理等社会经济发展数据来源于 2009—2018 年《宁夏统计年鉴》、《固原市和吴忠市统计年鉴》、《同心县、西吉县和隆德县经济要情手册》, 因为部分年份数据有缺失, 依据省级统计平均值和 GDP 增长关系进行推算。 农业可更新资源与农村生活消费数据通过问卷调查获取, 2018 年 7—8 月在三县进行调研, 将样本数确定为 420 份, 每个县选取 4 个典型村, 每村发放 35 份, 共收到有效问卷分别为 123, 135, 132 份。 由于研究区域聚焦于县域尺度, 尽管社会经济发展数据的统计口径不一致, 但对地理科学研究的规律与格局并不会产生太大偏差, 社会统计数据问题仍然是未来需要进行深入研究的问题^[32]。

2 结果与分析

2.1 生态效率变化特征分析

2008—2017 年, 宁南山区三县的生态效率变化特征比较显著(图 1)。 其中同心县呈现“先波动上升、后波动下降”的变化特征, 且年际变化幅度微大于其他两县。 2008—2011 年波动上升, 由 47.02% 上升到 53.19%, 达到最大值, 整体水平高于西吉县, 低于隆德县; 2012—2017 年波动下降, 由 48.61% 下降到 42.66%, 降到最低点, 整体水平平均低于其他两县。 西吉县以 2013 年为分界点, 呈现“先持续上升、后缓慢下降”的变化特征, 由 2008 年的 38.37% 上升到 2013 年的 55.52%, 然后下降到 2017 年的 45.11%, 但

2013 年以前的水平均低于其他两县, 2013 年以后高于同心县, 低于隆德县。 隆德县以 2012 年为分界点, 整体呈现“先缓慢下降、后略微上升”的变化特征。 由 2008 年的 62.13% 下降到 2011 年的 54.65%, 2012 年达到最大值 60.87%, 再由 2013 年的最低值 50.92% 上升到 2017 年的 55.56%, 除了 2013 年最低为 50.92% 外, 其他年份的发展水平均高于其他两县。

总体而言, 除了 2013 年三县的生态效率水平比较接近以外, 其他年份的变化趋势差异比较显著, 并且发展水平整体偏低, 均存在较大的提升空间。 主要是由于 3 个县的自然地理环境与内部经济结构不同, 导致其资源利用效率与经济产出能力的差异性。 同心县地处宁夏中部干旱风沙带, 脆弱的自然生态环境, 在一定程度上限制其经济发展规模, 形成以农业特色产业为主导的发展模式, 组织结构单一, 农业生产效益低下, 产量不稳定, 导致生态效率年际变化幅度较大, 整体水平较低。 同时, 县内一、二、三产业发展不平衡, 资源能源比较短缺, 经济贡献能力弱, 形成低投入、高消耗、低产出的发展特征, 对生态系统的胁迫较严重。 西吉县地理资本禀赋差, 县域发展主要依赖于单一农业生产。 2013 年以后, 农业生产量开始下降, 政府资本投入量逐年减少, 同时县域社会经济系统比较封闭, 人口数量位居宁南山区首位, 内部资源能源消耗量大, 经济产出率较低, 形成高投入、高消耗、低产出的发展特征, 导致生态效率整体变化速率低下。 隆德县属于六盘山重点生态功能建设区, 农业生产规模和工业发展水平有限, 内部资源能源消耗较小, 整体环境污染程度较低, 形成低投入、低消耗、低排放的特征, 系统承受的压力较小, 生态效率水平显著高于其他两县。

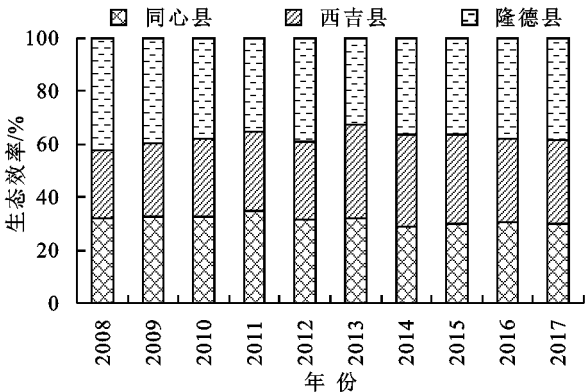


图 1 三县生态效率变化

2.2 生态效率影响因素分析

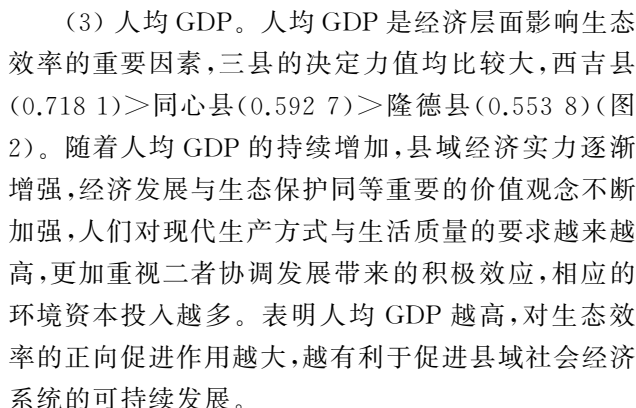
生态效率水平受多种因素的综合影响, 通过文献梳理, 综合现有研究成果^[33], 从地域层面、经济层面、产业层面、科技层面、环境层面与政府层面选取 9 项指标(表 2)。 需要说明的是宁南山区三县均属于经

作用程度(表 3)。同心县 $X_1 \cap X_9$ 的交互作用最显著, q 值为 0.9872; $X_2 \cap X_8$ 的影响力次之, q 值为 0.9766; $X_2 \cap X_6$ 的影响力最小, q 值为 0.9766。西吉县 $X_6 \cap X_9$ 的影响力最大, q 值为 0.9999; 其次是 $X_2 \cap X_4$, q 值为 0.9995; $X_1 \cap X_3$ 的影响力最小, q 值为 0.3810。隆德县 $X_4 \cap X_5$ 的交互作用最显著, q 值为 0.9491; 其次是 $X_3 \cap X_6$, q 值为 0.9425; $X_1 \cap X_3$ 的影响力最小, q 值为 0.4300。表明生态效率是多重因素共同作用的结果, 整体上各因素对三县生态效率的影响程度比较相近。除了城市化率、一产占 GDP 比重、人均 GDP、政府投资总额、科技支出是影响三县生态效率分异的主要因素之外, 其他因素的影响较小。

2.3 生态效率主导因素分析

(1) 城市化率。城市化率作为反映区域社会经济发展水平的重要指标,对三县生态效率的影响力位居其他因素首位,决定力值均在 0.6 以上(图 2)。表明城市化率越高,城市工业化水平、基础设施建设与公共服务体系越趋于完善,越有利于提高区域生产要素的流动性与资源配置的高效性,继而促进区域资源利用率与经济产出率。同时,随着城市人口规模的持续扩大,居民生态文明意识对生态效率的促进作用逐渐显现出来。因此,在新型城镇化背景下,重塑“三生空间”发展的新格局,推动城乡一体化融合发展,成为宁南山区县域生态效率提升的关键所在。

(2) 一产占 GDP 比重。一产占 GDP 比重对同心县和隆德县的生态效率影响最显著, 决定力值均在 0.6 以上, 对西吉县影响较小(图 2)。三县均属于经济欠发达区, 三次产业结构比例差距巨大, 以北方旱作农业和畜牧业为核心的第一产业在经济发展中占据主导地位。其中同心县和隆德县一产 GDP 占比较大, 脆弱的自然生态环境与劳动密集型生产方式导致一产发展附加较高的资源环境成本, 单位面积实际产出率较低。表明在经济欠发达区, 为了缓解因单一产业过度发展导致的负面生态效应, 必须通过适当的产业结构调整降低资源消耗压力, 是实现生态效率提升的有效途径。



通过探测因子间的交互作用发现:任何两种因素对生态效率的交互作用程度均大于单个因素的单向

表 3 生态效率各影响因素及其交互作用

同心县	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.5002								
X_2	0.8092	0.5927							
X_3	0.7581	0.9052	0.6714						
X_4	0.8281	0.9046	0.7799	0.5793					
X_5	0.7720	0.8252	0.7454	0.8878	0.5180				
X_6	0.8123	0.6472	0.8756	0.8929	0.7365	0.5967			
X_7	0.8220	0.6573	0.8914	0.8876	0.7091	0.6510	0.1290		
X_8	0.8244	0.9766	0.8213	0.8903	0.8480	0.9876	0.8903	0.7312	
X_9	0.9872	0.8114	0.7993	0.7987	0.8252	0.8252	0.7294	0.8707	0.6728
西吉县	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.2516								
X_2	0.7466	0.7181							
X_3	0.3810	0.9071	0.1771						
X_4	0.5297	0.9995	0.9063	0.2549					
X_5	0.5239	0.8131	0.5623	0.4324	0.2825				
X_6	0.9588	0.9705	0.9709	0.9763	0.9617	0.5272			
X_7	0.8129	0.8125	0.9709	0.9955	0.8131	0.5903	0.2494		
X_8	0.9032	0.9028	0.9071	0.9955	0.9696	0.9705	0.9691	0.8920	
X_9	0.7090	0.9609	0.8388	0.7977	0.6507	0.9999	0.9964	0.9609	0.5724
隆德县	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0.3512								
X_2	0.7701	0.5538							
X_3	0.6949	0.7701	0.6370						
X_4	0.4300	0.9179	0.8717	0.3638					
X_5	0.7697	0.6297	0.7701	0.9491	0.5229				
X_6	0.9125	0.7708	0.9425	0.9179	0.8021	0.6157			
X_7	0.7767	0.6363	0.7767	0.9491	0.6363	0.8087	0.1270		
X_8	0.9104	0.7775	0.9104	0.9179	0.8087	0.6607	0.8087	0.6057	
X_9	0.4916	0.5984	0.7701	0.4762	0.6297	0.7708	0.6363	0.7775	0.2444

(4) 政府投资总额。政府投资总额是政策层面影响生态效率的关键因素,宁南山区三县均属于六盘山集中连片特困区,形成了贫困约束下“低投入、低消费、低积累”的发展现状,导致整体生态效率水平降低。近年来,随着三县的政府投资总额持续加大,政策扶持在县域发展中的正向拉动效应越来越显著。表明切合实际的发展政策是促进县域经济快速发展的重要因素,因此加大对三次产业的政策、资金和技术扶持,兼顾引导以内部自力更生与外部政策扶持相结合的发展理念,增强内生经济发展能力,成为三县提高生态效率的必然选择。

(5) 科技支出。科技支出作为技术创新与对外开放的重要体现,通过提高经济效益与减少污染物排放直接影响生态效率。科技支出对三县生态效率的

决定力值均在 0.5 以上,影响效应显著。表明科技支出越多,县域对外开放程度越高,对经济发展的外部性驱动作用越强,越有利于提高资源利用效率。因此,加大科技投入与区域协作,以更少的资源消耗创造更多的经济效益,打造资源集约型与生态环保型经济发展模式,是提高生态效率的重要措施。

2.4 生态效率趋势预测分析

生态效率趋势预测具有两种作用:一是调控作用,通过实际的经济产出水平与环境投入信息传递调控县域系统未来的可持续发展目标;二是反馈作用,通过模型预测结果反馈县域社会经济系统的现状问题,为县域未来发展规划提供决策依据与目标导向。表 4 可知,大部分数据的误差均小于 0.05,表明模型的预测准确率合格,适合研究分析。

表 4 三县生态效率预测的相对误差检验

年份	同心县			西吉县			隆德县		
	原始值	预测值	相对误差	原始值	预测值	相对误差	原始值	预测值	相对误差
2008	0.4702	0.4702	0.0000	0.3837	0.3837	0.0000	0.6213	0.6213	0.0000
2009	0.4867	0.5086	−0.0450	0.4173	0.4506	−0.0800	0.5876	0.5705	0.0291
2010	0.4789	0.5001	−0.0443	0.4322	0.4572	−0.0576	0.5559	0.5681	−0.0220
2011	0.5319	0.4917	0.0757	0.4601	0.4638	−0.0080	0.5465	0.5658	−0.0353
2012	0.4861	0.4834	0.0056	0.4558	0.4705	−0.0322	0.6087	0.5634	0.0743
2013	0.5036	0.4753	0.0562	0.5552	0.4774	0.1402	0.5092	0.5611	−0.1020
2014	0.4443	0.4673	−0.0518	0.5328	0.4843	0.0910	0.5585	0.5588	−0.0004
2015	0.4830	0.4595	0.0488	0.5386	0.4913	0.0878	0.5850	0.5565	0.0488
2016	0.4405	0.4517	−0.0256	0.4559	0.4985	−0.0934	0.5434	0.5542	−0.0199
2017	0.4266	0.4442	−0.0411	0.4511	0.5057	−0.1212	0.5556	0.5519	0.0066

通过预测发现(图 3),2018—2025 年,三县的生态效率预测趋势差异性比较显著。其中同心县生态效率呈现持续缓慢下降趋势,由 43.67%下降到 38.79%,表明未来一段时间里县域经济结构可能不协调,资源利用效率将持续下降,生态系统承受的压力将不断增大,系统健康状态会受到威胁。西吉县呈现持续上升趋势,由 51.31%上升到 56.76%,到 2022 年以后超过同心县和隆德县的水平,表明其内部经济结构趋于合理,资源利用效率可能提升,系统将持续向着良性趋势发展。隆德县基本呈现稳定发展趋势,变化幅度微小,由 54.96%变化到 53.39%,表明社会经济活动与生态系统将可能保持相对稳定平衡的发展状态。

宁南山区地处我国西北生态脆弱带,承担着区域重要的生态系统服务功能,但长期以来的农业生产与工业发展以牺牲资源环境为代价换取短期经济增长,导致区域生态效率水平极低。因此,在生态文明建设与新型城镇化的发展进程中,随着社会发展规模与经济活动范围不断扩大,如果不对各县的部门经济结构与资源利用方式作出切合实际的调整,转变高能耗、高投入、高污染的经济发展方式,不采取针对性措施改变目前的发展现状,那么生态系统压力可能持续增大,最终影响县域整体的可持续发展进程。

3 县域发展模式探析

新常态下“创新、协调、绿色、开放、共享”成为引领经济发展的五大理念,而宁南山区作为国家重点生态功能区,在低速工业化、缓慢城市化的现状发展水平下,有限的资源投入能力与较低的经济产出水平,成为了制约县域可持续发展的瓶颈。本文通过对比分析不同自然环境特征与经济发展模式下的县域生态效率变化特征,辨析影响生态效率提升的主导因

素,并预测其发展趋势,探析与生态环境承载力相适应的县域发展模式,为协调经济发展与生态保护之间的关系提供科学依据。

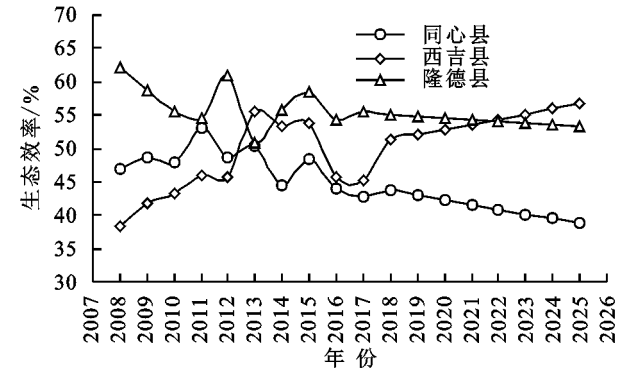


图 3 三县生态效率发展趋势预测

- (1) 同心县属于特色产业主导型发展模式,生态效率整体较低。今后在农业方面,需要加大资金与科技投入发展生态农业,减少农业面源污染排放量,降低生态系统负荷力。工业方面,引进先进的技术设备,以太阳能清洁能源代替化石燃料的使用,降低资源消耗与污染。同时依托畜牧业资源,打造以草蓄养殖、牛羊肉加工、羊绒加工与毛纺织加工为主的综合性产业,形成“蜂巢型”产业结构与“放射型”经济格局,提升县域资源利用率与经济产出率。
- (2) 西吉县属于农业商贸结合型发展模式,生态效率持续向着良性方向发展,今后应充分依托农业种植优势,大力发展以农产品加工为主的商品农业,拓展城乡集市商贸发展,促进与周边县域的要素流动与商品交换,形成“龙形产业”组织形态,实现产业多样化发展,提高经济产出率。同时利用县域人口资源优势,发展劳务输出产业,提高城乡居民的储蓄能力与消费水平,缓解人口压力带来的环境压力,以降低资源消耗,提高生态效率水平。
- (3) 隆德县属于生态建设驱动型发展模式,生态

效率变化趋势比较稳定,今后在资源环境承载现状范围内,大力发展科技农业,通过绿色农产品加工,延伸农业产业链,增加经济附加值,提高县域整体资源利用率。同时依托“关陇锁钥”的交通优势,发展以红色文化和绿色生态为主的特色旅游业,实现资源要素向经济要素的转变,形成生产发展、生活富裕、生态良好的“金字塔”发展模式,促进生态经济系统协调发展。

4 讨论

生态效率是一个长期变化的动态过程,受多种因素综合作用的影响。由于区域经济发展水平不同,可能造成生态效率的评价体系构建存在一定差异,从而导致影响因子选取可能会产生一些偏颇。研究发现,宁南山区三县生态效率普遍偏低,其中在产业结构层面一产 GDP 比重对生态效率的影响最显著,与东部经济发达区二、三产业 GDP 比重对生态效率的影响最显著结果有所不同^[34]。因此,在后续研究中,需要立足县域发展实际,不断完善影响生态效率的相关因子,增加不同区域市县尺度的样本研究量,实现最大限度的反映生态效率影响因素的目标,丰富现阶段的研究结果。

生态效率的高低反映经济产出率与环境投入量之间的协调程度,随着新型城镇化的快速发展,社会经济结构与生态系统功能发生变化,可能带来新的区域发展问题。如城乡人口集聚与资源消耗限度^[35]、产业发展规模与环境承载范围^[36]、经济政策导向与生态保护需求^[37]等要素变化,导致区域生态效率不断发生变化,使其影响因素更加趋于复杂,经济发展与生态保护可能面临多重压力与挑战。因此,需要全方位、多视角考量影响生态效率变化的因素,尤其是适用于经济欠发达区与生态脆弱区的相关指标还需进一步探索,以期为促进区域生态、经济、社会可持续发展提供借鉴。

5 结论

(1) 从变化特征来看,2008—2017 年,同心县呈现先上升后下降的波动变化特征,且年际变化幅度大于其他两县;西吉县呈现先持续上升后缓慢下降的变化特征,2013 年以后的变化趋势高于同心县,低于隆德县;隆德县呈现先缓慢下降后略微上升的小幅度变化趋势,除了 2013 年外,其他年份水平平均高于另外两县。整体上三县的生态效率变化差异比较显著,但发展水平整体偏低,均存在较大的提升空间。

(2) 从影响因素来看,城市化率、一产占 GDP 的比重、人均 GDP、政府投资总额、科技支出等因素对

三县生态效率的影响最显著,其中城市化率是影响同心县和西吉县的主导因素,一产占 GDP 比重是影响隆德县的主导因素。整体上,低速发展水平下,各因素对三县生态效率的影响程度比较相近。

(3) 从预测趋势来看,2018—2025 年,同心县呈持续缓慢下降趋势,由 43.67% 下降到 38.79%,系统承受的生态压力可能增大;西吉县呈持续上升趋势,由 51.31% 上升到 56.76%,到 2022 年以后超过其他两县,系统将向着良性方向发展;隆德县变化幅度微小,由 54.96% 变化到 53.39%,系统发展比较稳定。总体上三县生态效率的预测趋势差异性比较显著。

参考文献:

- [1] 米文宝,宋永永,米楠,等.宁夏限制开发生态区区域发展水平空间分异特征及驱动机理[J].经济地理,2017,37(11):171-180,212.
- [2] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten management instrumenten[J]. Die Unternehmung, 1990,44(4):273-290.
- [3] 郭露,徐诗倩.基于超效率 DEA 的工业生态效率:以中部六省 2003—2013 年数据为例[J].经济地理,2016,36(6):116-121.
- [4] 郑宇梅,高纯一,雷光春.林业产业集聚水平与生态效率实证分析—基于中国 15 个省—面板数据的检验[J].经济地理,2017,37(10):136-142.
- [5] 毕斗斗,王凯,王龙杰,等.长三角城市群产业生态效率及其时空跃迁特征[J].经济地理,2018,38(1):166-173.
- [6] 任宇飞,方创琳,蔺雪芹.中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价[J].地理学报,2017,72(11):2047-2063.
- [7] 王雪,施晓清.基于投入产出表的北京市产业生态效率研究[J].生态学报,2018,38(8):1-12.
- [8] 胡彪,张旭东,程达,等.京津冀地区城市化效率与生态效率时空耦合关系研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(8):56-62.
- [9] 王宝义,张卫国.中国农业生态效率的省级差异和影响因素—基于 1996—2015 年 31 个省份的面板数据分析[J].中国农村经济,2008(1):46-62.
- [10] 陆砚池,方世明.基于 SBM-DEA 和 Malmquist 模型的武汉城市圈城市建设用地生态效率时空演变及其影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2017,26(10):1575-1586.
- [11] 卢燕群,袁鹏.中国省域工业生态效率及影响因素的空间计量分析[J].资源科学,2017,39(7):1326-1337.
- [12] Rashidi K, Shabani A, Farzipoor Saen R. Using data envelopment analysis for estimating energy saving and undesirable output abatement: A case study in the Organization for Economic Co-Operation and Develop-

- ment(OECD)countries [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015,105(15):241-252.
- [13] 姚治国,陈田.旅游生态效率研究进展[J].*旅游科学*, 2016,30(6):74-91.
- [14] Plehn J, Sproedt A, Gontarz A, et al. From strategic goals to focused eco-efficiency improvement in production: Bridging the gap using environmental value stream mapping[C]. *Global Conference for Sustainable Manufacturing*, 2012.
- [15] Muhammad Arshad, Amjath-Babu T S, Sreejith Aravindakshan, et al. Climatic variability and thermal stress in Pakistan's rice and wheat systems: A stochastic frontier and quantile regression analysis of economic efficiency[J]. *Ecological Indicators*, 2018,89(6):496-506.
- [16] Shabani A, Torabipour S M R, Farzipoor Saen R, et al. Distinctive data envelopment analysis model for evaluating global environment performance [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2015,39(15):4385-4404.
- [17] Goto M, Otsuka A, Sueyoshi T. DEA(Data Envelopment Analysis)assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries [J]. *Energy*, 2014,66(4):535-549.
- [18] Lee T, Yeo G, Thai V V. Environmental efficiency analysis of port cities:Slacks-based measure data envelopment analysis approach [J]. *Transport Policy*, 2014, 33(4):82-88.
- [19] Egilmez G, Park Y S. Transportation related carbon, energy and water footprint analysis of U. S. manufacturing: An eco-efficiency assessment[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2014,32:143-159.
- [20] Hahn T, Figge F, Liesen A, et al. Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: A methodology and its application to the CO₂ efficiency of German companies[J]. *Journal of Environmental Management*, 2010,91(10):1997-2007.
- [21] Van Caneghem J, Block C, Cramm P, et al. Improving eco-efficiency in the steel industry: the Arcelor Mittal Gent case [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2010,18(8):807-817.
- [22] Arabi B, Munisamy S, Emrouznejad A, et al. Power industry restructuring and eco-efficiency changes: A new slacks-based model in Malmquist-Luenberger index measurement [J]. *Energy Policy*, 2014,68(2):132-145.
- [23] Lauwers L. Justifying the incorporation of the materials balance principle into frontier-based eco-efficiency models[J]. *Ecological Economics*, 2009,68(6):1605-1614.
- [24] Sciubba E, Bastianoi S, Tiezzi E. Exeigy and extended exeigy accounting of very large complex systems with an application to the province of Siena, Italy[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008,86(2):372-382.
- [25] 樊新刚,米文宝,侯景伟.扩展火用方法在区域生态经济驱动机制及效率研究中的应用[J].*应用生态学报*, 2017,28(1):273-280.
- [26] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].*地理学报*, 2017,72(1):116-134.
- [27] 黄木易,岳文泽,方斌,等.1970—2015 年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J].*地理学报*, 2019,74(9):1904-1920.
- [28] 李颖,冯玉,彭飞,等.基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J].*经济地理*, 2017,37(12):180-189.
- [29] 顾景枝,余国新,陈文博.新疆林果业生产风险度量与评估:基于 GM(1,1)模型与信息扩散理论的实证分析[J].*中国农业资源与区划*, 2015,36(6):82-88.
- [30] 王晓君,吴敬学,蒋和平.中国农村生态环境质量动态评价及未来发展趋势预测[J].*自然资源学报*, 2017,32(5):864-876.
- [31] 李建林,李志强,王心义,等.河流年径流量的 GM(1, 2)-Markov 中长期预测模型[J].*干旱区地理*, 2016,39(2):240-245.
- [32] 方创琳,任宇飞.京津冀城市群地城镇化与生态环境近远程耦合能值代谢效率及环境压力分析[J].*中国科学:地球科学*, 2017,47(7):833-846.
- [32] 屈小娥.中国生态效率的区域差异及影响因素—基于时空差异视角的实证分析[J].*长江流域资源与环境*, 2018,27(12):2673-2683.
- [34] 杨勇,邓祥征.中国城市生态效率时空演变及影响因素的区域差异[J].*地理科学*, 2019,39(7):1111-1118.
- [35] 侯燕飞,陈仲常.中国人口发展对资源消耗与环境污染影响的门槛效应研究[J].*经济科学*, 2018,40(3):75-88.
- [36] 陈肖飞,郭建峰,姚士谋.长三角城市群新型城镇化与生态环境承载力耦合协调研究:基于利奥波德的大地伦理观思想[J].*长江流域资源与环境*, 2018,27(4):715-724.
- [37] 张豆,渠丽萍,张桀滢.基于生态供需视角的生态安全格局构建与优化:以长三角地区为例[J].*生态学报*, 2019,39(20):7525-7537.