甘肃省泾河流域 2010—2019 年农村生态环境质量分析及预测

岳思妤，谈存峰，杨林娟，龚大鑫
（甘肃农业大学 财经学院，甘肃 兰州 730070）

摘　要：[目的] 研究甘肃省泾河流域农村生态环境质量评价的相关问题，为农村生态环境保护和高质量发展研究提供参考。[方法] 基于压力—状态—响应(PSR)模型，构建了甘肃省泾河流域农村生态环境质量评价指标体系。运用熵值法和综合指数法对生态环境质量水平进行评价，并采用灰色 GM(1,1)模型进行预测。[结果] 2010—2019 年农村生态环境质量综合指数等级变化趋势为“劣等—差等—中等”，但总体呈现上升趋势，压力指数呈“Ⅴ”型波动变化，状态指数和响应指数逐年增长，说明环境治理的政策实施有效，预计到 2021 年将达到良好等级。[结论] 今后还需加大农村环保的资金和政策投入，改善各地环保制度措施，增强民众意识等。

关键词：泾河流域；甘肃省；农村；生态环境质量；PSR；评价体系；GM(1,1)预测
文献标识码：A　　**文章编号：**1000-288X(2021)05-0365-08　　**中图分类号：**X171.1，F323.22

文献参数：岳思妤，谈存峰，杨林娟，等.甘肃省泾河流域 2010—2019 年农村生态环境质量分析及预测[J].水土保持通报，2021，41(5)：365-372.DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2021.05.046；Yue Siyu，Tan Cunfeng，Yang Linjuan，et al. Analysis and prediction on rural eco-environmental quality of Jinghe River basin in Gansu Province during 2010—2019 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2021，41(5)：365-372.

Analysis and Prediction on Rural Eco-environmental Quality of Jinghe River Basin in Gansu Province During 2010—2019

Yue Siyu，Tan Cunfeng，Yang Linjuan，Gong Daxin
(*College of Finance and Economics，Gansu Agricultural University，Lanzhou，Gansu* 730070，*China*)

Abstract：[Objective] Issues related to rural eco-environmental quality assessment in the Jinghe River basin of Gansu Province were studied in order to provide references for rural eco-environmental protection and high-quality development research. [Methods] Based on the pressure-state-response (PSR) model，a rural eco-environmental quality evaluation index system for the Jinghe River basin in Gansu Province was constructed. The eco-environmental quality level was evaluated using the entropy method and the comprehensive index method. The model was predicted by using gray GM (1,1). [Results] The grade change trend of the comprehensive index of rural eco-environmental quality from 2010 to 2019 was “bad-poor-medium”，but the overall trend was increasing. The pressure index exhibited a V-shaped change pattern，and the state index and response index increased year by year，indicating that the implementation of environmental governance policies were effective. The index was expected to reach a good level by 2021. [Conclusion] In the future，it is necessary to increase investment in rural environmental protection funds and policies in order to improve local environmental protection systems and measures，and to enhance public awareness.

Keywords：Jinghe River basin；Gansu Province；rural area；eco-environmental quality；pressure-state-response (PSR)；evaluation system；GM (1,1) prediction

随着区域开发战略的深入推进，中国加大了对西部地区农村经济的投入，甘肃泾河流域农村地区社会经济发展取得巨大成就。农民收入稳步提高，农产品供给能力持续增强，传统的经济发展模式给该区域农

收稿日期：2021-05-17　　**修回日期：**2021-06-09
资助项目：甘肃省 2020 年度高等学校产业支撑计划项目“农村非常规饮用水源开发及污废水综合治理技术研究”(2020C-39)；甘肃省科技计划软科学项目(20CX4ZA045)。
第一作者：岳思妤(1996—)，女(汉族)，山西省忻州市人，硕士研究生，研究方向为农业经济。Email：542028166@qq.com。
通讯作者：杨林娟(1964—)，女(汉族)，山西省运城市人，本科，教授，主要从事农村金融与农业经济研究。Email：1287241912@qq.com。

村生态环境面临巨大压力，农药、化肥过量低效使用，废旧薄膜随意丢弃，秸秆焚烧、回收率低，生活垃圾和污水乱丢乱倒，养殖业污染等，致使农村生态环境问题日趋严重[1]。生态结构紊乱，自我调节功能不健全，农村环境质量水平较低等问题，不仅威胁着农民群众的身体健康，而且也成为泾河流域农村地区生态可持续发展的制约因素。根据《甘肃省水资源公报》和《甘肃省水土保持公报》，2019 年甘肃省泾河流域总用水量为 4.70×10^8 m^3，其中农田灌溉用水量为 2.17×10^8 m^3，占 46.15%，林牧渔畜用水量为 4.70×10^7 m^3，总耗水量共计 2.88×10^8 t，其中农业耗水率占比高达 64.84%，农业用水率较高，且高耗水量挤占了生态用水量，因而限制了生态发展；废污水年排放总量为 5.61×10^7 t，生态水资源开发利用量仅为 1.98×10^7 m^3，水土流失面积达 15 114.93 km^2，水土流失治理面积仅为 64.266 3 km^2，农村环境污染现象和生态破坏问题日益突出。泾河是黄河第一大支流渭河的第一大支流，开展泾河流域生态环境质量评价分析研究对农村生态环境发展，推进美丽乡村建设有重要研究意义，促进了乡村振兴和黄河流域生态保护和高质量发展等重大战略的实施，有利于农村自然生态与经济社会效益的有机统一，保障农民有健康舒适的生活环境。

20 世纪 70 年代，国外学者已对生态环境的评价开展研究，进入 21 世纪已发展成熟[2]。国内有关农村生态环境的研究，主要集中于现状及问题、指标体系构建、评价、环境治理等方面，如卞素萍[3]、高子舒[4]均对农村生态环境现状、特征和问题进行了分析；雷波等[5]从经济发展、污染控制、资源利用、人居环境、生态保护、社会环境 6 大方面构建新农村环境质量综合评价模型；郜彗等[6]运用全排列多边形综合指数方法，计算中国省域各目标层评价指数和农村人居环境综合指数；王晓君等[7]通过构建 PSR 模型综合评价了 2000—2015 年中国的农村生态环境质量，并基于 GM(1,1)模型进行动态预测；郑满生等[8]、芮菡艺等[9]采用综合指数法对农村地区环境质量状况进行综合评估；孟旭彤等[10]运用灰色关联法分析各指标间关联度，得出生态保护、生态环境的关联度最大，还需加大对河北省北部山区农村生态环境的治理；何寿奎[11]分析了农村生态环境面临的困境与问题，并提出对策建议。综上所述，众多学者已从多个角度对农村生态环境进行了详细研究，但是关于流域农村生态环境的评价研究仍不多见。本文在前人研究的基础上，通过熵值法和综合指数法测算生态环境质量等级，研究甘肃省泾河流域农村生态环境质量评价的相关问题，以期对农村生态环境保护和高质量发展研究提供参考。

1 研究区概况

泾河流域(东经 106°14′—108°42′，北纬 34°46′—37°19′)作为黄河第一大支流渭河的第一大支流，主要流经甘肃省境内平凉和庆阳两市，由泾河干流与马莲河水系构成，位于六盘山以东。流域内人口较密，2019 年甘肃泾河流域农村地区人口达 1.95×10^6 人。流域总面积为 31 210 km^2，年降水量 1.88×10^{10} m^3。同比前一年下降了 4.1%，总用水量为 4.70×10^8 m^3，其中农村居民生活用水量占 6.145%，农村生态环境用水量占 0.415%，土地矿产资源丰富，历来是甘肃省重要的农业区和能源工业基地。

本文主要研究区域范围为平凉市的崆峒区、泾川县、灵台县、崇信县、华亭市和庆阳市的西峰区、庆城县、环县、华池县、合水县、正宁县、宁县、镇原县。该地区干旱少雨、植被稀疏且水土流失严重。随着区域经济社会的迅猛发展与崛起，农村生活生产污染源持续增加，污染程度日益严重，引起了近年来各地对农村生态环境的重视度大幅提高，生态环境治理力度不断提升[12]。

2 指标体系构建、数据来源及研究方法

2.1 指标体系构建

PSR 框架即“压力—状态—响应”模型最早是由联合国经济合作开发署提出。该模型分析有较强的科学性和可操作性，其指标考虑确定结合当地具体情况，有极强的针对性和合理性，因而被广泛应用于流域生态系统健康评价、城市生态评价等热门研究领域[13](图 1)。

本研究根据甘肃省泾河流域农村各地区生态环境的实际发展现状，综合社会、经济、资源与环境 3 要素，结合现在世界上较为权威和全面的指标体系来构建该区域的生态环境质量评价指标体系。指标体系包括指标层、准则层和目标层。指标层为实际可度量指标，准则层由压力、状态、响应 3 个系统构成，目标层最终反映区域生态环境质量评价[14]。本研究筛选出 18 个指标构建农村生态环境质量评价指标体系(表 1)。

(1) 压力指标 P。反映生态环境受到社会、经济、自然方面的压力程度。考虑到该区域农村生态实际情况，人口密度较大，会带来一定的人口资源压力影响，其次水资源开发利用率低，成为最大制约

因素，且农业生产中农药、化肥、塑料薄膜是主要面源污染物，给土壤、地表水等带来危害，对农村生态环境施加了极大压力，因而选择人口密度（人/km^2）、水资源开发利用率（%）、单位面积化肥施用量（kg）、单位面积农药施用量（kg）、塑料薄膜使用量（t）作为压力指标。

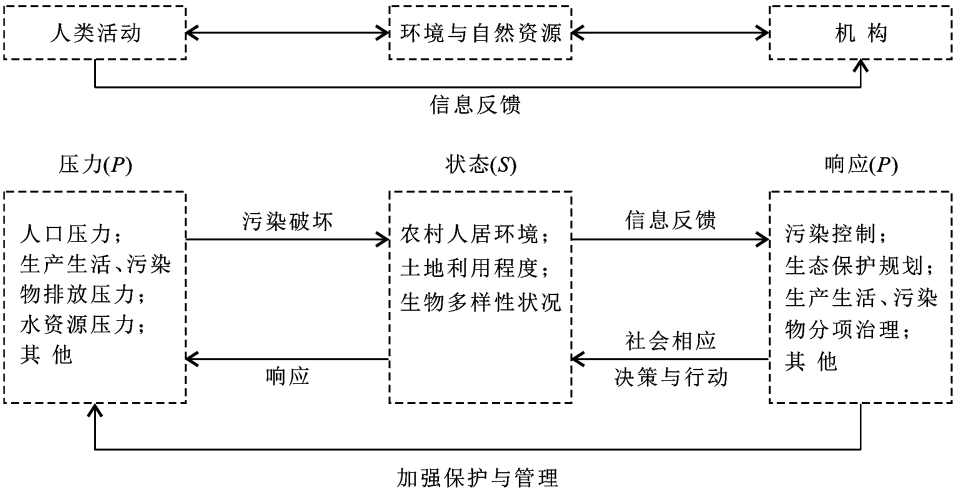


图 1　PSR 研究过程示意图

表 1　PSR 框架下甘肃省泾河流域农村生态环境质量评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标属性
农村生态环境质量评价	压力(P)	人口密度 P_1/(人·km^{-2})	−
		水资源开发利用率 P_2/%	−
		单位面积化肥施用量 P_3/kg	−
		单位面积农药施用量 P_4/kg	−
		塑料薄膜使用量 P_5/t	−
	状态(S)	人均耕地面积 S_1/hm^2	+
		农林牧渔业总产值占 GDP 比例 S_2/%	−
		森林覆盖率 S_3/%	+
		水土流失程度 S_4/%	−
		有效灌溉面积 S_5/10^4 hm^2	+
	响应(R)	农村居民人均可支配收入 R_1(元/人)	+
		秸秆综合利用率 R_2/%	+
		农村生活污水处理率 R_3/%	+
		畜禽粪便处理率 R_4/%	+
		环境保护投资占 GDP 比例 R_5/%	+
		村镇饮用水卫生合格率 R_6/%	+
		农村卫生厕所普及率 R_7/%	+
		水土流失治理面积 R_8/km^2	+

注："+"为正向指标，数值越高，表示环境质量越好；"−"为负向指标，数值越高，表示环境质量越差。

（2）状态指标 S。主要体现在人类对环境的污染破坏改变了生态环境原有的现状，考虑自然状态、人类活动状态因素，因而选择人均耕地面积（hm^2）、农林牧渔业总产值占 GDP 比重（%）、森林覆盖率（%）、水土流失程度（%）、有效灌溉面积（1 000 hm^2）5 个指标构建状态指标层。

（3）响应指标 R。指个人组织或政府部门为了改善农村生态环境，实现可持续发展，制定出的治理污染、环境保护等相关决策建议。选择农村居民人均可支配收入（元/人）、秸秆综合利用率（%）、农村生活污水处理率（%）、畜禽粪便处理率（%）、环境保护投资占 GDP 比例（%）、村镇饮用水卫生合格率（%）、农村卫生厕所普及率（%）、水土流失治理面积（km^2）8 个指标构建响应指标层，反映人类从自然、经济方面对生态环境变化做出的反馈活动。

2.2　数据来源

本文 2010—2019 年各指标原始数据主要来源于 2011—2020 年的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《甘肃省统计年鉴》《甘肃农村年鉴》《甘肃水资源公报》《甘肃水土保持公报》《甘肃发展年鉴》《庆阳市年鉴》《平凉市年鉴》，经过计算整理，所得指标值详见表 2。

2.3　研究方法

2.3.1　*指标权重确定*　本文采用熵值法确定评价指标权重，是多指标综合评价的重要关键方法，与层次分析法和主观赋权法相比，熵值法包含的主观因素较少，计算权重具有较强的说服力[15]。主要根据指标值的大小确定权重，熵值越大，冗余度越小，表明指标的不确定性越大，精确度越小，所占比重越小，在综合评价中所能起到的作用也越小，权重也就越小。

先对原始数据进行标准化处理，得到以下标准化公式，主要采用极值法：（x'_{ij} 是标准化后的指标值，x_{ij} 为指标的原始数据）

$$x'_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)} \quad (正相关) \quad (1)$$

$$x'_{ij}=\frac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)} \quad (负相关) \quad (2)$$

设有 a 个评价对象,每个评价对象有 b 个评价指标,样本值为 x_{ij},其中 $i=(1,2,\cdots,a)$, $j=(1,2,\cdots,b)$,第 j 个指标的熵 e_j 值计算公式为:

$$e_j=-k\sum_{j=1}^{b}p_{ij}\ln p_{ij} \quad (3)$$

式中:$k=\frac{1}{\ln a}$, $p_{ij}=\frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^{b}x'_{ij}}$

当 $p_{ij}=0$ 时,$p_{ij}\ln p_{ij}=0$。

表 2 PSR 框架下农村生态环境质量评价指标值

评价指标	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
P_1	130.19	129.98	130.31	130.05	130.92	130.69	131.31	131.22	131.85	130.20
P_2	44.55	43.78	41.69	42.77	46.23	40.47	41.83	44.17	43.17	44.23
P_3	30.16	30.51	33.28	33.86	34.52	34.71	35.46	34.15	31.24	30.24
P_4	39.10	38.20	38.70	40.30	40.50	40.76	42.30	41.80	41.30	40.00
P_5	1 231.77	1 415.21	1 759.04	1 898.58	1 885.58	2 600.00	2 426.33	2 003.99	1 963.50	1 835.68
S_1	2.03	2.03	2.04	1.86	1.92	2.04	2.56	2.84	3.08	3.15
S_2	18.05	17.73	17.46	17.50	17.91	18.23	18.35	18.88	19.71	20.67
S_3	34.07	36.92	38.42	40.30	41.91	42.79	43.43	45.80	46.57	48.88
S_4	57.34	55.37	53.76	50.36	49.94	48.24	47.24	45.77	43.87	43.55
S_5	5.91	5.90	6.09	6.17	6.45	6.45	6.86	7.36	8.32	10.00
R_1	3 317.55	3 836.51	4 463.92	5 057.17	5 651.33	7 068.42	7 623.91	8 102.33	9 023.42	9 835.33
R_2	74.00	75.33	77.46	78.02	79.55	81.03	82.93	83.36	85.00	88.00
R_3	75.94	78.00	83.57	87.00	80.66	84.00	84.67	85.20	87.34	89.34
R_4	75.00	76.45	77.93	78.23	81.34	82.46	83.00	83.59	84.02	85.02
R_5	0.98	1.04	1.20	1.21	1.57	1.66	1.92	2.13	2.30	2.57
R_6	65.52	71.47	82.29	84.75	86.26	88.35	91.23	92.04	92.36	92.95
R_7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.83	8.62	15.86
R_8	119.56	113.96	159.34	336.51	82.27	84.92	85.65	83.64	82.56	64.27

注:①表中指标符号具体含义详见表 1;②根据调研情况,2017 年以前以旱厕为主,因而农村卫生厕所普及率数据 2010—2016 年均按 0 处理,对计算结果无较大影响。

在指标的信息熵确定之后,根据公式计算第 j 个指标的权重 w_i。

$$w_j=\frac{1-e_j}{\sum_{j=1}^{b}e_j} \quad (4)$$

式中:$W_j\in[0,1]$,且 $\sum_{j=1}^{a}w_j=1$。

2.3.2 综合指数法 甘肃省泾河流域农村生态环境质量评价综合指数 E 计算模型为:

$$E=\sum_{j=1}^{a}x'_{ij}\times w_j \quad (5)$$

式中:x'_{ij}是标准化值;w_j 是第 j 个指标的权重。综合指数 E 越大,生态环境质量越好,反之则较差。本文根据研究区域近年的农村生态环境具体情况,在参考潘紫媗等[16]、马年圣等[17]、张燕等[18]研究成果的基础上,将其综合指数等级具体划分为 5 部分,评价标准见表 3。

表 3 生态环境综合指数(E)分级评价标准

项目	$0\leqslant E<0.35$	$0.35\leqslant E<0.5$	$0.5\leqslant E<0.7$	$0.7\leqslant E<0.85$	$0.85\leqslant E<1$
等级	劣等	差等	中等	良好	优等
状态	环境污染严重,发展落后,系统结构混乱,服务功能完全丧失	环境污染较严重,发展相对落后,系统结构较混乱,服务功能退化且不健全	环境受到破坏,发展一般,系统结构有变化,服务功能退化但可基本操作	环境污染程度较小,发展较好,系统结构较完善,服务功能良好	环境几乎无污染,发展良好,系统结构完善,服务功能优秀

2.3.3 灰色预测 GM(1,1)模型 本文采用灰色预测 GM(1,1)模型对 2020—2029 年甘肃省泾河流域农村生态环境质量综合指数进行预测,可直观表示序列的主要趋势变化。该模型对结构关系和运行尚不确定的对象进行预测分析具有独特优势,适用于数据指标内容多,且相互制约和影响的复杂关系,计算量小,最后一定要检验分析模拟结果,保证预测结果的有效性,GM(1,1)模型精度评价等级见表 4。一般用作模

型预测，精度等级要求达到二级以上。

在原始数据（非负数）序列 $X^{(0)}$ 的基础上计算一次累加序列 $X^{(1)}$，设新序列满足一阶常微分方程：$\frac{dX^{(1)}}{dt}+a\,X^{(1)}=u$，（$a$ 为固定值数，u 为发展灰数）。

建立矩阵 B，Y_N，计算 $\hat{a}=(B^TB)^{-1}B^TY_N=[a,u]T$，通过最小二乘法来估计 a 和 u。

构建预测公式：

$$\hat{X}^{(1)}(t)=\left[X^{(0)}(1)-\frac{u}{a}\right]e^{-a(t-1)}+\frac{u}{a}\quad(t=2,3,\cdots,n)\tag{6}$$

最后得到预测值 $\hat{X}^{(0)}(t)=\hat{X}^{(1)}(t)-\hat{X}^{(1)}(t-1)$

其中，$\hat{X}^{(1)}(t)$ 为预测累加值，$\hat{X}^{(0)}(t)$ 为评价指标第 t 个预测值。

表 4　GM(1,1)模型精度检验标准

项 目	模型精度等级			
	一级	二级	三级	四级
C（方差比）	＜0.35	＜0.5	＜0.65	≥0.65（不合格）
P（小误差概率）	＞0.95	＞0.8	＞0.7	＞0.6

3　结果与分析

3.1　评价结果及分析

根据上述研究方法，首先计算 2010—2019 年甘肃省泾河流域农村生态环境质量各指标权重（表 5）。

表 5　甘肃省泾河流域农村生态环境质量指标权重

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
压力	0.179 8	人口密度 P_1	0.029 0
		水资源开发利用率 P_2	0.029 6
		单位面积化肥施用量 P_3	0.050 0
		单位面积农药施用量 P_4	0.039 0
		塑料薄膜使用量 P_5	0.032 2
状态	0.270 3	人均耕地面积 S_1	0.078 1
		农林牧渔业总产值占 GDP 比例 S_2	0.023 9
		森林覆盖率 S_3	0.032 2
		水土流失程度 S_4	0.035 5
		有效灌溉面积 S_5	0.100 6
响应	0.549 9	农村居民人均可支配收入 R_1	0.047 0
		秸秆综合利用率 R_2	0.041 1
		农村生活污水处理率 R_3	0.030 9
		畜禽粪便处理率 R_4	0.036 4
		环境保护投资占 GDP 比例 R_5	0.057 5
		村镇饮用水卫生合格率 R_6	0.026 1
		农村卫生厕所普及率 R_7	0.201 7
		水土流失治理面积 R_8	0.109 3

从权重计算结果可知，响应指标对泾河流域农村生态环境质量的影响程度最大，超过 0.5，说明环境保护政策的实施对生态环境作用发挥较大；二级指标中农村卫生厕所普及率权重最大，为 0.201 7，说明随着农村卫生厕所的不断扩建，生态环境质量水平有所改善；其次水土流失治理面积的权重为 0.109 3，一定程度上改善了泾河流域水土流失情况；其中环境保护投资占 GDP 比例的权重为 0.057 5，环保资金的投入使农村生态环境质量得到了提升；其次是状态指标，有效灌溉面积指标对该地区农村生态环境质量的影响程度较大，为 0.100 6，人均耕地面积和水土流失程度均对生态环境质量有一定的影响；一级指标权重占比最小的是是压力指标，但其中二级指标单位面积化肥施用量和农药施用量的影响程度较大，分别为 0.05，0.039，说明化肥和农药的使用对土地生态造成一定的污染破坏，对生态环境造成较坏影响。由此可得，人为保护对提高该地区农村生态环境质量水平的作用巨大，环境质量、自然资源与生态系统的状况对农村生态环境质量发展具有一定的影响，而当前受自然、社会、经济等方面的压力影响较小。

3.1.1　分类评价结果　根据以上权重结果，利用公式计算得到综合指数，通过图 2 可明显看出，压力指数走势呈“V”型，先下降再上升，2016 年压力指数达到最低点，仅为 0.035 2，受环境破坏压力强度较大。状态指数呈缓慢上升趋势，响应指数的增长幅度较快，最高值达到 0.371 7，说明近几年来，在生态环境政策的大力宣传下，人们的环保意识加强，农村关于生态保护和污染防治的投入力度增强，一定程度上也减缓了该地区农村生态环境质量总体下滑的趋势。

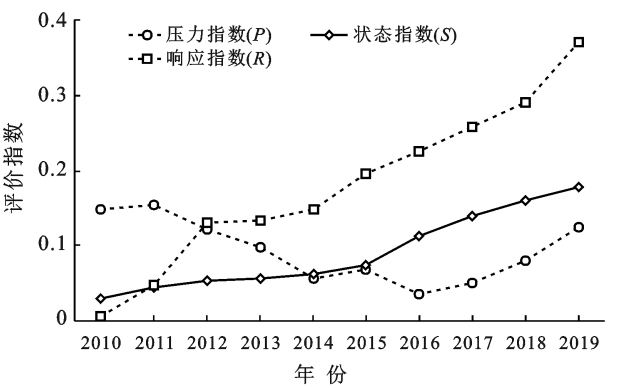


图 2　甘肃省泾河流域农村生态环境分类评价结果趋势

（1）从研究区压力指数的发展趋势来看，主要分为 3 个阶段：①从 2010—2014 年，压力指数整体呈现下降趋势，从 2010 年的 0.147 1 下降到 2014 年的 0.057 3，年均下降率达 21.01%，主要影响因素为单位

面积农药和化肥施用量、塑料薄膜使用量的逐年增加，且均为负向指标；②2014—2016 年，呈现波动趋势，暂不稳定，2015 年压力指数为 0.069 4，有小幅上升，到 2016 年又下降了 49.28%，主要原因表现为 2015 年水资源开发利用率下降，而塑料薄膜使用量大幅增加，比 2014 年增加了 37.89%；③2016—2019 年压力指数快速上涨，年均增长率为 52.65%。值得注意的是，单位面积化肥施用量和单位面积农药施用量的权重数值在压力指标层中较高，分别为 0.05，0.033 9，说明土壤受影响破坏力强，土地所承受压力较大，因而在之后的生态环境保护中仍需密切关注，减少化肥农药使用，积极推广有机肥料，加强对农业土地的利用与保护。

(2) 状态指数呈现缓慢上升趋势，年增长率为 21.88%，其中有效灌溉面积的权重最高为 0.100 6，人均耕地面积次之为 0.078 1，森林覆盖率的影响程度也较高，均为正向指标，且指标值逐年增加，水土流失程度随着水土治理的进一步改善逐年递减，在一定程度上影响着生态环境质量水平状态。

(3) 响应指数总体呈快速上升趋势，主要受农村卫生厕所普及率、水土流失治理面积、环境保护投资占 GDP 比例、农村居民人均可支配收入、秸秆综合利用率、畜禽粪便处理率、农村生活污水处理率、村镇饮用水卫生合格率的影响，其中前三者影响所占比重较大。从具体评价指标来看，农村卫生厕所普及率在环境质量评价结果中所占比重较大，主要得益于农村“厕所革命”的实施推进，并预计到 2025 年省级卫生乡镇的农村户用卫生厕所普及率将达到 70%。到 2019 年泾河流域农村卫生厕所普及率平均值为 25.86%，主要农村厕所改造启动时间较晚，因而还需加大政策资金投入力度。环境保护投资占 GDP 的比例在 2019 年达到 2.57%，比 2010 年增长 1.62 倍，对整体环境质量评价结果影响较大。近年来农药、化肥和废旧薄膜的有效绿色处理，使生态环境状态渐趋完善。

3.1.2 综合评价结果 从 2010—2019 年甘肃省泾河流域农村生态环境综合指数结果趋势中(图 3)可以看出，农村生态环境质量总体分值都不高，但呈现不断上升趋势，综合指数从 0.182 7 上升至 0.675 0，质量等级从 2010 年的“劣”经过一系列响应措施的实施变为 2019 年的“中”，表明甘肃省泾河流域地区农村生态环境质量状况还较为严重，但前景乐观，必须不断采取积极有效的治理措施来改善当地的农村生态环境状况。根据农村生态环境质量综合指数分级评价标准，甘肃省泾河流域农村生态环境质量状态变化主要分为 3 个阶段：①2010—2016 年，区间在 0.182 7～0.338 8 之间，等级为“劣”，在此期间环境污染严重，经济发展落后，生态系统结构混乱，服务功能丧失，总体波动趋势较大；②2016—2017 年，综合指数上升到 0.446 5，等级为“差”；③2018—2019 年，综合指数大幅增长，上升至 0.675 0，年均递增率为 27.05%，在此期间，农村生态环境受到破坏，发展一般，系统结构有变化，服务功能退化但可基本操作，表明甘肃省泾河流域农村生态环境质量状况向良好趋势发展。

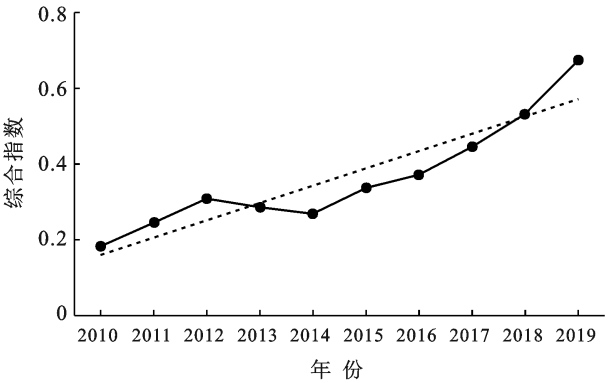


图 3 2010－2019 年甘肃省泾河流域农村生态环境综合指数变化趋势

甘肃省逐年加大对农村生态环境保护的重视度，通过紧盯重点区域，各级党委制定全域无垃圾工作实施方案，清洁村庄建设，实现全民参与、整体联动。工厂等都采取了对污水、固体废弃物的有效无害处理、畜禽粪便薄膜都进行了统一回收加工处理、绿色有机化肥的推广使用、农药的有效控制使用均降低了对土壤水质的污染破坏，环保基础设施的建成投入使用和不断完善，以及生产方式的不断转变，使甘肃省泾河流域地区农村生态环境质量不断好转。各县域组办联合督察组，定期检查通报工作落实情况，并通过“工程队＋保洁员”的方式逐项整改发现问题，采取“以奖代补”的办法有效开展治理措施[19]。但是，在全省的环境质量综合指数测算分析中，泾河流域地区仍处于较低水平，农村生态环境发展压力较大，治理成效还需进一步增强，随着经济社会发展，人民群众对生态环境的保护意识逐渐增强并得到实践改善。

3.2 甘肃省泾河流域农村生态环境质量预测

根据 GM(1,1)模型的原理，本文以甘肃省泾河流域农村生态环境质量综合指数为原始数据，对 2020—2029 年的农村生态环境质量健康状况进行预测。运用 Matlab 软件实现灰色预测 GM(1,1)模型，结果显示 $a=-0.141\ 4$，$u=0.256\ 8$，预测模型为：

$$\hat{X}^{(1)}(t)=2.147\ 7e^{0.141\ 4(t-1)}-1.816\ 5\ (t=2,3,\cdots,n)$$

预测检验结果显示(表 6)相对误差均小于 5%,全部在可接受的误差范围内,相对残差 Q 检验为 0.086 9,c 和 p 的精度都在一级以上,说明模型预测效果较好。由此可得 2020—2029 年甘肃省泾河流域农村生态环境综合指数及变化趋势(图 4)。根据预测结果可知,按照当前发展态势,2020—2029 年泾河流域农村生态环境质量状况将向等级"良好"不断上升,说明在接下来的几年间,农村生态环境质量发展水平呈现良好状况,农村环境治理措施有效,环境污染程度变小,生态系统不断完善。全省主要结合清洁村庄创建和美丽乡村建设,以"全民参与,整体联动"为宗旨,形成了"户分类,村收集,镇管理,县拉运"的全域无垃圾专项治理工作长效机制,成效显著。从压力方面,对农药和塑料薄膜的减少施用,绿色有机化肥的推广使用等,从根本上降低了自然环境的压力;状态方面森林覆盖率的提高,有效灌溉面积的增加,水土流失防治责任范围扩大等均改善了生态环境;在响应方面,秸秆利用率、生活污水和畜禽粪便处理率的提高,该地区对环境保护方面的资金投入力度,治理水土流失面积的逐渐增加,以及近几年对农村卫生厕所的普及和改造等均体现了政策的有效实施。2020—2029 年也将呈现稳步提升的态势,实现生态保护和高质量有效发展,全面建设生态宜居的美丽乡村建设。

表 6　2010—2019 年甘肃省泾河流域农村生态环境综合指数 GM(1,1)模型预测值及相对误差

年份	实际值	预测值	残差	相对误差/%
2010	0.182 7	0.182 7	0.000 0	0.00
2011	0.246 3	0.238 0	0.008 3	3.84
2012	0.307 3	0.292 9	0.014 4	4.29
2013	0.284 3	0.272 2	0.012 1	4.38
2014	0.268 9	0.281 4	−0.012 5	−2.65
2015	0.338 8	0.354 2	−0.015 4	−2.81
2016	0.373 2	0.390 5	−0.017 3	−4.78
2017	0.446 5	0.466 2	−0.019 7	−4.88
2018	0.531 3	0.533 3	−0.002 0	−1.57
2019	0.675 0	0.644 1	0.030 9	1.33

注:均方差比值 $c=0.264\ 7$;小误差概率 $p=1.0$。

4　结论及建议

4.1　结 论

(1) 2010—2019 年甘肃泾河流域农村生态环境综合指数等级变化趋势为"劣—差—中",生态环境质量水平目前居于中等,但总体水平仍呈现上升趋势,主要表现为单位面积化肥和农药减少施用、有效灌溉面积的增加、秸秆综合利用率、畜禽粪便处理率、环境保护投资占 GDP 比例、农村卫生厕所普及率和水土流失治理面积的响应程度有显著正向影响。一定程度上改善了生态环境质量,保障了农民生活水平。

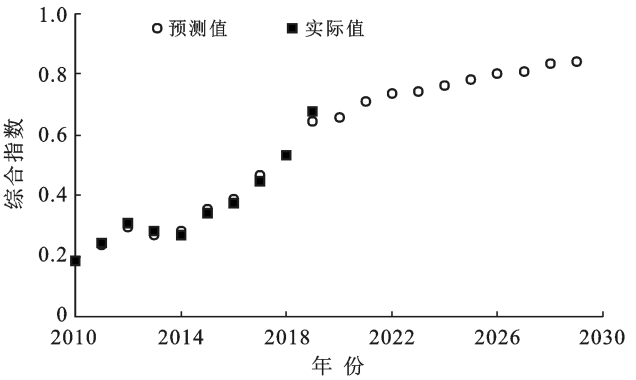


图 4　2010—2029 年甘肃省泾河流域农村生态环境综合指数预测趋势

(2) 农村生态环境质量压力指数呈波动"Ⅴ"字型,状态指数和响应指数总体呈现上升趋势,反映出农村生态环境承受的生态破坏和污染压力较大,但环保治理措施成效显著,前景较为乐观。

(3) 通过预测模型分析显示 2020—2029 年泾河流域农村生态环境质量状况不断改善,2029 年农村生态环境综合指数预计达到 0.842 3,2021—2029 年达到等级良好,环境污染程度较小,生态系统结构较完善,环境整体状况较好。

4.2　建 议

"十四五"期间,中国正处于深入打好升级版农业农村污染治理的攻坚阶段,农村经济的快速发展为农村生态环境带来了巨大压力,但在甘肃省泾河流域农村农业经济发展的同时,生态问题也不可忽略[20]。在今后的环境发展中,具体到农村生活环境建设方面,还应重点加强水土流失治理程度、自来水普及、厕所全覆盖改造,清洁能源有效利用等;在农村环境治理方面:①要加强道路硬化建设,注重基础设施的建设和完善;②多关注村级污水处理等问题,从人民群众思想意识方面提高对生态环境的保护,政府层面对流域农村生态环境的重视和人民群众的有效配合,积极加强生态文明建设,能够使生态环境质量得到不断提高。推进村庄清洁行动,实施农村厕所改造,资源节约化回收利用,有效促进泾河流域农村生态环境高质量发展和乡村振兴建设。

[参 考 文 献]

[1]　宋媛,石惠春,谢敏慧,等.2000—2017 年甘肃省生态环境质量时空演变格局及其影响因素[J].生态学杂志,2019,38(12):3800-3808.

[2] Li Ainong, Wang Angsheng, Liang Shunlin, et al. Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS: A case study in the upper reaches of Minjiang River, China [J]. Ecological Modelling,2006,192(1/2): 175-187.
[3] 卞素萍.美丽乡村建设背景下农村人居环境整治现状及创新研究:基于江浙地区的美丽乡村建设实践[J].南京工业大学学报(社会科学版),2020,19(6):62-72,112.
[4] 高子舒.生态文明建设背景下农村生态环境建设的意义、问题与对策研究[J].农业经济,2019(7):33-34.
[5] 雷波,张丽,夏婷婷,等.基于层次分析法的重庆市新农村生态环境质量评价模型[J].北京工业大学学报,2011,37(9):1393-1399.
[6] 郜彗,金家胜,李锋,等.中国省域农村人居环境建设评价及发展对策[J].生态与农村环境学报,2015,31(6):835-843.
[7] 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.
[8] 郑满生,姜仁珍.区域农村生态环境发展水平评价与分析:以山东省为例[J].江苏农业学报,2020,36(6):1583-1588.
[9] 芮菡艺,朱琳,赵克强,等.农村环境质量综合评估方法及实证研究[J].生态与农村环境学报,2016,32(5):852-856.
[10] 孟旭彤,宋川.河北省北部山区农村生态环境治理及绩效评价[J].中国农业资源与区划,2018,39(10):57-61.
[11] 何寿奎.农村生态环境补偿与绿色发展协同推进动力机制及政策研究[J].现代经济探讨,2019(6):106-113.
[12] 党锐,张军,周冬梅,等.2000—2016 年甘肃省水资源—能源—粮食耦合协调特征研究[J].水资源与水工程学报,2020,31(1):115-123.
[13] 杨光明,陈也,张帆,等.基于 PSR 模型的三峡库区生态安全评价及动态预警研究[J].生态经济,2021,37(4):209-214.
[14] 王媛,李昂,宋明晓.吉林省县域生态环境保护综合评价指标体系构建研究[J].环境生态学,2019,1(7):15-22,37.
[15] 汪慧玲,朱震.我国生态安全影响因素的实证研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(6):1-5.
[16] 潘紫媗,朱家明,张腾.安徽省农业生态环境质量评价及预测研究[J].延边大学农学学报,2020,42(2):88-95.
[17] 马年圣,支晓娟,宋雨婷.基于 PSR 和 GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J].干旱区资源与环境,2018,32(11):81-86.
[18] 张燕,高峰.甘肃省生态屏障建设的综合评价和影响因素研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(11):93-98.
[19] 束加稳,杨文培.杭州市生态环境质量综合评价研究[J].生态经济,2019,35(2):128-134.
[20] 傅建祥,郑满生.基于综合指数法的山东省农村生态环境发展水平测评[J].生态经济,2020,36(12):200-205.

(上接第 326 页)

[19] 闵文义.宁夏南部山区生态建设制约因素调查研究[J].北方民族大学学报(哲学社会科学版),2014(3):33-39.
[20] 李宝旗,许畴.宁夏南部丘陵山区花椒丰产栽培技术[J].宁夏农林科技,2009(6):178-179
[21] 李阳,刘静,马力文,等.宁夏中南部山区马铃薯气候适宜度时空变化特征[J].干旱气象,2020,38(6):1001-1008.
[22] 包维斌.宁南山区典型坡面土壤干层特征与植被关系研究[D].宁夏 银川:宁夏大学,2020.
[23] 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.
[24] 刘旭.内蒙古生态环境和经济耦合协调发展研究[D].内蒙古 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
[25] 魏玮,任善英.三江源国家公园生态—经济—社会耦合协调度分析[J].青海师范大学学报(哲学社会科学版),2020,42(4):21-27.
[26] 何佳玲,谢萍,王静.基于熵值法的云南省生态经济可持续发展质量综合评价[J].云南农业大学学报(社会科学版),2020,14(5):112-118.
[27] 郭月婷,徐建刚.基于模糊物元的淮河流域城市化与生态环境系统的耦合协调测度[J].应用生态学报,2013,24(5):1244-1252.
[28] 王淑佳,任亮,孔伟,等.京津冀区域生态环境—经济—新型城镇化协调发展研究[J].华东经济管理,2018,32(10):61-69.
[29] 刘耀彬,李仁东,宋学锋.中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J].地理学报,2005,60(2):237-247.
[30] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于 PSR 模型的生态移民安置区土地利用系统健康评价:以红寺堡区为例[J].水土保持研究,2018,25(6):270-276.