

DOI: 10.5846/stxb202206301862

常翔僖, 张小文, 陈佳, 唐红林, 杨新军. 生态治理内陆河流域社区恢复力演变特征及影响因素——以石羊河流域为例. 生态学报, 2023, 43(14): 5699-5713.

Chang X X, Zhang X W, Chen J, Tang H L, Yang X J. Evolution characteristics and influencing factors of community resilience in inland Shiyang River Basin under ecological governance. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(14): 5699-5713.

# 生态治理内陆河流域社区恢复力演变特征及影响因素 ——以石羊河流域为例

常翔僖<sup>1</sup>, 张小文<sup>1,2</sup>, 陈佳<sup>1,2,\*</sup>, 唐红林<sup>1</sup>, 杨新军<sup>1,2</sup>

1 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

2 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

**摘要:** 探究生态治理背景下内陆河流域社区恢复力演变规律及其影响因素, 对于流域生态保护与社会经济高质量发展具有重要意义。选取石羊河流域为典型研究区, 在识别社区恢复力演变的基础上, 探究社区恢复力内部影响因素及外部生态治理影响路径, 进而揭示社区恢复力影响机制。结果表明: (1) 生态治理背景下石羊河流域社区恢复力迅速增长且时空异质性明显, 其中, 生态维度空间格局集聚度高且优势性强, 但增长缓慢, 经济及社会维度时空异质性大, 且增长迅速; (2) 石羊河流域社区恢复力内部影响因素中, 经济维度具有主导影响, 社会维度影响减弱, 而生态维度影响最小且变化趋势不大; (3) 外部生态治理影响中, 退耕还林及关井压田在三个时期对社区恢复力均起到制约作用, 农业技术培训早期制约社区恢复力提升, 后期制约作用消失, 多重生态治理要素组合影响在 2000 年表现为农业结构调整及资源调控路径, 2010 年表现为农业结构调整路径、生活水资源主导调控路径、生态水资源主导调控路径, 2020 年表现为农业结构调整及资源配置路径、农业结构调整及技术支持路径、生产水资源主导配置路径。总体来说, 研究为社区恢复力内外部影响因素综合研究提供了思路, 也为内陆河流域未来乡村社区恢复力建设提供了实践参考。

**关键词:** 流域生态治理; 社区恢复力; 障碍度模型; 模糊集定性比较分析; 石羊河流域

## Evolution characteristics and influencing factors of community resilience in inland Shiyang River Basin under ecological governance

CHANG Xiangxi<sup>1</sup>, ZHANG Xiaowen<sup>1,2</sup>, CHEN Jia<sup>1,2,\*</sup>, TANG Honglin<sup>1</sup>, YANG Xinjun<sup>1,2</sup>

1 College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an 710127, China

2 Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Northwest University, Xi'an 710127, China

**Abstract:** Analyzing the development and influencing factors of community resilience in the inland river basin against the background of ecological governance is crucial. In this study, we identified the evolution of community resilience in the Shiyang River Basin, analyzed the internal influencing variables and external ecological governance impacting paths of community resilience, and finally disclosed the influencing mechanism of community resilience. The results showed that: (1) The community resilience in Shiyang River Basin rapidly increased under ecological governance, and presented the significant temporal and spatial heterogeneity. The ecological dimension has been increasing slowly and the spatial pattern had high concentration and strong dominance. The economic and social dimensions developed rapidly, with obvious spatial and temporal heterogeneity. (2) Among the internal influencing variables of community resilience in the Shiyang River Basin, the economic dimension had the strongest influence, followed by the social dimension and the ecological dimension.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41901168); 国家自然科学基金项目(41771574)

**收稿日期:** 2022-06-30; **网络出版日期:** 2022-12-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongdongbj2010@126.com

(3) In terms of the externally ecological governance, the measures of converting farmland to forest, closing wells, and suppressing farmland limited the resilience of communities in three periods. The early implementation of the agricultural technology training also limited the improvement of community resilience, but its adverse effect faded in later periods. The influence of the combination of the multiple ecological governance factors showed the agricultural structure adjustment path and resource regulation path in 2000, followed by the agricultural structure adjustment path, domestic water resources regulation path, and ecological water resources regulation path in 2010, and the agricultural structure adjustment path, technical support path, and production water resource allocation path in 2020. In general, this paper provides ideas for the comprehensive study of the internal and external influencing factors of community resilience, and also provides practical reference for the future rural community resilience construction in the inland river basins.

**Key Words:** watershed ecological governance; community resilience; obstacle degree model; fsQCA; Shiyang River Basin

恢复力作为理解复杂社会-生态系统的核心理论<sup>[1-2]</sup>,是衡量社会-生态系统受干扰时维持系统功能、保持系统稳态的能力,强调系统的可持续发展而非个别部分的优化利用。近年来,恢复力研究<sup>[3-6]</sup>逐渐转向微观社区恢复力<sup>[7-12]</sup>,测度社区应对扰动与变化时保持其特征和机能的能力<sup>[13]</sup>。但由于社区恢复力概念的抽象化,当前国内外测度方式缺乏统一或公认的方法模型,具有较大差异性,多从生态/自然环境、经济、社会及管理/治理/制度维度<sup>[7-10]</sup>进行测度,并有学者增加建成环境维度<sup>[7]</sup>,亦有学者基于社区领导力、应对能力、集体效率、信任及对地方的依恋 5 个维度<sup>[11]</sup>评估不同类型社区的恢复力。而其影响因素研究或通过 *t* 检验、方差分析<sup>[8]</sup>或障碍度模型<sup>[9]</sup>等筛选内部关键影响因子,或通过逐步回归分析<sup>[12]</sup>识别外部扰动对社区恢复力的线性影响。但影响社区恢复力的因素一方面来自内部因子动态变化,另一方面来自外部压力扰动,系统内部因子和外部扰动共同组成恢复力演化动力。因此,如何科学构建社区恢复力测度指标体系,并综合考虑内外要素作用以揭示社区恢复力影响机制显得尤为必要。

内陆河流域生态环境脆弱,具有复杂且非线性的生态及社会过程,社会发展与生态保护目标之间存在此消彼长的权衡效应<sup>[14]</sup>,尤其是在环境变化及人类不合理的水资源利用干扰下,流域生态环境严重退化并凸显诸多生态环境问题,上中下游人地矛盾不断激化,严重威胁流域可持续发展。在此背景下,我国多个内陆河流域先后实施综合生态治理工程,促使流域内生态、经济和社会等不断重构,人地关系变迁明显,内陆河流域综合治理影响成为学术界关注的焦点之一。以往研究探究了综合治理影响下流域景观环境<sup>[15]</sup>、经济<sup>[16]</sup>等的变化,但目前鲜有研究从恢复力视角解析内陆河流域生态治理对于乡镇社区的影响,因此,探究生态治理背景下内陆河流域社区恢复力演变及其影响机制,对于内陆河流域生态环境保护及社会经济可持续发展具有重大现实意义。

由于流域生态治理要素影响作用复杂,各要素并非单独发挥作用,往往不同要素组合构成系统恢复力发展动力。Ragin 提出的模糊集定性比较分析(fsQCA)方法突破传统定量研究及因果模型拘泥于验证单一因果显著性的思路<sup>[17]</sup>,认为多要素共同影响结果变量<sup>[18]</sup>,在相关领域得到广泛运用<sup>[19-20]</sup>,为探究生态治理对社区恢复力的复杂影响路径提供了技术支撑。基于此,本文以石羊河流域为例构建社区恢复力测度框架,在分析流域社区恢复力演变基础上,综合运用障碍度模型、fsQCA 等方法,探究流域社区恢复力的内部关键影响因子及外部生态治理的影响路径,揭示生态治理背景下内陆河流域社区恢复力影响机制,以期干旱区内陆流域生态保护与高质量发展的适应性管理策略优化提供决策参考。

## 1 研究区概况

石羊河流域,位于甘肃省河西走廊东部,为黄土、青藏、蒙新三大高原过渡带<sup>[21]</sup>。流域地势自西南向东北倾斜,全流域可分为南部祁连山地,中部平原区,北部低山丘陵与荒漠区三大地貌单元。太阳辐射强、温差大、降水少、蒸发强烈,属大陆性温带干旱气候。流域涉及 3 市 7 县,干流流经上游天祝 5 个乡镇、中游凉州 34 个乡镇、下游民勤 15 个乡镇。流域内以农业发展为主,人口密集,水资源开发强度大,水资源对社会经济发展制

约性强。20 世纪 90 年代以来,中下游地区粗放式经济发展模式中,大面积垦荒及地下水过度超采等活动致使流域生态环境严重恶化,上中下游水资源供需矛盾日趋突出。面对石羊河流域日益严峻的生态形势,2007 年甘肃省开始实施《石羊河流域重点治理规划》,设定 2010 及 2020 年两期生态治理目标,包含种植结构调整、设施农牧业发展、关井压田及退耕还林、水资源优化配置及外调水资源工程等措施(图 1)。

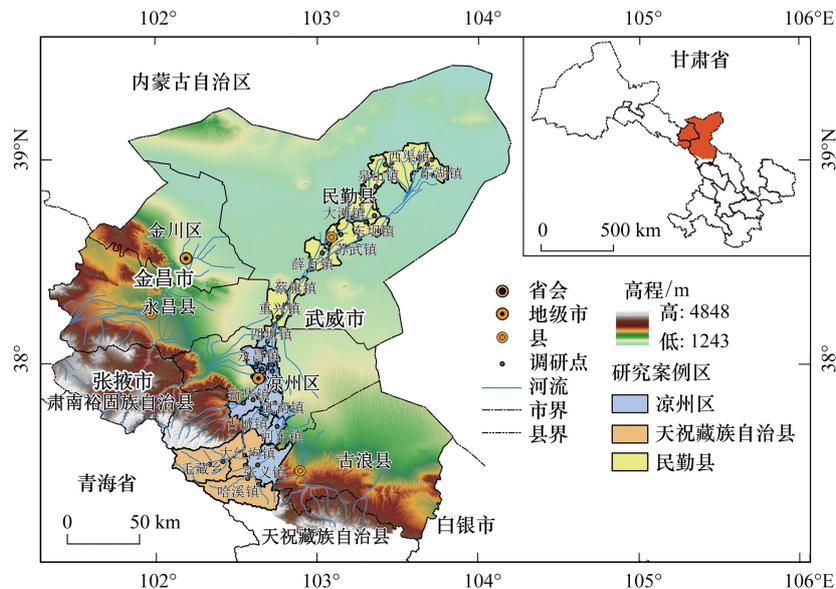


图 1 研究区地理区位图

Fig.1 The location of study area

由于石羊河流域范围广阔,很难进行全区域、全样本调研,本文采用样带调查法,根据石羊河水系干流走向,以乡镇社区为基本研究单元,选取自西南向东北横跨流域上中下游的乡镇样带作为研究案例地,样带涉及上游天祝 3 个乡镇,中游凉州 18 个乡镇,下游民勤 12 个乡镇,分别占干流流经上中下游总体乡镇比例的 60%、53%和 80%,抽样乡镇能够反映流域整体情况,样本具有典型性和代表性及可靠性。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 分析框架与思路

社区恢复力演化一方面来自系统自身成长过程中生态、经济、社会子系统内部要素结构及功能发生的适应性变化,另一方面来自于外部压力扰动。近年来内陆河流域生态治理作为外部强扰动因素之一,不断影响流域社会-生态系统演化。本文以石羊河流域典型乡镇社区单元为研究区,根据 2000 年以来该流域退耕还林生态治理实施产生的重要影响,以及《石羊河流域重点治理规划》中生态治理政策的实施年份,并考虑治理效果滞后性与时序间隔科学性,确定 2000、2010、2020 年三个研究时期,分别代表生态治理前、生态治理初期和生态治理后,并以“社区恢复力演化-内部影响因子识别-外部生态治理扰动分析-影响机制探究-适应性管理策略提出”为逻辑思路,对社区恢复力演变及其影响机制进行深入探索(图 2)。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 社区恢复力指标体系构建

本文将社区恢复力视为社区应对外部风险变化的调整和适应能力,以避免系统崩溃并具备原有持续发展的能力。参考已有研究成果<sup>[7-12]</sup>并考虑石羊河流域的生境背景,从生态、经济、社会三个维度构建流域社区恢复力测度指标体系(表 1)。

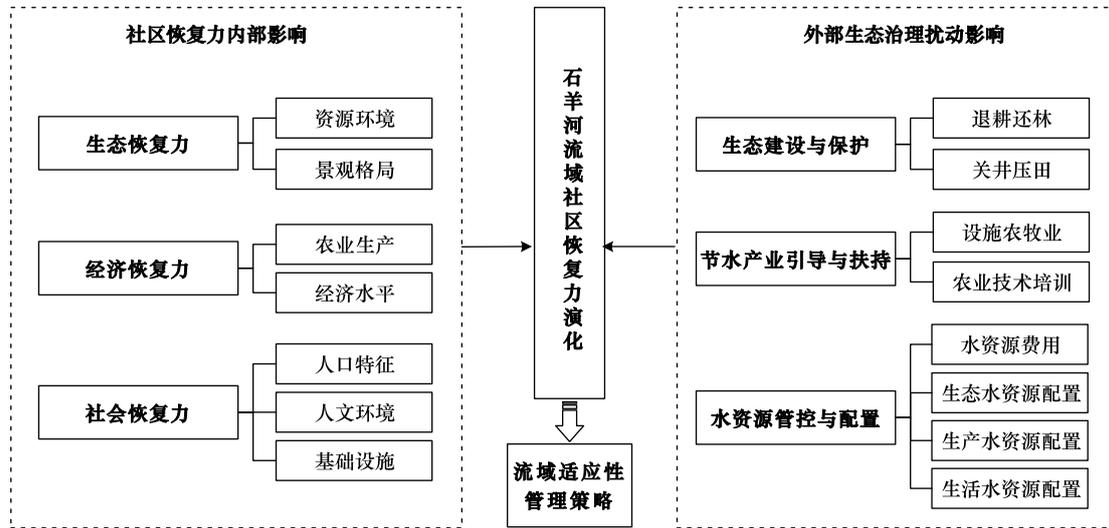


图 2 石羊河流域社区恢复力分析框架

Fig.2 The Assessment framework of community resilience in Shiyang River Basin

表 1 石羊河流域社区恢复力评价指标体系

Table 1 The Indicator system of community resilience in Shiyang River Basin

目标层 Target layers	维度层 Dimension layers	指示层 Indicator layers	指标层 Index layers	指标含义及单位 Index specification and quantification standard	权重 Weight	属性 Attributes		
石羊河流域社区恢复力 Community resilience in Shiyang River Basin	生态恢复力	资源环境	水质状况	区域内水质状况(值为 1—5 区间表示,值越高水质状况越好)	0.020	+		
			湿度指数	反映区域内土壤及植被湿度状况	0.048	+		
			土地荒漠化指数	区域内土地荒漠化程度(值为 1—5 区间表示,值越低土地荒漠化程度越重)	0.029	+		
		景观格局	地形起伏度	区域内地形起伏状况(值为 1—5 区间表示,值越低地形起伏度越小)	0.017	-		
			植被指数	反映区域内生态保持和建设能力(值为 0—1 区间表示,值越高地表植被生长状态越好)	0.033	+		
			景观连通度	反映景观不同斑块类型的聚集程度以及延展趋势(值越小景观破碎化程度越高)	0.028	+		
			景观优势度	表示区域中景观最大斑块占总面积比重,反映景观抗干扰能力(值越大景观最大斑块影响越强)	0.037	+		
			经济恢复力	农业生产	耕地产出率	区域内户均种植业总收入/户均耕地面积/(元/m <sup>2</sup> )	0.083	+
					种植多样性	计算公式为 $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ ,其中, $H'$ 代表种植多样性, $s$ 代表农业作物种植的种类, $P_i$ 代表第 <i>i</i> 种农业作物种植面积在农业作物总种植面积中所占比例	0.025	+
	社会恢复力	人文环境	养殖多样性	计算公式为 $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ ,其中, $H'$ 代表养殖多样性, $s$ 代表养殖种类, $P_i$ 代表第 <i>i</i> 种养殖牲畜在养殖总牲畜中所占比例	0.122	+		
			节水经验	区域内采用节水措施种类的多样性(占所列选项的比例)	0.031	+		
			经济水平	劳动生产率	区域内人均年收入/元	0.102	+	
				资金储备	区域内户均年收支结余/元	0.041	+	

续表

目标层 Target layers	维度层 Dimension layers	指示层 Indicator layers	指标层 Index layers	指标含义及单位 Index specification and quantification standard	权重 Weight	属性 Attributes
			收入多样性	计算公式为 $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ , 其中, $H'$ 代表收入多样性, $s$ 代表家庭收入来源的种类, $P_i$ 代表第 $i$ 种收入在家庭总收入中所占比例	0.012	+
			非农收入占比	区域内户均非农业年收入/户均经济年收入/元	0.030	+
			金融网络	区域内获得金融支持种类的多样性(占所列选项的比例)	0.019	+
	社会恢复力	人口特征	抚养比	区域内非劳动人口数/户均劳动人口数/人	0.008	-
			集体记忆	区域内户均外出人口/户均总人口/人	0.017	-
		人文环境	社会网络	区域内获得社会支持种类的多样性(占所列选项的比例)	0.064	+
			邻里关系	区域内邻里冲突情况(五值化表示, 1=很多, 0.75=较多, 0.5=一般, 0.25=较少, 0=基本没有)	0.027	-
			社区学习	区域内农业生产及外出务工经验交流情况(五值化表示, 1=很多, 0.75=较多, 0.5=一般, 0.25=较少, 0=基本没有)	0.022	+
			社区参与	区域内村民参加集体会议情况(五值化表示, 1=很多, 0.75=较多, 0.5=一般, 0.25=较少, 0=基本没有)	0.014	+
			应灾能力	区域内村民与政府应对自然灾害能力, 由村民应灾能力与村镇政府应灾能力均值综合表征(五值化表示, 1=好, 0.75=较好, 0.5=一般, 0.25=较差, 0=差)	0.029	+
		基础设施	交通便捷度	区域内距县城平均时间距离/时	0.003	-
			教育可达度	区域内距最近教育设施(小学及初中)平均时间距离/时	0.004	-
			用水设施	区域内生活用水来源(0=地下水; 1=自来水)	0.135	+

属性为+表示该指标对恢复力起到正向作用,反之,属性为-表示该指标对恢复力起到负向作用

生态恢复力反映社区生态可持续发展及避免恶化的能力,通过流域内资源环境及景观格局表征。资源环境禀赋为生态系统可持续能力及应对外来扰动能力的重要体现,水资源环境可通过水质状况<sup>[22]</sup>与湿度指数<sup>[23]</sup>反映,同时植被指数<sup>[24]</sup>、土地荒漠化程度<sup>[22]</sup>及地形起伏度<sup>[7]</sup>可反映植被及土壤环境。而景观格局作为生态环境的直接表征,景观连接度与优势度<sup>[25]</sup>与生态恢复力密切相关。

经济恢复力反映社区生产应对外在变化及经济发展的能力,与农业生产、经济结构密切相关。作为传统农区之一,农业是支撑石羊河流域社区经济发展的基础产业,其农业生产能力及生产结构可通过耕地产出率及种植、养殖多样性<sup>[6]</sup>反映,同时在石羊河流域干旱及生态治理背景下,节水经验<sup>[6]</sup>可反映农业生产适应能力。而劳动生产率<sup>[9,26]</sup>、资金储备<sup>[22]</sup>、非农收入占比、收入多样性<sup>[8]</sup>及金融网络<sup>[27]</sup>是表征农户经济水平差异的关键因素,与社区经济发展潜力密切相关。

社会恢复力反映社区人口规避风险及社会连通与可持续建设的能力,可通过人口特征、人文环境及基础设施表达。其中,社区抚养比<sup>[22]</sup>与外出人口<sup>[12]</sup>可反映群体特质及应对能力;社会人文环境可持续能力可通过社会网络<sup>[9,28]</sup>、邻里关系<sup>[6]</sup>、社区学习<sup>[10]</sup>、社区参与<sup>[8]</sup>及应灾能力反映;而基于居民感知获取的交通便捷度<sup>[27]</sup>、教育可达度及用水设施可反映社会基础设施建设状况及应险能力。

### 2.2.2 社区恢复力测度及变异系数

指标构建完成后采用极差标准化方法统一数据量纲。而后将指标标准化值作为变量,采用改进后的全局熵值法<sup>[29-30]</sup>进行权重赋值,其计算过程中加入时间变量,根据各个指标的信息熵,客观的确定指标权重,在一定程度上避免了人为的主观影响,权重结果如表1,具体计算方法如下。

$$S_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^m X'_{ij}$$

$$E_j = \left( -\frac{1}{\ln(mt)} \right) \times \sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^m S_{ij} \ln S_{ij}$$

$$W_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^n (1 - E_j)$$

式中,  $X'_{ij}$  表示第  $i$  个乡镇第  $j$  项指标的标准化值;  $S_{ij}$  表示第  $t$  年第  $i$  个乡镇指标值在第  $j$  项指标下所占比重;  $E_j$  表示第  $j$  项指标的熵值;  $W_j$  表示第  $j$  项指标的权重。

进而利用综合指数法计算得出社区恢复力指数,具体计算公式如下:

$$R_i = \sum_{j=1}^n W_j X'_{ij}$$

式中,  $R_i$  为社区恢复力指数;  $W_j$  表示第  $j$  项指标的权重;  $X'_{ij}$  表示第  $i$  个乡镇第  $j$  项指标的标准化值。

并使用变异系数测度石羊河流域社区恢复力区域间差异及变化,具体公式如下:

$$CV = \frac{1}{\bar{R}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (R_i - \bar{R})^2}{m - 1}}$$

式中,  $CV$  表示变异系数;  $\bar{R}$  为各乡镇恢复力平均值;  $m$  为乡镇数量;  $R_i$  为各乡镇恢复力指数。

### 2.2.3 社区恢复力内部影响因子识别

社区恢复力内部组成因子的结构变化影响社区恢复力演化。本文引入障碍度模型<sup>[31-32]</sup>测度社区恢复力各维度障碍度及变化,同时从高到低选取石羊河流域社区恢复力障碍度排名前八的关键障碍因子,探究社区恢复力内部关键影响因子及其变化。计算公式为:

$$O_j = \frac{D_{ij} \times W_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_{ij} \times W_{ij}} \times 100\%$$

$$D_{ij} = 1 - X'_{ij}$$

式中,  $O_j$  为障碍度,  $D_{ij}$  为指标偏离度,  $X'_{ij}$  为指标标准化值,  $W_{ij}$  为因子贡献度,使用指标权重表示。

### 2.2.4 生态治理表征指标及外部影响分析

石羊河流域生态治理政策主要集中于生态建设与保护、节水产业引导与扶持、水资源管控与配置三方面(表2)。退耕还林及关井压田工程于21世纪初开始在石羊河流域下游民勤湖区实施,推动流域生态建设与保护;同时期实施的设施农业及农业技术培训引导与扶持农民发展节水产业,推动流域节水经济建设;高额水资源费用管控干旱区水资源的使用;2007年后,石羊河流域综合治理开始实施生态、生活、生产水资源分配,影响流域人地系统演化。

表2 石羊河流域生态治理工程指标体系

Table 2 The Indicator system of ecological governance in Shiyang River Basin

目标层 Target layers	指示层 Indicator layers	指标层 Index layers	指标含义及单位 Index specification and quantification standards
生态治理工程要素 Ecological governance	生态建设与保护	退耕还林面积	区域内退耕还林面积/m <sup>2</sup>
		关井压田面积	区域内关井压田面积/m <sup>2</sup>
	节水产业引导与扶持	设施农业规模	区域内设施农业用地面积/m <sup>2</sup>
		农业技术培训	区域内农业技术培训开展次数及利用情况综合表征/次
		生态水资源量	区域内基本生态用水定额/m <sup>3</sup>
	水资源管控与配置	生活水资源量	区域内居民生活及牲畜饮水定额/m <sup>3</sup>
		生产水资源量	区域内农业灌溉用水定额/m <sup>3</sup>
		水资源费用	区域内水资源费支出/元

流域生态治理要素对社区恢复力并非单独发挥影响作用,其存在复杂的组合路径。本研究引入 fsQCA 方法,在参考现有研究及 Ragin 做法<sup>[33-34]</sup>的基础上,利用 fsQCA 3.0 软件,将条件变量和结果变量依据隶属度校准为 0—1 之间的数据<sup>[35]</sup>,通过布尔最小化进行单变量必要检验及条件组合分析,分析结果以一致性和覆盖率作为判断依据。其中,单变量充分及必要性检验是条件组合分析的前提,若单变量一致性大于 0.9,则认为该指标是结果的必要条件,可独立解释因果关系。进而在原始一致性 0.8 的阈值基础上,获得组态分析的复杂解、中间解和简单解,并以简单解辅之中间解对比识别影响社区恢复力的核心及边缘条件,核心条件表示该条件与社区恢复力存在极强因果关系,边缘条件则为因果关系较弱的条件。其中一致性及覆盖率参数解释如下:

#### (1) 一致性

一致性反映单个解释变量或多个变量组合与结果变量的一致性程度,即判断条件变量间因果关系的显著性,一致性数值越接近 1 解释度越强<sup>[35]</sup>。计算公式如下:

$$\text{Consistency}(X_i \leq Y_i) = \frac{\sum \text{Min}(X_i, Y_i)}{\sum X_i}$$

式中,  $X_i$  为条件变量组合中的隶属分数;  $Y_i$  为结果变量中的隶属分数;其取值范围为(0, 1)。

#### (2) 覆盖率

覆盖率反映变量或多变量组合对于因果路径的解释能力,其数值越高,因果解释力越好<sup>[35]</sup>。

$$\text{Coverage}(X_i \leq Y_i) = \frac{\sum \text{Min}(X_i, Y_i)}{\sum Y_i}$$

式中,  $X_i$ 、 $Y_i$  的含义同上,其取值范围为(0, 1)。

### 2.3 数据来源与处理

生态恢复力数据主要依据遥感空间数据计算。其中 Landsat TM\OLI 影像源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>) 中 2000、2010、2020 年生长期内(7—9 月)的无云或少云影像,进而利用 ENVI 5.3.1 软件进行遥感影像预处理后进行湿度指数提取;土地利用覆盖数据源于中国科学院资源与环境中心 (<http://www.resdc.cn>),在原始数据重分类为耕地、林地、草地、建设用地、水域、滩涂与未利用地七大类型的基础上,利用 Fragstats 4.2 软件计算景观格局指数;植被指数数据源于中国科学院资源与环境中心的中国长时间序列植被指数(NDVI)数据集;地形起伏度由美国航空航天局(NASA)网站中数字高程模型(DEM)数据计算得出,并按小于 15m、15—30m、30—60m、60—90m 及大于 90m 重分类为 5 类;土地荒漠化数据来源于魏伟等相关研究<sup>[36]</sup>。以上遥感空间数据计算得出后降尺度到各个乡镇进行后续计算。其余数据均来源于课题组 2021 年 9 月 14 日—24 日的实地问卷调查数据,数据内容包括:①人口、劳动力及经济收支情况等;②耕地亩数、种植结构、设施农牧业情况及水质状况等;③家庭固定资产量、牲畜资本量等;④金融支持类型及借贷机会等;⑤邻里冲突、经验交流、社区支持类型、社区参与及应灾能力等。样本调研点综合运用系统抽样和分层抽样方法进行选取,于上、中、下游分别发放 35、140、120 份问卷,共计 295 份,其中有效问卷 292 份,问卷有效率达到 98.98%。而后利用 SPSS 24.0 软件进行信度及效度检验,克隆巴哈系数值(Cronbach's Alpha)值为 0.676,抽样适合性检验值(KMO)取样適切性量数为 0.672,巴特利特球形检验结果 sig=0.000,表明问卷整体设计合理。此外,生态治理中水资源管控数据来源于各县区统计局获取的社会经济统计数据及各县区水务局获取的水资源分配方案。

## 3 结果与分析

### 3.1 石羊河流域社区恢复力时空演变特征

石羊河流域生态恢复力呈缓慢上升趋势,区域差异性较大但不断减小,2000—2020 年三个时期(图 3)平

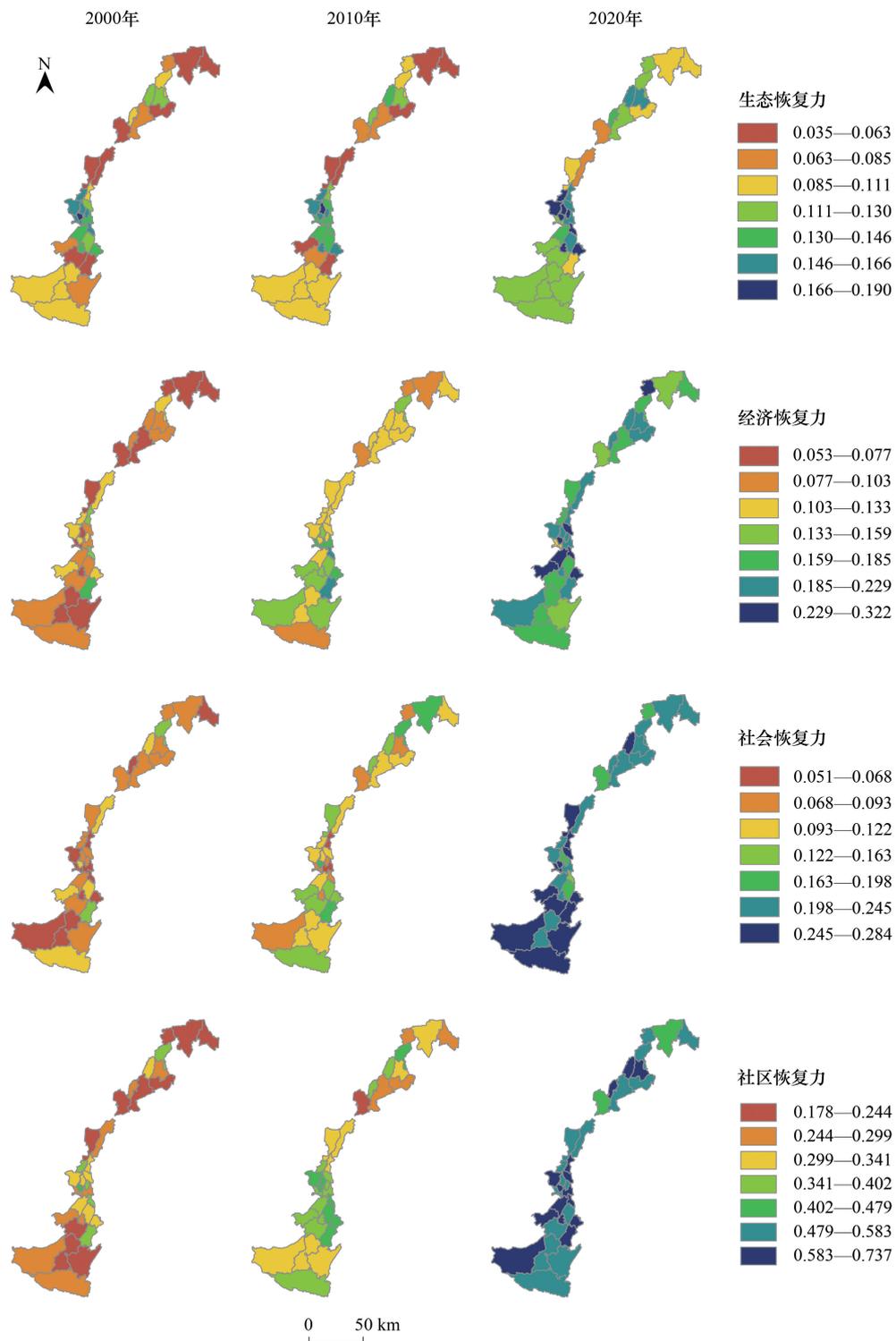


图3 石羊河流域 2000—2020 年间社区恢复力及其子维度时空演变

Fig.3 Spatial and temporal changes of community resilience and subdimensions in Shiyang River Basin from 2000 to 2020

均值分别为 0.10、0.11、0.14, 变异系数分别为 0.41、0.34、0.23。空间上生态恢复力集聚度高且优势性强, 三时期空间格局均呈现为凉州区平原及民勤绿洲中心高而祁连山地与民勤绿洲两端低。凉州区平原及民勤县绿洲中心地形平坦且水生资源丰富, 生态条件良好, 两地生态恢复力显著优越于其他地区; 而天祝县祁连山区地

形起伏度较大,民勤县北端水质矿化度高且荒漠化严重,南端接近沙漠边缘,生态环境较差,三区域生态恢复力较低。除凉州市中心周边乡镇受城市化扰动,植被退化及荒漠化加剧,生态恢复力降低之外,其余地区在生态治理影响下,生态恢复力均迅速提高。

经济恢复力呈现快速增长态势,区域间差异逐步减小,三个时期(图3)平均值分别为0.10、0.13、0.21,变异系数分别为0.33、0.21、0.21。空间上经济恢复力异质性较大且随时间演变复杂。凉州市中心周边乡镇耕地集约化水平较高且收入来源多样,经济恢复力整体上始终保持高值;祁连山区耕地利用单一且农业经济基础薄弱,经济恢复力较低,2010年以来,当地养殖产业的发展带动经济收入增加,经济恢复力提升明显,与凉州地区共同形成高经济恢复力地带;民勤县中部及南部种植养殖多样性高且节水措施丰富,经济恢复力保持次高中心且近年来缓慢提升;而民勤县北部生态条件较差,受风沙等自然灾害影响耕地产出较低,大多乡镇经济恢复力处于同时期低值区。

社会恢复力前期缓慢增长,后期提升迅速且区域差异迅速减小,三个时期(图3)平均值分别为0.08、0.12、0.23,变异系数分别为0.31、0.32、0.13。空间上社会恢复力存在异质性现象,2000年天祝县祁连山区交通落后,基础设施条件较差,社会恢复力极低,近年来在基础设施建设及政策支持影响下,哈溪及大红沟镇社会恢复力迅速提升,2020年形成高社会恢复力区;凉州区作为流域经济中心,基础设施条件较好,社会恢复力呈现缓慢增长趋势;下游民勤县生态环境恶劣,耕地压缩,人口大量外流,社会恢复力较低,近年来社会恢复力以大滩及泉山镇为首迅速提升,并于2020年形成次高值聚集区。

社区恢复力近年来快速增长,呈现指数上升趋势,区域差异不断缩小,三个时期(图3)平均值分别为0.28、0.36、0.58,变异系数分别为0.23、0.15、0.11。空间上社区恢复力时空格局异质性明显,生态治理前期社区恢复力受生态资源禀赋及产业经济基础影响较强,空间格局与生态及经济恢复力较为相似,呈现凉州区平原及民勤绿洲中心高而天祝祁连山区与民勤绿洲两端低的格局,且集聚现象较强。在生态恢复及经济发展带动下,天祝祁连山区及民勤北部社区恢复力迅速提升,2020年除民勤南部薛百镇及北部西渠镇因生态环境较差社区恢复力发展动力不足外,其余地区均发生大幅提升,社区恢复力区域差异缩小,集聚现象减弱。

### 3.2 石羊河流域社区恢复力内部影响因素

石羊河流域社区恢复力影响因素维度层面差异较大且生态治理前后异质性较强(图4)。经济维度对于流域社区恢复力起主导影响作用,障碍度始终占半数以上并逐渐加强;社会维度影响次之,近年来各项基础设施迅速发展、人文环境改善,其障碍度降低;生态维度影响最弱,近年来在生态治理影响下流域生态环境改善,障碍度变化趋势不大。

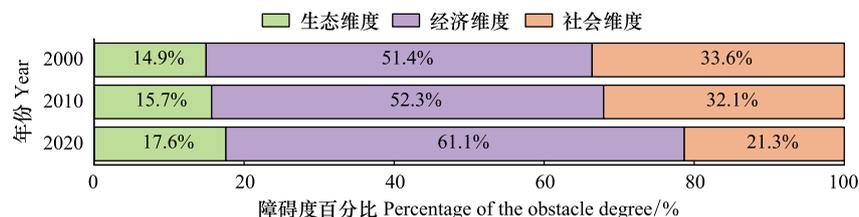


图4 石羊河流域 2000—2020 年社区恢复力维度障碍度

Fig.4 The obstacle degree in each dimension for community resilience in Shiyang River Basin from 2000 to 2020

社区恢复力关键影响因素在生态治理前后差异性较大(图5)。生态治理前期及初期(2000—2010年),社区恢复力关键障碍影响因子趋同。由于社会经济发展水平较低,用水设施对乡村社区的制约作用极强;同时乡村社区经济受劳动力及农业发展制约较强,劳动生产率、养殖结构与耕地产出率障碍度极高;低生产效率背景下,社区居民资金储备及社会网络也有限;此外,石羊河流域中下游水资源匮乏,土壤/植被湿度状况制约作用较强;粗放生产背景下,农民节水意识不强,节水经验对于流域社区恢复力具有障碍作用。2020年在流域生态治理及基础设施建设完善背景下,用水设施对流域社区恢复力的障碍影响作用削弱,其障碍度显著下

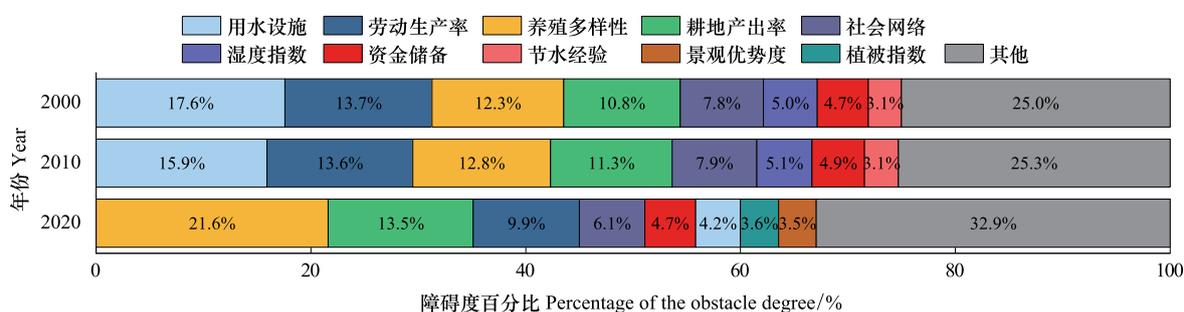


图 5 石羊河流域 2000—2020 年社区恢复力关键障碍因子及障碍度

Fig.5 The obstacle degree of main factors for community resilience in Shiyang River Basin from 2000 to 2020

降;而农牧业易受市场波动影响,调查中,农户反映暖棚养殖效应下降,而特色林果业市场效益较差,养殖结构及耕地产出率对社区恢复力的障碍影响增加;相反,多渠道农民就业政策扶持与机械化生产快速发展影响下,劳动生产率、社会网络及资金储备障碍度发生下降,对社区恢复力提升起到重要作用;同时在生态保护及节水政策影响下,土壤/植被湿度状况发生改善,影响下降;但城镇化快速发展背景下,土地利用强度加大,景观格局与植被环境的风险影响明显增强。

### 3.3 生态治理工程对石羊河流域社区恢复力的外部影响作用

#### 3.3.1 单因素影响作用

单项生态治理要素影响中(表 3),三个时期的非高退耕还林、非高关井压田均构成社区恢复力的必要条件,一致性分别为 0.99 与 0.98、0.98 与 0.92 以及 0.90 与 0.92,表明退耕还林、关井压田在三个时期对社区恢复力均呈负向影响。实地调研及访谈中得知,石羊河流域退耕还林工程主要集中于下游地区,2007 年后其主要退还为种植大枣及枸杞的特色林果业,其虽对生态环境修复具有积极作用,但因不适当当地自然条件,林果

表 3 单生态治理要素的充分及必要性检验

Table 3 The consistency and coverage rate of individual factor

前因条件 Condition variables	2000 年		2010 年		2020 年	
	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度	一致性	覆盖度
	Consistency	Coverage	Consistency	Coverage	Consistency	Coverage
退耕还林 Converting farmland to forest	0.01	0.06	0.05	0.16	0.23	0.36
退耕还林* Converting farmland to forest*	0.99	0.54	0.98	0.54	0.90	0.58
关井压田 Closing wells and suppressing farmland	0.04	0.15	0.15	0.34	0.13	0.30
关井压田* Closing wells and suppressing farmland*	0.98	0.55	0.92	0.54	0.92	0.53
设施农牧业 Facility farming and animal husbandry	0.14	0.64	0.59	0.74	0.67	0.67
设施农牧业* Facility farming and animal husbandry*	0.88	0.48	0.69	0.51	0.61	0.51
农业技术培训 Agricultural technical training	0.07	0.40	0.27	0.50	0.60	0.60
农业技术培训* Agricultural technical training*	0.94	0.50	0.80	0.50	0.63	0.53
水资源费用 Water resources cost	0.59	0.61	0.57	0.55	0.51	0.51
水资源费用* Water resources cost*	0.61	0.56	0.68	0.61	0.78	0.64
生态水资源分配量 Ecological water resources allocation			0.61	0.59	0.48	0.53
生态水资源分配量*			0.69	0.62	0.83	0.64
生产水资源分配量 Production water resources allocation			0.57	0.59	0.63	0.59
生产水资源分配量*			0.74	0.62	0.73	0.65
生活水资源分配量 Domestic water resources allocation			0.66	0.66	0.65	0.66
生活水资源分配量*			0.67	0.58	0.66	0.54

\* 表示逻辑非;水资源分配于 2007 年综合治理后开始实施

产量及品质较差,且受市场波动影响,收益极低。而关井压田大面积压缩农户耕地,迫使失地农户寻求其他生计方式,限制当地农户生计可持续性并制约社区恢复力提升。同时,2000 年非高农业技术培训与社区恢复力一致性达到 0.94,表明早期低效且不符合当地实际情况的农业技术培训(以农药化肥推销为主)对社区恢复力起到制约作用。2010 年后,在现代农业技术引入背景下,其一致性发生降低,制约作用消失。而其余单项生态治理要素均未构成社区恢复力的必要条件,因此进一步进行组态分析揭示多重生态治理要素的组合影响作用。

### 3.3.2 多因素组态影响路径

根据 fsQCA 分析的组态结果可知(表 4),三时期总体解的一致性 > 0.8 的最低门槛值,均能够有效解释社区恢复力的影响因素。2000 年生态治理在生态环境恶化背景下初步实施,其对社区恢复力仅存在农业结构调整及资源调控 1 条影响路径(T1H1)。此路径下,政府扶持社区节水设施农牧业发展,加之高额水资源费用限制耗水农业发展,虽促进当地农户生计及节水能力提高,提升社区恢复力,但解释力较弱,解的覆盖度仅为 0.08,即社区恢复力所有影响因素中仅有 8% 包含在该组态,表明 2000 年前后以生态保护为核心的治理措施对社区恢复力的整体提升作用并不显著。

表 4 生态治理要素的组态结果  
Table 4 The combination results of multiple factors

前因条件 Condition variables	2000 年			2010 年			2020 年				
	T1H1	T2H1	T2H2	T2H3	T2H4	T2H5	T3H1	T3H2	T3H3	T3H4	T3H5
退耕还林 Converting farmland to forest	☐	⊗	☐	☐	☐	☐	☐	⊗	☐		⊗
关井压田 Closing wells and suppressing farmland	☐	⊗	⊗	☐	⊗		☐	☐	☐	☐	
设施农牧业 Facility farming and animal husbandry	●	●		☐	☐		●	●	⊗	⊗	●
农业技术培训 Agricultural technical training	☐		☐	☐	☐	■		●	⊗	⊗	●
水资源费用 Water resources cost	●	☐	●	●	●	●	☐		☐	■	■
生态水资源分配量 Ecological water resources allocation	○	⊗	■	●	☐	●	☐	☐	⊗	⊗	■
生产水资源分配量 Production water resources allocation	○	⊗	■	☐	☐	■	⊗	⊗	●	●	⊗
生活水资源分配量 Domestic water resources allocation	○		●	⊗	●	⊗	●	☐	■	☐	☐
原始覆盖度 Raw coverage	0.08	0.45	0.32	0.21	0.20	0.13	0.36	0.31	0.29	0.23	0.16
唯一覆盖度 Unique coverage	0.08	0.27	0.14	0.04	0.03	0.04	0.07	0.05	0.07	0.06	0.04
一致性 Consistency	1.00	0.90	0.88	0.87	0.90	1.00	0.99	0.94	0.85	0.92	0.95
解的覆盖度 Solution coverage	0.08	0.74					0.63				
解的一致性 Solution consistency	1.00	0.89					0.90				

T1、T2、T3 分别表示 2000、2010、2020 年;H1—H5 表示组态影响路径;●表示该条件作为核心条件存在,■表示该条件作为边缘条件存在,⊗表示该条件作为核心条件丢失,☐表示该条件作为边缘条件丢失,空表示该条件可有可无,○表示该条件当年不存在

2007 年石羊河流域综合生态治理实施后,生态治理影响路径及解释度均发生增加,2010 与 2020 年生态治理分别存在 5 条影响路径(组态 T2H1—T2H5 及组态 T3H1—T3H5),分别能解释影响社区恢复力 74% 及 63% 的原因。其中,2010 年组态结果表现为农业结构调整路径、生活水资源主导调控路径、生态水资源主导调控路径。农业结构调整路径中(T2H1),政府引导节水设施农牧业发展,提升居民生计及节水能力,推动社区恢复力提升,路径覆盖度达到 45%,且有 27% 的案例仅能被此路径解释,表明综合治理实施后发展的设施

农牧业对社区恢复力提升作用显著;生活水资源主导调控路径中(T2H2、T2H4),在生活用水配置及高额水资源费影响下,居民在满足基本生活用水的同时节水理念不断加强,社区恢复力发生提升,在生态及生产用水配置辅助下(T2H2),路径覆盖度达到32%,而其辅助缺失情况(T2H4)路径覆盖度为20%,表明乡村生态、生产、生活各方面水资源配置优化,才能有效促进社区恢复力提升;生态水资源主导调控路径中(T2H3、T2H5),生态用水配置及高额水资源费促使流域生态供水量增加,生态水源涵养能力迅速提高,促进社区生态恢复力提升,无辅助状态下(T2H3),其路径覆盖度达到21%,而在生产用水配置及农业技术培训辅助下(T2H5),虽有助于居民经济水平提升,但农业生产用水配置挤占生态用水,其对社区恢复力提升作用有限,路径覆盖度为13%。

2020年综合生态治理进入末期,组态结果表现为农业结构调整及资源配置路径、农业结构调整及技术支持路径、生产水资源主导配置路径。农业结构调整及资源配置路径中(T3H1),设施农牧业及生活用水配置引导节水经济发展的同时保障居民生活,拉动居民经济水平提升,促进社区恢复力提升,路径覆盖度达到36%;农业结构调整及技术支持路径下(T3H2、T3H5),农业技术培训在现代农业技术引入及农业种植、灾害防治技术不断完善的背景下,开始发挥正向作用,与设施农牧业共同促进社区恢复力提升,无辅助条件下(T3H2),其路径覆盖度达到31%,而在生态水资源调配及水资源费约束辅助下(T3H5),虽有利于生态环境修复,但由于农业投入的水资源费成本增加,其促进作用有限,路径覆盖度仅为16%,表明社区恢复力提升需在保证生态用水的前提下优化水资源费用和配给;生产水资源配给量直接制约干旱区流域农业生产,生产水资源主导配置路径中(T3H3、T3H4),生产水资源配置促进社区农业收入增加,社区经济恢复力发生提升,在生活水资源辅助下(T3H3),居民生产生活可持续能力均发生提高,路径覆盖度达到29%,而水资源费辅助下(T3H4),高额水资源费用虽促使居民节约用水,促进生态环境修复,但其增加居民生计发展成本,对社区恢复力提升作用有限,路径覆盖度为23%。

总的来说,生态治理因素的组态影响路径中,农业结构调整对社区恢复力起到主导影响,在三个时期均发挥重要作用;水资源调控及配置在治理前期对社区恢复力影响较强,后期影响发生削弱;而农业技术培训后期影响作用发生强化。

### 3.4 生态治理背景下石羊河流域社区恢复力影响机制

综合生态治理前(2000年),仅以生态保护为核心的外部生态治理对社区恢复力提升的影响极弱,在社会基础设施相对匮乏及传统粗放式经济背景下,石羊河流域社区恢复力受内部用水设施条件、劳动生产率及养殖结构影响较强。综合生态治理实施初期(2010年),外部生态治理从多条路径影响社区恢复力,其中设施农牧业主导的农业结构调整路径具有较强影响,社区内生条件虽发生较小量变,但并未出现影响社区恢复力的质变。生态治理实施后期(2020年),外部生态治理仍存在多条组合路径并发挥重要影响,设施农牧业与生活水资源分配主导的农业结构调整及资源配置路径对社区恢复力影响较强,同时,随着社会经济发展和交通、教育等基础设施完善,居民生计方式不断多元化,石羊河流域社区恢复力发生明显增长,内生要素发生明显改变,用水设施条件、劳动生产率、社会支持及资金储备对流域社区恢复力的障碍影响削弱,而养殖结构及耕地产出率制约作用增强,同时在城镇化快速发展背景下,植被环境及景观格局的风险影响明显增强(图6)。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论与启示

社区恢复力研究在国内起步不久,现有研究<sup>[7-11]</sup>虽关注社区恢复力测度及影响因素识别,但缺乏统一的评估方法、模型和框架,且对内外部影响因素研究关注不足。本文在分析内陆河流域社区恢复力演变的基础上,从内外部视角揭示内陆河流域社区恢复力演变影响机制。相较于单纯考量内陆河流域社区恢复力的内部关键影响因素,或将生态治理政策视为外部扰动,文章聚焦于社区恢复力内外部影响因素的综合研究,这对于内陆河流域乡村社区恢复力建设的政策启示更具全面性,也可为社区恢复力的整合研究提供思路借鉴。但本

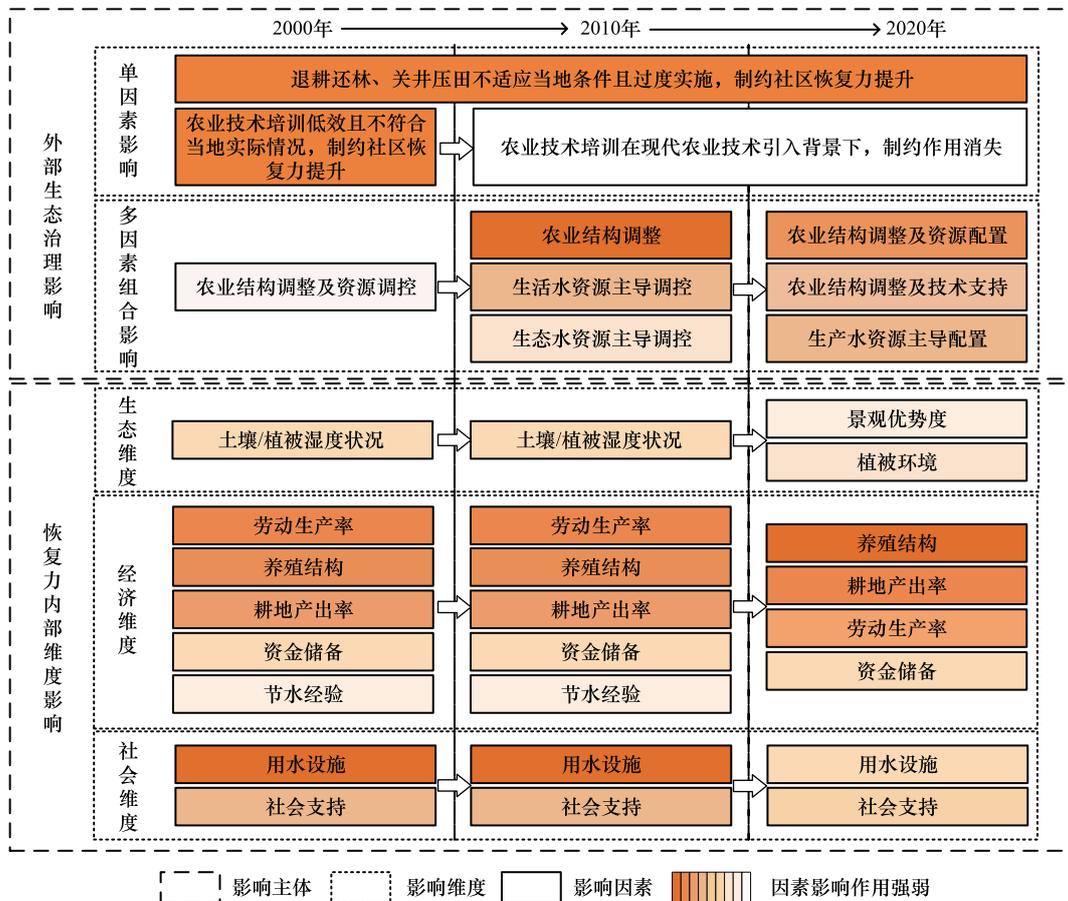


图 6 石羊河流域社区恢复力影响机制

Fig.6 The influencing mechanism of community resilience in Shiyang River Basin

文对外部生态治理要素如何作用于社区恢复力内部因素,如何影响社区恢复力适应性演化关注不足,外部生态治理要素的影响机理仍值得进一步探索;此外,本文构建的社区恢复力指标体系虽在一定程度上量化了社区应对风险变化的调整和适应能力,但还需继续深化,例如本文借鉴已有研究<sup>[9,23,27]</sup>,以劳动生产率、资金储备等指标表征农户经济水平及能力,但研究时期涉及 2000、2010、2020 三个时期,在此期间乡镇社区经济社会环境及货币购买力发生了较大改变,下一步将考虑价格因素及技术水平等的影响,对其可比性做进一步科学处理,同时,由于水质状况数据难以全面获取且度量方式不一,考虑水资源利用对水质状况的理解更符合实际,且实地调查感知数据与已有水质状况数据的验证具有较大相似性,本文利用调查赋值数据反映水质状况变化,但可能存在一定的局限性,今后将结合客观测量数据做出进一步完善;此外,内陆河流域上中下游地理差异明显,生态治理要素实施差异性较强,文章仅关注整个石羊河流域社区恢复力影响机制,对流域上中下游社区恢复力影响机制的地域空间差异性探讨不足,这也是后续研究需深入探讨的方向。

本文研究结果表明生态治理对石羊河流域社区恢复力提升作用明显,但不同生态治理要素影响作用方式存在显著差异性,这为案例区未来社区恢复力建设提供了重要启示:(1)生态治理与保护措施制约社区恢复力提升,未来应立足于当地生境状况,合理且适度地进行生态治理与保护;(2)农业技术培训在现代农业技术引入背景下,负向作用发生减弱,且在设施农业组合中逐渐发挥正向作用,因此,现代农业种植结构调整应适应当地生态和水资源条件,以高效益节水农业为导向实施相关农业技术培训;(3)水资源费用及生态水资源配置提升流域生态水源涵养能力,在多条影响路径中发挥正向影响,但其路径覆盖度较低,需注重下游绿洲生态脆弱地区水资源结构的调控优化;(4)设施农牧业及生产、生活水资源配置有利于节水农业经济发展,提升

居民生计及社区经济发展能力,在多条影响路径中发挥正向作用,表明在生态治理中,不能一味压缩耕地及生产生活用水,应当兼顾农户经济利益,优化调整农业结构和水资源收费制度,完善基础设施,注重农牧业收益及农户收入的提高,才能稳步推进社区恢复力提升。

## 4.2 结论

(1)生态治理背景下石羊河流域社区恢复力时空异质性明显,且增长迅速。其中生态维度空间格局集聚度高且优势性强,但增长缓慢;经济维度及社会维度时空异质性大,且增长迅速。

(2)石羊河流域社区恢复力内部影响因素中,经济维度具有主导影响;社会维度影响减弱;而生态维度影响最小且变化趋势不大。社区恢复力关键影响因子在生态治理前期及初期较为趋同,用水设施、劳动生产率、养殖结构与耕地产出率、居民资金储备及社会网络、土壤/植被湿度状况及节水经验具有重要影响。近年来,用水设施、劳动生产率、社会网络及资金储备影响下降,而养殖结构与耕地产出率对社区恢复力的障碍影响增加,同时景观优势度及植被环境相较于土壤/植被湿度状况风险影响增强。

(3)石羊河流域外部生态治理影响中,单项生态治理要素对社区恢复力的负向影响较强。其中,退耕还林、关井压田三个时期对社区恢复力均呈负向影响;而农业技术培训早期制约社区恢复力提升,后期制约作用消失。多重生态治理要素组合影响具有较强时间演化特征,2000 年仅存在农业结构调整及资源调控 1 条影响路径;综合生态治理实施后,2010 年组态结果表现为农业结构调整路径、生活水资源主导调控路径、生态水资源主导调控路径;2020 年综合生态治理进入末期,组态结果表现为农业结构调整及资源配置路径、农业结构调整及技术支持路径、生产水资源主导配置路径。

**致谢:**西北师范大学地理与环境科学学院魏伟老师为本文提供数据支持,武威市凉州区、民勤县和天祝县人民政府在调研过程及数据申请中给予帮助,特此致谢。

## 参考文献 (References):

- [ 1 ] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [ 2 ] Walker B H, Ludwig D, Holling C S, Peterman R M. Stability of semi-arid savanna grazing systems. *The Journal of Ecology*, 1981, 69(2): 473.
- [ 3 ] Walker B, Holling C S, Carpenter S R, Kinzig A P. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 2004, 9(2): art5.
- [ 4 ] Holling C S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 2001, 4(5): 390-405.
- [ 5 ] 孙晶, 王俊, 杨新军. 社会-生态系统恢复力研究综述. *生态学报*, 2007, 27(12): 5371-5381.
- [ 6 ] 马江浩, 陈佳, 杨新军, 张小文. 土地利用变化对干旱区乡村社会恢复力的影响——以民勤绿洲为例. *资源科学*, 2021, 43(8): 1615-1627.
- [ 7 ] 杨莹, 林琳, 钟志平, 欧莹莹, 徐茜, 蒙美昀, 郝珊. 基于应对公共健康危害的广州社区恢复力评价及空间分异. *地理学报*, 2019, 74(2): 266-284.
- [ 8 ] 何艳冰, 陈佳, 黄晓军. 西安城市边缘区失地农民社区恢复力测度与影响因素. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(3): 126-136.
- [ 9 ] 杨涛, 陈海, 刘迪, 张行, 史琴琴. 黄土丘陵沟壑区乡村社区恢复力时空演变及影响因素研究——以陕西省米脂县高渠乡为例. *地理科学进展*, 2021, 40(2): 245-256.
- [ 10 ] 王群, 陆林, 杨兴柱. 旅游地社区恢复力认知测度与影响因子分析——以千岛湖为例. *人文地理*, 2017, 32(5): 139-146.
- [ 11 ] Rapaport C, Hornik-Lurie T, Cohen O, Lahad M, Leykin D, Aharonson-Daniel L. The relationship between community type and community resilience. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2018, 31: 470-477.
- [ 12 ] 杨新军, 石育中, 王子侨. 道路建设对秦岭山区社会-生态系统的影响——一个社区恢复力的视角. *地理学报*, 2015, 70(8): 1313-1326.
- [ 13 ] Adger W N. Social and ecological resilience; are they related? *Progress in Human Geography*, 2000, 24(3): 347-364.
- [ 14 ] Wang S, Fu B J, Bodin Ö, Liu J G, Zhang M M, Li X Y. Alignment of social and ecological structures increased the ability of river management. *Science Bulletin*, 2019, 64(18): 1318-1324.
- [ 15 ] 胡广录, 赵文智, 刘鹤, 李守波. 内陆河小流域综合治理对景观格局的影响——以童子坝河流域为例. *中国沙漠*, 2010, 30(6): 1398-1404.
- [ 16 ] 刘民兰, 张富, 田青, 张彦平, 张慧. 水土保持治理措施对流域经济结构的影响. *水土保持通报*, 2015, 35(6): 218-222.

- [17] Ragin C C. The comparative method; moving beyond qualitative and quantitative strategies; with a new introduction.
- [18] Roig-Tierno N, Huarng K H, Ribeiro-Soriano D. Qualitative comparative analysis; crisp and fuzzy sets in business and management. *Journal of Business Research*, 2016, 69(4): 1261-1264.
- [19] 李凤琴, 谢花林, 周早弘. 基于定性比较分析法(QCA)的村域耕地撂荒影响因素分析. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(2): 241-253.
- [20] 张圆刚, 余向洋. 生活空间重构旅游者的乡村游憩影响因素与路径——一个模糊集的定性比较分析. *自然资源学报*, 2020, 35(7): 1633-1646.
- [21] 李传华, 赵军. 2000—2010年石羊河流域NPP时空变化及驱动因子. *生态学杂志*, 2013, 32(3): 712-718.
- [22] 陈佳. 干旱乡村人地系统演化的脆弱性—恢复力整合研究——以甘肃民勤县为例[D]. 西安: 西北大学, 2018.
- [23] 王丽春, 焦黎, 来凤兵, 张乃明. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价. *生态学报*, 2019, 39(8): 2963-2972.
- [24] 曹祺文, 张曦文, 马洪坤, 吴健生. 景观生态风险研究进展及基于生态系统服务的评价框架: ESRISK. *地理学报*, 2018, 73(5): 843-855.
- [25] 封建民, 郭玲霞, 李晓华. 基于景观格局的陕北资源富集区生态脆弱性评价——以陕西省神木县为例. *水土保持通报*, 2015, 35(4): 271-276.
- [26] 韩文维, 陈佳, 袁倩文, 杨新军. 恢复力视角下秦岭贫困山区乡村振兴潜力研究. *自然资源学报*, 2021, 36(10): 2571-2584.
- [27] 吴孔森, 杨晴青, 叶文丽, 杨新军, 何艳冰. 黄土高原农户生计恢复力及其生计建设路径——以陕北佳县为例. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(4): 24-30.
- [28] 叶文丽, 王银, 闵典, 杨新军. 生态脆弱区农户生计恢复力与多维贫困脱钩关系时空演变规律——以陕西省佳县为例. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(10): 7-15.
- [29] 李扬杰, 张莉. 基于全局熵值法的长江上游地区产业生态化水平动态评价. *生态经济*, 2021, 37(7): 44-48, 56.
- [30] 顾寒月, 王群, 杨万明. 旅游地适应性循环模型修正及实证研究——以大别山区金寨县为例. *旅游学刊*, 2020, 35(6): 125-134.
- [31] 鲁春阳, 文枫, 杨庆媛, 陈琳琳, 宗会明. 基于改进TOPSIS法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断——以重庆市为例. *资源科学*, 2011, 33(3): 535-541.
- [32] 叶文丽, 杨新军, 吴孔森, 王银. 黄土高原社会-生态系统恢复力时空变化特征与影响因素分析. *干旱区地理*, 2022, 45(3): 912-924.
- [33] Ragin C C. *Redesigning social inquiry: fuzzy sets and beyond*. Chicago: University of Chicago Press, 2008
- [34] Fiss P C. Building better causal theories; a fuzzy set approach to typologies in organization research. *Academy of Management Journal*, 2011, 54(2): 393-420.
- [35] Ragin C C. Set relations in social research; evaluating their consistency and coverage. *Political Analysis*, 2006, 14(3): 291-310.
- [36] 魏伟, 俞啸, 张梦真, 张娟, 袁涛, 刘春芳. 1995—2018年石羊河流域下游荒漠化动态变化. *应用生态学报*, 2021, 32(6): 2098-2106.