

DOI: 10.20103/j.stxb.202311282594

陈晓红, 谷岳, 潘玮, 王颖, 牟金明, 李悦. 基于抵御-吸收-更新的乡村韧性系统协调发展特征与动态响应机制——以黑龙江省为例. 生态学报, 2024, 44(16): 6976-6988.

Chen X H, Gu Y, Pan W, Wang Y, Mu J M, Li Y. The coordinated development characteristics and dynamic response mechanism of defense-absorption-renewal of rural resilience system in Heilongjiang Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(16): 6976-6988.

# 基于抵御-吸收-更新的乡村韧性系统协调发展特征与 动态响应机制

——以黑龙江省为例

陈晓红<sup>1,\*</sup>, 谷岳<sup>1</sup>, 潘玮<sup>2</sup>, 王颖<sup>1</sup>, 牟金明<sup>1</sup>, 李悦<sup>1</sup>

1 哈尔滨师范大学地理科学学院, 哈尔滨 150025

2 哈尔滨市城乡规划设计研究院, 哈尔滨 150010

**摘要:** 乡村韧性是乡村巨系统的基本属性, 构建基于韧性发生学的“抵御-吸收-更新”研究框架, 可以为乡村韧性系统持续协调发展研究提供新的研究视角。科学测度与审视黑龙江省乡村韧性“抵御-吸收-更新”三个子系统之间的耦合协调特征及其动态响应过程, 对于提升乡村系统应对外界复杂多重扰动的能力具有重要意义。基于黑龙江省 2005—2020 年的县域数据, 运用熵值法、耦合协调度模型、PVAR 模型等方法刻画了黑龙江省乡村韧性系统“抵御-吸收-更新能力”协调发展的时空格局与动态响应机制。结果表明: (1) 黑龙江省乡村韧性子系统“抵御-吸收-更新”的耦合协调水平整体较低, 大部分处于轻度失调、濒临失调与勉强协调的阶段。 (2) 耦合协调度高值区主要集中在地形平坦的松嫩平原及三江平原地区或靠近主城区经济较为发达的县域。 (3) 乡村韧性系统耦合协调度的提升是“抵御-吸收-更新”三个子系统共同作用的结果, 且贡献程度差异较大, 更新能力 > 抵御能力 > 吸收能力。 (4) 更新能力子系统的提升对乡村韧性系统耦合协调水平的响应最为显著, 是实现乡村韧性系统均衡发展的首要目标; 抵御能力与吸收能力子系统的影响程度较小, 是实现乡村韧性系统均衡发展的重要支撑。

**关键词:** 乡村韧性; 抵御-吸收-更新; 耦合协调; 动态响应; 黑龙江省

## The coordinated development characteristics and dynamic response mechanism of defense-absorption-renewal of rural resilience system in Heilongjiang Province, China

CHEN Xiaohong<sup>1,\*</sup>, GU Yue<sup>1</sup>, PAN Wei<sup>2</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, MU Jinming<sup>1</sup>, LI Yue<sup>1</sup>

1 College of Geography Science, Harbin Normal University, Harbin 150025, China

2 Harbin Urban and Rural Planning & Design Institute, Harbin 150010, China

**Abstract:** Rural resilience is one of the basic attributes of the rural giant system, and the construction of the research framework of "defense-absorption-renewal" based on resilience genesis can provide a new research perspective for the study of the sustainable and coordinated development of rural resilience system. Through scientific measurement and analysis, the coupling and coordination characteristics between the three subsystems of rural resilience defense-absorption-renewal in Heilongjiang Province and their dynamic response process are of great significance to enhance the ability of rural system to cope with the complex and multiple external perturbations. Based on the county data of Heilongjiang Province from 2005 to

**基金项目:** 黑龙江省自然科学基金项目 (JJ2023LH0720); 黑龙江省哲学社会科学规划项目 (21JLE323); 哈尔滨师范大学 2022 年社会服务能力提升项目 (1305123124)

**收稿日期:** 2023-11-28; **网络出版日期:** 2024-06-24

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenxh440@163.com

2020, the entropy value method, the coupled coordination degree model, and the PVAR model were used to characterize the spatial and temporal pattern and dynamic response process of the rural resilience system of "defense-absorption-renewal capacity" in Heilongjiang Province. The spatio-temporal pattern and dynamic response mechanism of the coordinated development of the rural resilience system in Heilongjiang Province are characterized by the entropy value method. The results of the study show that: (1) the coupling and coordination levels among the defense, absorption and renewal capacities of the subsystems of the rural resilience system in Heilongjiang Province as a whole show a low level. Most of the county units are in the stage of mildly imbalanced, on the verge of imbalanced, and barely coordinated. (2) The high value of coupling coordination is mainly concentrated in the flat topography of Songnen Plain and Sanjiang Plain. County units close to the main urban areas with more developed economies also show a high level of coupling coordination. (3) The increase in the coupling coordination level of the rural resilience system is the result of the joint action of the three subsystems of defense-absorption-renewal. The degree of contribution to the improvement of the coupling coordination level varies greatly among the subsystems, showing that the renewal capacity is the strongest, the defending capacity is the second strongest, and the absorbing capacity is the weakest. (4) The enhancement of the renewal capacity subsystem has the most significant response to the coupling coordination level of the rural resilience system, which is the primary goal of realizing the balanced development of the rural resilience system; the degree of influence of the defending capacity and absorptive capacity subsystems is smaller, which is an important support for realizing the balanced development of the rural resilience system.

**Key Words:** rural resilience system; defence-absorption-renewal; coupling coordination; dynamic response; Heilongjiang Province

随着全球化的不断深入,世界乡村发展过程中仍面临着各种地质灾害、全球气候变化、公共卫生安全等来自外界的突发事件干扰和乡村空心化、产业结构单一、生态环境破坏等系统自身问题的现实挑战,乡村衰败问题难以避免<sup>[1-2]</sup>。中国在快速城镇化背景下,2023年常住人口城镇化率已达到66.16%,仍有近4.8亿人为乡村人口。然而,由于乡村长期位于城乡发展中的次要地位,乡村发展起点低、短板多,发展动力严重不足。党的“十九大”首次提出城乡融合和乡村振兴战略,加快农业农村现代化,党的“二十大”报告中提出加快建设农业强国。在建设现代化强国的征程上,乡村具有战略性地位。“二十大”报告也提出“‘黑天鹅’、‘灰犀牛’等事件是发展中无法回避的挑战,要统筹发展和安全。”因此,提升乡村规避多重扰动冲击能力是协调乡村地区发展与安全、提高乡村活力以及全面推进乡村振兴的有力保障。

乡村韧性系统是将社会、经济、生态等各类要素耦合的典型异质空间,其演化特征由于复杂性与异质性成为地理学、生态学、管理学等学科关注的热点。乡村韧性概念明显不同于城市韧性,驱动因素各不相同<sup>[3]</sup>,包括抵抗、适应和转型的能力<sup>[4]</sup>。2007年,韧性概念被引入乡村研究领域,乡村韧性的研究得以发展。乡村韧性研究目前主要分为5个方面:①乡村韧性概念探究。乡村韧性概念从均衡韧性向演化韧性过渡<sup>[5]</sup>,相关研究多针对外界对单一系统的干扰,例如喀斯特荒漠地区草地生态系统脆弱性与韧性<sup>[6]</sup>;演化韧性则突出乡村韧性系统发展过程,注重乡村系统的系统交互与要素流动<sup>[7]</sup>,总结为包含抵御、适应、转型的三方面能力<sup>[8]</sup>,与脆弱性<sup>[9]</sup>、复原力概念相似。②乡村韧性理论框架构建。理论框架可大致分为单一系统框架和复杂系统框架,包括“暴露-脆弱性-应对能力”<sup>[10]</sup>、“自然-经济-社会-文化-制度”关键领域框架<sup>[11]</sup>、“压力-状态-响应”<sup>[12]</sup>系统框架等。③乡村韧性测度评价。乡村韧性测度往往通过质性评估与定量分析两大类方法展开。质性评估主要采用问卷调查<sup>[12]</sup>、采访与访谈等手段,对微小尺度、短时间内的乡村韧性进行评估,调查对象多为农户、个体<sup>[13-14]</sup>;定量分析基于乡村韧性理论框架的多维特点,从乡村韧性的特征要素<sup>[15]</sup>、能力维度<sup>[16]</sup>、结构组成<sup>[17]</sup>、应对行为<sup>[18]</sup>等不同角度下的多种组成构建相应评价体系,运用计量经济学模型<sup>[19]</sup>、乡村多样性指数<sup>[20]</sup>、综合指数法<sup>[21]</sup>、函数模型法<sup>[22]</sup>等方法进行测度研究。④乡村韧性驱动力剖析。乡村韧性内部物

质与非物质要素作为乡村抵御风险的基础<sup>[4]</sup>,对于乡村韧性驱动力的研究也多从外源和内核的双重作用下展开<sup>[23]</sup>,其中包括乡村韧性内部单一要素如乡村企业及乡村产业发展<sup>[24]</sup>、乡村精英移民<sup>[25]</sup>等或者生态、经济、社会等内部子系统组成部分<sup>[1]</sup>。同时,国外更多学者对乡村系统外部扰动对乡村韧性影响进行探讨,人类行为、政治政策<sup>[13, 26-27]</sup>和自然灾害<sup>[28]</sup>成为外部驱动力选取的主流。⑤乡村韧性优化路径探索。针对乡村韧性的优化路径也根据系统内部作用机制的复杂性不断得到扩充,包括人的行为作为媒介<sup>[29]</sup>、高声望人群领导与激励<sup>[4]</sup>等乡村主体性<sup>[30]</sup>主观能动发挥与政府发展政策<sup>[27]</sup>、数字乡村建设<sup>[31]</sup>等外部客观条件助力等。当前乡村韧性研究相对于城市韧性研究开展较晚,研究内容多集中于乡村韧性评价测度、优化提升等,对于乡村韧性系统组成内部相关机理的研究较为匮乏,没有深入关注乡村系统面对扰动前、中、后阶段的差异化响应特征,对乡村系统应对外界扰动的动态过程性与内部子系统耦合协调性关注不够。

乡村系统作为一个复杂巨系统,其在面对外界扰动时存在动态发生过程,包括“抵御-吸收-更新”三个阶段,已将乡村韧性系统划分为“抵御-吸收-更新”三个子系统<sup>[32]</sup>。因而,本文以黑龙江省为例,将韧性发生学理论引入乡村韧性研究,基于县域统计与遥感数据,构建乡村韧性系统过程性分析框架,综合评价了乡村韧性的“抵御-吸收-更新能力”三个子系统耦合协调水平,挖掘“抵御-吸收-更新”子系统相互作用机制,拓展我国乡村韧性研究视角,为建立我国乡村韧性理论研究体系提供可靠依据,满足当前国家统筹发展与安全战略需要,为乡村发展抵御多重扰动稳固根基,更为我国现代化乡村治理体系的完善提供决策参考。

### 1 乡村韧性研究框架

乡村韧性作为乡村系统中的一个基本属性<sup>[12]</sup>,乡村韧性系统协调发展是乡村系统实现可持续发展的关键问题。提升乡村韧性可以有效增强乡村系统的可靠性、稳定性和协调性。本文将乡村韧性定义为乡村系统在应对外界多重复杂扰动时,利用要素、结构、功能来抵御、吸收、更新,促进乡村高质量发展的过程性行为能力。

乡村韧性系统内部由生态、社会、经济、文化等多种资源要素组成,并与外界扰动产生强烈的交互响应,根据响应过程可以分为“抵御-吸收-更新”三个子系统(图1)。

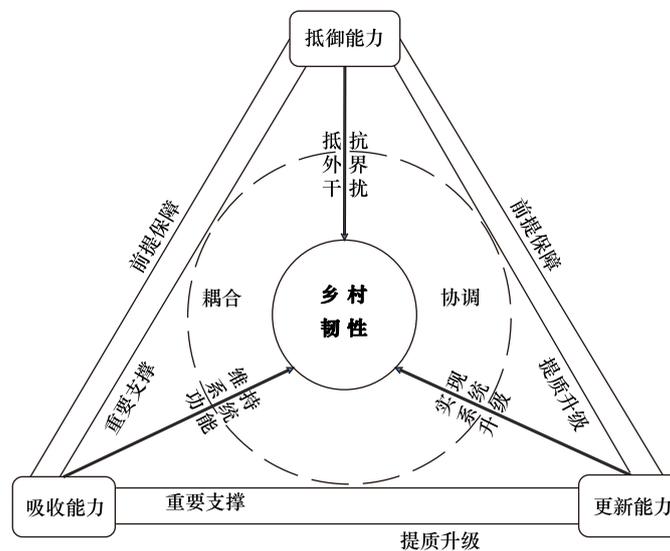


图1 乡村韧性系统概念内涵

Fig.1 The concept connotation of rural resilience system

乡村韧性系统在受到外部环境影响和扰动后,各个组成要素之间会呈现出吸收能力的差异,经过系统内部的动态调整,实现乡村系统的更新。三个子系统共同作用于乡村韧性系统,彼此之间紧密结合,并具有耦合

特征。深入理解抵御能力、吸收能力、更新能力三者之间的协调发展水平以及动态响应过程<sup>[2, 33]</sup>,是实现乡村韧性系统健康发展的首要前提。抵御能力反映的是乡村系统在面临外界扰动冲击时,凭借自身要素与组成抵抗外界干扰的能力;而通过对系统内部的调整与适应,来维持当前系统结构和功能的即为吸收能力;最后通过学习与转型,最终实现乡村韧性系统的改变与升级,并能更好地应对未来外界冲击的即为更新能力。一方面,抵御能力反映当前系统削弱外界扰动对系统影响的水平,其最终对乡村韧性系统要素与组织产生的变化,是引起吸收能力子系统主动调整系统结构与功能的首要原因,也推动更新能力子系统进行学习与转型;另一方面,更新能力子系统对乡村韧性系统的完善使乡村韧性系统达到了一个新的平衡态,随后抵御能力子系统与吸收能力子系统的响应过程也会发生相应变化。因此,“抵御-吸收-更新”三个子系统之间形成了强烈的映射关系,相互协同又相互制约,单方面提升其中一个子系统能力,会导致乡村韧性系统失衡。因此,有必要对乡村韧性系统中“抵御-吸收-更新”三个子系统之间的关系进行研究,并探讨其在乡村发展过程中的内在逻辑,为破解各类乡村问题,实现乡村的可持续发展提供思路。

基于此概念内涵,本研究侧重于以下方面:(1)在实现乡村可持续发展的目标下,从“抵御-吸收-更新”三个子系统对整个乡村韧性系统进行划分,并利用耦合协调度模型明确各子系统之间的相互作用关系;(2)以乡村韧性耦合协调水平为基础,构建乡村韧性各子系统的PVAR模型,并在模型中运用脉冲响应和方差分解,揭示了各子系统之间的相互作用关系、方向及强度。

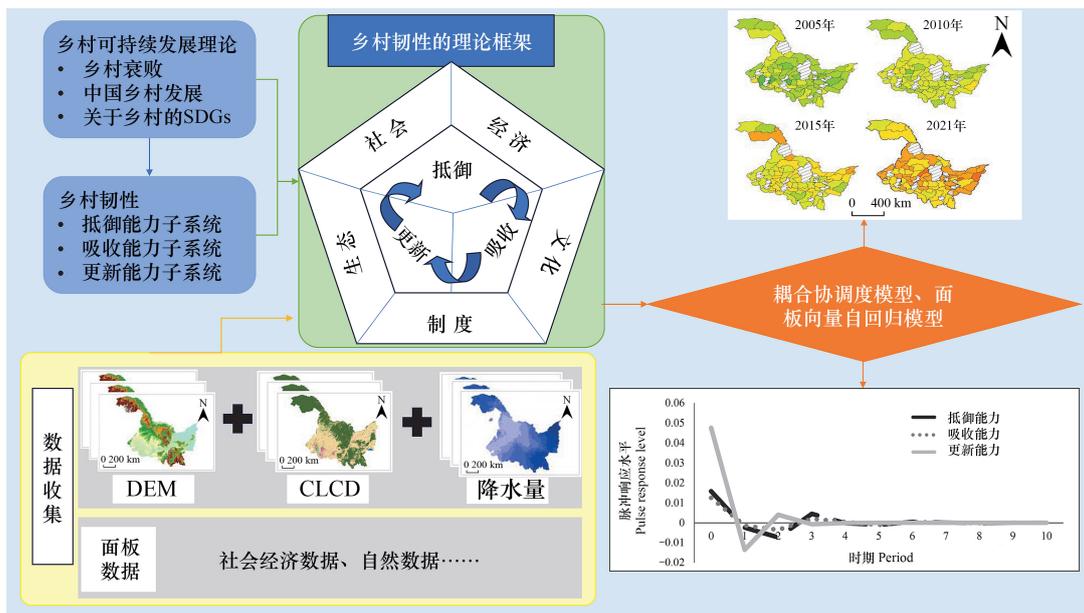


图2 乡村韧性系统抵御-吸收-更新耦合协调研究

Fig.2 Research on the coupling coordination of defense-absorption-renewal of rural resilience system

SDGs: 可持续发展目标; DEM: 数字高程模型; CLCD: 中国年度土地覆盖数据集

## 2 研究区概况与研究方法

### 2.1 研究区概况

黑龙江省地处中国东北部,以山区与平原为主(图3)。2022年黑龙江省粮食总产量达7763t,占全国粮食总产量的12.4%,连续十三年位居全国第一。同时,东北地区作为世界三大黑土产区之一,黑龙江省典型黑土耕地面积 $1.04 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,占东北地区总面积的56.1%,得益于得天独厚的资源优势,黑龙江成为我国的农业大省,承担着“国家粮食安全压舱石”的重担,乡村地域作为农业发展的承载,其发展问题同样值得重视。同时,黑龙江省乡村地域除粮食安全、黑土保护之外,还面临着人口流失等问题的严峻考验,2020年七普数据显

示,黑龙江省常住人口较六普期间减少 646.39 万,成为人口流失最多的省份,乡村地区人口流失更加严重。而且,黑龙江省乡村地区频繁出现乡村空心化、产业结构单一、人口老龄化等问题。面对外界复杂扰动,如何构建基于“抵御-吸收-更新”的强韧机制是黑龙江省以及中国乡村振兴研究的重点问题。

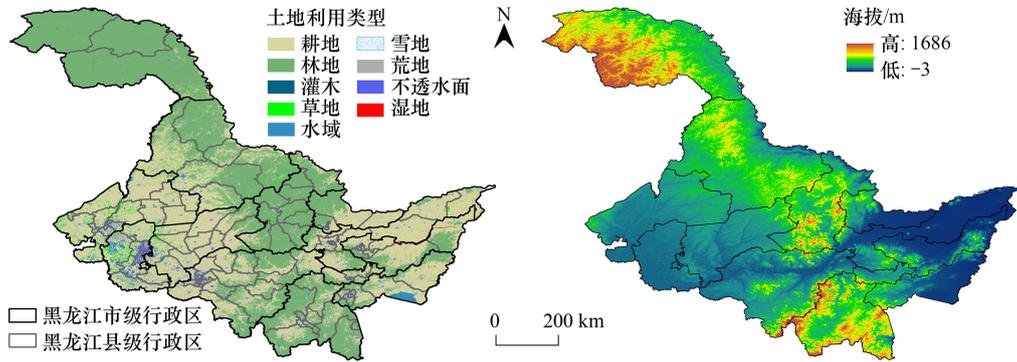


图3 研究区概况图

Fig.3 Diagram of study area

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 耦合协调度模型

本文首先使用熵值法对乡村韧性系统抵御能力、吸收能力、更新能力子系统进行综合评价,再构建乡村韧性系统中“抵御-吸收-更新能力”子系统的耦合度模型:

$$C = 3 \times \left[ \frac{DE_i \times AB_i \times RE_i}{(DE_i + AB_i + RE_i)} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{1}$$

$$DE_i = \sum_{i=1}^m W_{i1} DE'_i, AB_i = \sum_{i=1}^m W_{i2} AB'_i, RE_i = \sum_{i=1}^m W_{i3} RE'_i \tag{2}$$

式中,  $C$  为耦合度;  $DE_i$  为抵御能力子系统;  $AB_i$  为吸收能力子系统;  $RE_i$  为更新能力子系统;  $W_{i1}$ 、 $W_{i2}$ 、 $W_{i3}$  表示权重,各指标权重利用熵权法计算得出;  $DE'_i$ 、 $AB'_i$ 、 $RE'_i$  表示描述乡村韧性抵御能力子系统、吸收能力子系统、更新能力子系统特征的指标。

在耦合度的基础上,对协调度进行综合测度,其公式为:

$$D = (C \times T)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$T = \alpha DE_i + \beta AE_i + \gamma RE_i \tag{4}$$

式中,  $T$  为乡村韧性的综合评价指数;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  为待定系数,基于前人的研究基础,确定待定系数都为 1/3。通常,协调度可分为 10 种类型(表 1)。

表 1 耦合协调度类型表

Table 1 Coupling coordination degree type list

极度失调 extreme imbalance	严重失调 Serious imbalance	中度失调 Moderate imbalance	轻度失调 Mild imbalance	濒临失调 Be close to imbalance	勉强协调 Reluctant coordination	初级协调 Primary coordination	中级协调 Intermediate coordination	良好协调 Good coordination	优质协调 Excellent coordination
(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]	(0.9,0.1]

#### 2.2.2 面板向量自回归(PVAR)模型

本文构建关于黑龙江省乡村韧性系统的“抵御-吸收-更新”子系统之间的面板向量自回归 PVAR 模型进行研究。与 VAR 模型相比,PVAR 模型可以有效克服微观数据短缺和时间跨度较短的问题,同时可以将研究

的所有变量都视为内生变量,充分考虑变量之间的关系。

PVAR 模型的数学形式一般为:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + B x_t + \varepsilon_t \tag{5}$$

式中,  $y_t$  是内生变量;  $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$  表示  $y_t$  的滞后期;  $x_t$  是外生变量;  $A_1, \dots, A_p$  表示  $y_t$  的待估系数;  $B$  是  $x_t$  的待估系数;  $\varepsilon_t$  是随机扰动项。PVAR 模型转化为矩阵为:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ \vdots \\ y_{kt} \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-1} \\ \vdots \\ y_{kt-1} \end{bmatrix} + A_2 \begin{bmatrix} y_{1t-2} \\ y_{2t-2} \\ \vdots \\ y_{kt-2} \end{bmatrix} + \dots + B X_t + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{kt} \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中,  $y_{1t}, \dots, y_{kt}$  作为内生变量,可以同期相关,而  $y_{1t-1}, \dots, y_{kt-p}$  作为滞后变量均在等号右边,因此不会出现同期相关问题,OLS 仍然是有效的。

### 2.2.3 评价指标体系构建

考虑到乡村韧性系统的动态性特征,根据韧性发生过程,以时间为轴,从“抵御-吸收-更新”三个阶段评估乡村韧性,并遵守系统性、科学性、代表性和可获取性原则进行指标选取,从抵御能力、吸收能力、更新能力三个维度,根据乡村韧性的选取原则(图 4)共选取 19 个指标,以此构建了乡村韧性的评价体系表(表 2)。

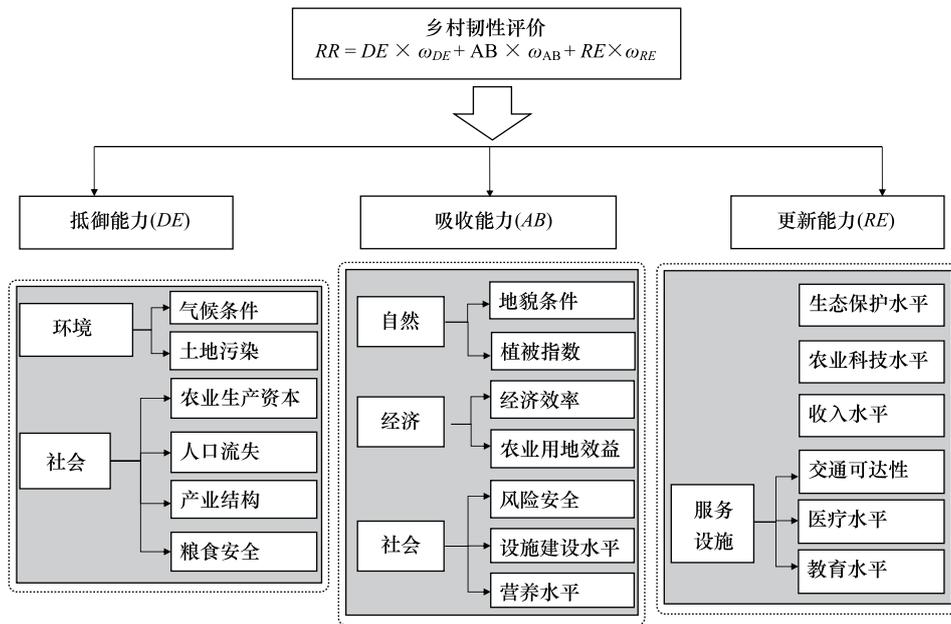


图 4 乡村韧性系统的选取原则

Fig.4 The selection principle of rural resilience system

其中,抵御能力反映乡村系统在遭受自然和人类活动的暴露风险时,抵抗干扰的即时能力,结合当前黑龙江省面临的黑土地保护过程中水土流失的保护困境,乡村地区人口流失、老弱化问题严重,产业结构单一,国家粮食安全战略实施背景选取作为对应系统内的扰动指标;吸收能力指标反映系统遭受干扰后的适应和调整能力,指标选取包括植被、地貌等生态本底方面,以及经济利用效率和风险应对能力,人类社会运行过程中的社会建设水平、营养水平等,利用当前系统建设和发展现状以适应与应对外界变化;更新能力反映乡村韧性系统通过自我更新与调整,最终达到系统的新平衡状态,本质上是指系统的学习能力和创新能力,因此采用生态保护水平、农业科技水平、交通可达性、教育水平、收入水平、医疗水平等指标进行表征。

表 2 黑龙江省乡村韧性系统发展水平评价指标体系

目标层 Target level	一级指标 First grade indexes	二级指标 Second grade indexes	含义 Significance	权重 Weight	
乡村韧性 Rural resilience	抵御能力	气候(+)	年平均降水量	0.03341	
		土地污染程度(-)	化肥使用强度	0.00143	
		农业生产资本(+)	人均耕地面积	0.10057	
	吸收能力	更新能力	产业结构问题(+)	第二三产业增加值/地区生产总值	0.03255
			人口流失程度(-)	总人口减少率	0.02344
			粮食安全(+)	人均粮食拥有量	0.07095
			地貌条件(-)	地形起伏度	0.02137
			植被指数(+)	NDVI 指数	0.00677
			经济效率(+)	人均 GDP	0.08328
			农业用地效益(+)	每单位农林牧渔用地的产值	0.11605
			风险安全(+)	人均城乡居民储蓄余额	0.14218
			施建设水平(-)	每单位 GDP 的农村用电量	0.00191
			营养水平(+)	人均猪牛羊肉产量	0.08378
			生态保护水平(+)	湿地面积增加比	0.04998
			农业科技水平(+)	每单位 GDP 的农业机械总动力	0.08302
			交通可达性(+)	道路面积比	0.04404
			收入水平(+)	乡村常住居民人均可支配收入	0.05903
			医疗水平(+)	每万人所拥有的医疗床位数	0.02460
			教育水平(+)	每万人在校中学生数量	0.02166

### 2.2.4 数据来源

本文选取黑龙江省县(市)作为研究对象,具体时间尺度选取 2005—2020 年,因时间跨度较长,故选取 5 年为一个时间节点进行研究。本文数据源包括土地利用类型数据、气候与环境数据和社会经济数据 3 种类别,其中土地利用类型数据来源于武汉大学 CLCD 土地利用数据集,DEM 数据、NDVI 数据、降水数据来源于中科院资源环境科学与数据中心,社会经济数据来源于《中国县域统计年鉴》、《黑龙江统计年鉴》以及各县区的《国民经济和社会发展统计公报》,并采用指数平滑法填补部分相关缺失统计数据。

## 3 结果分析

### 3.1 乡村韧性耦合协调度特征分析

黑龙江省乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统协调程度在 2005—2020 年间发生了较大的改变,除 2005 年外,只有少部分县域处于失调阶段( $D \leq 0.4$ ),2005 年处于失调状态的县域有 46 个,占比为 73.02%,但其中大部分处于轻度失调阶段;2010 年、2015 年、2020 年处于失调状态县域占比分别为 21.88%、4.62%与 1.51%,其中 2020 年仅有 1 个县域处于失调状态,这是由于其耦合度一直处于较高水平且 2020 年耦合度的均值最高,乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统耦合度处于高水平耦合阶段。黑龙江省乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统耦合协调的整体水平较低,2005 年、2010 年、2015 年黑龙江省乡村韧性子系统耦合协调度均值分别为 0.304、0.393、0.458 与 0.559,呈现出逐年递增的趋势。且从 2005 年到 2020 年,乡村韧性三个子系统耦合协调程度处于从轻度失调到初级协调转变的趋势,总体来看 2005 年到 2020 年四个年份中处于轻度失调、濒临失调、勉强协调、初级协调状态县域占比分别为 20.93%、38.76%、22.09%和 13.57%,而处于中级协调状态和严重失调状态的县域占比仅为 1.16%,处于重度失调状态的县域占比为 1.94%。2005—2020 年耦合协调度最低值为 2005 年杜尔伯特蒙古族自治县,耦合协调度仅为 0.170,为严重失调状态,最高值为 2020 年饶河县,耦合协调度值为 0.734,处于中度协调状态,另有大部分县域处于轻度失调、濒临协调与勉强协调的

阶段,没有处于良好协调与优质协调的县域。这表现出黑龙江省乡村韧性整体发展层次较差,乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统耦合协调水平较低。

从空间布局来看,黑龙江省乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统的耦合协调水平空间特征发生了明显的变化(图 5)。2005 年黑龙江省乡村韧性耦合协调度大部分处于轻度失调状态,耦合协调度较好的县域主要分布在黑龙江省的东部与西南部,大部分处于濒临失调阶段,从地形区划来看主要位于松嫩平原地区与三江平原地区,这些地区耕地面积广,临近哈尔滨、大庆等相对发达的城市或主要靠近边境地区,经济往来频繁,经济基础较好;协调度较低的区域主要位于黑龙江省西北部大兴安岭山区与长白山山区,该地区地形起伏较大,土地利用类型多为林地;其他地区协调度较为平均,总体呈现出分散的团状结构。2010 年黑龙江省乡村韧性耦合协调度与 2005 年相比,勉强协调的县域大幅度增长,基本都是由轻度失调状态的县域转化而来;同时,可以看出,2010 年黑龙江省乡村韧性子系统的耦合协调度水平较为平均,没有形成明显的高值聚集区或低值聚集区;2015 年黑龙江省乡村韧性耦合协调度整体来看进一步提升,初级协调与中级协调的县域广泛散布,且大部分是位于中心城区周边的县域,处于协调状态的县域沿黑龙江省东部的国界线形成了明显的带状格局,形成了高耦合协调发展带,同时,哈尔滨—大庆城市组团周围的县域也形成了高耦合协调聚集区。2020 年沿国界线形成的高耦合发展带耦合协调度进一步提升,带状格局的连续性进一步增强,同时,耦合协调值以黑龙江省区域中线为轴呈南北对称分布,梯度分布明显,中线附近耦合协调度相对较高,达到中级协调状态,南北两侧耦合协调度相对较低,协调度较高的主要地形区为松嫩平原区、三江平原区以及小兴安岭山区与长白山区的边缘地带,大兴安岭山区协调度则一直处于较低水平。总的来看,协调度较高的县域主要分布在经济条件较好、地形平坦、自然禀赋优良的地区。

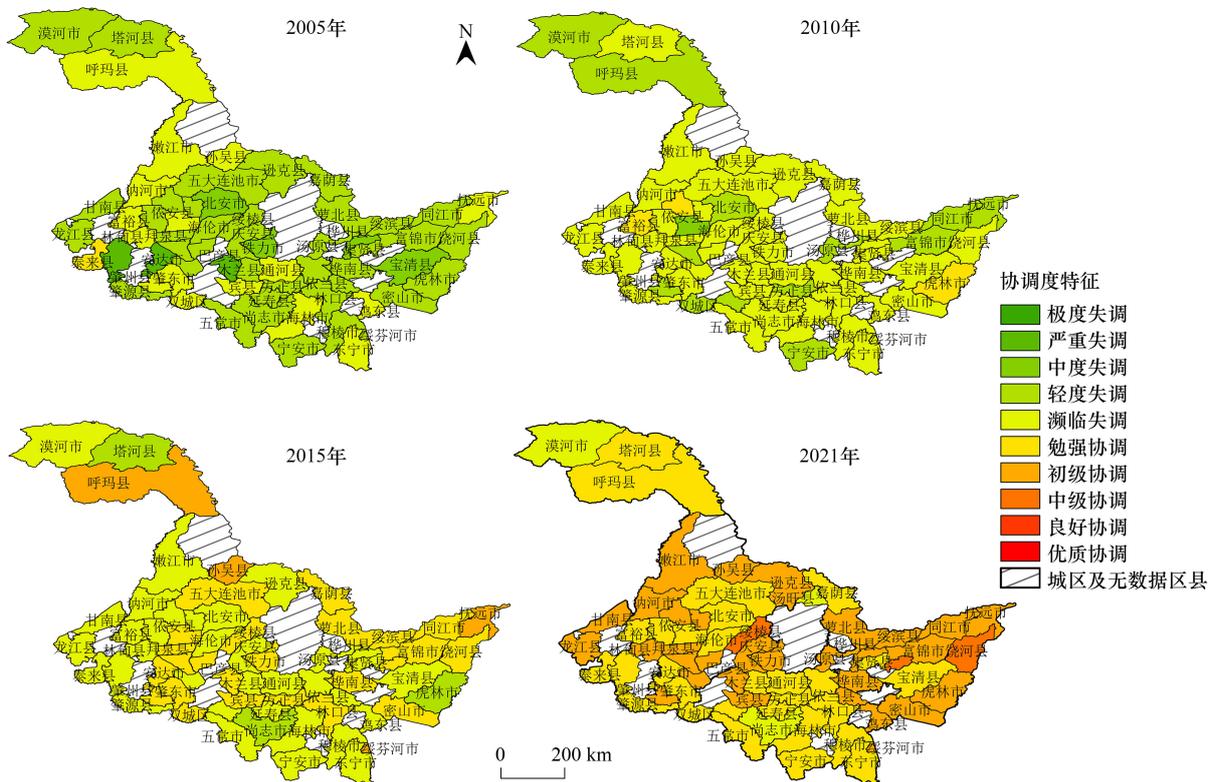


图 5 黑龙江省乡村韧性系统耦合协调度时空格局

Fig.5 Spatial-temporal pattern of coupling coordination degree of rural resilience system in Heilongjiang Province

乡村韧性系统“抵御-吸收-更新能力”子系统的耦合协调水平反映了乡村系统的发展水平。近年来国家通过宏观政策,逐渐消除以往对乡村系统建设忽视而导致的城乡二元结构和“重城轻乡”战略的制约。起初

乡村发展过程中面临乡村环境污染、乡村贫困、人口老弱化、快速城镇化等问题的严峻考验,自此,国家开始积极推进新型城镇化与美丽乡村建设,以城镇辐射乡村发展,切实改善乡村环境,乡村韧性系统的耦合协调水平不断发展。2012年党的十八大以来,全面深化农村改革,切实带动“三农发展”,2013年“精准扶贫”战略与支农惠农政策推进,同时,黑龙江省全面贯彻国家战略方针,开展全国首个现代农业综合配套改革,使现代农业生产更具活力;全面实施美丽乡村三年行动计划,建设具有“龙江特色”美丽乡村成果显著,因此2015年黑龙江省乡村韧性系统耦合协调水平较2010年有较大程度的提升;党的十九大、二十大先后聚焦乡村问题,提出全面推进乡村振兴战略,黑龙江省再次跟进国家发展步伐,以“争当农业现代化建设排头兵”“筑牢粮食安全压舱石”为目标,坚持深化农村改革,多途径综合施策,全面提升乡村基础建设,乡村系统再次迎来新契机,未来将得到长足发展。

### 3.2 乡村韧性系统耦合协调的脉冲响应分析

#### 3.2.1 构建 PVAR 模型

以乡村韧性框架下的子系统的耦合协调水平和抵御能力、吸收能力、更新能力子系统的发展水平为研究变量,构建 PVAR 模型,从统计学角度分析了 3 个子系统之间的因果关系和脉冲响应函数。首先,对非平稳的时间序列进行差分处理,保证数据的平稳性。然后对模型中各时间序列数据进行单位根检验,四个变量 DDE (DE 一阶差分序列)、DAB (AB 一阶差分序列)、DRE (RE 一阶差分序列) 和 DD (D 一阶差分序列) 通过了 1% 显著性水平下的 ADF 稳定性检验 (表 3)。其次,根据 AIC、BIC、HQIC 标准确定最优滞后阶数为 1 阶 (表 4), 以及进行格兰杰因果检验 (10% 的显著性水平下,具有因果关系)。最后,构建乡村韧性子系统耦合协调度 D 值对抵御能力子系统 (DDE)、吸收能力子系统 (DAB) 以及更新能力子系统 (DRE) 的脉冲响应函数 (图 6) 与滞后 10 期的方差分解结果 (表 5)。

表 3 平稳性检验

Table 3 Verification of stationarity

变量 Variable	$t$ Student's $t$ test	$P$	临界值 Critical value			结论 Conclusion
			1%	5%	10%	
DDE	-7.520	0.000***	-3.437	-2.864	-2.568	平稳
DAB	-6.271	0.000***	-3.437	-2.864	-2.568	平稳
DRE	-6.529	0.000***	-3.437	-2.864	-2.568	平稳
DD	-5.955	0.000***	-3.437	-2.864	-2.568	平稳

DD: 耦合协调度的一阶差分序列 The first-order difference sequence of coupling coordination degree  $D$ ; DDE: 抵御能力子系统的一阶差分序列 The first-order difference sequence of defense ability subsystem; DAB: 吸收能力子系统的一阶差分序列 The first-order difference sequence of absorptive ability subsystem; DRE: 更新能力子系统的一阶差分序列 The first-order difference sequence of renewal ability subsystem;\*\*\*、\*\*、\* 分别代表 1%、5%、10% 的显著性水平

表 4 最优滞后阶数选择

Table 4 Optimal lag order selection

阶数 Lag	AIC 准则 Akaike information criterion	BIC 准则 Bayesian Information Criterion	HQIC 准则 Hannan-Quinn Information Criterion
1	-14.4018*	-12.8612*	-13.8107*
2	-14.0062	-12.2676	-13.3365
3	-13.6858	-11.7200	-12.9256
4	-12.9351	-10.7052	-12.0690

\* 代表在不同准则下的最优滞后阶数

#### 3.2.2 脉冲响应分析和方差分解

应用脉冲响应函数,可以实现对研究变量之间相互动态关系的分析。运用脉冲响应函数,得到乡村韧性

系统的耦合协调度在面对抵御能力子系统、吸收能力子系统、更新能力子系统冲击下的动态响应过程(图6)。由图6可知,乡村韧性系统的耦合协调度对抵御能力子系统的响应呈现出“下降-上升-缓慢下降-趋于平稳”的发展趋势,前两期逐渐下降,响应水平从第0期的最高值(0.158),降低到第2期的最低值(-0.0073),正向响应转化为负向响应,在第3期又转化为正向响应,第4期后逐渐减弱,最终响应程度逐渐平稳,第9期收敛为0;乡村韧性系统的耦合协调度对吸收能力子系统的响应与抵御能力子系统的反应几乎相同,总体呈现出正-负-正的波动分布,即初始反应为正,在第0阶段为最大值,然后响应程度逐渐下降,在第2阶段达到最小值(-0.0035),在第3阶段又逐渐恢复到正反应(0.0045),随后逐渐收敛,在第6—9阶段的反应水平绝对值均小于0.005,在第10阶段收敛到0;更新能力子系统对乡村韧性冲击时造成的响应如下:在第0阶段时为最高值(0.045),此后急速下降,在第1期即达到最小值,整体响应过程较短,第3期后变呈现出收敛趋势(-0.0007),在第5期即收敛为0,整体来看呈现出“下降-上升”较为明显的“V”型趋势。整体来看,乡村韧性耦合协调度受到三个子系统冲击的响应程度由大到小为:更新能力>抵御能力>吸收能力,在前3期受到更新能力子系统的影响较为显著,第3期滞后抵御能力子系统与吸收能力子系统的响应力度逐渐增强,并超越了吸收能力子系统。长期来看,乡村韧性耦合协调度对三个子系统之间的响应具有相似趋势,在前期影响较强,后期逐渐收敛为0。

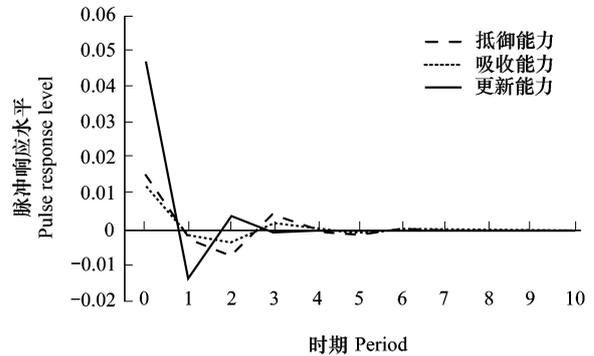


图6 乡村韧性耦合协调度对抵御-吸收-更新能力的脉冲响应  
Fig.6 Impulse response of rural resilience coupling coordination degree to defense-absorption-renewal ability

时期中0—10期为脉冲响应函数的追踪期

在脉冲响应函数的基础上对行方差分解(表5),得出黑龙江省乡村韧性各个子系统发展水平对乡村韧性系统耦合协调度的贡献程度。乡村韧性耦合协调度对自身响应的方差贡献最小,说明黑龙江省乡村韧性系统协调度受自身影响始终较小,仅为9.7%，“抵御-吸收-更新能力”子系统合力对乡村韧性耦合协调度的方差贡献较大,占比为90.3%。具体来看,三个子系统对乡村韧性耦合协调度的贡献程度存在显著差异,更新能力子系统对乡村韧性耦合协调度的方差贡献度最大,达到72.7%,吸收能力子系统是对乡村韧性的耦合协调度方差贡献最小的变量,仅为6.2%,抵御能力子系统的贡献能力为12.1%。从动态变化来看,从第1期到第2期,抵御能力子系统贡献度由12.1%下降至11.3%,吸收能力子系统贡献度由6.6%下降至6.2%,而更新能力子系统与前两者相反,贡献度由7.17%上升至7.27%,随后三个子系统对乡村韧性系统耦合协调度的方差贡献度达到稳定。整体来看,各系统对乡村韧性系统耦合协调度的贡献度影响程度差异较大,但总体呈现出一个稳定的状态,贡献度随时间变化较小,主要靠更新能力子系统驱动,抵御能力与吸收能力子系统的影响较小。

表5 方差分解表

Table 5 Variance decomposition table

时期 Period	耦合协调度 D				时期 Period	耦合协调度 D			
	DD					DD			
	DDE	DAB	DRE	DD		DDE	DAB	DRE	DD
1	0.121	0.066	0.717	0.096	6	0.113	0.062	0.727	0.097
2	0.113	0.062	0.727	0.097	7	0.113	0.062	0.727	0.097
3	0.113	0.062	0.727	0.097	8	0.113	0.062	0.727	0.097
4	0.113	0.062	0.727	0.097	9	0.113	0.062	0.727	0.097
5	0.113	0.062	0.727	0.097	10	0.113	0.062	0.727	0.097

### 3.3 乡村韧性系统耦合协调的动态响应机制

抵御能力子系统反映着乡村韧性系统在面临各种外界风险时的即时对抗能力,受到自然与社会等外在因

素影响较大,因此对乡村韧性耦合协调水平产生的响应也比较强。黑龙江省面临严重的人口流失、黑土保护以及粮食安全等各类问题,这些问题导致吸收能力子系统发展产生波动,其中初期的即时影响最大,抵御能力子系统对这些波动产生正向影响,随后产生较为剧烈的波动,随着时间的推移逐步达到稳定状态,这也符合外界扰动对乡村韧性系统影响过程的普遍认知。因此,提高抵御能力子系统发展水平,可以有效减轻其对乡村韧性耦合协调水平的即时影响,是实现乡村韧性系统均衡发展的重要支撑。

吸收能力子系统对乡村韧性系统耦合协调度的响应影响程度较小,影响程度仅占 6.2%,短期来看,吸收能力子系统对乡村韧性系统耦合协调度有波动状态的影响,但变化幅度相对较小;长期来看,吸收能力子系统为乡村韧性系统耦合协调度的提升提供了稳定的影响环境,在实现乡村韧性系统均衡发展过程中提供了不可忽视的助力。吸收能力主要与当前乡村的社会经济发展状况相关,乡村韧性系统耦合协调度受到吸收能力子系统的影响有明显的正负向波动,最初吸收能力子系统在面临社会风险时能够及时做出响应,对乡村韧性系统协调水平做出积极贡献,但由于黑龙江省当前社会经济发展处于较为稳定的状态,乡村建设水平目前发展较慢,社会发展与居民生活水平处于较为平稳的状态,吸收能力子系统近年来的系统优化幅度较小,而这也是导致了乡村韧性吸收能力子系统对当前乡村韧性协调水平影响程度较小的原因。

更新能力子系统对乡村韧性系统耦合协调度的响应程度最大,更新能力子系统的发展强烈影响到了乡村韧性的耦合协调度水平,也就是强烈影响到了乡村韧性系统的均衡状态,影响程度高达 72.7%。可以看出更新能力子系统与乡村韧性耦合协调水平之间互动关系强烈,更新能力子系统的提升可以极大程度地提升乡村韧性,抵御系统未来可能面对的各种风险。因此,更新能力子系统的强化是实现乡村韧性系统均衡发展的首要目标。更新能力强调的是对乡村韧性系统未来发展的前置投资,是对乡村韧性不断优化使其达到新的平衡态的过程。黑龙江省更新能力子系统对乡村韧性系统耦合协调度最初的反映为正向,这是由于黑龙江省对乡村地域发展逐步重视,对乡村地区生态环境保护逐渐加强,对乡村各项设施建设逐渐健全。

“抵御-吸收-更新”子系统对乡村韧性协调度的影响时段、水平存在差异,但各子系统之间存在密切的物质交换、能量和信息流动,每个系统的发展都干预着乡村韧性系统协调发展水平,子系统之间的协同发展、良性互动有助于乡村系统的可持续发展(图 7)。

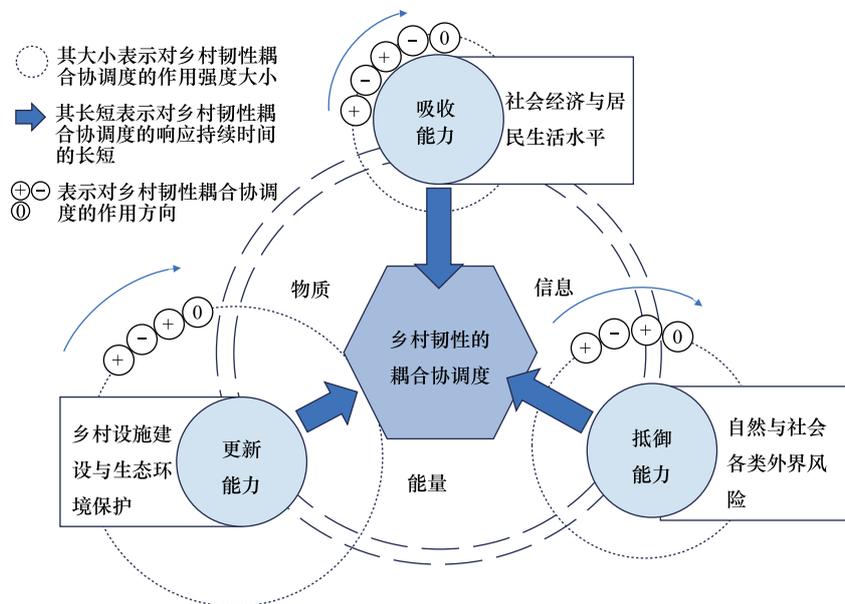


图 7 乡村韧性抵御-吸收-更新能力对耦合协调度的作用机制

Fig.7 The mechanism of rural resilience's defense-absorption-renewal ability on coupling coordination degree

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1)本研究根据韧性发生学角度将黑龙江省乡村韧性系统内部耦合协调分析框架划分为“抵御-吸收-更新能力”子系统,并对其协调发展特征与动态变化过程进行了分析,在研究内容上丰富了乡村韧性系统的研究思路和地理学要素耦合协调的相关内容,为制定乡村韧性调控政策提供理论依据与实际借鉴。在研究区域上,填补了既有研究对乡村韧性系统内部耦合协调关系动态作用机制的忽略,同时,在研究区域的选择上,黑龙江省作为农业大省,其乡村系统研究具有一定典型性与代表性,而我国乡村发展进程各不相同、类型多样,此案例研究为不同地域类型下乡村韧性系统对外界扰动的响应与反馈机制的研究也提供了相应思路上的参考与拓展。

(2)乡村系统内部存在着复杂的要素与系统组成,同时还具备丰富的信息流动与物质交换,但目前乡村地区的统计数据较城市地区相对匮乏,各种信息统计较为粗略,导致本研究指标选取限制性较大,指标体系的构建不尽完善。本文对乡村韧性系统的动态作用机制研究仅从乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”三个子系统对乡村韧性耦合协调水平的动态响应入手,未来应继续探索乡村韧性系统与子系统之间的其他作用机制,深入揭示作用过程与作用机制,为乡村韧性建设落实提供理论支撑。针对乡村韧性研究视角,未来可进一步深入至村落、农户等微观尺度,并考察长周期下多尺度乡村韧性的动态演化特征,以更深入的视角探究乡村韧性系统的作用机制;在乡村韧性的评价指标上,注重对大数据、多源遥感影像、网络爬虫等数据的收集与处理,是未来乡村韧性评估的趋势;同时,未来应实现对乡村韧性发展的多情景模拟,对乡村韧性研究内容进一步扩展和深入。

### 4.2 结论

(1)本研究通过对 2005—2020 年黑龙江省乡村韧性系统的“抵御-吸收-更新能力”子系统耦合协调的动态变化趋势进行分析,受地理位置与地热条件的影响,与华东地区和长江中下游地区乡村建设进程相比,黑龙江省乡村韧性系统仍处于较为落后的阶段,乡村韧性系统协调水平整体上处于上升的态势,乡村系统韧性耦合协调度多以中低度协调水平为主,无较良好或优质协调地区。

(2)从空间格局上看,黑龙江省乡村韧性协调水平尚未形成高水平耦合的连片区域,区域内县城空间发展状态差异较大,在空间上呈现沿中间逐渐向南北两边降低发展态势,同时沿国界线形成了高耦合发展带。乡村韧性的耦合协调度主要受到地形地势的影响,松嫩平原、三江平原地区地形平坦开阔、耕地面积广布、开发历史悠久,农业现代化程度高,乡村韧性的协调发展水平较高,而大兴安岭山区、长白山山区的乡村韧性耦合协调水平较差;同时,由于城乡地理位置导致的经济活动频率不同,在靠近哈尔滨市、大庆市等较发达城区的区县乡村韧性耦合协调度发展水平较距离城区远的区县,乡村韧性协调发展水平更高。

(3)乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统对黑龙江省乡村韧性系统耦合协调水平的响应具有明显的差异,初期主要受到更新能力子系统驱动,后期逐渐转向抵御能力子系统与吸收能力子系统,同时,乡村韧性“抵御-吸收-更新能力”子系统对乡村韧性系统协调发展状态的响应贡献度也存在明显差异,主要靠更新能力子系统驱动,抵御能力与吸收能力子系统的影响较小。这也与系统论“系统发生自组织后系统内部各要素进行涨落运动,造成整个系统发生相变,进入新状态”的观点相符合。

### 参考文献(References):

- [ 1 ] Li Y H, Westlund H, Liu Y S. Why some rural areas decline while some others not: an overview of rural evolution in the world. *Journal of Rural Studies*, 2019, 68: 135-143.
- [ 2 ] 夏楚瑜,董照樱子,陈彬.城市生态韧性时空变化及情景模拟研究——以杭州市为例. *生态学报*, 2022, 42(1): 116-126.
- [ 3 ] Cutter S L, Ash K D, Emrich C T. Urban-Rural Differences in Disaster Resilience. *Annals of the American Association of Geographers*, 2016, 106(6): 1236-52.
- [ 4 ] Li Y H. A systematic review of rural resilience. *China Agricultural Economic Review*, 2023, 15(1): 66-77.

- [ 5 ] Scott M. Resilience: a conceptual lens for rural studies? *Geography Compass*, 2013, 7(9): 597-610.
- [ 6 ] Fang J Z, Xiong K N, Chi Y K, Song S Z, He C, He S Y. Research advancement in grassland ecosystem vulnerability and ecological resilience and its inspiration for improving grassland ecosystem services in the Karst desertification control. *Plants*, 2022, 11(10): 1290.
- [ 7 ] 邱明丽, 刘殿锋, 刘耀林. 乡村韧性理论框架与测度体系. *中国土地科学*, 2021, 35(8): 107-114.
- [ 8 ] 李玉恒, 阎佳玉, 刘彦随. 基于乡村弹性的乡村振兴理论认知与路径研究. *地理学报*, 2019, 74(10): 2001-2010.
- [ 9 ] 李久林, 胡大卫, 谢敏, 张龔, 滕璐, 储金龙, 尹海伟. 社会-生态视角下乡村聚落系统脆弱性评价——以蒙洼行蓄洪区为例. *生态学报*, 2023, 43(22): 9164-9176.
- [ 10 ] Gerlitz J Y, Macchi M, Brooks N, Pandey R, Banerjee S, Jha S K. The Multidimensional Livelihood Vulnerability Index: an instrument to measure livelihood vulnerability to change in the Hindu Kush Himalayas. *Climate and Development*, 2017, 9(2): 124-140.
- [ 11 ] Kelly C, Ferrara A, Wilson G A, Ripullone F, Nolè A, Harmer N, Salvati L. Community resilience and land degradation in forest and shrubland socio-ecological systems: evidence from Gorgoglione, Basilicata, Italy. *Land Use Policy*, 2015, 46: 11-20.
- [ 12 ] 李玉恒, 黄惠倩, 王晟业. 基于乡村经济韧性的传统农区城乡融合发展路径研究——以河北省典型县域为例. *经济地理*, 2021, 41(8): 28-33, 44.
- [ 13 ] McManus P, Walmsley J, Argent N, Baum S, Bourke L, Martin J, Pritchard B, Sorensen T. Rural Community and Rural Resilience: what is important to farmers in keeping their country towns alive? *Journal of Rural Studies*, 2012, 28(1): 20-29.
- [ 14 ] Anthopoulou T, Kaberis N, Petrou M. Aspects and experiences of crisis in rural Greece. *Narratives of rural resilience. Journal of Rural Studies*, 2017, 52: 1-11.
- [ 15 ] Ifejika Speranza C. Buffer capacity: capturing a dimension of resilience to climate change in African smallholder agriculture. *Regional Environmental Change*, 2013, 13(3): 521-535.
- [ 16 ] 贾垚焱, 胡静, 刘大均, 徐欣. 山区民族旅游地乡村聚落韧性评估及尺度关联研究. *经济地理*, 2022, 42(8): 194-204.
- [ 17 ] 何艳冰, 周明晖, 贾豫霖, 杜宇晴, 马云. 基于韧性测度的传统村落旅游高质量发展研究——以河南省为例. *经济地理*, 2022, 42(8): 222-231.
- [ 18 ] Cabell J F, Oelofse M. An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 2012, 17: art18.
- [ 19 ] Tonts M, Plummer P, Argent N. Path dependence, resilience and the evolution of new rural economies: perspectives from rural Western Australia. *Journal of Rural Studies*, 2014, 36: 362-375.
- [ 20 ] Quaranta G, Salvia R. An index to measure rural diversity in the light of rural resilience and rural development debate. *European Countryside*, 2014, 6(2): 161-178.
- [ 21 ] 张行, 梁小英, 刘迪, 史琴琴, 陈海. 生态脆弱区社会—生态景观恢复力时空演变及情景模拟. *地理学报*, 2019, 74(7): 1450-1466.
- [ 22 ] Fang Y P, Zhu F B, Qiu X P, Zhao S. Effects of natural disasters on livelihood resilience of rural residents in Sichuan. *Habitat International*, 2018, 76: 19-28.
- [ 23 ] 耿艺伟, 李效顺, 陈伟强, 刘希朝, 陈姜全, 季海涛. 乡村地域系统韧性类型识别与驱动机制研究——以豫东平原区商丘市睢阳区为例. *地理科学进展*, 2023, 42(09): 1755-1768.
- [ 24 ] Steiner A, Atterton J. Exploring the contribution of rural enterprises to local resilience. *Journal of Rural Studies*, 2015, 40: 30-45.
- [ 25 ] Søholt S, Stenbacka S, Nørgaard H. Conditioned receptiveness; Nordic rural elite perceptions of immigrant contributions to local resilience. *Journal of Rural Studies*, 2018, 64: 220-229.
- [ 26 ] Schouten M A H, van der Heide C M, Heijman W J M, Opdam P F M. A resilience-based policy evaluation framework: application to European rural development policies. *Ecological Economics*, 2012, 81: 165-175.
- [ 27 ] Pavel A, Moldovan B A, Kourtit K, Nijkamp P. Urban or rural: does it make a difference for economic resilience? A modelling study on economic and cultural geography in *Romania*. *Sustainability*, 2020, 12(9): 3776.
- [ 28 ] Kim H, Marcouiller D W. Rural prospects for resilience: planning sustainable livelihoods and coping with flood hazards along the U.S. Mississippi river. *Society & Natural Resources*, 2021, 34(2): 168-187.
- [ 29 ] 朱媛媛, 汪紫薇, 乔花芳, 高喆. 大别山革命老区旅游地“乡土-生态”系统韧性演化规律及影响机制. *自然资源学报*, 2022, 37(7): 1748-1765.
- [ 30 ] Fan J H, Mo Y, Cai Y N, Zhao Y B, Su D C. Evaluation of community resilience in rural china-taking Licheng subdistrict, Guangzhou as an example. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(11): 5827.
- [ 31 ] Ashmore F H, Farrington J H, Skerratt S. Community-led broadband in rural digital infrastructure development: implications for resilience. *Journal of Rural Studies*, 2017, 54: 408-425.
- [ 32 ] 王泽宇, 王焱熙. 中国海洋经济弹性的时空分异与影响因素分析. *经济地理*, 2019, 39(2): 139-145, 151.
- [ 33 ] 石龙宇, 郑巧雅, 杨萌, 刘玲玉. 城市韧性概念、影响因素及其评估研究进展. *生态学报*, 2022, 42(14): 6016-6029.