

DOI: 10.5846/stxb201804090805

黄晓军, 王博, 刘萌萌, 杨新军, 黄馨. 社会-生态系统恢复力研究进展——基于 CiteSpace 的文献计量分析. 生态学报, 2019, 39(8): - .
Huang X J, Wang B, Liu M M, Yang X J, Huang X. The progress of research into social-ecological system resilience: a CiteSpace bibliometric analysis. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(8): - .

社会-生态系统恢复力研究进展 ——基于 CiteSpace 的文献计量分析

黄晓军^{1,2,*}, 王 博¹, 刘萌萌¹, 杨新军^{1,2}, 黄馨³

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

3 长安大学 地球科学与资源学院, 西安 710054

摘要: 社会-生态系统恢复力为深化人类与自然的复杂相互作用过程与机理研究提供了新的视角, 并成为推动跨学科整合与全球可持续发展的重要工具。运用 CiteSpace 文献计量方法, 以社会-生态系统恢复力研究文献为对象, 通过对关键词、作者、研究机构与引证文献等要素的分析, 得出了国外社会-生态系统恢复力研究的总体特征, 并从概念内涵、评估量化、体制转换与适应性管理 4 个方面系统总结了该领域主要研究内容及其进展动态, 最后结合我国研究现状对未来研究提出展望。研究发现: 社会-生态系统恢复力相关文章数量呈快速上升趋势, 主要集中在生态环境与地理学领域; 斯德哥尔摩大学的 Folke 是该领域的代表性学者; 社会-生态系统恢复力研究呈现多元分散特征, 理论分析、实证方法与实践层面的适应性管理是该领域主要的研究热点; 尺度问题、社会-生态系统整合、恢复力量化评估以及体制转换与恢复力变化关系是该领域未来研究需要进一步强化与深化的内容。

关键词: 社会-生态系统; 恢复力; 体制转换; 适应; CiteSpace

The progress of research into social-ecological system resilience: a CiteSpace bibliometric analysis

HUANG Xiaojun^{1,2,*}, WANG Bo¹, LIU Mengmeng¹, YANG Xinjun^{1,2}, HUANG Xin³

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

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

3 School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

Abstract: The resilience of social-ecological systems (SES) provides a new perspective for deepening the understanding of the complex interaction processes and mechanisms between human-kind and nature. The resilience of SES has become an important tool in promoting interdisciplinary integration and global sustainable development. To summarize the main characteristics of resilience in SES, the CiteSpace bibliometric method was used to analyze the keywords, authors, institutions, and citations of references regarding resilience in SES literature selected from Web of Science Core Collection. Based on the bibliometric analysis results, we discuss the progresses of resilience in SES and review the concept, connotation, assessment framework, measurable methods, regime shift, and adaptive management of resilience in SES. Finally, this article provides suggestions for future research. This study shows that the number of articles published in the field of resilience in SES has been rising rapidly. Most of the research focuses on ecology, environmental science, and

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41571163); 中央高校基本科研业务费资助项目(自然科学类)基础研究培育项目(310827171012)

收稿日期: 2018-04-09; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangxj@nwu.edu.cn

geography. Folke, from Stockholm University, is a leading scholar in this field. Research on the resilience of SES is highly diversified. Most of the research in this field concentrates on theoretical analysis, empirical approaches, and adaptive management in practice. It is necessary to improve some research areas in the future, including scale, social-ecological system integration, the measurement and assessment of resilience, and the relationship between regime shifts and resilience change.

Key Words: social-ecological system; resilience; regime shift; adaptation; CiteSpace

从 2012 年国际科学联盟发起“未来地球研究计划”(Future earth)到 2017 年国际地理联合会“面向未来地球的地理学:人地系统耦合与可持续发展委员会”(IGU-GFE)成立,强调自然与人文学科交叉的人地系统耦合研究正成为推动全球可持续发展与跨学科综合研究的新路径^[1]。然而,由于人类与自然之间复杂的交互作用,人地系统在相互作用过程与机理的深化研究、综合集成方法体系的完善等方面仍面临极大挑战^[2-4],亟需更有效的框架与方法来深刻理解人地系统的复杂性。

社会-生态系统(Social-Ecological System)及其恢复力(Resilience)研究认为,人类社会与自然环境耦合构成一个社会-生态系统,恢复力可理解为系统遭受干扰后维持其基本结构与功能的能力^[5],强调人类社会在环境变化时的调整与适应,为开展人地关系研究提供了基本的逻辑框架。作为可持续性科学的核心论题之一^[6],恢复力思维对深刻理解社会-生态系统复杂过程,深化人地关系研究具有重要启示:(1)恢复力理论强调系统具有多稳态,不同的稳态即系统的不同体制,系统可以在不同体制间转换,主要取决于表征系统关键变量的临界阈值是否被跨越^[7],这是理解和揭示复杂社会-生态系统非线性变化过程的关键;(2)系统的体制转换往往意味着恢复力发生重大变化^[8],尤其是恢复力的损失将导致整个系统的脆弱性突显,恢复力框架有助于综合评估社会-生态系统面临的干扰强度以及系统的响应与适应能力,为诊断社会-生态系统状态,改善系统恢复力,促进系统可持续发展提供科学依据;(3)恢复力研究多采用适应性循环来描述和分析系统动态过程与机制,强调局部尺度上系统的恢复力将受到不同尺度系统状态及其变化的影响^[9],这对深刻理解社会-生态系统中多要素的跨尺度作用,深化人地系统相互作用机理研究具有重要借鉴价值。

社会-生态系统恢复力研究作为交叉学科出现,涉及的研究领域较广,研究方向也较为宽泛,尤其是近些年来该领域研究发展迅速,大量研究成果不断涌现,而相关的综述类文章较少,并缺乏科学的文献计量分析。基于此,本文运用科学计量的方法,主要针对国外发表的社会-生态系统恢复力研究的相关期刊文献进行图谱量化研究,分析近年来社会-生态系统恢复力研究的发展趋势与主要特征,并通过详细阅读部分典型文章,重点评述目前国外社会-生态系统恢复力研究进展与主要研究内容,并结合当前我国研究现状,对未来研究方向进行展望。

1 社会-生态系统恢复力文献计量分析

CiteSpace 是在科学计量学中进行数据和信息可视化分析的软件,可呈现出科学知识的结构、规律和分布情况,并形成可视化图形,即“科学知识图谱”,CiteSpace 已在文献计量分析领域得到广泛应用。本文的检索数据来源于科学引文检索 Web of Science 核心合集,主要对该数据中的社会-生态系统恢复力相关文献进行计量和统计分析。检索时间段为 2001—2017 年,主题词为“恢复力”(resilience)和“社会-生态系统”(social-ecological system),共检索到 1662 条记录。

1.1 总体研究概况

对 Web of science 核心合集中收集到的 1662 篇文献进行初步统计分析,发现从 2001—2017 年社会-生态系统恢复力的研究呈现总体上升趋势,尤其是 2010 年以来发文量快速增长,2016 年达到顶峰,全年共发表相关论文 271 篇,占全部发文量的 15.9%(图 1)。从分布的国家来看,美国在社会-生态系统恢复力研究领域发

表的论文数量最多,总计达到 645 篇,占发文总量的 38.6%,其次为澳大利亚、英国、瑞典、加拿大、德国、荷兰等国家(图 2)。从论文发表的期刊来看,集中发表在《Ecology and Society》上,总计 396 篇,占全部发文量的 23.3%,其次为《Global Environmental Change》、《Sustainability》、《Regional Environmental Change》和《Ambio》等期刊(图 3)。从论文的学科类别来看,社会-生态系统恢复力文献主要集中在生态与环境研究领域,其次为地理学、可持续性科学与技术、水资源等(文章所属学科类别的划分具有一定的重复率)(图 4)。

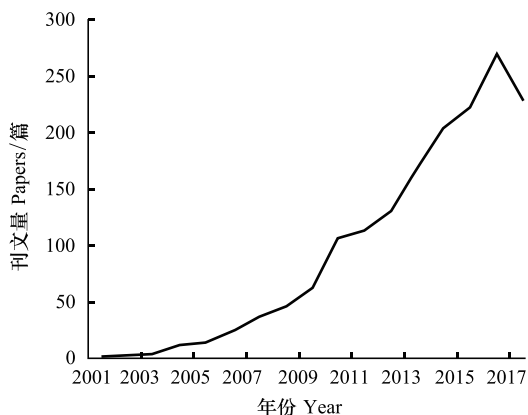


图 1 2001—2017 年社会-生态系统恢复力刊文量

Fig.1 The number of SES resilience papers in 2001—2017

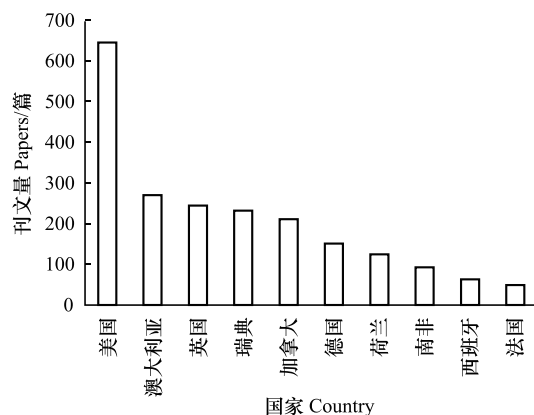


图 2 社会-生态系统恢复力文章主要来源国

Fig.2 Top 10 countries of SES resilience papers



图 3 刊发社会-生态系统恢复力文章主要期刊

Fig.3 Top 10 journals of SES resilience papers

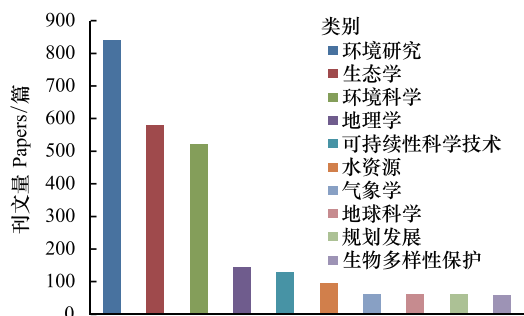


图 4 社会-生态系统恢复力文章的学科类别

Fig.4 Top 10 Categories of SES resilience papers

1.2 知识图谱分析

1.2.1 研究热点

关键词是对论文研究主题与核心内容的高度凝练,关键词的出现频率可以反映其所涉及的研究领域的热点。因此,通过词频分析方法提取社会-生态系统恢复力相关文献信息中关键词频次的高低分布,可以得到该领域的研究热点。使用 CiteSpace 对文献数据的关键词进行分析,设置时间跨度为 2001—2017 年,单个时间分区长度为 1 a,节点类型选择关键词,提取每个时区中被引频次最高的 30 个关键词,剪裁方法选择最小树法,生成关键词图谱(图 5)。可以看出“恢复力”(resilience)和“社会-生态系统”(social ecological system)是网络中最大的两个节点,出现频次分别达到 837 次和 788 次;其次为“管理”(management)、“气候变化”(climate change)、“脆弱性”(vulnerability)、“管治”(governance)、“可持续性”(sustainability)、“适应”(adaptation)等,出现频次均在 200 次以上。突变性关键词(Burst Detection)表示待考察的关键词在短期内跃迁的现象,强调突变性^[10]。通过对关键词突变性的分析,可以了解研究热点的动态变化。从社会-生态系统恢复力研究文献的突变性关键词来看(图 6),该领域研究呈现出多元化特征,不同时期出现了不同的突变

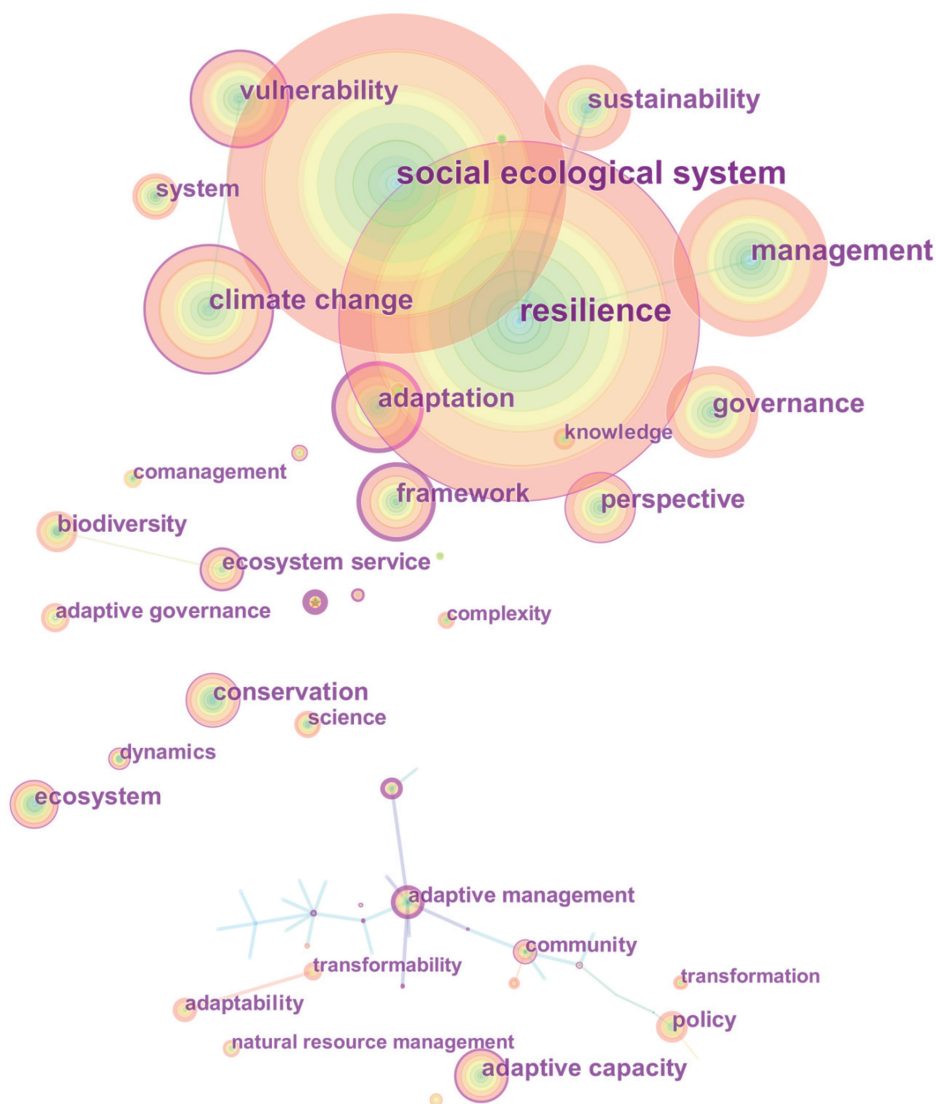


图5 社会-生态系统恢复力研究关键词图谱

Fig.5 Key words coexistence network of SES resilience

性关键词。通过进一步的文献梳理,可以总结出以下3个方面的研究热点,分别是社会-生态系统恢复力的动态演化,包括复杂系统、阈值、尺度、体制转换、转型等关键词;社会-生态系统恢复力的适应性管理,包括生态系统管理、自然资源管理、制度、适应性管治、适应能力等关键词;不同类型社会-生态系统恢复力的实证研究,包括环境变化、不确定性、农业社会-生态系统、渔业社会-生态系统等关键词。

1.2.2 研究网络

通过对文献作者和研究机构的共现分析,可以识别出该领域研究的权威机构和学者及其合作网络关系。在 CiteSpace 中提取 2001—2017 年发文量最多的前 30 位作者,得出社会-生态系统恢复力研究作者合作网络(图 7)。图中节点越大,表明其发文量越多。从图中可以看出,发表数量最多的作者是 Folke,达到了 52 篇,远超其他作者;其次是 Olsson 和 Berkes,发文量分别达到了 24 篇和 20 篇;发文量在 10 篇以上的学者共有 15 人,总发文量达到 245 篇,占有所有作者发文量的 14.7%;发文量在 5—9 篇的学者总共有 34 人,总发文量达到 213 篇,占有所有作者发文量的 12.8%。总体来看,社会-生态系统恢复力领域涉猎范围较广,作者集中度较低,除小部分学者发文量在 5 篇以上,绝大部分学者发文量都在 1—2 篇。在作者合作网络中,Folke 位于网络中心,是社会-生态系统恢复力研究领域的核心人物,多数学者与他开展过合作研究,如 Olsson、Elmqvist、Berkes、

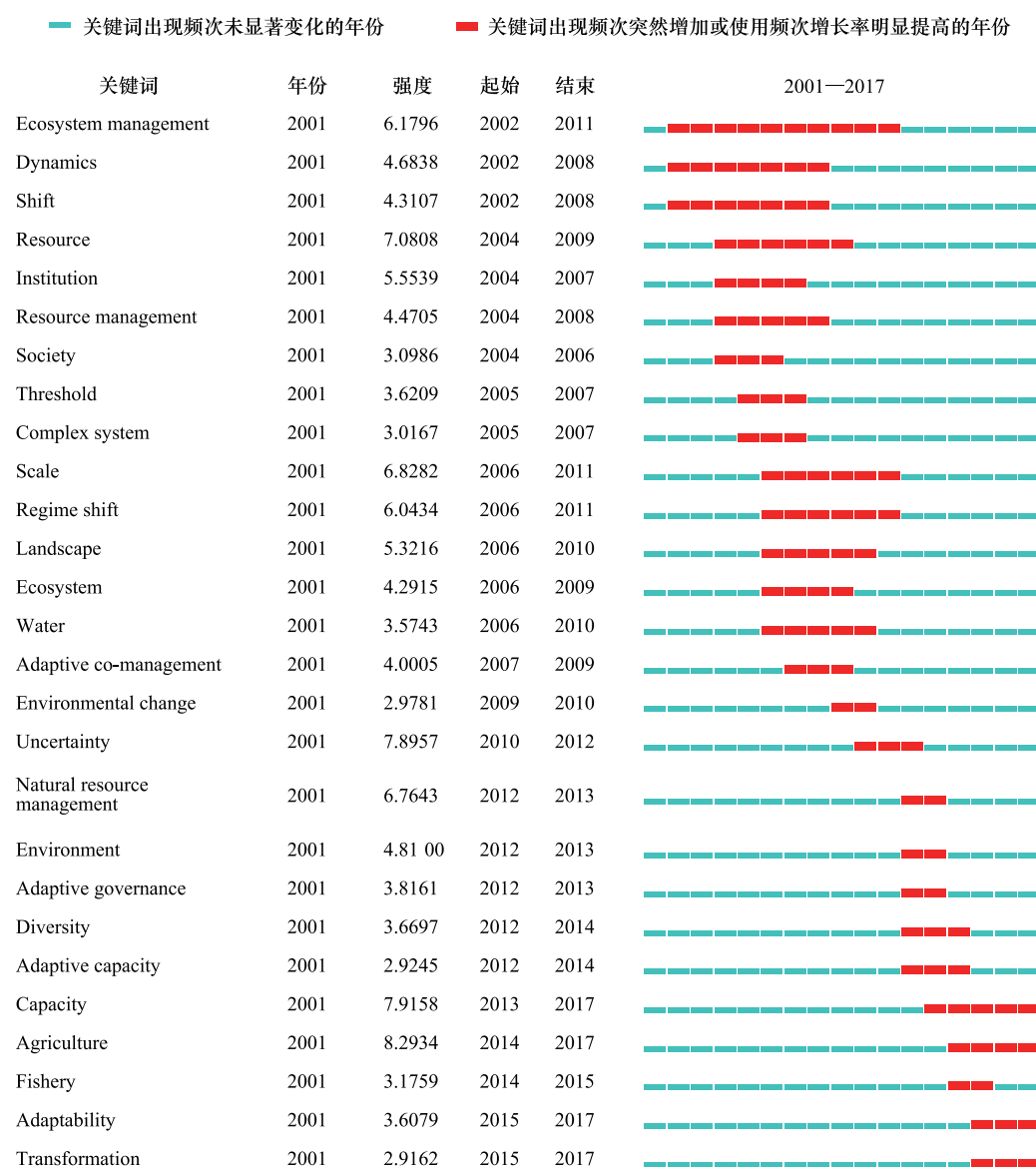


图6 社会-生态系统恢复力文献突变性关键词

Fig.6 Keywords burst detection of SES resilience papers

Carpenter、Walker 等,他们之间的合作强度大,互引关系强,是社会-生态系统恢复力研究的中坚力量。此外,也有学者组成自己的研究团队,例如 Garmestani、Allen 和 Benson。

在 CiteSpace 中进一步提取 2001—2017 年发文量最多的前 30 个研究机构,得出社会-生态系统恢复力研究机构合作网络(图 8)。图中节点越大,表明研究机构出现次数越多。从图中可以看出,出现次数最多的是斯德哥尔摩大学(Stockholm University),达到 121 次,该大学也是 Folke 所在的机构,其次是亚利桑那州立大学(Arizona State University)和詹姆斯库克大学(James Cook University),分别为 54 次和 40 次,其他机构还包括瑞典皇家科学院、荷兰瓦格宁根大学、东安格利亚大学等。从合作网络关系来看,威斯康辛大学作为一个中心点,与斯德哥尔摩大学、昆士兰大学、纳尔逊·曼德拉城市大学等机构之间存在较强的合作关系。此外,明尼苏达大学与牛津大学、澳大利亚国立大学、瓦格宁根大学之间存在较强的合作关系;东安格利亚大学、亚利桑那大学、墨尔本大学之间合作也比较密切,其他机构之间合作关系较少。

1.2.3 引文分析

共被引分析 (Co-Citation analysis) 是指两篇文献共同出现在了第三篇施引文献的参考文献目录中, 则这

两篇文献形成共被引关系,通过对一个文献空间数据集进行文献共被引关系的挖掘过程就是文献的共被引分析^[11]。通过对文献共被引的分析,可以得到一个研究领域的知识基础,这对理解该领域核心研究内容具有重要启示。在 CiteSpace 中设置时间跨度为 2001—2017 年,单个时间分区长度为 1a,节点类型选择参考文献,提取每个时区中被引次数最多的前 30 篇文章,运行软件后进行聚类分析并加以命名,得到文献共被引网络图谱(图 9),结果显示,共识别出 12 个文献共被引聚类。通过对这些聚类标签的进一步分析,可以发现 3 个方面的研究内容,一是紧紧围绕社会-生态系统恢复力这一主题的理论研究,恢复力(resilience)和社会-生态整合系统(linked social-ecological systems)是较为显著的聚类,分别包括 67 篇和 86 篇被引文献节点,这些文献主要侧重于将社会-生态系统进行整合关联,并从恢复力视角对其开展研究,内容上集中在社会-生态系统恢复力的概念内涵与理论分析框架等方面的探讨;二是社会-生态系统恢复力的实证研究,侧重于不同类型的社会-生态系统及其研究方法,反映在图谱中的洪水(floods)、珊瑚(precious corals)、转型(transformation)、制图(mapping)、尺度层级(hierarchy)和参与式研究

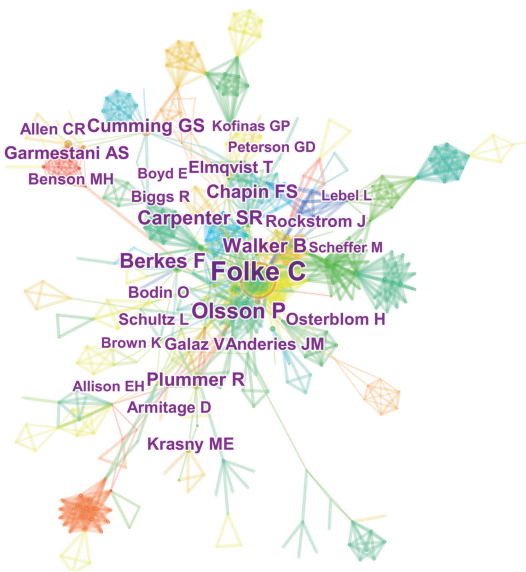


图 7 社会-生态系统恢复力研究作者合作网络
Fig.7 Authors' cooperation network of SES resilience

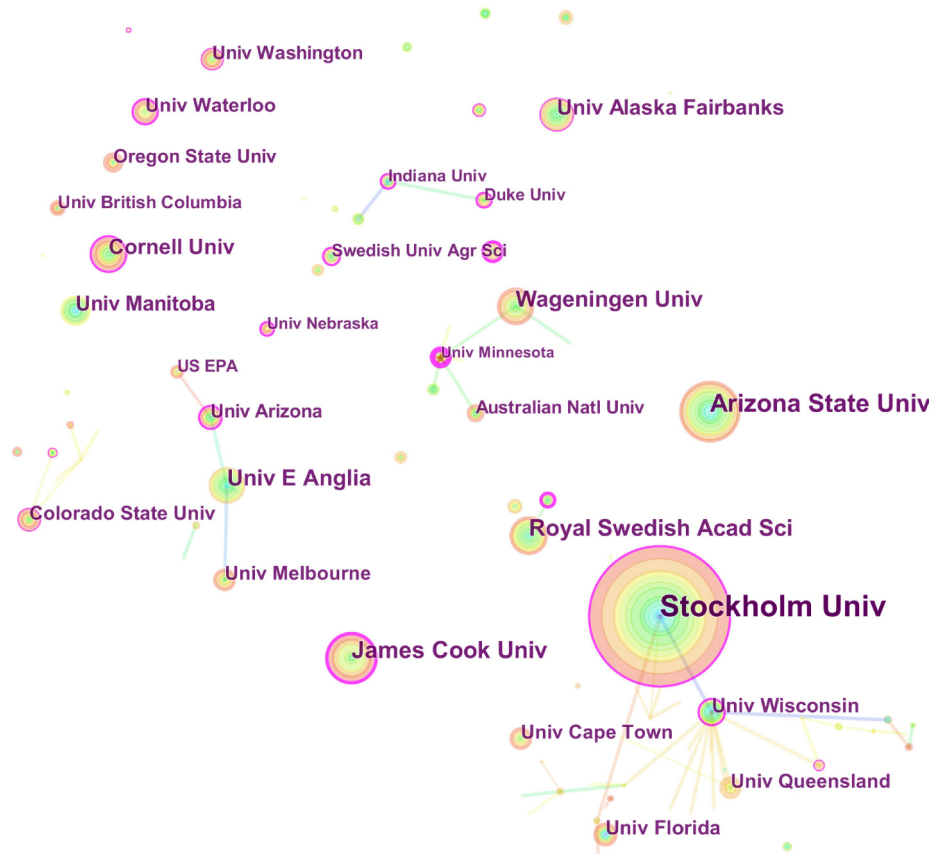


图 8 社会-生态系统恢复力研究机构合作网络
Fig.8 Institutions' cooperation network of SES resilience

(participatory research) 等聚类,共包括 133 篇被引文献节点;三是社会-生态系统管理与恢复力建设路径,主要包括生态系统管理(ecosystem management)、适应性共同管理(adaptive comanagement)和适应路径(adaptation pathways)等聚类,共包括 116 篇被引文献节点。

2 社会-生态系统恢复力研究进展

基于上述文献计量分析,并进一步认真阅读主要文献,可以发现社会-生态系统恢复力的研究热点与研究内容主要集中在 4 个方面,分别是社会-生态系统恢复力的基础理论探讨,主要侧重于概念的理解与内涵特征分析;社会-生态系统恢复力的实证研究,主要侧重于对不同类型社会-生态系统恢复力进行评估与量化测度;社会-生态系统恢复力动态演化,主要侧重于从体制转换视角揭示社会-生态系统演化及其恢复力变化;社会-生态系统恢复力建设与适应性管理,主要侧重于从政策、制度等方面提出社会-生态系统恢复力的改善与提升路径。

2.1 社会-生态系统恢复力概念与内涵

恢复力(Resilience)源于 Holling 在生态系统中的开创性研究,其将生态恢复力定义为生态系统从一个稳定域转换到另一个稳定域之前所能承受的扰动量^[12]。恢复力概念自提出以来便受到学术界持续关注,成为理解复杂适应系统的重要工具,尤其是为社会-生态系统的综合研究提供了重要启示^[13]。当前,国内对 Resilience 一词的翻译也不尽相同,主要包括恢复力、弹性和韧性 3 种,弹性和韧性常见于城市研究和城市规划领域^[14-15],恢复力则多存在于生态环境和社会-生态系统领域^[16-17]。

社会-生态系统恢复力多被理解为人类社会与自然环境耦合构成的系统在变化时吸收干扰和重组的能力,以保持其基本的功能、结构、特性和反馈^[5]。尽管不同领域对恢复力概念的表述具有差异,但学者们对于恢复力的内涵和逻辑具有相似的理解。多数学者从缓冲能力(Buffer capacity)、自组织(Self-organization)和学习能力(Capacity of learning)3 个维度来理解和评估恢复力。缓冲能力多被描述为系统保持基本结构和功能条件下可承受(吸收)的变化量(干扰)^[18];自组织是指通过社会结构(自上而下的过程)和人的行为(自下而上的过程)重建社会规则、规范、价值和组织,社会-生态系统中的自组织多强调人类社会面对扰动与变化的行为调整与适应能力;学习能力强调获取知识、技能、经验,并将其转化为行动的能力,一般包括对环境变化的认知、共同的社会愿景、学习机会、知识共享与转化、社会记忆增强等^[19]。

Walker 提出恢复力有 4 个关键要素,范围(Latitude),系统在丧失恢复力前可改变的最大量;抗性(Resistance),系统对变化的抵抗程度;不稳定性(Precariousness),系统当前状态距阈值的距离;扰沌(Panarchy),系统在特定尺度上的恢复力将受到不同尺度上系统状态及其变化的影响。同时,他认为外部扰动下的社会-生态系统的变化由恢复力、适应力和转化力 3 个属性决定,转化力可理解为系统无法维持现有的路径,跨越临界点到另一个状态,甚至创造出全新的系统的能力^[5]。

2.2 社会-生态系统恢复力评估与量化

恢复力评估是社会-生态系统恢复力研究中的重要内容之一。评估的主要目标是辨识社会-生态系统面临的风险和机会,量化系统的恢复能力,理解扰动、系统功能、反馈及其相互作用,为社会-生态系统管理与恢复力提升提供依据。

2.2.1 评估框架

目前,相关机构和学者开发了一些恢复力评估框架,在农业社会-生态生态系统、渔业社会-生态系统、流

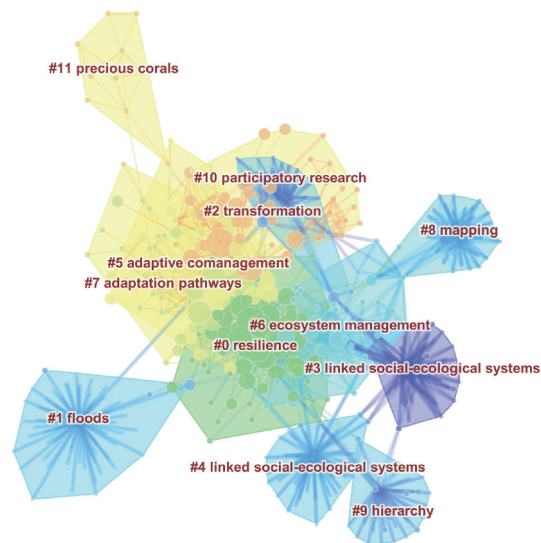


图9 社会-生态系统恢复力研究文献共被引图谱

Fig.9 Co-citation references network of SES resilience

域管理以及生计恢复力等方面得到应用。恢复力联盟(Resilience Alliance)提出了复杂社会-生态自适应系统恢复力评估手册,目的是从复杂系统角度理解社会-生态系统,并制定战略管理目标,包括辨识系统边界、系统动态演化、系统交互作用和适应性治理等模块^[20]。Quinlan 在此基础上进一步总结了恢复力评估的关键要素,包括建立社会-生态系统概念模型、识别社会-生态系统动态和反馈、确定阈值和替代体制、描述跨尺度交互作用等^[21]。联合国粮农组织提出了恢复力指数测度和分析(RIMA)框架,该框架包括收入和粮食、服务、援助、资本 4 个可直接衡量的维度以及适应能力和稳定性 2 个较为复杂的维度,但该框架主要侧重对家庭生计恢复力进行比较和测度^[22]。此外,比较有代表性的是 Connell 构建的恢复力、适应和转型评估(RATA)框架,该框架提出的评估程序包括系统描述、系统评估、适应性治理和利益相关者参与等内容,在土地管理、食品安全、农业生态系统中得到较多应用^[23]。总体来看,这些框架为恢复力分析和评估提供了一定指导,但针对社会-生态系统恢复力的评估框架并不多,且已有框架也主要侧重于社会-生态系统恢复力的宏观分析与维度解构,并没有提供具体可操作的指标,也缺乏和具体的评估方法进行有效整合,一定程度上限制了这些评估框架的应用性和可操作性。

2.2.2 量化方法

由于社会-生态系统具有复杂性、非线性、多稳态等特征,使得社会-生态系统恢复力的直接测度与量化非常困难,多数学者通过使用替代方法进行间接的推断。Carpenter 将这些方法总结为利益相关者评估、模型探索、历史分析及案例比较 4 类^[24]。基于社会-生态系统恢复力的替代性指标体系,建立恢复力指数模型,进而开展恢复力量化测度也是较常用的方法,大多数学者将社会-生态系统恢复力理解为不同的属性或维度,如缓冲能力、自组织、学习能力、适应能力、转型能力等,对不同维度构建相应的指标体系,进而采用加权后的综合指数实现恢复力的量化测度。尽管近年来恢复力评估与量化方法获得长足进步,但仍面临较大挑战。相对而言,生态系统恢复力评估方法发展较快,出现了网络分析、不连续性分析、情景模拟等方法与工具^[7];而社会-生态系统恢复力的评估大多仍以定性方法为主,定量方法的实施仍受到一定限制。

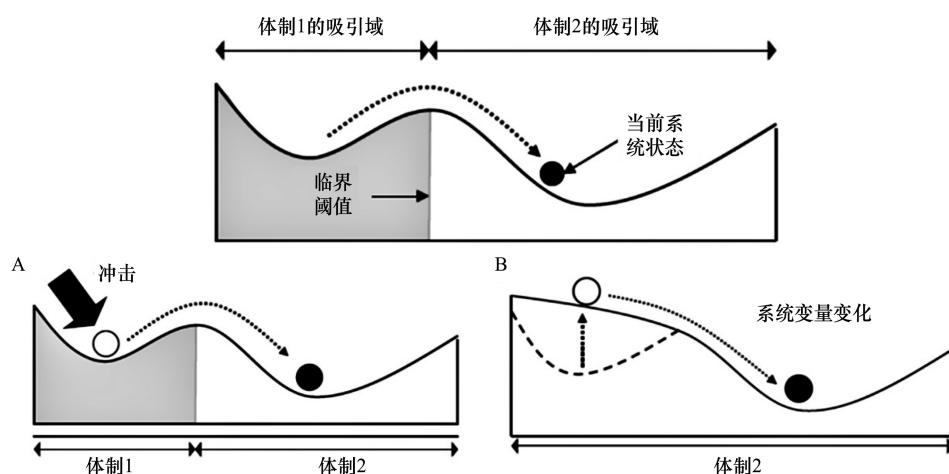
2.3 体制转换与社会-生态系统恢复力演化

恢复力理论将复杂的社会-生态系统变化理解为一个非线性多稳态转换的过程,多采用体制转换(regime shift)来解释系统演化,体制转换已成为理解社会-生态系统演化及其恢复力变化的重要视角。体制转换理论已经应用到不同类型的生态系统和社会-生态系统中,体制转换数据库(www.regimeshifts.org)提供了大量不同类型系统体制转换的实例。

体制转换多被描述为系统结构和功能发生的巨大、突然和持续的变化,这种变化会对生态系统服务和人类福祉产生重要影响^[25]。Biggs 采用球-盆模型来描述系统的体制转换过程^[26],不同的吸引域(Domain of attraction)代表着系统潜在的体制(球形表示当前系统的体制状态),体制转换意味着当系统跨越临界阈值(Critical threshold)时,系统从一个吸引域到另一个吸引域的变化。体制转换通常由外部冲击或系统变量的缓慢变化以及二者之间的相互作用引起,这些变化改变了系统的吸引域(恢复力),从而导致体制转换的发生(图 10)。

2.3.1 体制转换的识别

基于系统长时间序列状态变化,探究体制转换的关键节点,进而分析社会-生态系统演化特征与规律是当前该领域的核心研究内容。判断系统体制是否发生转换的思路是辨识表征系统状态变化的关键变量,并识别这些变量非线性变化的拐点^[27]。体制转换的识别方法大体可划分为统计分析方法和模型分析方法两大类。统计分析主要是通过对系统关键变量在时间序列上变化的突变点来识别体制转换,具体方法包括 Mann-Kendall 趋势检验法^[28]、Pettitt 检验^[29]、序贯 t 检验方法(STARS)^[30]、奇异谱分析(SSA)^[31]等;统计分析方法的优势在于能够辨别变量变化类型(突发或渐进),揭示体制转换的因果机制,但其对长时间序列数据的积累具有较高的要求。模型分析方法目前主要有系统动力学模型(SD)^[32]、均衡模型(EMs)^[33]、分岔分析模型^[34]、布尔网络(Boolean networks)^[35]、贝叶斯网络模型^[27]等;模型分析方法的优势在于参数的调整具有较

图 10 系统体制转换示意图^[26]Fig.10 Regime shift of system^[26]

大灵活性,能够模拟不同类型复杂系统的过程,难点在于系统因果反馈关系的建立以及相关指标的选取。

2.3.2 体制转换的影响因素

在揭示体制转换过程基础上,学者们也开始关注体制转换的影响因素与驱动机制,如 Chen 探讨了外部驱动和系统状态交互作用对干旱区生态系统体制转换的影响^[36]; Rocha 比较分析了海洋、陆地和极地系统体制转换的驱动因素以及对生态系统服务的影响^[37]; Sugiarto 探讨了社会网络对社会-生态系统体制转换的作用^[38]; Kinzig 基于 4 个案例的比较研究,分析了斑块尺度的生态阈值、景观尺度的经济阈值和区域尺度的社会文化阈值在社会-生态系统体制转换中的相互作用,揭示了体制转换过程中不同尺度间的传递效应^[39]。总体来看,生态系统的体制转换仍是当前该领域关注的主要对象,社会-生态系统体制转换的理论和实证研究仍相对较少。此外,体制转换的识别方法与实证研究是该领域的核心内容,而对于体制转换的影响因素与作用机制等内容的研究仍显不足。

2.4 社会-生态系统恢复力建设与适应性管理

恢复力建设和管理可以提高社会-生态系统应对突发事件的能力,增加变化世界中持续发展的可能性。恢复力管理的核心思想之一是积极维护系统的各种功能和反馈,使系统远离关键阈值,避免系统陷入不理想的状态,并提高系统应对变化的能力。如果系统已经陷入到非理想状态,则强调改善系统恢复力,促使其向理想的体制转变,并加强该体制的恢复力^[8]。Berkes 等提出了社会-生态系统恢复力建设的 4 个关键因素,包括积极面对变化和不确定性、培育多样性、提高知识学习和问题解决能力、创造自组织机会^[40]; Lebel 从参与建立信任、形成多中心多层次机构、追求利益分配和非自愿风险的问责机构等方面探讨了如何管理系统恢复力^[41]; Biggs 总结了构建和提高恢复力的 7 种对策,包括保持多样性和冗余、管理连通性、管理慢变量和反馈、将社会-生态系统理解为复杂的适应系统、鼓励学习、扩大参与、推动多中心治理体系建设^[26]。

适应性管理是构建社会-生态系统恢复力的一个常用工具,它强调形成一个灵活开放的社会结构和多级管理制度,以提高学习、适应和恢复能力^[42]。对此,Olsson 通过瑞典和加拿大的案例研究探讨了地方适应性管理如何通过社会网络的自组织、学习和主动适应提高社会-生态系统的恢复力^[43]; Derek 概述了适应性共同管理的核心特征—跨越尺度的制度安排和激励机制、从变化中学习、干预措施的监督、权利的作用及科学指导政策的机会^[44]; Folke 探索了危机时期社会-经济系统适应性治理经验和更新重组的社会来源^[45]; Gunderson 通过六个北美洲流域的案例研究表明适应性治理可能受到生态或法律程序的触发、促进或约束^[46]。

3 社会-生态系统恢复力研究展望

社会-生态系统恢复力为深化人类与自然的复杂相互作用过程与机理研究提供了新的视角,并成为推动

当前跨学科整合与全球可持续发展的主要工具。这一研究领域也引起了国内学术界的广泛关注,我国学者较早引入了恢复力的概念,并将恢复力框架应用到灾害(旱灾、水灾)^[47-48]、生态系统(森林、湖泊)^[49-50]、区域经济^[51]、社会(社区、贫困)^[52-53]、资源(水资源、土地资源)^[54-55]等不同领域。但综合性的社会-生态系统恢复力研究方面仍处于起步阶段,大多仍是对国外已有研究的介绍和综述^[56-58],取得的成果也主要集中在旅游社会-生态系统恢复力研究中^[59-60],与国外相比,我国社会-生态系统恢复力研究在理论、方法以及实证研究案例等方面都有待于进一步加强。值得欣喜的是,我国中山大学已开设“社会-生态系统恢复力”课程,在对西方研究成果的系统化引介、跨学科人才培养方面做出了探索。

综合国内外已有研究文献来看,社会-生态系统恢复力在以下几个方面仍有待于进一步拓展和深化:(1)跨尺度相互作用。社会-生态系统恢复力在不同尺度上具有不同表征,而特定尺度上的恢复力又受到不同尺度上系统状态及其变化的影响,如何理清不同尺度社会-生态系统恢复力的相互作用与嵌套关系是该领域研究面临的巨大挑战,也是深刻理解社会-生态系统恢复力演化机制需要解决的关键问题。(2)社会-生态系统整合。恢复力工具在单一学科中的应用研究已较广泛,如社会恢复力、经济恢复力和生态恢复力等,而在社会-生态系统研究中的应用仍较匮乏,主要原因在于跨学科理论框架与技术方法整合的障碍。《Ecology and Society》等跨学科期刊为该领域研究提供了良好的平台,未来应进一步加强跨学科理论、数据方法以及技术手段的深度融合。(3)社会-生态系统恢复力量化评估。目前的恢复力评估与测度方法仍较薄弱,尤其是对于跨学科的社会-生态系统而言,还没有得到广泛认可的评估框架与量化方法,已有的通过评价指标体系进行测度的方法在指标的选取、权重的确定以及结果验证等方面的科学性仍有待加强,同时还应积极探索统计、模型等多元化方法。(4)体制转换与恢复力变化关系。体制转换是揭示社会-生态系统动态演化的重要视角,但目前已有研究对于体制转换与恢复力变化之间的关系仍不清晰,对体制转换以及恢复力变化的影响因素研究也不够深入,亟需对二者之间的关联机制进行深入剖析,以便深刻理解社会-生态系统演化过程及其动力机制。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策. 地理学报, 2017, 72(11): 1923-1932.
- [2] 陆大道, 郭来喜. 地理学的研究核心——人地关系地域系统——论吴传钧院士的地理学思想与学术贡献. 地理学报, 1998, 53(2): 97-105.
- [3] 美国国家科学院研究理事会. 理解正在变化的星球: 地理科学的战略方向. 刘毅, 刘卫东, 译. 北京: 科学出版社, 2011.
- [4] 樊杰. 人地系统可持续过程、格局的前沿探索. 地理学报, 2014, 69(8): 1060-1068.
- [5] Walker B, Holling C S, Carpenter S R, Kinzig A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. Ecology and Society, 2004, 9(2): 5.
- [6] Kates R W, Clark W C, Corell R, Hall J M, Jaeger C C, Lowe I, McCarthy J J, Schellnhuber H J, Bolin B, Dickson N M, Faucheux S, Gallopin G C, Grubler A, Huntley B, Jäger J, Jodha N S, Kaspersen R E, Mabogunje A, Matson P, Mooney H, Moore III B, O'Riordan T, Svedlin U. Environment and development: sustainability science. Science, 2001, 292(5517): 641-642.
- [7] Angeler D G, Allen C R. Quantifying resilience. Journal of Applied Ecology, 2016, 53(3): 617-624.
- [8] Pope K L, Allen C R, Angeler D G. Fishing for resilience. Transactions of the American Fisheries Society, 2014, 143(2): 467-478.
- [9] Walker B H, Salt D. Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in A Changing World. Washington, D.C.: Island Press, 2006.
- [10] 王云, 马丽, 刘毅. 城镇化研究进展与趋势——基于 CiteSpace 和 HistCite 的图谱量化分析. 地理科学进展, 2018, 37(2): 239-254.
- [11] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- [12] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 1-23.
- [13] Folke C. Resilience (Republished). Ecology and Society, 2016, 21(4): 44.
- [14] 黄晓军, 黄馨. 弹性城市及其规划框架初探. 城市规划, 2015, 39(2): 50-56.
- [15] 徐江, 邵亦文. 韧性城市: 应对城市危机的新思路. 国际城市规划, 2015, 30(2): 1-3.
- [16] 闫海明, 战金艳, 张韬. 生态系统恢复力研究进展综述. 地理科学进展, 2012, 31(3): 303-314.
- [17] 汪辉, 徐蕴雪, 卢思琪, 任懿璐, 象伟宁. 恢复力、弹性或韧性? ——社会—生态系统及其相关研究领域中“Resilience”一词翻译之辨析. 国际城市规划, 2017, 32(4): 29-39.
- [18] Carpenter S R, Arrow K J, Barrett S, Biggs R, Brock W A, Crépin A S, Engström G, Folke C, Hughes T P, Kautsky N, Li C A, McCarney G,

- Meng K, Mäler K G, Polasky S, Scheffer M, Shogren J, Sterner T, Vincent J R, Walker B, Xepapadeas A, de Zeeuw A. General resilience to cope with extreme events. *Sustainability*, 2012, 4(12): 3248-3259.
- [19] Speranza C I, Wiesmann U, Rist S. An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social-ecological dynamics. *Global Environmental Change*, 2014, 28(1): 109-119.
- [20] Resilience Alliance. Assessing Resilience in Social-Ecological Systems: Workbook for Practitioners. Version 2.0, 2010.
- [21] Quinlan A E, Berbés-Blázquez M, Haider L J, Peterson G D. Measuring and assessing resilience: broadening understanding through multiple disciplinary perspectives. *Journal of Applied Ecology*, 2016, 53(3): 677-687.
- [22] Bousquet F, Botta A, Alinovi L, Barreteau O, Bossio D, Brown K, Caron P, Cury P, D'Errico M, DeClerck F, Dessard H, Kautsky E E, Fabricius C, Folke C, Fortmann L, Hubert B, Magda D, Mathevet R, Norgaard R B, Quinlan A, Staver C. Resilience and development: mobilizing for transformation. *Ecology and Society*, 2016, 21(3): 40.
- [23] O'Connell D, Walker B, Abel N, Grigg N. The Resilience, Adaptation and Transformation Assessment Framework: from Theory to Application. CSIRO, Australia, 2015.
- [24] Carpenter S R, Westley F, Turner M G. Surrogates for resilience of social-ecological systems. *Ecosystems*, 2005, 8(8): 941-944.
- [25] Biggs R, Carpenter S R, Brock W A. Turning back from the brink: detecting an impending regime shift in time to avert it. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(3): 826-831.
- [26] Biggs R, Schlüter M, Schoon M L. Principles for Building Resilience: Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.
- [27] Perry R I, Masson D. An integrated analysis of the marine social-ecological system of the Strait of Georgia, Canada, over the past four decades, and development of a regime shift index. *Progress in Oceanography*, 2013, 115(4): 14-27.
- [28] Liu Y B, Wu G P, Zhao X S. Recent declines in China's largest freshwater lake: trend or regime shift? *Environmental Research Letters*, 2013, 8(1): 014010.
- [29] Yang Z, Zhou Y, Wenninger J, Uhlenbrook S. The causes of flow regime shifts in the semi-arid Hailu River, Northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(1): 87-103.
- [30] Rodionov S N. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(9): L09204.
- [31] Filatova T, Polhill J G, van Ewijk S. Regime shifts in coupled socio-environmental systems: Review of modelling challenges and approaches. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 75: 333-347.
- [32] Johnny M T. A Regime Shift Analysis of Poverty Traps in Sub-Saharan Africa: Identifying Key Feedbacks and Leverage Points for Change. Uppsala Universitet, 2012.
- [33] Löfgren H, Robinson S. Spatial Networks in Multi-Region Computable General Equilibrium Models. Washington, D.C.: Trade and Macroeconomics Division, International Food Policy Research Institute, 1999.
- [34] Lade S J, Tavoni A, Levin S A, Schlüter M. Regime shifts in a social-ecological system. *Theoretical Ecology*, 2013, 6(3): 359-372.
- [35] Gaucherel C, Théro H, Puiseux A, Bonhomme V. Understand ecosystem regime shifts by modelling ecosystem development using Boolean networks. *Ecological Complexity*, 2017, 31: 104-114.
- [36] Chen N, Wang X P. Driver-system state interaction in regime shifts: a model study of desertification in drylands. *Ecological Modelling*, 2016, 339: 1-6.
- [37] Rocha J C, Peterson G D, Biggs R. Regime shifts in the anthropocene: drivers, risks, and resilience. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0134639.
- [38] Sugiarto H S, Chung N N, Lai C H, Chew L Y. Socioecological regime shifts in the setting of complex social interactions. *Physical Review E*, 2015, 91(6): 062804.
- [39] Kinzig A P, Ryan P, Etienne M, Allison H, Elmqvist T, Walker B H. Resilience and regime shifts: assessing cascading effects. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 20.
- [40] Berkes F. Understanding uncertainty and reducing vulnerability: lessons from resilience thinking. *Natural Hazards*, 2007, 41(2): 283-295.
- [41] Lebe L, Anderies J M, Campbell B, Folke C, Hatfield-Dodds S, Hughes T P, Wilson J. Governance and the capacity to manage resilience in regional social-ecological systems. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 19.
- [42] Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, Gunderson L, Holling C S, Walker B. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2002, 31(5): 437-440.
- [43] Olsson P, Folke C, Berkes F. Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems. *Environmental Management*, 2004, 34(1): 75-90.
- [44] Armitage D R, Plummer R, Berkes F, Arthur R I, Charles A T, Davidson-Hunt I J, Diduck A P, Doubleday N C, Johnson D S, Marschke M, McConney P, Pinkerton E W, Wollenberg E K. Adaptive co-management for social-ecological complexity. *Frontiers in Ecology and the*

Environment, 2009, 7(2): 95-102.

- [45] Folke C, Hahn T, Olsson P, Norberg J. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 30: 441-473.
- [46] Gunderson L, Cosens B A, Chaffin B C, Tom Arnold C A, Fremier A K, Garmestani A S, Craig R K, Gosnell H, Birge H E, Allen C R, Benson M H, Morrison R R, Stone M C, Hamm J A, Nemec K, Schlager E, Llewellyn D. Regime shifts and panarchies in regional scale social-ecological water systems. *Ecology and Society*, 2017, 22(1): 1-31.
- [47] 王俊, 杨新军, 刘文兆. 半干旱区社会—生态系统干旱恢复力的量化研究. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1385-1390.
- [48] 葛怡, 史培军, 周忻, 辜智慧, 陈磊, 钱新, 刘婧, 徐伟. 水灾恢复力评估研究: 以湖南省长沙市为例. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(2): 197-201.
- [49] 战金艳, 闫海明, 邓祥征, 张韬. 森林生态系统恢复力评价——以江西省莲花县为例. *自然资源学报*, 2012, 27(8): 1304-1315.
- [50] 李玉照, 刘永, 赵磊, 邹锐, 王翠榆, 郭怀成. 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法. *生态学报*, 2013, 33(11): 3280-3290.
- [51] 李强. 区域经济恢复力探究. *中央财经大学学报*, 2014, (S1): 45-46.
- [52] 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.
- [53] 陈佳, 杨新军, 尹莎. 农户贫困恢复力测度、影响效应及对策研究——基于农户家庭结构的视角. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(1): 150-157.
- [54] 于翠松. 山西省水资源系统恢复力定量评价研究. *水文*, 2008, (2): 13-17, 66-66.
- [55] 刘焱序, 王仰麟, 彭建, 魏海, 宋治清, 张小飞. 耦合恢复力的林区土地生态适宜性评价——以吉林省汪清县为例. *地理学报*, 2015, 70(3): 476-487.
- [56] 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.
- [57] 周晓芳. 社会-生态系统恢复力的测量方法综述. *生态学报*, 2017, 37(12): 4278-4288.
- [58] Walker B, Salt D. 弹性思维: 不断变化的世界中社会-生态系统的可持续性. 彭少麟, 陈宝明, 赵琼, 译. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [59] 王群, 陆林, 杨兴柱. 千岛湖社会—生态系统恢复力测度与影响机理. *地理学报*, 2015, 70(5): 779-795.
- [60] 陈娅玲, 杨新军. 西藏旅游社会—生态系统恢复力研究. *西北大学学报: 自然科学版*, 2012, 42(5): 827-832.