

保护区远程耦合系统研究进展

张晋东, 郭桢杉, 陈瑞, 李玉杰*

(西华师范大学生命科学学院, 四川南充 637009)

摘要: 远程耦合系统(远距离人类-自然耦合系统之间社会经济和环境的相互作用)是可持续发展研究最新的理论与实践工具,可在多层次时空尺度上研究人类与自然可持续发展问题。随着全球化不断增强,偏远保护区与外界(如城市)的联系愈加紧密,形成多种远程耦合系统。目前,针对人与自然耦合关系的研究集中在保护区内,而关于保护区远程耦合系统的模式与机制研究尚处于起步阶段。本文基于先前开展的保护区人类与自然耦合系统和远程耦合系统研究进行分析,从远程耦合系统理论框架、我国保护区主要远程耦合系统类型及自然干扰下保护区远程耦合系统的动态变化3个方面介绍保护区远程耦合系统研究进展。本文旨在系统梳理保护区远程耦合系统的内涵、类型与动态特征,以促进其理论发展,并针对基于远程耦合系统框架上的保护区社会经济与环境可持续发展研究应用提出展望。

关键词: 远程耦合系统; 人类-自然耦合系统; 动态变化; 自然干扰; 保护区

中图分类号: X36 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 7083(2022)04 – 0473 – 08

Research Progress of Telecoupling Systems in Protected Areas

ZHANG Jindong, GUO Zhenshan, CHEN Rui, LI Yujie*

(College of Life Sciences, China West Normal University, Nanchong, Sichuan Province 637009, China)

Abstract: Telecoupling system (socioeconomic and environmental interactions over distances) is an emerging theoretical and practical framework in sustainability science, which can help study the sustainability of both human societies and the natural environment at multilevel spatiotemporal scales. In an increasingly globalized world, even rural protected areas are more closely and frequently linked to the rest of world (e. g., cities) and play a role in multiple telecoupling systems. However, previous studies have mainly focused on coupled human-natural interactions within isolated protected areas, while the complex patterns and mechanisms of telecoupling in protected areas are not well understood. Here, we introduce the telecoupling and its application progress in the protected areas from theoretical framework, Chinese main types and the telecoupling dynamics under natural disturbances based on analysis of previous studies. We aim to systematically review the connotation, types, and dynamic characteristics of telecoupling in the protected area, improve the development of telecoupling theory. We also propose research prospects related to the application of telecoupling on sustainable studies related to conservation of natural environment and economic development in protected areas.

Keywords: telecoupling system; coupled human and natural systems; dynamics; natural disturbances; protected area

收稿日期: 2021-12-23 接受日期: 2022-04-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(42071279); 国家自然科学基金联合基金项目(U21A20193); 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0402); 西华师范大学青年教师科研资助项目(19D045); 西华师范大学科研创新团队基金项目(CXTD2018-9); 西南野生动植物资源保护教育部重点实验室开放基金项目(XNYB19-01)

作者简介: 张晋东(1978—), 男, 研究员, 主要从事修复生态学与保护生物学研究, E-mail: zhangjd224@163.com

* 通信作者 Corresponding author, E-mail: happyli1207@163.com

1 远程耦合系统框架概述

人类-自然耦合系统(coupled human and natural systems, CHANS)是人类与自然界要素组成的相互作用的系统,研究联系人类与自然系统的模式和过程,强调相互作用和反馈,理解各尺度内及尺度间的相互作用(如大尺度上的现象是局部多种因素相互作用的结果,同时影响局部系统),是一个有嵌套层次的实体概念(Liu *et al.*, 2007a, 2007b),在这个系统中,人类与自然超越不同层次相互影响(Pickett *et al.*, 2005),从而形成了相互作用的复杂网络。过去人类与自然之间的相互作用大多发生在局部地区,随着全球人口数量的增加、经济的快速发展,人与自然的相互作用更多地发生在区域、洲际和全球尺度,人类对自然的影响日趋严重,人类-自然耦合关系的复杂性也日渐增强,导致 CHANS 变化的规模、程度和速度都是空前的(Liu *et al.*, 2007a),因此需要使用远程耦合框架来辅助解决日益复杂的相关问题(Liu *et al.*, 2013)。

远程耦合系统是 CHANS 的自然延伸,指 2 个及更多远距离区域之间的社会经济与环境相互作用,它将每个区域都看成是人类与自然在区域、时间、空间尺度上持续相互作用的 CHANS (Liu *et al.*, 2007a, 2007b, 2013, 2015a, 2015b, 2016a; Alberti *et al.*, 2011)。该系统提供了一种明

确的框架体系来解释和说明社会经济和外部环境跨越空间尺度的相互作用,有助于研究人员和管理者分析远距离的社会经济和环境因素之间的关系(Liu *et al.*, 2007a, 2007b)。远程耦合系统由 CHANS、流、代理、原因和影响 5 个相互作用的部分组成(Liu *et al.*, 2013)。流是系统之间物质、能源或信息的流动,可以是单向,也可以是双向,不同系统之间通过物质、信息、能量的流动建立联系,根据流动的方向,CHANS 可以分为发送(起源)、接收(目的地或接收者)和外溢系统(对发送和接收系统之间的相互作用产生影响和/或被发送和接收系统之间的相互作用影响的系统)(图 1)。代理包括自主决策的实体,可以是单一或者一群人、动物、组织或公司等,能在一定程度上促进或阻碍流,从而能够在系统间产生、维护、加强、削弱或解除远程耦合。原因是指导致不同系统(发送、接收、外溢系统)间产生或改变远程耦合联系的经济、政治、技术、环境和文化等因素。影响是指远程耦合对各 CHANS 的社会经济和环境产生的后果或作用。影响可能在发送、接受或外溢系统中以不同的方式出现,而且可以在不同的时间、空间尺度上出现(Liu *et al.*, 2013)。远程耦合框架明确考虑到各个系统之间的反馈,反馈是远程耦合的重要特性,能帮助研究人员和决策者评估发送、接收、外溢系统中反馈的存在及其有效性(Liu *et al.*, 2013)。

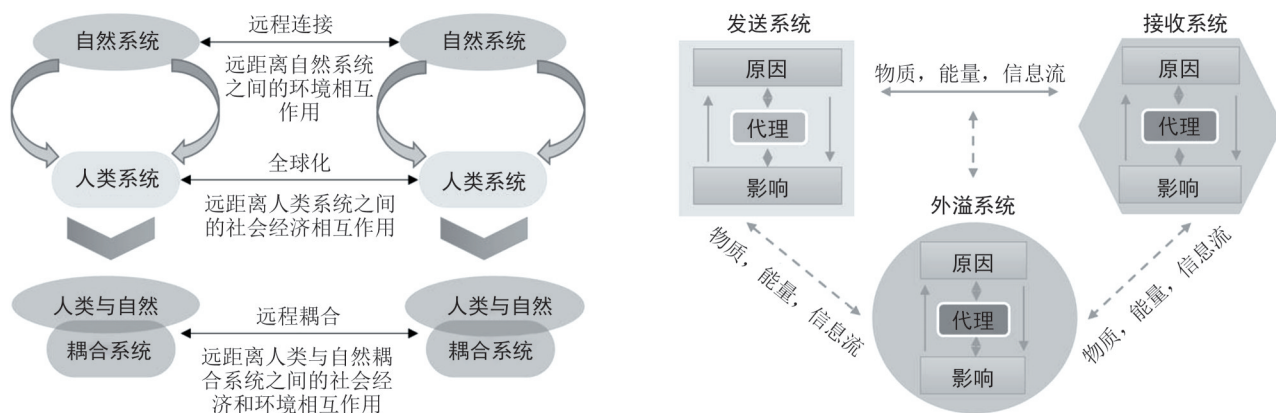


图 1 远程连接,全球化和远程耦合的定义(左)与远程耦合系统框架体系(右)(源自 Liu *et al.*, 2013)

Fig. 1 Definitions of teleconnections, globalization, and telecouplings (left) and telecoupling framework system (right) (from Liu *et al.*, 2013)

自2013年提出以来,远程耦合系统理论得到了重视,并被成功地应用于一系列重要的生态与环境问题研究中,展现了其在研究和保护工作方面的巨大潜力,如生态补偿(Yang *et al.*, 2011),远距离的生态系统服务、评估与管理(Liu *et al.*, 2013; Deines *et al.*, 2016; Fu *et al.*, 2017; Schröter *et al.*, 2018),生物保护(Carter *et al.*, 2014; Tonini & Liu, 2017; Wang & Wang, 2017),食品和林产品贸易(Karen & Anette, 2014; Sun *et al.*, 2015; Yao *et al.*, 2018; Zimmerer *et al.*, 2018),全球土地变化和投资、全球土地使用(Karen & Anette, 2014),城市水资源的可持续性(Deines *et al.*, 2016),水资源调控(Liu *et al.*, 2016b),碳排放(Schierhorn *et al.*, 2016),渔业(Carlson *et al.*, 2017),物种入侵(Hulina *et al.*, 2017)等的分析与处理。远程耦合系统为可持续发展科学及应用(如生物多样性保护、生物入侵控制、土地和水资源利用)提供了独特的挑战和难得的机会(Liu *et al.*, 2013)。作为一个理论框架,远程耦合系统的意义在于提供了一个更广泛的分析方法,它具有语言和逻辑一致性、系统性,对研究人员和其他相关人员了解不同远距离的交互作用特征具有指导性,从而找到方法实现从区域到全球水平社会经济和环境的可持续发展。远程耦合系统体系是一个新兴的理论和实践探索,受数据及多学科交叉等因素的限制,其理论体系的构建和实践应用尚处于初级阶段,相关研究存在大量空白(Liu *et al.*, 2013; 马恩朴等, 2020)。尽管社会经济与环境影响是远程耦合系统应用的重要领域,但是针对具有经济发展与资源保护的保护区管理,其研究尚处于起步阶段(Liu *et al.*, 2015a, 2015b; Zhang *et al.*, 2018)。

2 保护区主要远程耦合系统

2.1 保护区远程耦合系统概述

保护区是为应对生物多样性的急剧下降和生态环境的日益恶化,参照相关法律建立的以保护生物多样性的环境、地质构造等自然综合体的核

心区域,是人类社会经济发展与自然资源保护相互作用最强烈的地区之一,是最具代表性的CHANS(Liu *et al.*, 2001; Dudley & Stolton, 2010)。保护区中受保护的珍稀物种(如大熊猫 *Ailuropoda melanoleuca* 等)或生态系统(如森林、湿地等)是自然系统,保护区内及周边的社区居民为人类系统,人类在生产生活过程中,会利用保护区内的自然资源(如柴薪收集、放牧等),从而产生自然与人类系统的相互作用,形成CHANS(Liu *et al.*, 1999, 2013)。随着全球科学技术与经济的快速发展,即使位于偏远地区的保护区也与外界(如城市)的联系愈加紧密且频繁。保护区内的CHANS与区外的系统相互作用,互为发送与接收系统,形成不同类型的远程耦合系统(Liu *et al.*, 2015a),并对保护区内CHANS产生深刻的影响。然而,目前针对保护区远程耦合系统的研究较少,尤其是其动态特征,及其对保护区内人与自然可持续发展的影响。

2.2 保护区的主要远程耦合过程

远程耦合框架理论的核心是关注远距离人类与自然耦合系统之间的社会经济和环境的相互作用(Liu *et al.*, 2013; 马恩朴等, 2020),因此,保护区作为典型的具有资源利用与保护双重目标的区域,区内的局部CHANS与区外通过人员、资金、物质、信息等流密切关联,形成多种远程耦合过程。现就我国保护区内最常见、发展特征最明显、可预见性也最强的几类远程耦合过程介绍如下:

生态旅游远程耦合过程:即通过人(如游客)和资金流相联系的,以保护区为接受系统、游客所在城市(或国家)为发送系统、旅游相关产业(如户外装备店)为外溢系统的远程耦合过程。产生该远程耦合关系的首要原因是生态旅游一直被视为解决保护区可持续发展的有效途径,也与政府的政策、社区居民发展和保护区自然资源密切相关。以自然为基础的生态旅游一方面给保护区带来经济收益,客观上减少居民对自然资源(如土地、森林资源等)的利用及对珍稀野生动物(如大熊猫等)的干扰等(Liu *et al.*, 2012);另一方面,生态旅

游基础设施的建设、不正确的管理或经营方式可能导致保护区生态环境恶化(马建章,程鲲,2008;Liu *et al.*,2016a)。

基础设施建设(如灾后重建等)形成的远程耦合过程:即基础设施建设过程中的资金流、材料、技术等将保护区(接收系统)与外面的政府或市场(发送系统或外溢系统)联系起来,形成以当地政府、居民、建筑公司等为代理的远程耦合过程,而政策、市场、灾后重建等都可能是影响保护区基础设施建设的主要原因。基础设施的建设一方面能提高居民生活质量(如道路的修建)、创造工作机会、促进发送与外溢系统(如钢筋等)相关行业的发展等;另一方面,也会对各系统的自然环境造成负面影响(Liu *et al.*,2016a)。

劳动力迁移远程耦合过程:即在偏远保护区,更多的年轻人选择外出务工,形成以保护区为发送系统,区外市场或城市为接收系统的远程耦合过程,发送与接收系统之间通过劳动力(人)和资金流联系,外出打工人员和区外的公司等为代理,保护区内就业机会少、收入低,城市吸引力强都可能是形成劳动力迁移的原因。劳动力迁移减少了对保护区当地自然资源(如土地资源)的消耗与区内就业的压力,同时也减少了阻碍保护区生物多样性保护的人为干扰压力(Chen *et al.*,2012)。

畜牧养殖与交易和农产品种植与贸易远程耦合过程:保护区多位于生活贫困、交通不发达的偏远地区,当地居民长期依赖自然资源,为增加家庭收入,许多保护区形成了通过物(如农业、畜牧业产品等)和资金流相联系的,以保护区为发送系统、区外城市/市场为接受(或外溢)系统的农业与畜牧业产品贸易远程耦合过程,其中保护区居民、相关消费者等为代理(Liu *et al.*,2015a,2016a;Viña & Liu,2017)。农业和畜牧业的发展,一方面能提高居民经济收入、促进相关产业(如生产资料)发展;另一方面,也会促使居民扩大种植/养殖规模,加大对保护区自然资源(如土地、森林资源)的利用,对生态系统及珍稀野生动物产生负面影

响(冉江洪等,2003a,2003b;Hull *et al.*,2014;Liu,2017;Zhang *et al.*,2017)。

信息交流远程耦合过程:自20世纪80年代以来,我国政府着力保护区的建设与发展,保护区与外界的信息交流明显增加,特别是一些有大熊猫、川金丝猴 *Rhinopithecus roxellana* 等明星物种的自然保护区,通过多种媒体形式传播信息,例如,卧龙国家级自然保护区通过大熊猫保护与研究的文章和新闻报道等形式闻名于世,将保护区与世界各地的读者联系起来,国际与国内的民众与NGO给予保护区更多的关注与支持,尤其是在“5·12”汶川地震后,大量的救灾物资和捐款流向保护区(Liu *et al.*,2015a,2015b)。

除以上的保护区远程耦合过程之外,保护区内外还有保护政策补贴、大熊猫租借等多种远程耦合过程,对保护区内外的社会经济及自然环境均有极其重要影响(Liu *et al.*,2015a)。

3 自然干扰(地震)下保护区远程耦合系统的动态变化

地震等大型自然干扰能直接破坏环境甚至毁灭人类与自然系统(Dilley *et al.*,2005)。我国西南山地是全球生物多样性的热点地区,集中分布了大量保护区,也是地震等自然干扰频发的区域(四川省林业厅,2015)。近年来,在邛崃山系和岷山山系发生了一系列地震,严重破坏了保护区局部区域的人类和自然系统(张晋东等,2008;Zhang *et al.*,2011,2017,2018;张晋东,2017),同时,自然干扰也对保护区内外各远程耦合系统产生显著影响,加之政策的实施与居民行为响应等因素,导致各种远程耦合系统与其主要成分处于动态变化,进而对保护区内人类与自然耦合系统产生新的影响(Zhang *et al.*,2017)。清楚了解人类干扰(如政策的实施)、大型自然干扰(如地震)后的保护区远程耦合动态特征、预见变化的远程耦合系统对维系保护区人与自然和谐相处至关重要。

例如,以自然为基础的生态旅游作为替代生

计在诸多保护区实施(Liu *et al.*, 2012, 2016),然而地震及次生灾害破坏了连接保护区的道路和基础旅游设施,阻碍了人员流(游客和投资者)、物质流(资金和旅游设施)的流动,作为主要代理的游客和投资者减少,甚至消失,导致地震后很长时间,一些保护区的生态旅游停滞,降低了保护区内社区在生态旅游方面的收入(Liu *et al.*, 2015a; Zhang *et al.*, 2018)。在许多保护区,农业仍然是当地社区的主要产业,泥石流、滑坡等导致连通保护区与外面的道路被毁坏,时令蔬菜和水果不能及时运输出去,对保护区内社区经济产生直接影响。保护区发生大型自然灾害(如地震、飓风等)后,各级政府(中央、省市和地方)及NGO会投入巨大的资金进行灾后重建,新增加的物质流不仅直接促进受灾地区的基础设施恢复,也增加了当地居民的就业机会,例如“5·12”汶川地震发生后,广东省揭阳市、潮州市和香港特别行政区政府在卧龙国家级自然保护区内投入资金和技术针对居民新居、医院、学校、道路、中华大熊猫苑和中国大熊猫保护研究中心进行了重建工作,同时也投入资金和人力开展植被恢复工程,对保护区人类福祉和生态环境恢复都起到了积极的促进作用(Zhang *et al.*, 2018)。然而,随着基础设施重建完成、道路尚未完全恢复的情况下,当地居民不得不尝试其他生计模式,例如,更多社区居民到城市打工,居民在保护区内开始放养更多家畜。远程耦合变化对保护区内人类与自然系统也会产生影响,如劳动力外迁会降低保护区内直接采集自然资源的强度,即更少的当地居民参与放牧、打猎和采药等活动,能够降低人类对保护区生态环境的利用压力(Chen *et al.*, 2012)。而更多的牲畜进入保护区,对保护区珍稀野生动植物及其栖息地则带来了直接的负面影响(Hull *et al.*, 2014; Liu, 2017; Xu *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017)。

总结以上案例研究可见,目前有关保护区远程耦合动态研究处于静态特征的描述阶段,而大型自然干扰后保护区内外主要远程耦合系统的产生、消失、增强或减弱等动态特征变化及驱动过程

与机制,及这些变化的远程耦合系统对保护区可持续发展(即人类-自然系统和谐发展)的影响尚未开展实证与量化研究。

4 研究展望

保护区承担生物多样性保护与减贫双重任务,与联合国2030年17个可持续发展目标中的多个目标密切相关,如:目标1~6(无贫穷、零饥饿、良好健康与福祉、优质教育、性别平等、清洁饮水和卫生设施)和目标12~15(负责任的消费和生产、气候行动、水生物和陆生生物)(Dudley & Stolton, 2010; United Nations, 2021)。随着科技进步、经济全球化及城市化进程,保护区通过“人口流”“物质流”“资金流”“能量流”和“信息流”建立起越来越多的远程耦合系统(Liu *et al.*, 2015a; Zhang *et al.*, 2018),远程耦合系统框架的提出,尤其是元耦合框架、近远程耦合等理论的创新补充(方创琳等, 2016; 方创琳, 任宇飞, 2017; Liu, 2017),为保护区远距离社会经济与环境的作用关系及影响提供了研究方案与工具。基于远程耦合系统框架和理论在保护区开展了系列社会经济与环境影响的研究,然而与远程耦合在其他领域应用类似,主要是利用经验数据并套用远程耦合系统框架来解释远距离人类与自然耦合系统之间的环境与社会经济作用的现象,缺乏探索从现象到本质的机理研究(马恩朴等, 2020; 孙晶等, 2020)。结合保护区的性质和任务与远程耦合理论框架和工具,定量与定性研究保护区远距离人类与自然耦合系统间的社会经济和环境相互作用的发生机制并丰富实证研究,为制定保护区经济与环境可持续发展政策提供具体、可操作性的科学依据应该是保护区远程耦合研究的发展方向,本文建议从以下几方面开展研究:

基于远程耦合框架和工具开展保护区基础生态学、保护生物学研究。在远程耦合系统框架理论提出时,将生态学和保护生物学领域中的一些基础科学问题(例如物种入侵、扩散和动物迁徙)

设为主要研究方向(Liu *et al.*, 2013),近年来有零星研究关注物种迁徙过程的生态系统服务功能(Hulina *et al.*, 2017; Lopez-Hoffman *et al.*, 2017; Bagstad *et al.*, 2019),侧重于对社会经济影响方面,鲜有针对生态学和保护生物学等自然系统量化的实证研究。随着远程耦合系统理论不断丰富,基于Web的Telecoupling Toolbox、Telecoupling Geo-App等分析工具的出现(Tonini *et al.*, 2017; McCord *et al.*, 2018; 马恩朴等, 2020),可以为保护区物种扩散、迁徙、栖息地破碎化后的物种迁移与保护,生态廊道的建设的实证研究提供理论和工具,例如,基于通道(如迁徙路径)、节点(栖息地斑块)构建关键保护物种的移动网络结构模型,为珍稀野生动物生态廊道建设与小种群保护提供新的研究保护途径。

保护区远程耦合系统动态特征与机制研究。由于受人类(如保护与发展政策实施与调整、生计模式的变更)与自然干扰(如地震、飓风、火灾、病毒传播)等多方面因素的影响,保护区内外远程耦合系统一直处于动态变化过程当中,然而,目前关于保护区远程耦合系统的研究尚处于静态特征描述阶段,有必要基于长期监测数据研究保护区远程耦合系统的动态特征,各个远程耦合系统的相互作用,并分析远程耦合系统的变化对区内可持续发展的影响。例如,“5·12”汶川地震发生后,邛崃山系与岷山山系的保护区内人类与自然系统受到严重干扰,保护区内外远程耦合系统受地震破坏、灾后重建、保护与发展政策调整等多方面因素影响发生变化,需要针对受影响的一个或多个保护区,在利用生物学、生态学、CHANS和远程耦合系统的研究基础之上,综合社会经济学和生态学等多学科工具,开展长期保护区内人类与自然耦合系统、远程耦合系统动态变化量化的实证研究,以期揭示地震后保护区远程耦合系统的动态变化原因、机制、相互作用及发展趋势,为制定恢复过程中的保护区经济与环境可持续发展政策提供科学依据。同时尝试建立典型的区域示范点,将研究结果与管理经验推广到全球其他保护区(保护地)

管理应用中,丰富新兴的远程耦合系统理论的量化实证研究,填补远程耦合理论与实践研究知识空白。

运用反馈机制开展保护区政策的评估研究。由于世界上大多数保护区位于相对贫困的区域,例如我国保护区主要分布在西部偏远山区,保护区内部或周边仍有居民的生产生活与自然资源保护之间存在矛盾,保护区的管理与发展政策尤为重要(韩念勇, 2000; Wittemyer *et al.*, 2008)。反馈是维持系统可持续性的一个重要机制,远程耦合框架明确考虑了反馈,有助于管理者和科研人员评估发送、接收和外溢系统中的反馈效应(Liu *et al.*, 2015a),进而在更全面的空间维度上与更长的时间尺度上评估政策的社会经济与环境效应,引导制定可持续性的政策(马恩朴等, 2020)。在相关保护与发展政策制定并实施后,应持续监测政策的正负反馈效应,例如,在天保工程与退耕还林工程实施后,有些当地政府制定了鼓励居民饲养家畜的生计模式,随之导致了更大程度利用自然资源,对保护区野生动植物栖息地构成更严重的威胁(Zhang *et al.*, 2017; 王晓等, 2018)。因此,在制定相关保护与发展政策时应考虑负反馈机制,否则可能有环境恶化或返贫情况发生,甚至在局部区域落入到社会-生态陷阱当中(Cumming, 2018)。

参考文献:

- 方创琳, 任宇飞. 2017. 京津冀城市群地区城镇化与生态环境近远程耦合能值代谢效率及环境压力分析[J]. 中国科学: 地球科学, 47(7): 833-846.
- 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 2016. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 71(4): 531-550.
- 韩念勇. 2000. 中国自然保护区可持续管理政策研究[J]. 自然资源学报, 15(3): 201-207.
- 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 2020. 人地系统远程耦合的研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 39(2): 310-326.
- 马建章, 程鲲. 2008. 自然保护区生态旅游对野生动物的

- 影响[J]. 生态学报, 28(6): 2818-2827.
- 冉江洪, 刘少英, 王鸿加, 等. 2003a. 放牧对冶勒自然保护区大熊猫生境的影响[J]. 兽类学报, 23(4): 288-294.
- 冉江洪, 刘少英, 王鸿加, 等. 2003b. 小相岭大熊猫与放牧家畜的生境选择[J]. 生态学报, 23(11): 2253-2259.
- 四川省林业厅. 2015. 四川的大熊猫——四川省第四次大熊猫调查报告[M]. 成都: 四川科技出版社.
- 孙晶, 刘建国, 杨新军, 等. 2020. 人类世可持续发展背景下的远程耦合框架及其应用[J]. 地理学报, 75(11): 2408-2416.
- 王晓, 侯金, 张晋东, 等. 2018. 同域分布的珍稀野生动物对放牧的行为响应策略[J]. 生态学报, 38(18): 6484-6492.
- 张晋东, 徐卫华, 欧阳志云, 等. 2008. 汶川地震后野生动物及栖息地的调查——以龙溪虹口和千佛山自然保护区为例[J]. 生态学报, 28(12): 5842-5847.
- 张晋东. 2017. 人类与自然干扰对大熊猫影响的研究进展[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 38(3): 227-233.
- Alberti M, Asbjornsen H, Baker LA, *et al.* 2011. Research on coupled human and natural systems (chans): approach, challenges, and strategies [J]. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 92(2): 218-228.
- Bagstad K, Semmens D, Diffendorfer J, *et al.* 2019. Ecosystem service flows from a migratory species: spatial subsidies of the northern pintail[J]. *Ambio*, 48(1): 61-73.
- Carlson AK, Taylor WW, Liu J, *et al.* 2017. The telecoupling framework: an integrative tool for enhancing fisheries management[J]. *Fisheries*, 42(8): 395-397.
- Carter NH, Viña A, Hull V, *et al.* 2014. Coupled human and natural systems approach to wildlife research and conservation [J/OL]. *Ecology and Society*, 19(3): 43 [2021-10-08]. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06881-190343>.
- Chen X, Frank KA, Dietz T, *et al.* 2012. Weak ties, labor migration, and environmental impacts: toward a sociology of sustainability[J]. *Organization and Environment*, 25(1): 3-24.
- Cumming GS. 2018. A review of social dilemmas and social-ecological traps in conservation and natural resource management[J]. *Conservation Letters*, 11(1): 1-15.
- Deines JM, Liu X, Liu J. 2016. Telecoupling in urban water systems: an examination of Beijing's imported water supply [J]. *Water International*, 41(2): 251-270.
- Dilley M, Chen RS, Deichmann U, *et al.* 2005. Natural disaster hotspots: a global risk analysis [J]. *Uwe Deichmann*, 20(4): 1-145.
- Dudley N, Stolton S. 2010. Arguments for protected areas: multiple benefits for conservation and use [M]. London: Routledge.
- Fu BJ, Wang S, Liu Y, *et al.* 2017. Hydrogeomorphic ecosystem responses to natural and anthropogenic changes in the Loess Plateau of China [J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 45: 223-243.
- Hulina J, Bocetti C, Iii HC, *et al.* 2017. Telecoupling framework for research on migratory species in the anthropocene [J/OL]. *Science of the Anthropocene*, 5: 5 [2021-10-03]. <https://doi.org/10.1525/elementa.184>.
- Hull V, Zhang J, Zhou S, *et al.* 2014. Impact of livestock on giant pandas and their habitat [J]. *Journal for Nature Conservation*, 22(3): 256-264.
- Karen CS, Anette R. 2014. Rethinking global land use in an urban era [M]. Cambridge: The MIT Press.
- Liu JG, Dietz T, Carpenter SR, *et al.* 2007a. Complexity of coupled human and natural systems [J]. *Science*, 317(5844): 1513-1516.
- Liu JG, Dietz T, Carpenter SR, *et al.* 2007b. Coupled human and natural systems [J]. *Ambio*, 36(8): 639-649.
- Liu JG, Hull V, Batistella M, *et al.* 2013. Framing sustainability in a telecoupled world [J]. *Ecology and Society*, 18(2): 344-365.
- Liu JG, Hull V, Luo J, *et al.* 2015a. Multiple telecouplings and their complex interrelationships [J/OL]. *Ecology and Society*, 20(3): 44 [2021-09-25]. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07868-200344>.
- Liu JG, Hull V, Yang W, *et al.* 2016a. Pandas and people: coupling human and natural systems for sustainability [M]. Oxford: Oxford University Press.
- Liu JG, Linderman M, Ouyang Z, *et al.* 2001. Ecological degradation in protected areas: the case of wolong nature reserve for giant pandas [J/OL]. *Science*, 292(5514): 98 [2021-09-30]. <https://doi.org/10.1126/science.1058104>.
- Liu JG, Mooney H, Hull V, *et al.* 2015b. Systems integration for global sustainability [J/OL]. *Science*, 347(6225): 1258832 [2021-09-30]. <https://doi.org/10.1126/science.1258832>.

- Liu JG, Ouyang Z, Tan Y, *et al.* 1999. Changes in human population structure: implications for biodiversity conservation[J]. *Population and Environment*, 21(1): 45-58.
- Liu JG, Yang W, Li S. 2016b. Framing ecosystem services in the telecoupled anthropocene [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(1): 27-36.
- Liu JG. 2017. Integration across a metacoupled world[J/OL]. *Ecology and Society*, 22(4): 29[2021-10-03]. <https://doi.org/10.5751/ES-09830-220429>.
- Liu W, Vogt CA, Luo J, *et al.* 2012. Drivers and socioeconomic impacts of tourism participation in protected areas [J/OL]. *PLoS ONE*, 7(4): e35420[2021-09-20]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035420>.
- Lopez-Hoffman L, Diffendorfer J, Wiederholt R, *et al.* 2017. Operationalizing the telecoupling framework for migratory species using the spatial subsidies approach to examine ecosystem services provided by Mexican free-tailed bats [J/OL]. *Ecology and Society*, 22(4): 23 [2021-10-03]. <https://doi.org/10.5751/ES-09589-220423>.
- McCord P, Tonini F, Liu J. 2018. The Telecoupling Geo-App: a web-GIS application to systematically analyze telecouplings and sustainable development [J]. *Applied Geography*, 96: 16-28.
- Pickett STA, Cadenasso ML, Grove JM. 2005. Biocomplexity in coupled natural-human systems: a multidimensional framework[J]. *Ecosystems*, 8(3): 225-232.
- Schierhorn F, Meyfroidt P, Kastner T, *et al.* 2016. The dynamics of beef trade between Brazil and Russia and their environmental implications[J]. *Global Food Security*, 11: 84-92.
- Schröter M, Koellner T, Alkemade R, *et al.* 2018. Interregional flows of ecosystem services: concepts, typology, and four cases[J]. *Ecosystem Services*, 31(Pt B): 231-241.
- Sun J, Wu W, Tang H, *et al.* 2015. Spatiotemporal patterns of non-genetically modified crops in the era of expansion of genetically modified food[J/OL]. *Scientific Reports*, 5(1): 14180[2021-10-02]. <https://doi.org/10.1038/srep14180>.
- Tonini F, Liu JG. 2017. Telecoupling toolbox: spatially explicit tools for studying telecoupled human and natural systems [J/OL]. *Ecology and Society*, 22(4): 11 [2021-10-07]. <https://doi.org/10.5751/ES-09696-220411>.
- United Nations. 2021. Global indicator framework for the sustainable development goals and targets of the 2030 agenda for sustainable development[EB/OL]. (2021-03-02) [2022-02-21]. https://unstats.un.org/sdgs/indicators/Global%20Indicator%20Framework%20after%202021%20refinement_Eng.pdf.
- Viña A, Liu JG. 2017. Hidden roles of protected areas in the conservation of biodiversity and ecosystem services [J/OL]. *Ecosphere*, 8(6): e01864 [2021-09-21]. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1864>.
- Wang F, Liu JG. 2017. Conservation planning beyond giant pandas: the need for an innovative telecoupling framework [J]. *Science China (Life Sciences)*, 60(5): 551-554.
- Wittemyer G, Elsen P, Bean WT, *et al.* 2008. Accelerated human population growth at protected area edges [J]. *Science*, 321(5885): 123-126.
- Xu WH, Viña A, Kong LQ, *et al.* 2017. Reassessing the conservation status of the giant panda using remote sensing [J]. *Nature Ecology and Evolution*, 1(11): 1635-1638.
- Yang W, Wang D, Chen G. 2011. Reconstruction strategies after the Wenchuan Earthquake in Sichuan, China [J]. *Tourism Management*, 32(4): 949-956.
- Yao G, Hertel TW, Taheripour F. 2018. Economic drivers of telecoupling and terrestrial carbon fluxes in the global soybean complex [J]. *Global Environmental Change*, 50: 190-200.
- Zhang JD, Connor T, Yang H, *et al.* 2018. Complex effects of natural disasters on protected areas through altering telecouplings [J/OL]. *Ecology and Society*, 23(3): 17 [2021-10-09]. <https://doi.org/10.5751/ES-10238-230317>.
- Zhang JD, Hull V, Ouyang ZY, *et al.* 2017. Divergent responses of sympatric species to livestock encroachment at fine spatiotemporal scales [J]. *Biological Conservation*, 209: 119-129.
- Zhang JD, Hull V, Xu WH, *et al.* 2011. Impact of the 2008 Wenchuan Earthquake on biodiversity and giant panda habitat in Wolong Nature Reserve, China [J]. *Ecological Research*, 26(3): 523-531.
- Zimmerer KS, Lambin EF, Vanek SJ. 2018. Smallholder telecoupling and potential sustainability [J/OL]. *Ecology and Society*, 23(1): 30 [2021-10-09]. <https://doi.org/10.5751/ES-09935-230130>.