

人地系统耦合与可持续发展: 框架与进展

赵文武^{1,2}, 侯焱臻^{1,2}, 刘焱序^{1,2}

1. 北京师范大学地理科学学部, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

2. 北京师范大学地理科学学部, 陆地表层系统科学与可持续发展研究院, 北京 100875

摘要 人地系统耦合强调自然过程与人文过程的有机结合, 注重知识-科学-决策的有效链接, 通过不同尺度监测调查、模型模拟、情景分析和优化调控, 开展多要素、多尺度、多学科、多模型和多源数据集成, 探讨系统的脆弱性、恢复力、适应性、承载边界等科学议题。在梳理人地系统耦合研究框架、基于文献计量分析人地系统耦合与可持续发展研究进展的基础上, 探讨了人地系统耦合未来研究的重点领域和方向。

关键词 人地系统耦合; 可持续发展; 地理科学

可持续发展被定义为“既要满足当代人的需求, 又不损害后代人满足自身需求的能力”^[1]。该定义描述了人类和自然系统之间的耦合, 即人类期望对自然资源和生态系统服务的使用水平可以无限期地持续下去^[2]。然而, 近几十年来, 人类活动对陆地表层影响的范围、强度和幅度不断扩大, 全球可持续发展面临的威胁不断增加, 其中社会面临的主要挑战之一是如何科学理解和管理人类与自然之间的复杂互动^[3]。面向深入理解现代环境变化机理和准确预测未来变化趋势的可持续发展科学诉求, 需要耦合自然与人文要素过程, 通过发展系统整体

的综合方法, 探讨变化环境下的自然要素与人文要素耦合机制和陆地表层系统动态变化特征^[4]。

人地系统耦合强调自然过程与人文过程的有机结合, 注重知识-科学-决策的有效链接, 通过不同尺度监测调查、模型模拟、情景分析和优化调控, 开展多要素、多尺度、多学科、多模型和多源数据集成, 探讨系统的脆弱性、恢复力、适应性、承载边界等。目前国际上对人地系统耦合主要有4种表述方式: coupled human-environment system (CHES)^[5-6], social-ecological system (SES)^[5,7], coupled human and natural system (CHANS)^[8-9], cou-

收稿日期: 2020-03-17; 修回日期: 2020-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41861134038)

作者简介: 赵文武, 教授, 研究方向为自然地理与景观生态, 电子信箱: zhaoww@bnu.edu.cn

引用格式: 赵文武, 侯焱臻, 刘焱序. 人地系统耦合与可持续发展: 框架与进展[J]. 科技导报, 2020, 38(13): 25-31; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.13.003

pled natural and human systems (CNH)^[10]。由于众多全球可持续发展挑战紧密交织在一起,为了理解系统复杂的相互联系和确定可持续性挑战的有效解决方案,必须采用综合方法,将人地系统的各个组成部分进行系统整合^[11]。可持续性是人地系统的重要属性和关键维度,其可以在操作上被定义为一组可行的、理想的、不受内部变化和環境变化的流(如:物质、货币、信息、能源、个人等);可持续性可以被理解为一个过程,人地系统通过这一过程,即人地系统可持续性,走向可持续发展^[2]。

包括人与生物圈计划(1969)、国际人文因素计划(1989)、千年生态系统评估(2001)和未来地球(2015)在内的若干国际计划呼吁将社会科学作为纽带纳入未来对生态与环境的研究中。此类计划的共同目标是保持和增强生态系统功能,同时促进经济发展和社会价值。为了推动人地系统耦合研究的深入发展,科学界正在逐步推出国际研究计划或网络平台。美国自然科学基金委员会于2007年设立了自然与人类系统耦合动力学研究计划,美国能源部于2017年开始资助为期5年的人与自然耦合系统综合模拟计划。此外,与人地系统耦合研究高度相关的科学计划还包括联合国防治荒漠化公约的国家行动计划(NAPs)、国际间跨学科网络研究平台(ARIDnet)等;国际地球圈生物圈计划(international geosphere-biosphere programme, IGBP)与相关科学组织也开展了系列研讨,以解决复杂的人地系统问题^[12]。然而,作为跨学科的综合集成研究,人地系统耦合研究目前也面临着前所未有的跨学科挑战。

1 人地系统耦合框架

人地系统耦合研究需要形成导向性的研究框架作为理论基础。人地系统耦合的核心是理解人类系统和自然系统之间复杂的双向反馈机制。基于此,Safa Motesharre 在其提出的人地系统研究框架中,将人类系统和自然系统分成不同子系统,其中自然系统包括大气、水、能源等子系统;人类系统

则包括人口、水、能源、农业、工业等子系统,从人口流动、资源和废弃物的输入输出、政策变化及生物化学循环过程出发,识别不同子系统间的影响和反馈关系并将其连接,进而实现人地系统中各要素和过程的双向耦合^[13]。同时,由于不同子系统间相互影响机制的复杂性和动态性,人地系统间的耦合关系往往随着时空尺度和组织单元的变化而不同。基于此,Liu 等^[14]提出人地系统耦合分析框架,强调从组织、时间、空间3个维度上耦合系统要素与过程,以反应人地系统中存在的互馈、阈值、时滞、弹性、异质性等复杂非线性动态特征。同时,由于全球化进程加速,跨国、跨地区的多个地点间的社会经济和环境的远距离相互作用日益广泛,对可持续发展产生了深远影响。在此基础上,Liu 等^[15]进一步提出了人地系统的局地 and 远程耦合框架,将人地系统看作是同时受到系统内和系统外相互作用影响的多层次结构。由于人地系统一直处于动态发展过程之中,理解人地系统动态演变作用机制显得尤为必要。为此,学者提出人地系统耦合动态研究框架^[16],其基本内容是在集成生物物理、社会科学和人类学等多学科理论的基础上,按照二元结构分别分析社会系统、生态系统的动态演变规律,在此基础上识别复杂社会-生态系统的动态耦合机制。

在人地系统耦合研究中,生态系统服务作为连接自然生态系统与社会经济系统的纽带与桥梁^[17],也为推动形成“格局—过程—服务—可持续性”的人地系统耦合研究框架提供了重要支撑^[10]。该研究框架是在探讨格局与过程作用机制的基础上,进行生态系统服务权衡与协同分析,辨析生态系统服务动态变化与人类福祉、可持续性的互动机制,进而有效链接自然生态系统和人类社会系统^[18-19]。而在 Aspinall 提出的基于土地系统概念的人地耦合框架中,也将生态系统服务作为耦合人类系统和自然系统的关键,只是其从土地利用和土地覆盖角度,将人地系统分别划分为土地利用和土地覆盖系统进行耦合^[20]。与之相似,Chen 等^[21]从景观生态学角度出发,认为生态系统和人类系统分别作为景观中的自然本地要素和周围环境要素自然耦合起来,

不可分割,共同塑造着景观的格局和过程。

人地耦合框架既可以是全球性的,也可以是区域性的;既可以是多学科概念直接交织的,也可以是由某一类学科概念为串联的。例如,针对旱区人地系统,有学者针对性地提出“drylands development paradigm(DDP)”研究范式,强调人-环境的复合研究是耦合系统的关键特征,系统变量决定人地系统演变方向,利益相关者需要考虑人与自然系统的等级化、多层次和巢式网络特性等^[21]。Stringer等^[23]提出了一个新的DDP发展范式,主要强调分解、转变、分享等3个特征,旨在促进DDP框架从理论走向应用。此外,也发展了其他人地系统耦合研究框架,例如,基于生态弹性概念的人类环境动态分析框架^[24]、人地系统耦合的综合适用系统与可持续性分析框架^[25]、从生态系统/生态系统服务的角度构建框架^[26-27]等。

总体来看,人地耦合系统研究框架还处在发展阶段,尽管学者从资源流动、时空尺度、远程耦合、土地利用、弹性等不同角度出发,归纳总结人类系统与自然系统相互作用的规律并凝练研究框架,但考虑到人地相互作用的高度复杂性及不同地区社会环境差异,未来有待于在整合更多案例研究的基础上,进一步对人地系统耦合框架进行发展完善。

2 人地系统耦合与可持续发展研究进展

文献计量法具有客观性、量化、模型化的宏观研究优势^[28]。目前学者常常采用文献计量的方法来探究学科发展前沿热点、发展趋势、学科关系等^[29]。本研究基于Web of Science(WoS)核心合集数据库进行文献计量分析;检索规则为TOPIC= ("social- ecological system*" OR "coupl* human and natural system*" OR "coupl* human- environment system*")AND "sustainab*";文献检索日期为2019年10月24日。在此基础上,从发文量、关键词和共现图谱等方面探讨人地系统耦合与可持续发展研究态势。其中,共现图谱基于CiteSpace,词云图基于RStudio的worldcloud2数据包进行的可视

化分析。

2.1 文献发表动态

国际组织对人地系统耦合与可持续发展的关注提高,通过国际研究计划和网络平台,促进了相关领域的研究工作,论文数量整体呈上升趋势。发文趋势分为3个阶段(图1):(1) 1998—2006年的萌芽阶段,发文量较少,共计102篇。国际上同期与之相关的事件是1992年联合国召开“环境与发展大会”,发布了《里约环境与发展宣言》与《21世纪议程》;(2) 2007—2014年的增长阶段,此阶段发文量50~400篇,增长率比前一时期有明显提高。2007年,美国自然科学基金委员会设立了自然与人类系统耦合动力学研究计划,并推出了基于人地系统耦合的研究网络CHANS-net(network of researches on coupled human and natural system, <http://chans-net.org/>)^[30-31],将从综合研究中获得的知识纳入社会经济和环境决策过程,进而推动实现人地系统耦合与可持续发展^[14];(3) 2015年至今是快速增长阶段。2015年联合国发布可持续发展目标,呼吁各国采取行动,在2030年前消除贫困、保护地球、确保所有人享有和平与繁荣。起源于国际地圈生物圈计划(IGBP)和国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)的集成历史与未来人地关系的全球研究网络(IHOPE, <http://ihopenet.org>),于2015年并入未来地球计划(Future Earth Framework)之中。该计划旨在理解人类和环境间关系过去几千年的演化进程,具体通过集成生物物理、社会科学和人类学等多学科理论,分析人地耦合系统动态,识别复杂社会-生态系统动态特征,分析人地系统的恢复

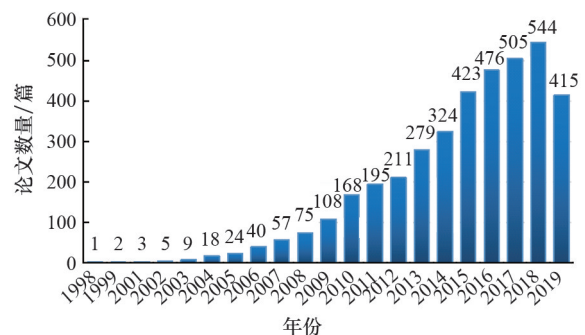


图1 文献发表量

力、胁迫状况等^[6]。在这一阶段,国际政府组织对可持续发展的强力推动加快了人地系统耦合与可持续发展的研究深化。

2.2 文献热词分析

热词分析显示(图2),社会-生态系统(social ecological system)、弹性(resilience)、管理(governance)是所有阶段的热点关键词,近年来可持续性(sustainability)、脆弱性(vulnerability)、气候变化(climate change)、生态系统服务(ecosystem service)等也成为热点。2011—2015年期间,相关研究关注人类对自然的适应性(adaptation)与适应能

力(adaptive capacity)、适应性管理(adaptive governance 或 adaptive management)对自然的影响。在此基础上,2016—2019年期间,相关研究在生计(livelihood)、保护(conservation)和生物多样性(biodiversity)等自然系统方面的关注度进一步提升。框架、指标模型等方法途径不断深化,逐步关注双向反馈、尺度效应、情景预测、远程耦合等。研究区域多元化(蓝色字体),既包括巴西、南非、澳大利亚、中国等国家尺度,也包含流域、海洋、北极圈、亚马逊等不同区域的自然单元。



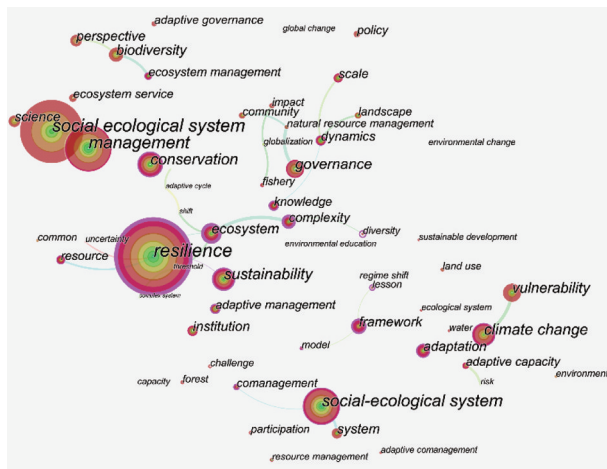
图2 关键词云图

2.3 文献共现图谱分析

对近年来文献关键词进行共现图谱分析,结果如图3所示。1998—2010年相关研究关注人地耦合系统状况和动态,探讨概念框架。社会-生态系统、弹性、脆弱性、可持续性、管理等是重点关注的研究主题,“框架”是高频出现的研究方法途径。2011—2015年是主题扩展阶段,相关研究探讨气候变化下的影响和适应,气候变化、生物多样性、生态系统服务、适应性等越来越受到关注,“框架”“尺度”等方法途径进一步被发展。2016—2019年是机制深化阶段,相关研究探讨双向反馈与可持续发展,系统、动力学、政策、可持续发展等关键词高爆发,生计、水-能源-粮食、地球界限等词汇涌现,更加关注人地复杂互动关系及多种可持续发展议题。

3 结论与展望

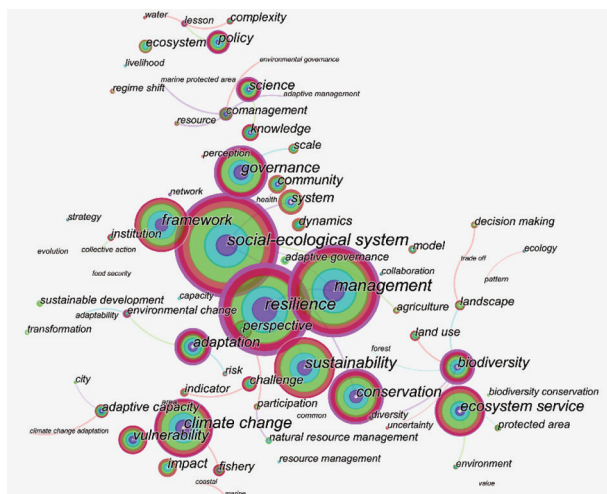
人地系统的组织、空间和时间耦合具有高度复杂性,理解人类与自然互动的复杂性是人类福祉和全球可持续性研究的核心科学问题。目前,人地系统的耦合研究经历着快速发展,正在从直接相互作用深化为间接相互作用、从邻域效应发展为远程耦合,从局地尺度拓展到全球尺度,从简单过程演化为复杂模式。近年来,学界提出了人地系统耦合研究框架,发展了人地系统耦合模型,发起了人地系统耦合研究网络或科学计划,开展了人地系统耦合分析和综合评价。然而,现有人地系统耦合研究往往侧重探讨人类活动对自然生态环境的影响,难以刻画人地系统双向反馈作用机制。在人地系统耦



(a) 1998—2010年



(b) 2011—2015年



(c) 2016—2019年

图3 关键词共现图谱

合研究中,有待于在格局与过程作用机制的基础上,进行生态系统服务权衡与协同分析,辨析生态

系统服务动态变化与人类需求、可持续发展的作用关系,发展人地系统耦合的方法与模型,揭示人地系统耦合双向反馈机制,深化全球人地系统演变动态,探究国家和区域可持续发展的路径。以下科学问题尤其需要关注:生态过程、生态系统服务与人类福祉的动态链接;人地系统耦合的模型、方法与机制;辨析人地系统耦合及双向反馈机制;人地系统与可持续发展的机理、途径、政策^[32]。

1) 生态过程、生态系统服务与人类福祉的动态链接。人地系统耦合研究的核心是明晰人类社会系统和自然系统间复杂的相互影响关系,进而服务于有效资源利用和生态系统管理,以实现可持续发展目标。生态系统服务作为耦合自然过程与社会过程的桥梁,在明晰全球变化背景下生态系统变化过程和驱动机制的基础上,有待以生态系统服务为核心,探讨生态系统服务流动的机理,建立生态系统服务供给和人类福祉之间的动态互馈机制,进而指导生态系统的合理利用和管理,提高人类福祉,从而实现可持续发展。

2) 人地系统耦合的模型、方法与机制。有待基于综合多学科知识和多源数据,发展集成评估模型,在综合更多的社会经济、生物物理要素和过程的同时,更好地模拟人类对环境变化的适应以及环境变化对社会经济的影响,并且更好地预测政策及管理措施对人地系统短期及长期的变化影响。另外,随着远距离相互作用的日益加强,还需进一步探究人地耦合系统格局和过程的跨尺度相互作用机制。

3) 辨析人地系统耦合及双向反馈机制。人类和自然系统的可持续发展取决于人类系统和环境之间的双向互动。人类活动不仅对环境造成很大影响,而且由此产生的环境变化也影响着人类的认知和行为。许多地球系统模型能够初步刻画人类社会对环境的影响,但忽视了环境对人类社会的反馈作用。在较长的时间尺度上,环境的反馈作用不能被忽略。因此,人地系统模型中应加入人类如何适应环境变化以及对环境变化响应的模拟。

4) 人地系统与可持续发展的机理、途径、政策。通过对国际不同地区案例研究进行比较总结,

一方面可以对人地间相互作用的机理和动态变化的规律获得更加普遍的认识,探究其实现可持续发展的途径。另一方面,对中国来说,可以汲取经验教训,正确认知自身所处的可持续发展阶段,有助于探索自身的可持续发展道路。可持续发展的机理、途径、政策将作为人地系统研究的重要应用出口,达成科学与决策的贯通。

参考文献(References)

- [1] Brundtland G H. World commission on environment and development[J]. *Environmental Policy & Law*, 1985, 14(1): 26-30.
- [2] Mayer A L, Donovan R P, Pawlowski C W. Information and entropy theory for the sustainability of coupled human and natural systems[J]. *Ecology and Society*, 2014, 19(3): 11.
- [3] Hull V, Tuanniu M N, Liu J. Synthesis of human-nature feedbacks[J]. *Ecology and Society*, 2015, 20(3): 17.
- [4] 傅伯杰. 新时代自然地理学发展的思考[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 1-7.
- [5] Srinivasan V, Seto K C, Emerson R, et al. The impact of urbanization on water vulnerability: A coupled human-environment system approach for Chennai, India[J]. *Global Environmental Change-human and Policy Dimensions*, 2013, 23(1): 229-239.
- [6] Turner B L, Matson P A, Mccarthy J J, et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8080-8085.
- [7] Mitchell M, Lockwood M, Moore S A, et al. Incorporating governance influences into social-ecological system models: A case study involving biodiversity conversation[J]. *Journal of Environmental Planning & Management*, 2015, 58(11): 1903-1922.
- [8] Liu J, Hull V, Batistella M, et al. Framing sustainability in a telecoupled world[J]. *Ecology and Society*, 2013(18): 26.
- [9] Qi J, Chen J, Wan S, et al. Understanding the coupled natural and human systems in Dryland East Asia[J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 7(1): 015202.
- [10] Fu B, Wei Y. Editorial overview: Keeping fit in the dynamics of coupled natural and human systems[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018(33): 1-4.
- [11] Liu J, Mooney H, Hull V, et al. Systems integration for global sustainability[J]. *Science*, 2015, 347(6225): 963.
- [12] Xoplaki E, Hassan F. Sustainable water and land management in semi-arid regions: Middle East and North Africa (MENA)[J]. *PAGES News*, 2009(17): 86-87.
- [13] Motesharrei S, Rivas J, Kalnay E, et al. Modeling sustainability: Population, inequality, consumption, and bi-directional coupling of the earth and human systems[J]. *National Science Review*, 2016, 3(4): 470-494.
- [14] Liu J, Dietz T, Carpenter S, et al. Complexity of coupled human and natural systems[J]. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [15] Liu J. Integration across a metacoupled world[J]. *Ecology & Society*, 2017, 22(4): 29.
- [16] Costanza R, Leeuw S V D, Hibbard K, et al. Developing an integrated history and future of people on earth (IHOPE)[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2012, 4(1): 106-114.
- [17] Lewison R L, An L, Chen X. Reframing the payments for ecosystem services framework in a coupled human and natural systems context: Strengthening the integration between ecological and human dimensions[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2017, 3(5): 1335931.
- [18] 赵文武, 刘月, 冯强, 等. 人地系统耦合框架下的生态系统服务[J]. *地理科学进展*, 2018, 37(1): 139-151.
- [19] 赵文武, 王亚萍. 1981—2015年我国大陆地区景观生态学文献分析[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7886-7896.
- [20] Richard A, Michele S. A conceptual model for land system dynamics as a coupled human-environment system [J]. *Land*, 2017, 6(4): 81.
- [21] Chen J, Liu Y. Coupled natural and human systems: A landscape ecology perspective[J]. *Landscape Ecology*, 2014, 29(10): 1641-1644.
- [22] Reynolds J F, Smith D M S, Lambin E F, et al. Global desertification: Building a science for dryland development[J]. *Science*, 2007, 316(5826): 847-851.
- [23] Stringer L C, Reed M S, Fleskens L, et al. A new dryland development paradigm grounded in empirical analysis of dryland systems science[J]. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(7): 1952-1961.
- [24] Côte M, Nightingale A. Resilience thinking meets social theory situating social change in socio-ecological systems (SES) research[J]. *Progress in Human Geography*,

- 2011, 36(4): 475–489.
- [25] Tian Q. Chapter 1 Complex adaptive systems and a sustainability framework[M]// Rural sustainability: A complex systems approach to policy analysis. Berlin: Springer International Publishing, 2017.
- [26] Wang S, Fu B J, Zhao W, et al. Structure, function, and dynamic mechanisms of coupled human–natural systems [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018(33): 87–91.
- [27] Zhao Y, Wei Y, Wu B, et al. A connectivity–based assessment framework for river basin ecosystem service management[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018(33): 34–41.
- [28] 王耕, 常畅, 于小茜, 等. 基于文献计量分析的珊瑚礁研究现状与热点[J]. *生态学报*, 2019, 39(3): 361–370.
- [29] 苏香燕, 毛鹏, 游细斌, 等. 从《地理学报》看中国地理学研究的特点与趋势——基于文献计量方法[J]. *地理学报*, 2014, 69(8): 1077–1092.
- [30] Kramer D, Hartter J, Boag A, et al. Top 40 questions in coupled human and natural systems(CHANS) research [J]. *Ecology and Society*, 2017, 22(2): 44.
- [31] Alberti M, Asbjornsen H, Baker L, et al. Research on Coupled Human and Natural Systems (CHANS): Approach, challenges, and strategies[J]. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 2011(92): 218–228.
- [32] Fu B J. Promiting geography for sustainability[J]. *Geography and Sustainability*, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.02.003>.

Human–natural coupling system for sustainable development: Framework and progress

ZHAO Wenwu^{1,2}, HOU Yanzhen^{1,2}, LIU Yanxu^{1,2}

1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China
2. Institute of Land Surface System and Sustainable Development, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract The human–natural coupling system focuses on the organic combination of natural and human processes, and the effective link of knowledge–science–decision. Through monitoring surveys, model simulations, scenario analysis, and optimization controls at different scales, the integrated study (multi–factor, multi–scale, multi–disciplinary, multi–model, and multi–source data) is carried out to explore the system’s fragility, resilience, adaptability, and bearing boundaries. The study of the human–natural coupling system and the understanding of the complex interaction between humans and nature will provide a systematic and mechanism support for the sustainable development. On the basis of the concept reorganization of the human–natural coupling system research framework, and the bibliography analysis of the human–natural coupling system–the sustainable development, this paper discusses the key fields and directions of the human–natural coupling system in the future researches.

Keywords human–nature coupling system; sustainable development; geographical science ●



(责任编辑 徐丽娇)