

社会-生态系统研究进展与展望

傅伯杰

中国科学院生态环境研究中心
北京师范大学地理科学学部

报告提纲

1 背景与理论框架

2 研究内容

3 案例研究

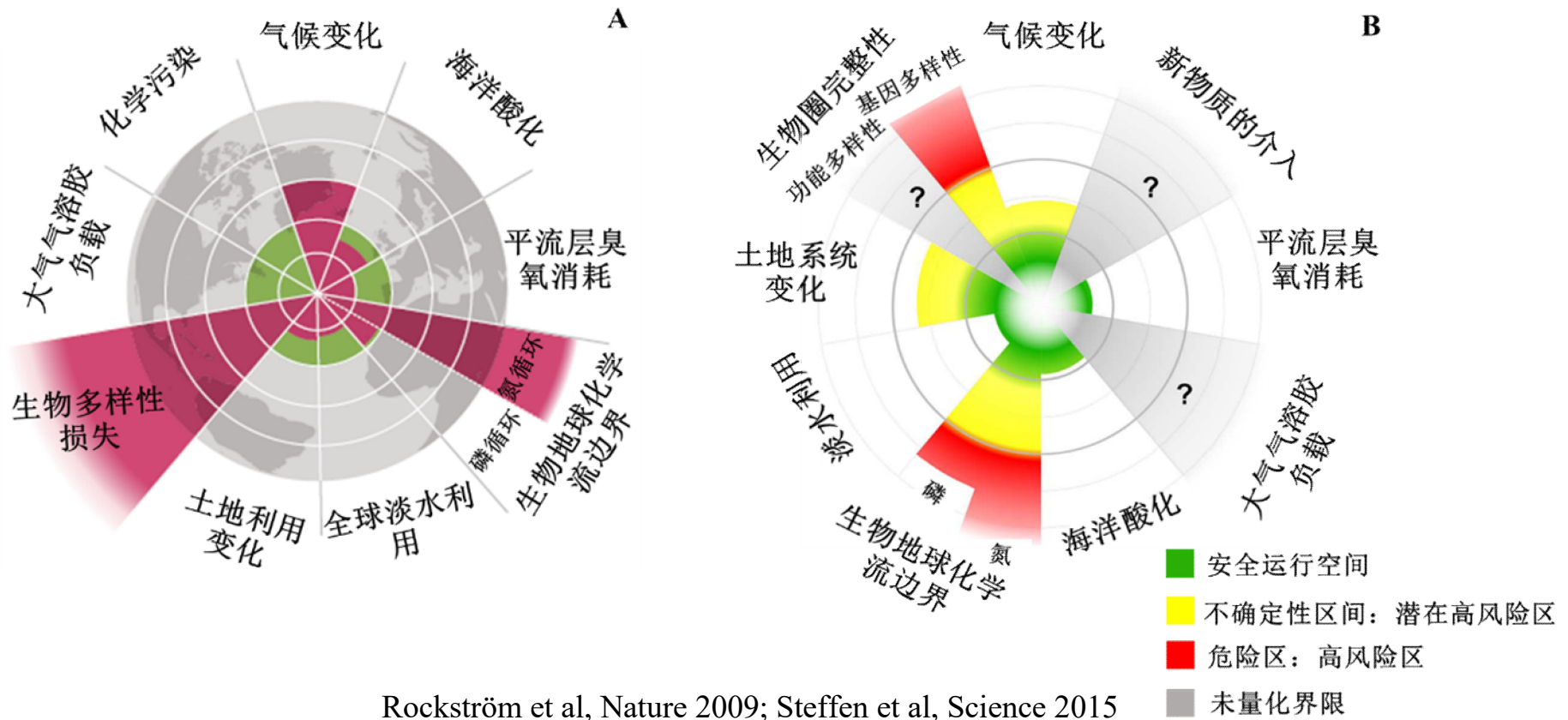
4 未来展望

人类世面临的挑战



- 人类对自然环境的影响加剧，地球已经进入了“人类世”阶段,地表生态过程逐渐受人类行为主导，产生众多资源、灾害和生态环境问题

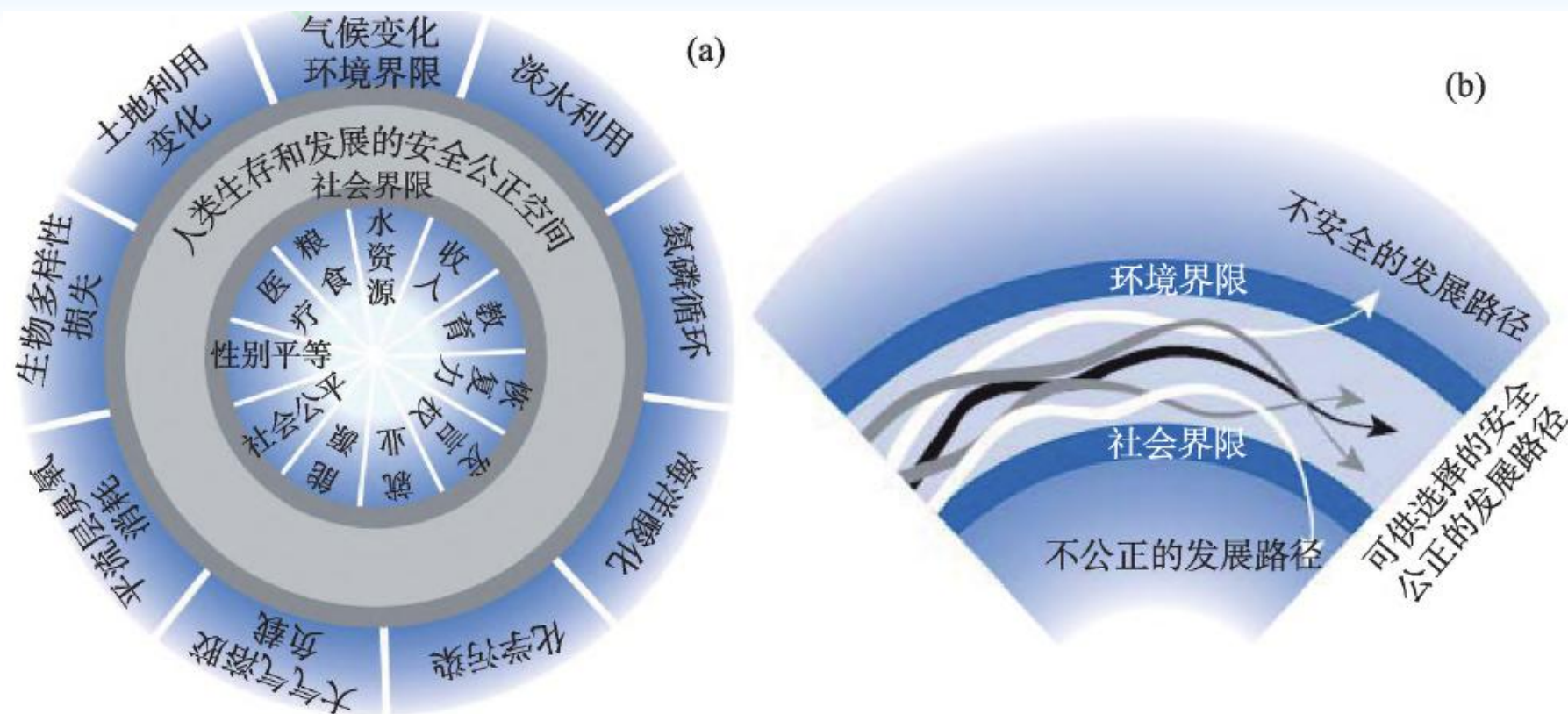
地球界限



Rockström et al, Nature 2009; Steffen et al, Science 2015

- 九种关键的地球系统过程，2009年评估认为**气候变化、生物多样性损失和氮循环**已经超过了地球界限
- 2015年评估结果认为**磷循环和土地利用变化**也进入了高风险区

安全公正空间

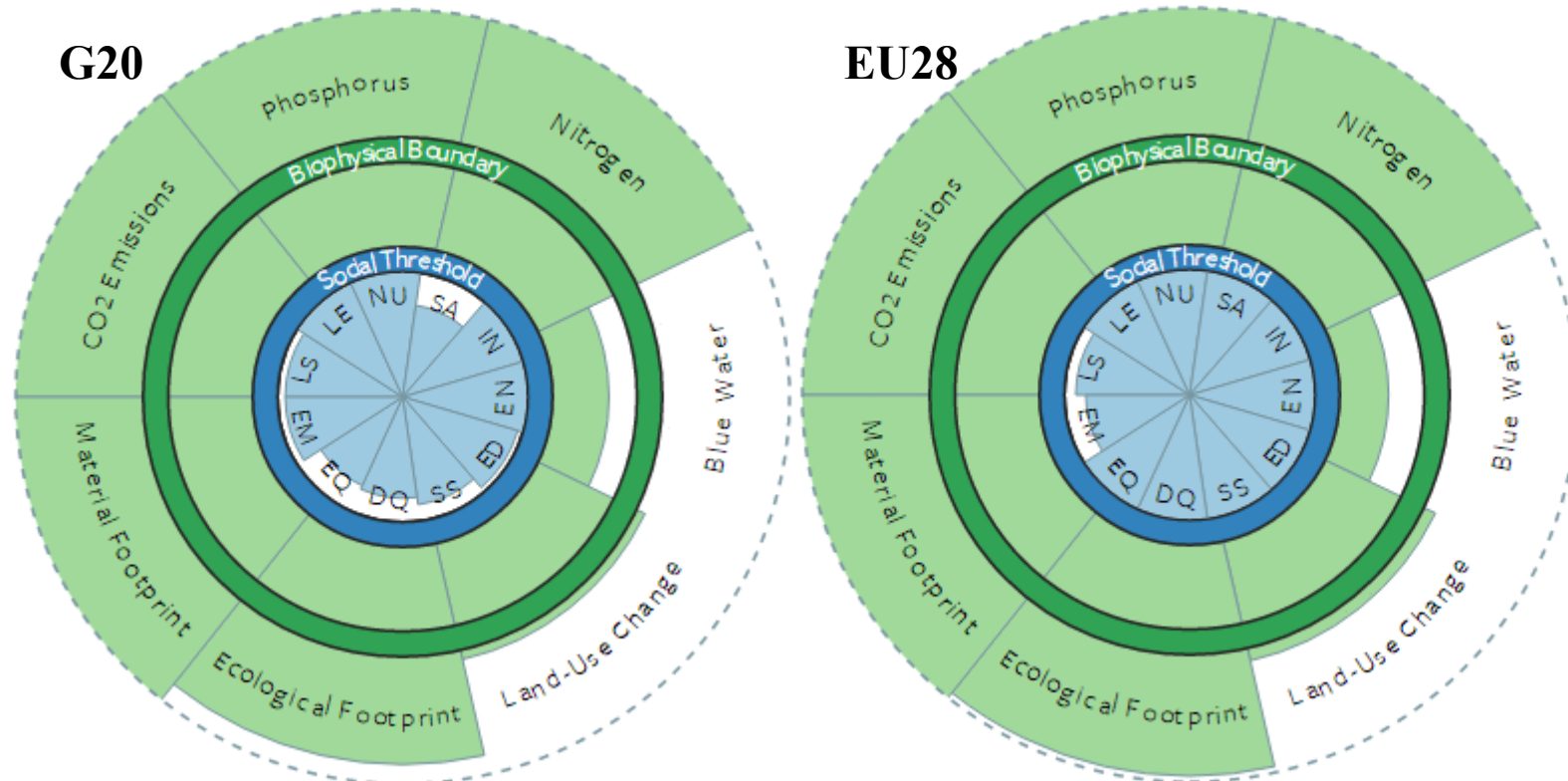


安全公正空间包含环境界限和社会界限，在两种界限之间则是人类生存的安全公正空间

安全公正空间进一步明确了实现可持续发展需要完成的目标，路径主要受到社会价值观、风险意识以及不同社会群体之间权力和利益分配的影响

(Raworth, 2012; Leach et al, 2013)

安全公正空间



O'Neill等, 2018, *Nature Sustainability*

<https://goodlife.leeds.ac.uk/>

评估了150个国家的“安全公正空间”并进行了比较
在资源可持续利用水平上，没有国家可以满足居民的基本需求
若想全面实现社会公平，至少将当前的资源利用水平提高2~6倍

全球可持续发展目标（SDGs）



2018年
可持续发展目标报告

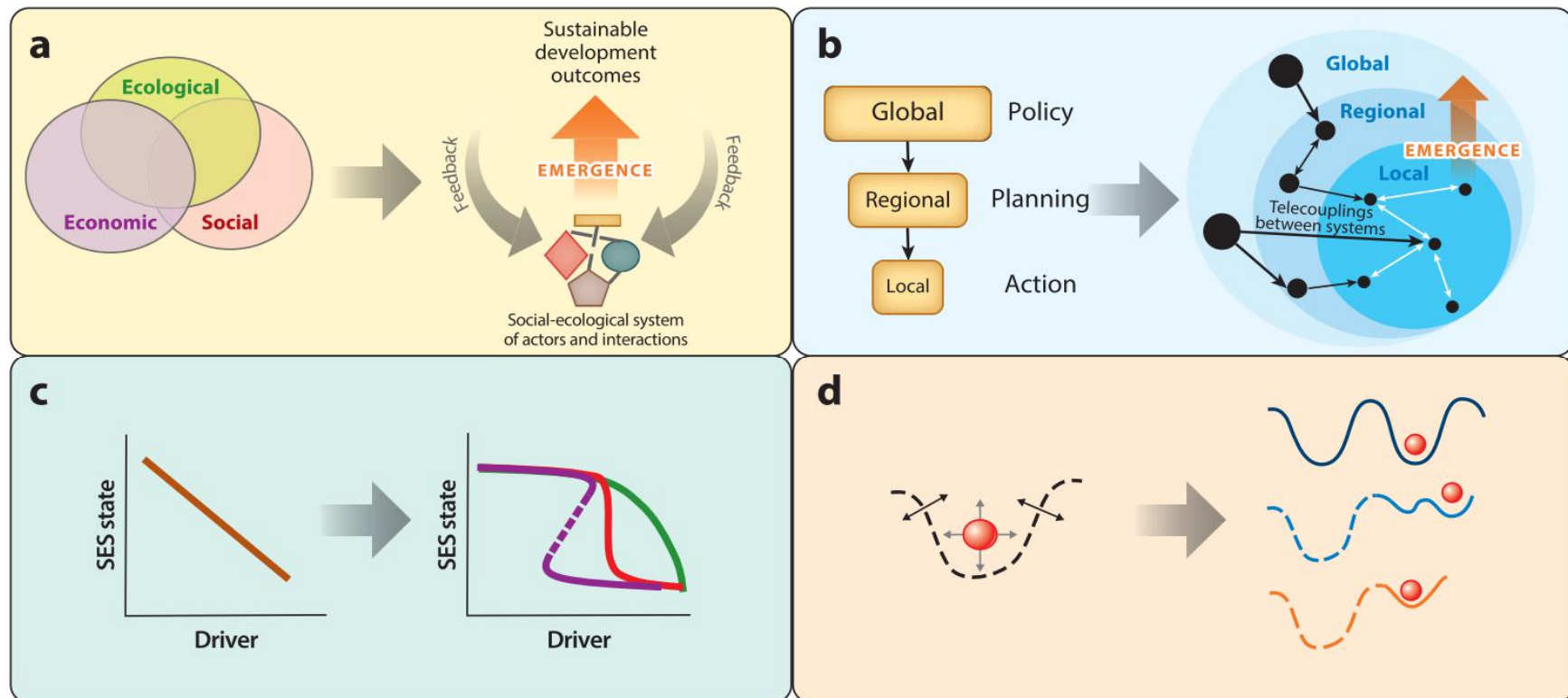


- 2015年联合国可持续发展峰会发布2030年可持续发展议程，正式提出了17项可持续发展目标和169项具体目标
- 《2018年可持续发展目标报告》：**依照当前进展难以实现2030年目标**，亟待探索可持续发展的模式与途径



人地系统耦合研究是可持续性研究的前沿

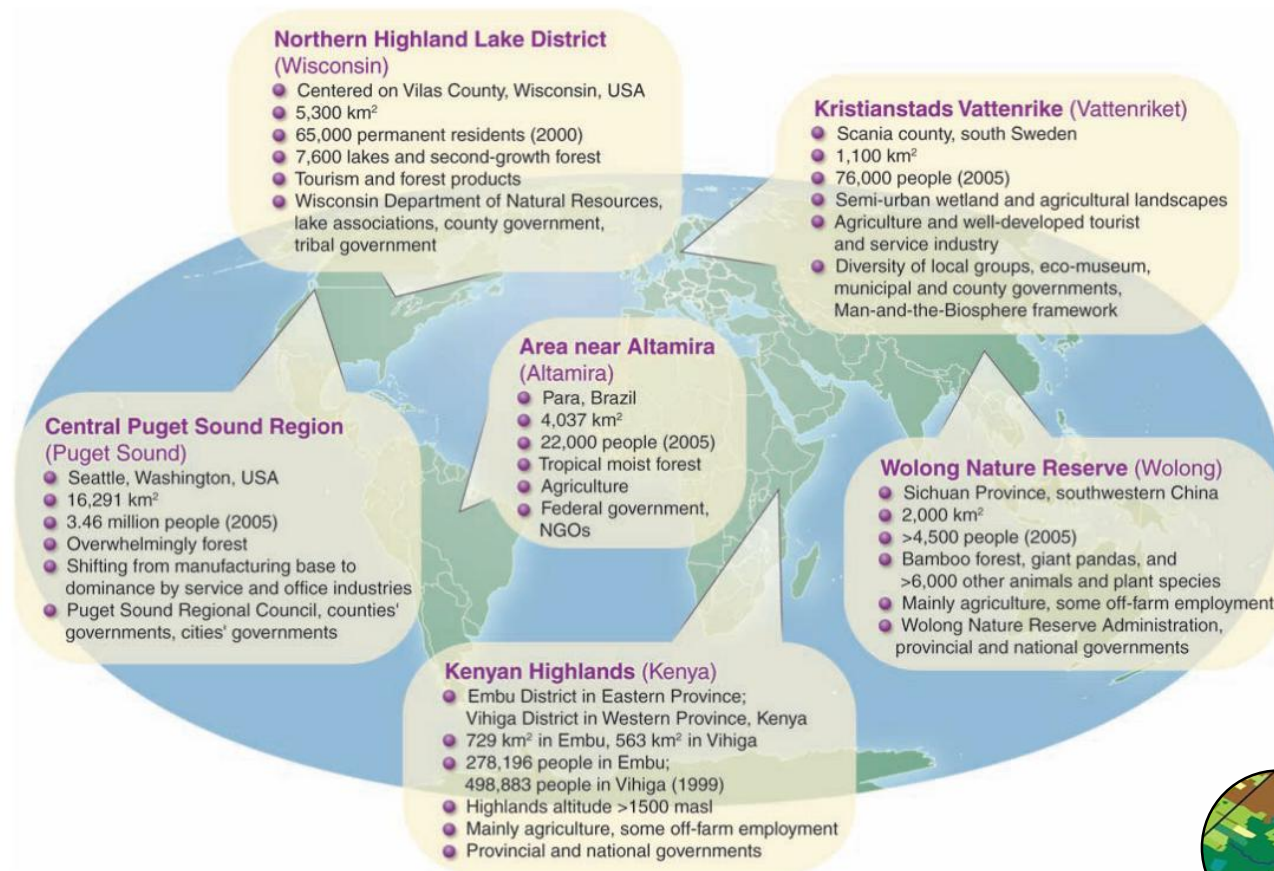
- 人地耦合研究成为解决生态环境问题、实现可持续发展的重要途径，理解自然系统和社会系统互馈关系的动态作用机制，是推动人与自然和谐共生，实现可持续发展的重要科学基础。
- 需要整合社会、经济、生态等多个系统，地理学、生态学、社会学、政治学、公共健康等多个学科，开展综合研究。



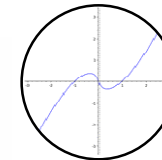
人地耦合系统表现出单个系统不具备的复杂特征

Complexity of Coupled Human and Natural Systems

Jianguo Liu,^{1*} Thomas Dietz,² Stephen R. Carpenter,³ Marina Alberti,⁴ Carl Folke,^{5,6} Emilio Moran,⁷ Alice N. Pell,⁸ Peter Deadman,⁹ Timothy Kratz,¹⁰ Jane Lubchenco,¹¹ Elinor Ostrom,¹² Zhiyun Ouyang,¹³ William Provencher,¹⁴ Charles L. Redman,¹⁵ Stephen H. Schneider,¹⁶ William W. Taylor¹



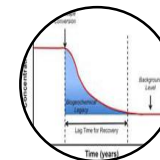
相互作用和反馈回路



非线性特征与阈值



意外后果



遗留效应与时滞

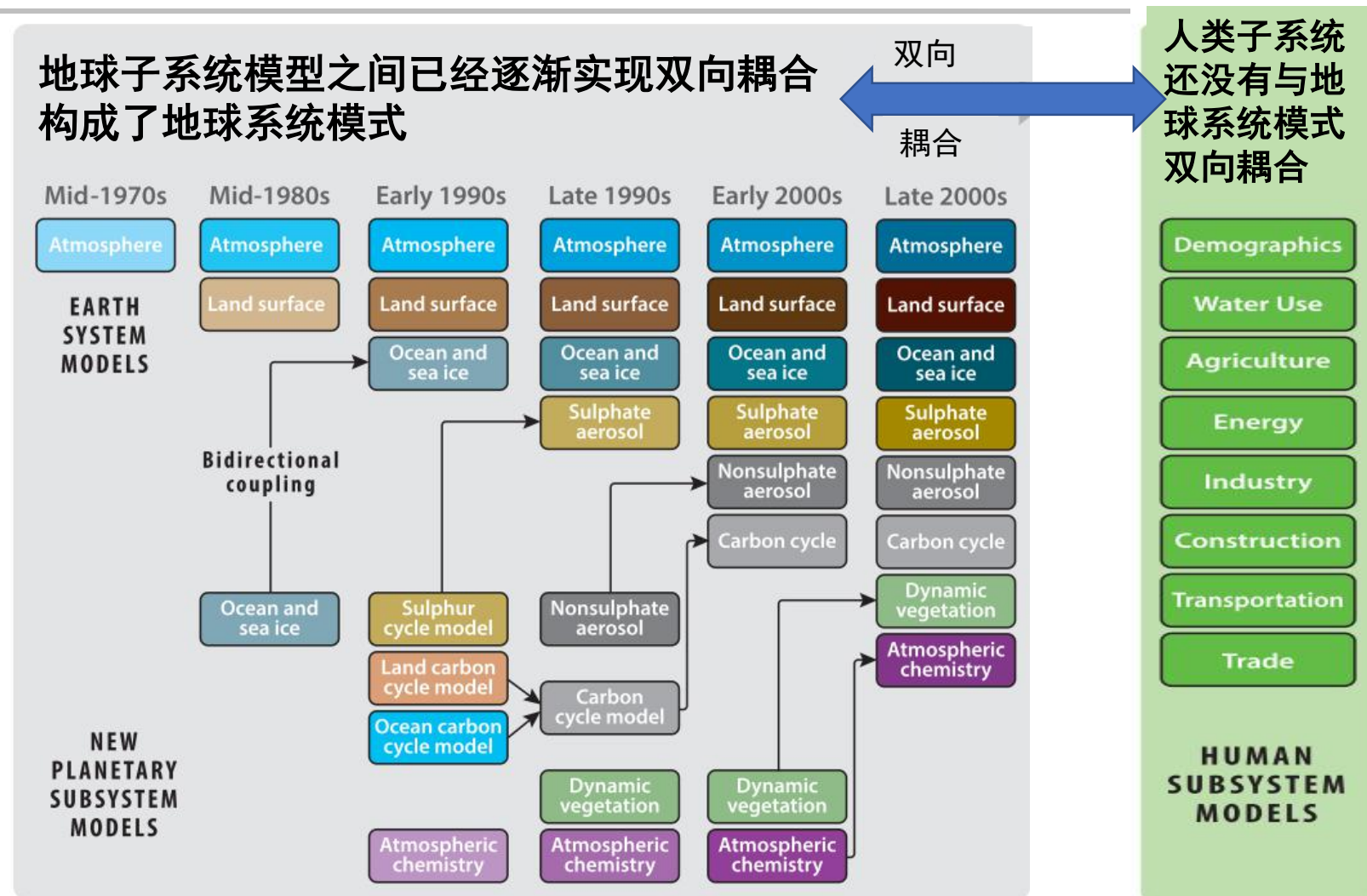


弹性



异质性

人地耦合系统模拟是地球系统科学的发展方向



需要在地球系统模式中加入人口、消费等人类过程，构建双向耦合的人地系统模型

社会-生态系统

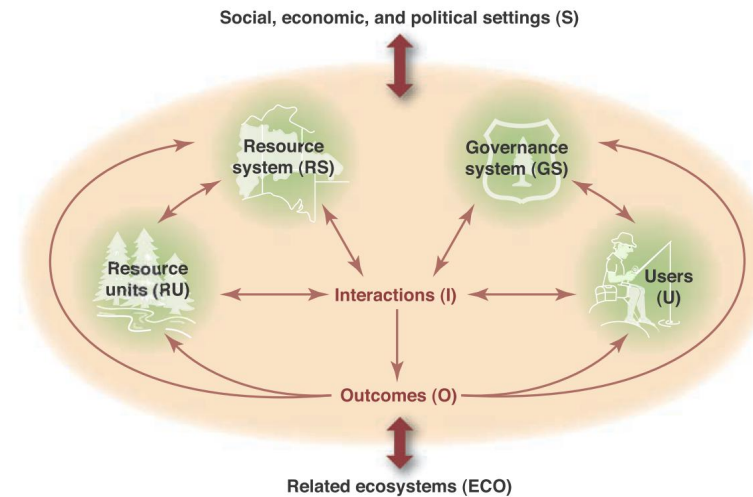
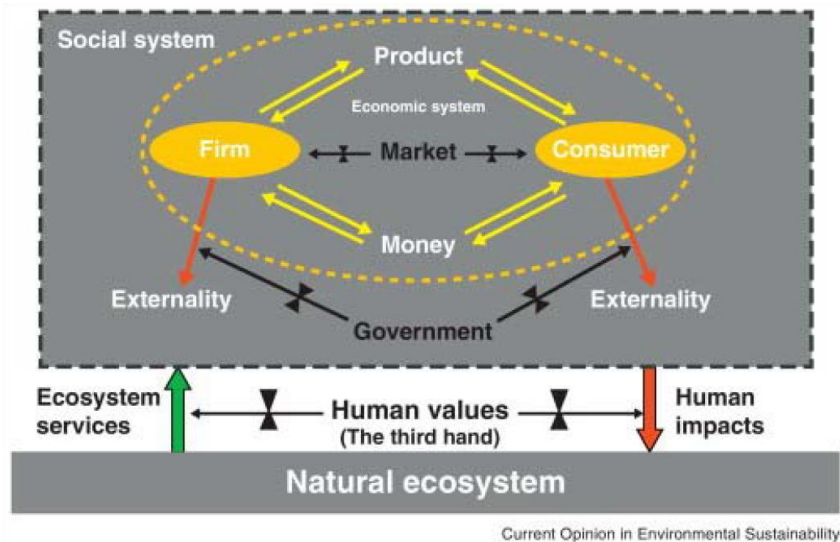
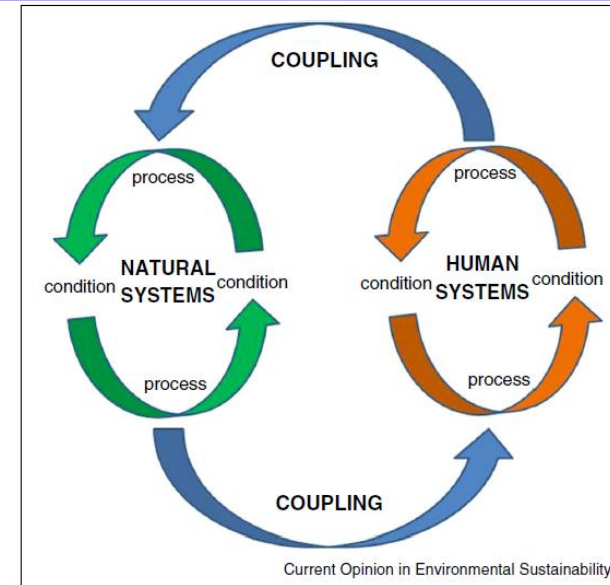
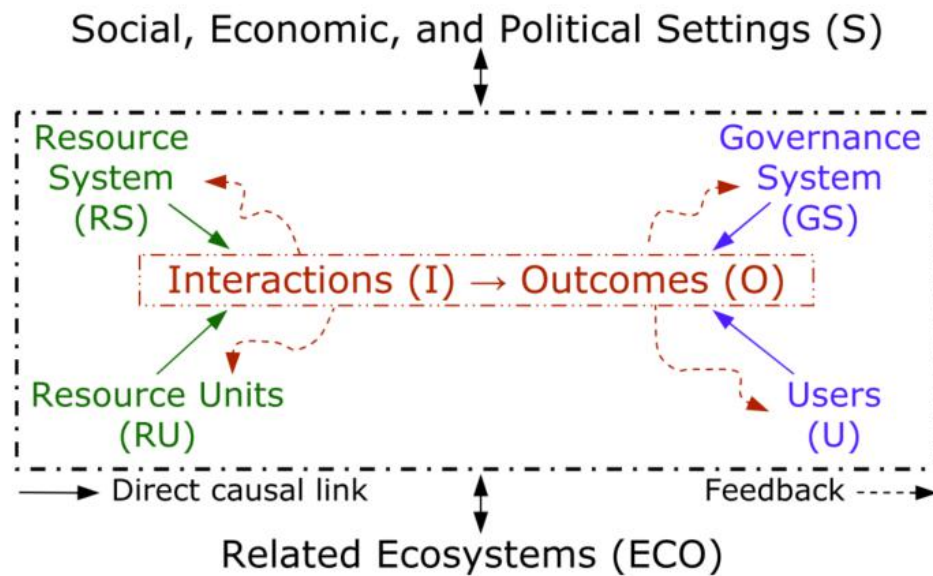


Fig. 1. The core subsystems in a framework for analyzing social-ecological systems.

社会-生态系统（Social-ecological System, SES）

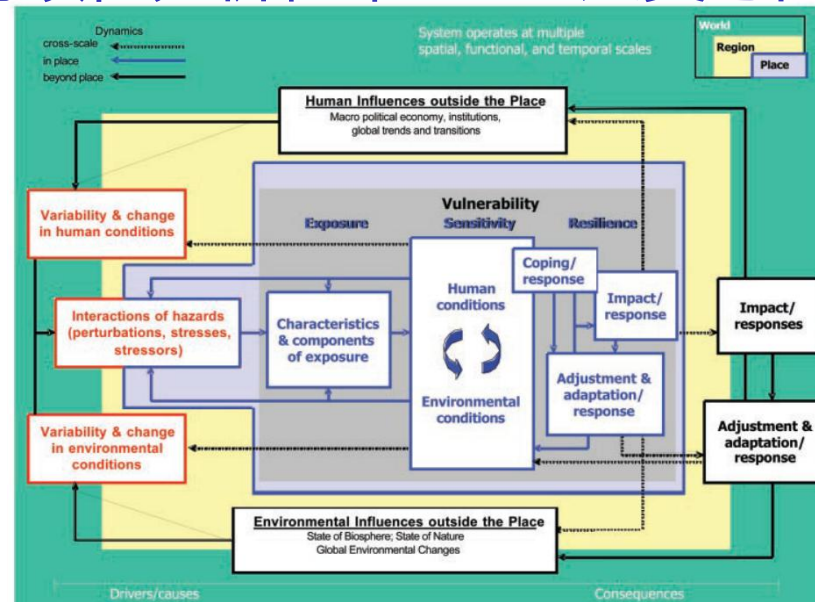
- 也被称为“复合人-地系统”或“人与自然复合系统”，是指人类与环境相互作用形成的具有复杂性、非线性、不确定性和多层嵌套等特性的耦合系统。
- 研究重点在于整体评估SES的动态，关注人类与环境系统的相互作用，及其在多个关联尺度上形成的动态与反馈，是地理学和生态学综合研究的前沿和重要途径。

社会-生态系统理论框架



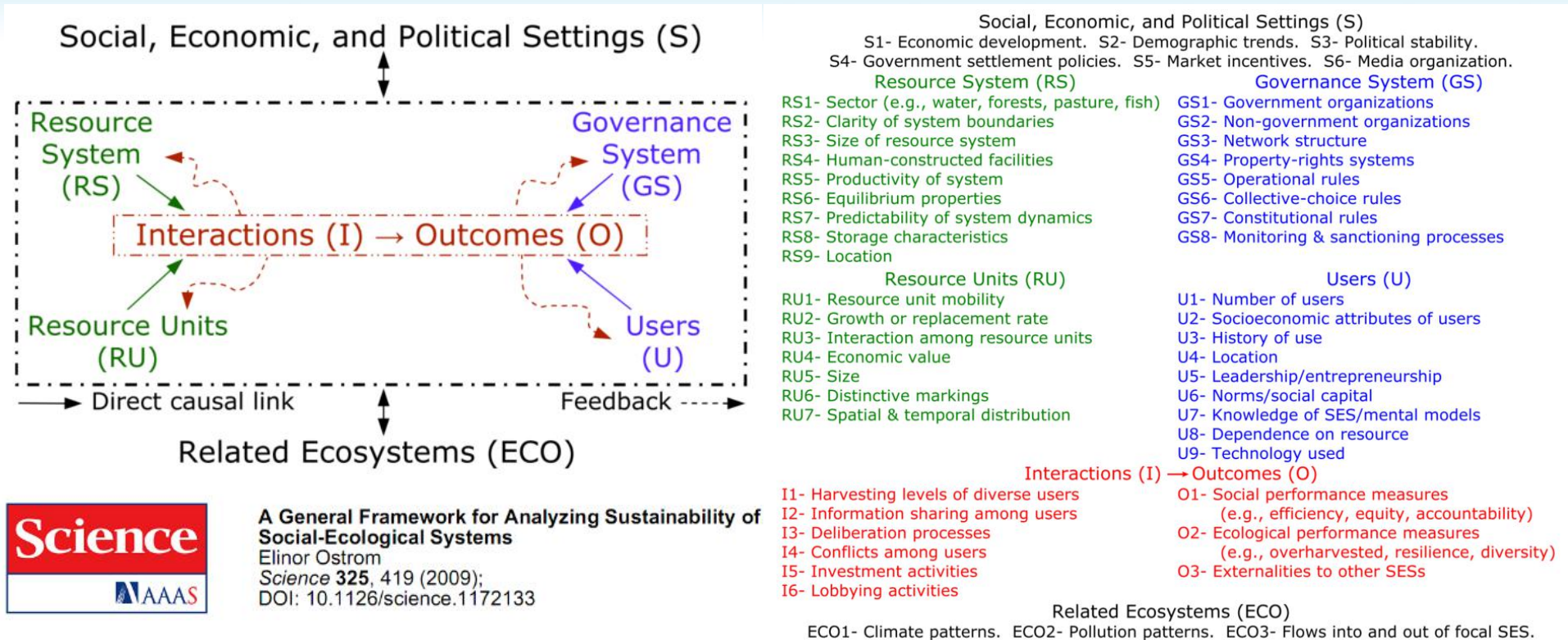
社会-生态系统可持续性分析框架

人类与自然耦合系统框架



脆弱性框架

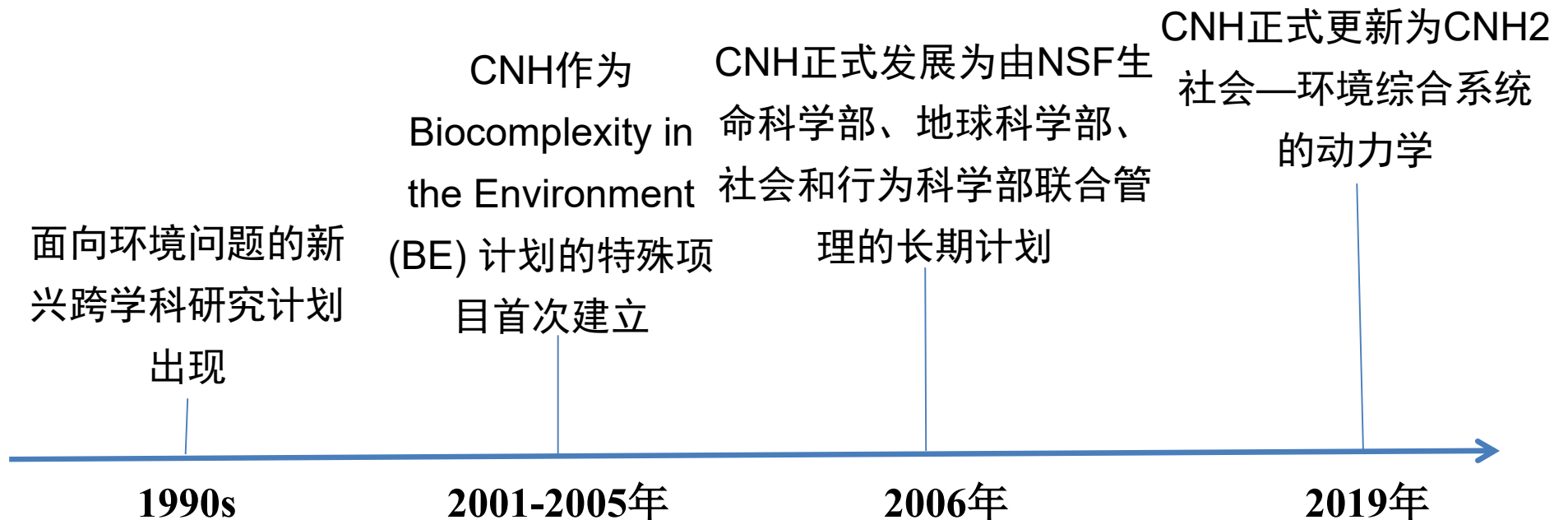
社会-生态系统通用研究框架



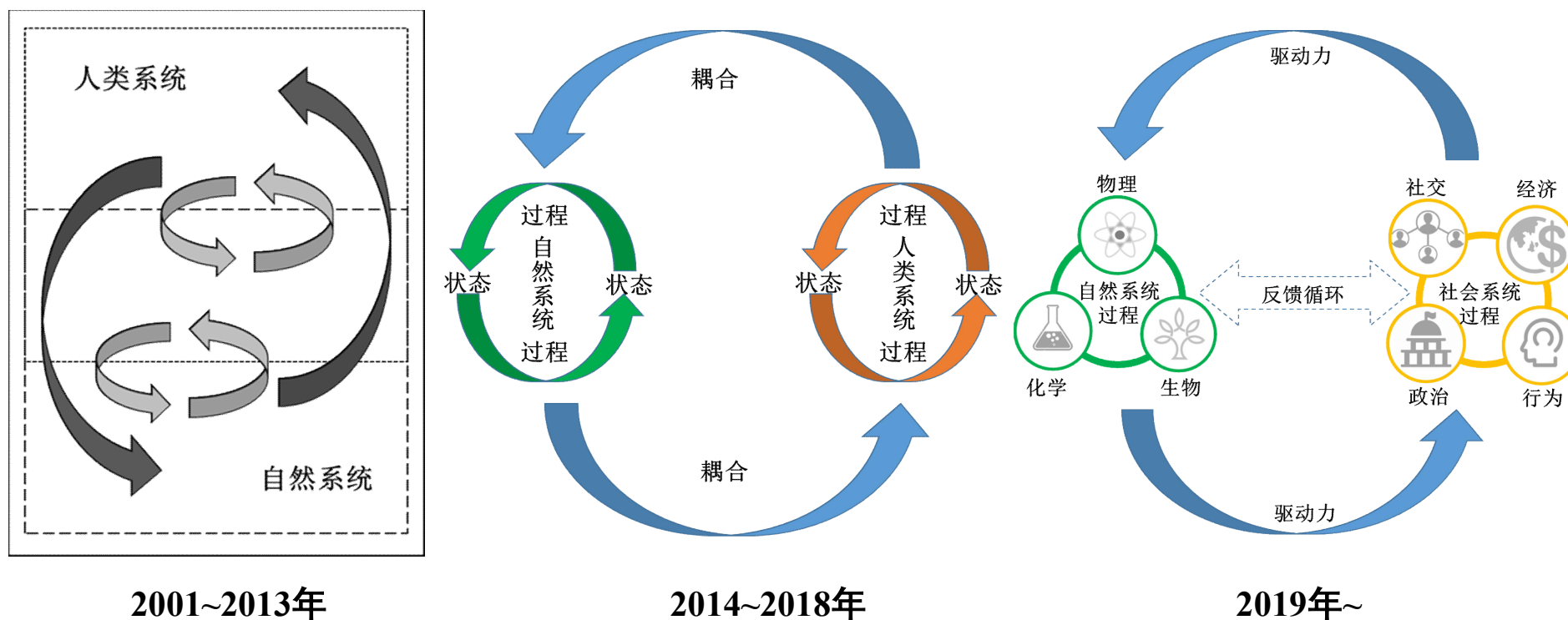
- 框架包括资源系统、资源单元、管理系统和行动者等要素相互作用及其效应
- 为社会-生态系统理论与实践探索提供了指导，吸引了全球可持续性领域众多学者的广泛关注，被应用于渔业、森林、水资源管理等研究领域

美国科学基金会自然与人类耦合系统动力学CNH项目 Dynamics of Coupled Natural and Human Systems

- CNH项目强调“过程”、“动态机制”研究
- 包含四种系统组分（自然系统动态、人类系统动态、自然系统影响人类系统的过程、人类系统影响自然系统的过程）的综合分析



CNH项目研究框架及演变



- 研究内容四种组分不变，组分关系框架不断深化
- CNH2研究的社会—环境综合系统不仅可以是农业和城市区域，也可以是受人类活动影响微弱的区域（如极地）

美国CHNS项目研究目标

- 提示典型案例区的人与自然耦合系统的复杂性，包括：耦合系统内部及与外部的交互影响与反馈(reciprocal effects and feedback loops)；相互作用关系的非线性(nonlinearity)规律；系统行为变化的阈值(thresholds)；人类活动对耦合系统的干扰(Human intervention)及系统的恢复性(resilience)；系统行为的时空尺度异质性(Heterogeneity)；系统变化的不确定性分析(uncertainty analysis) 人类与自然系统的复杂相互作用(complex interactions within and among human and natural systems)；
- 开展针对不同类型系统复杂性的综合集成方法研究，包括：多因素的耦合方法；时空尺度转换方法等；
- 提供典型人与自然耦合系统的适应性管理(Adaptive Management)对策，提供决策支持模型(Decision-making modeling)，形成决策咨询报告。

美国CNH项目研究内容



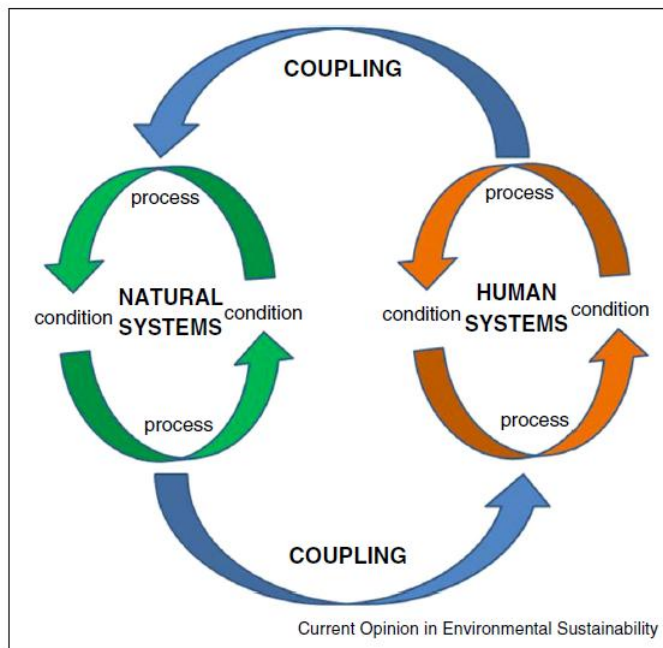
不同阶段CNH研究计划过审项目研究摘要词云图

变化（change）、气候（climate）是所有时期关键词
之后关注内容从管理（management）向可持续（sustainability）和
恢复力（resilience）转变

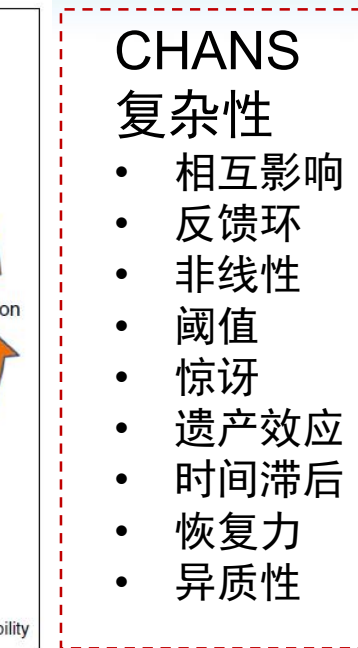
美国CHNS项目特点及其启示

- 跨学科的队伍(interdisciplinary teams)
- 多尺度(diverse scales)
- 定量化(quantitative approaches)
- 强调教育，研究与教育结合，鼓励本科生、研究生等参与(全球视野(global perspective))
- 避免重复支持(The project description should make clear how the proposed work is different from lines of inquiry and activities for which support has already been acquired)
- 多方共同支持经费支持额度在50-150万美元之间
- 研究区的时间尺度上10年到数百年、空间尺度上数百km²到数万km²
- 单个项目或者项目群时间不超过5年

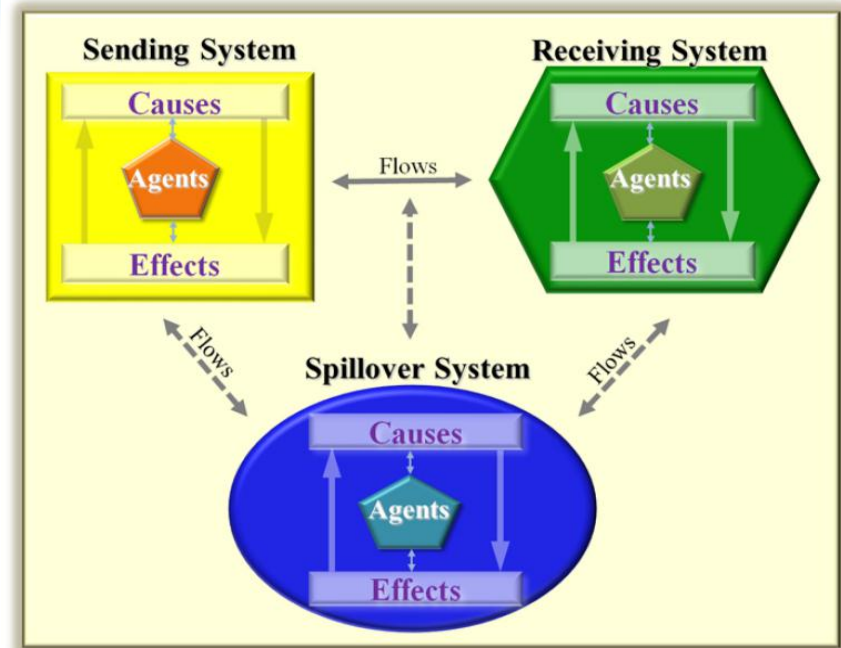
人类与自然耦合系统框架



CNH graphic used in the solicitation for 2015.

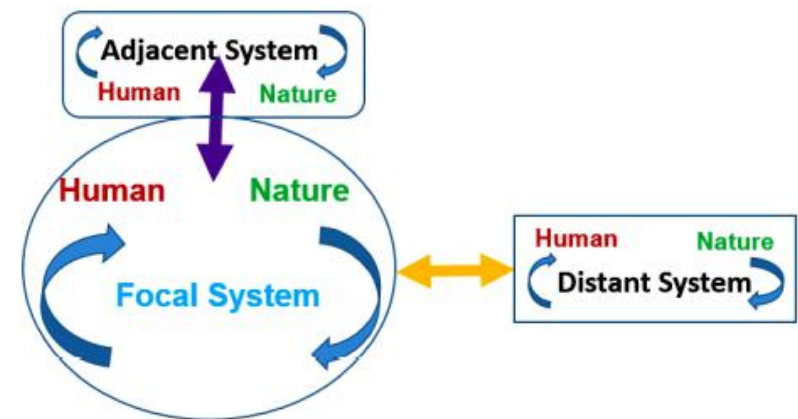


Liu et al. 2007. *Science*



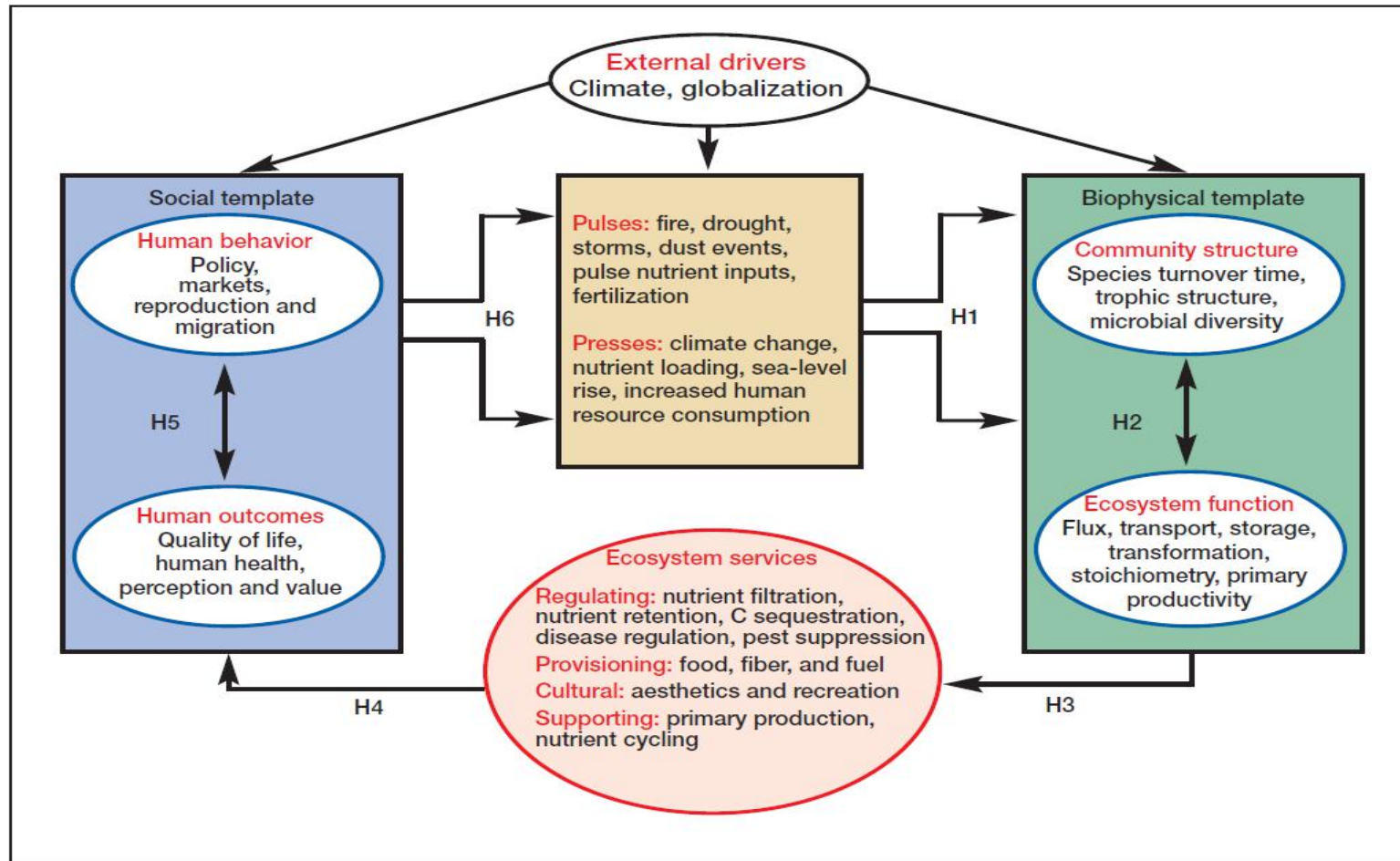
Liu et al. 2013. *Ecology and Society*

- 人类与自然耦合系统（CHANS）开展自然系统动态、人类系统动态、自然系统影响人类系统的过程、人类系统影响自然系统的过程的综合分析
- 远程耦合概念是对CHANS研究的自然延伸，包括CHANS、流、代理、原因、影响五个相关的组成部分
- 全程耦合（Metacoupling）框架包括系统内耦合（Intracoupling）、远程耦合（Telecoupling）和近程耦合（Pericoupling）



Liu et al. 2017. *Ecology and Society*

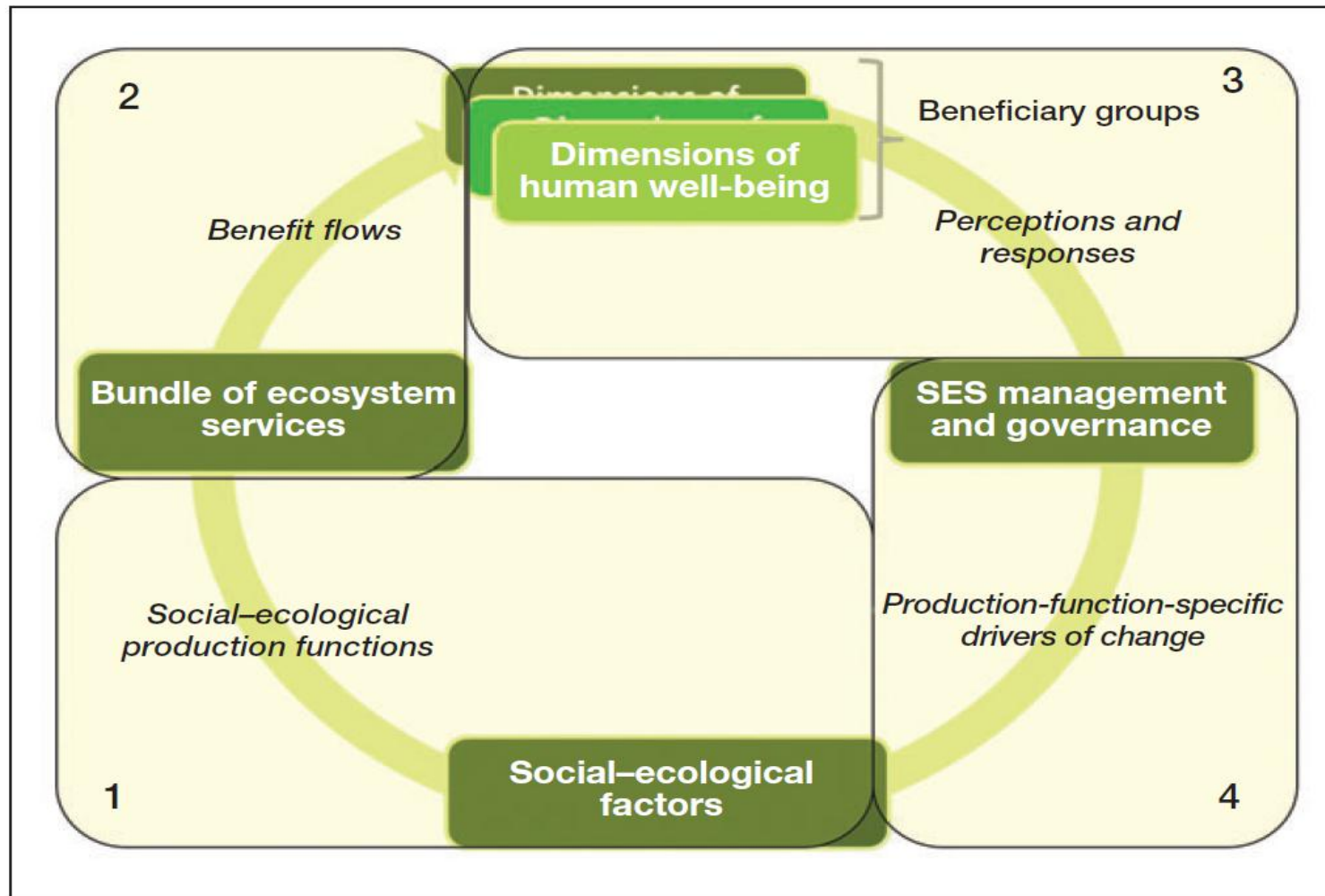
基于生态系统服务耦合框架：



Collins, et al, 2011, FEE

- 生态系统服务是连接自然生态系统与社会系统的桥梁

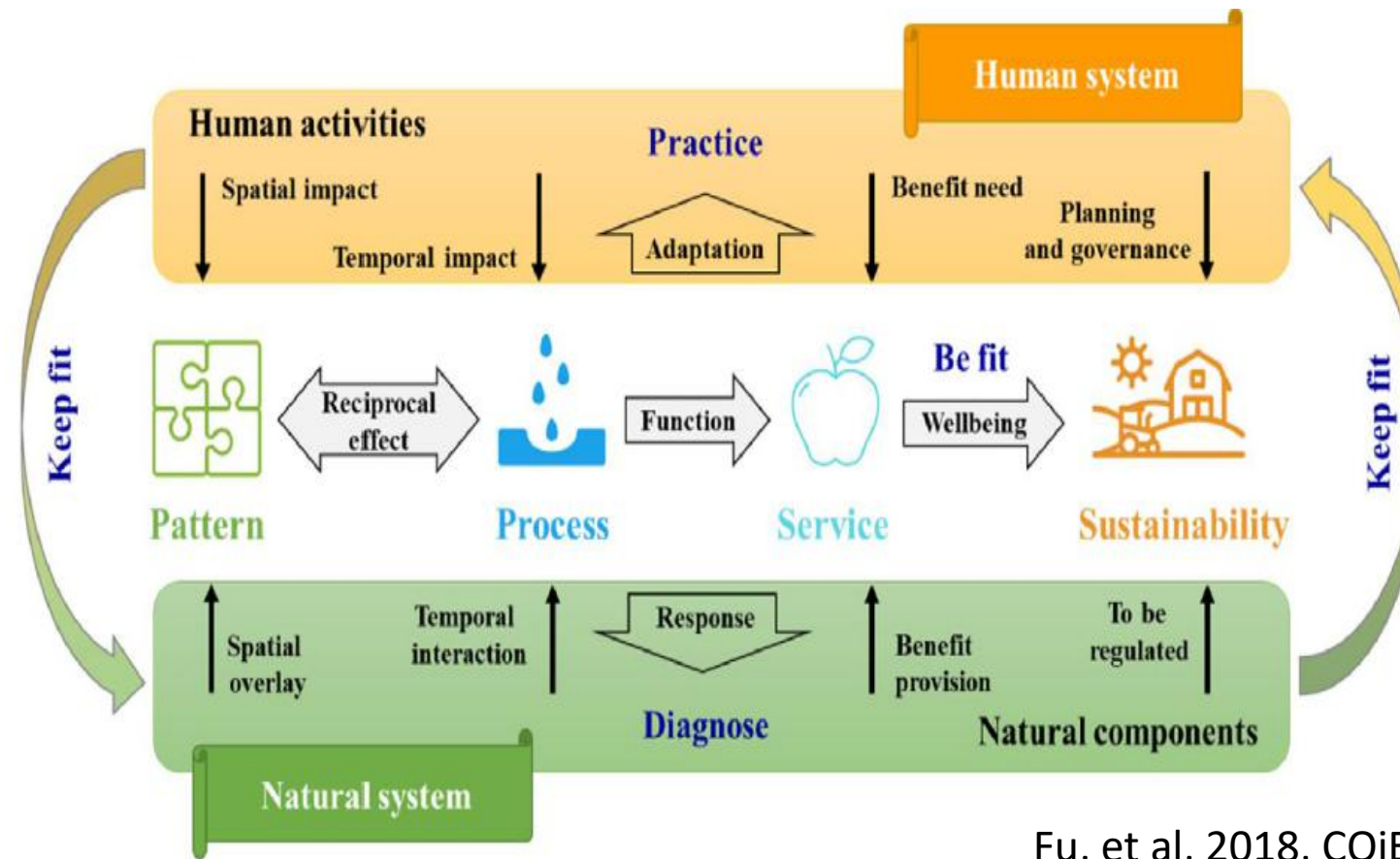
基于生态系统服务耦合框架：



Reyers, et al, 2013, FEE

- 生态系统服务是连接自然生态系统与社会系统的桥梁

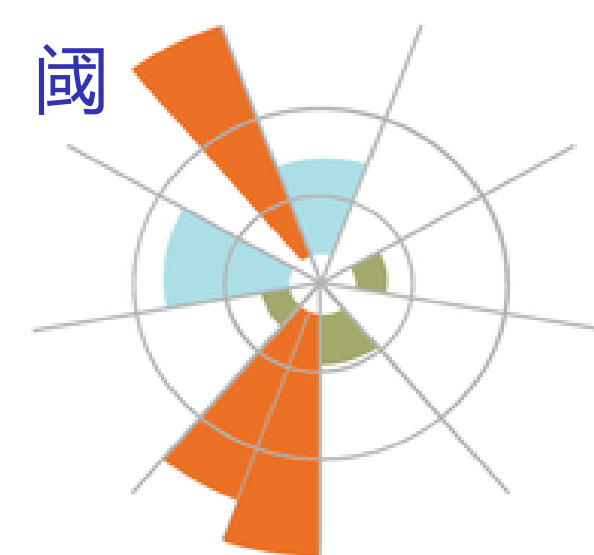
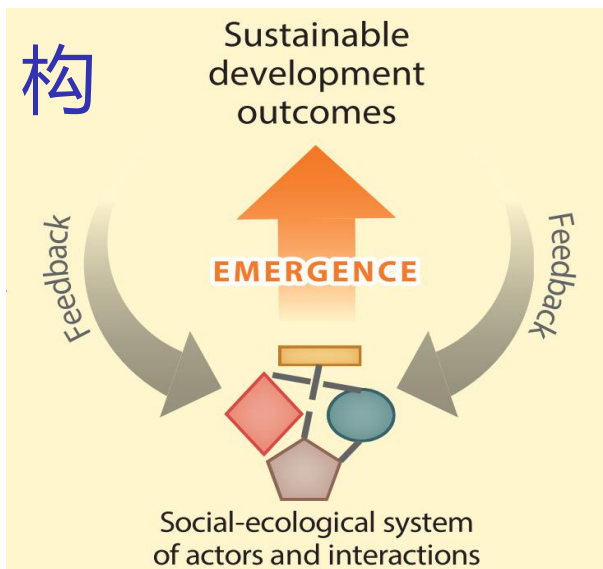
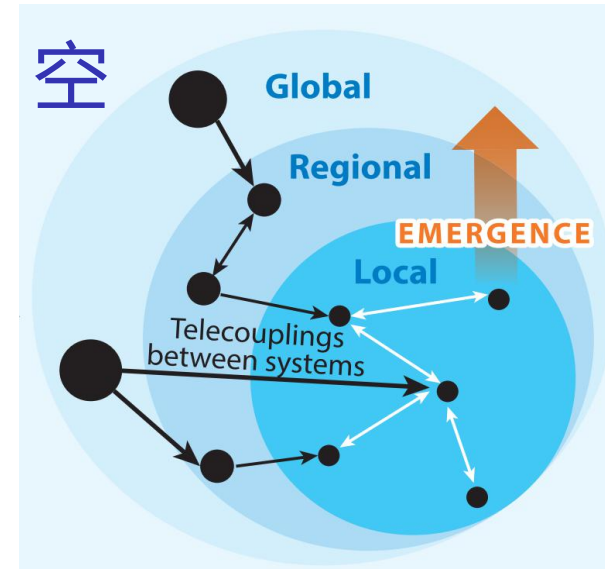
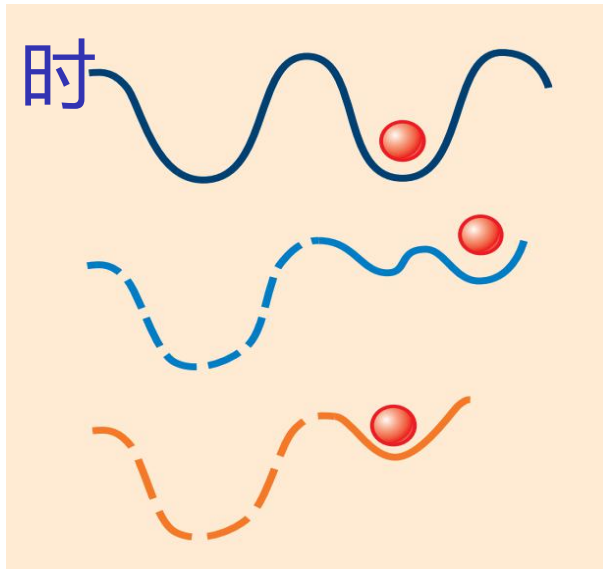
生态系统服务框架：格局-过程-服务-可持续性



Fu, et al, 2018, COiES

- 生态系统服务是生态系统结构-过程-功能-服务综合研究的重要框架

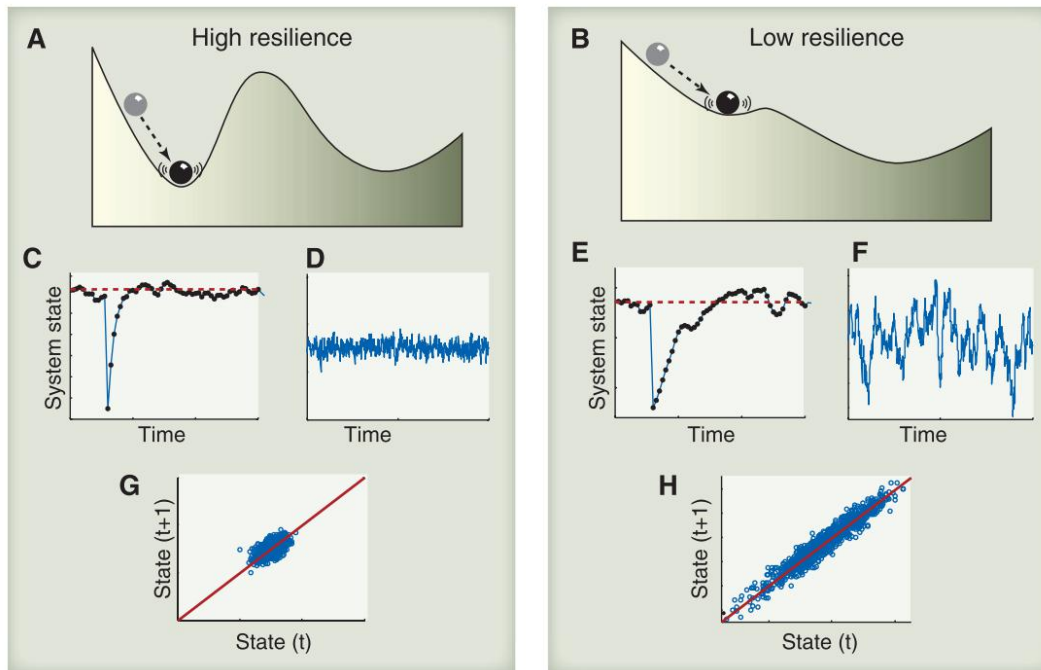
研究进展：社会-生态系统互馈机制



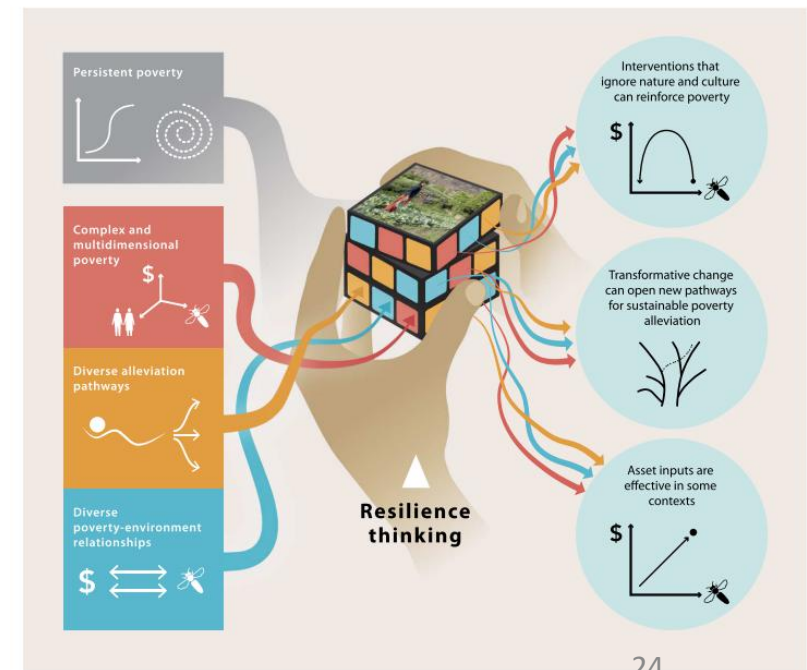
研究进展：社会-生态系统互馈机制

弹性—系统动态演化

- 发生变化时吸收干扰、重新组织，以维持其结构、功能、特性和反馈的能力
- 当前研究主要集中在社会-生态系统弹性的定量评估，社会-生态系统动态演化和稳态转换等方面
- 揭示耦合系统的弹性机制是保持和增强系统弹性和可持续性的科学基础，也是当前研究的主要难点



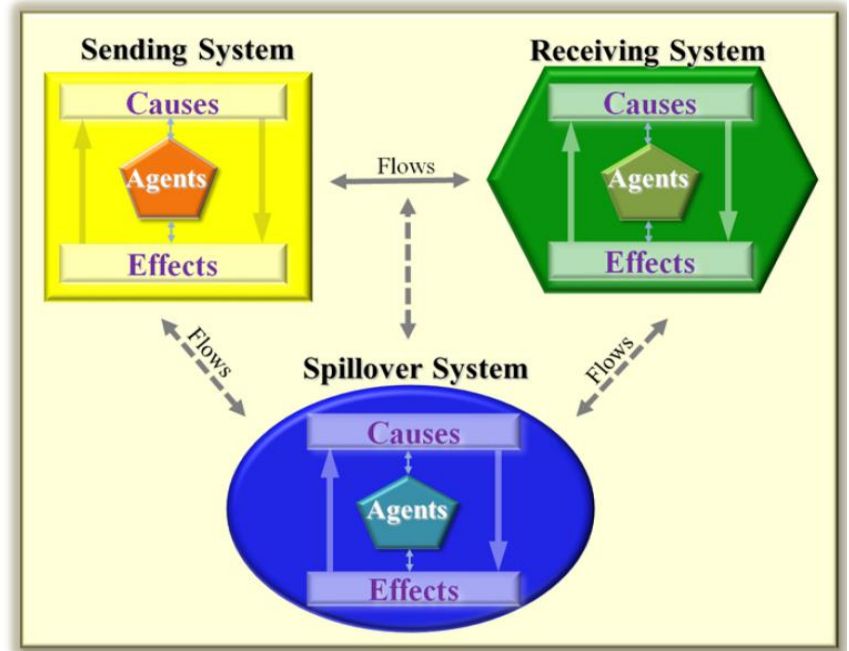
Scheffer et al. *Science*. 2012



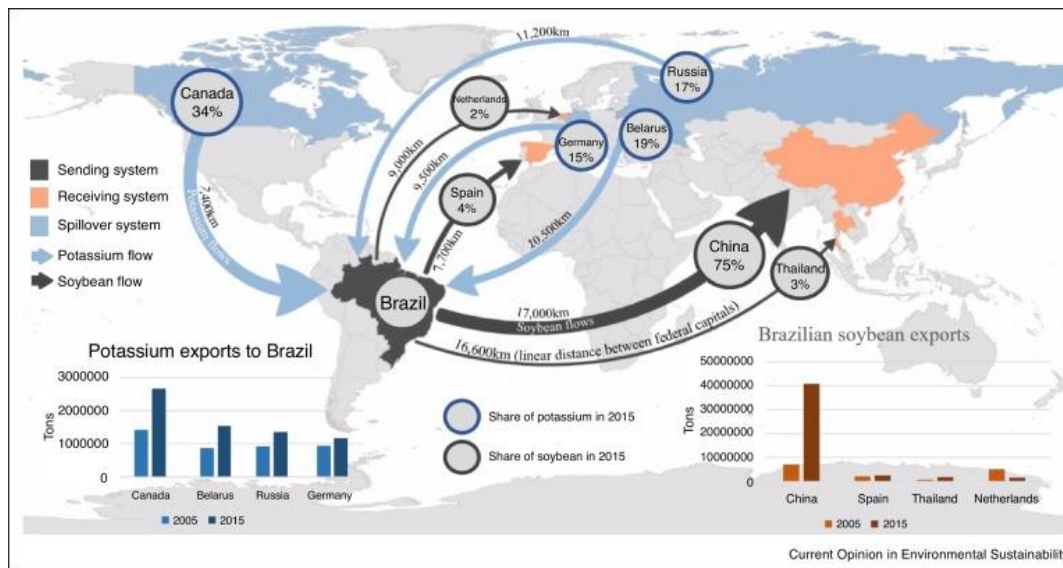
研究进展：社会-生态系统互馈机制

全程耦合—不同距离相互作用

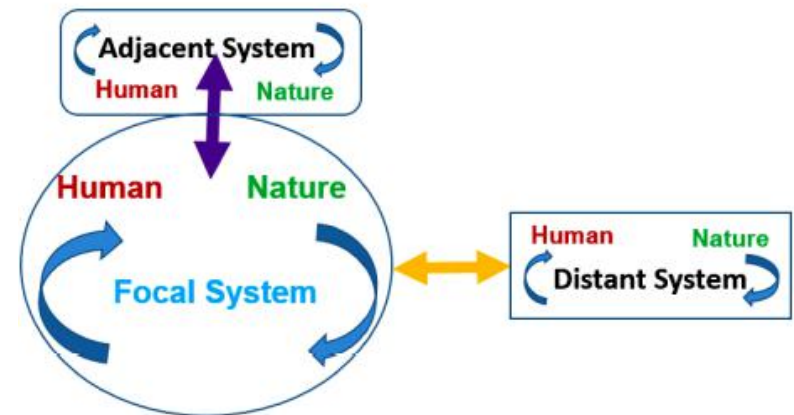
- 包括系统内耦合Intracoupling、远程耦合Telecoupling、近程耦合Pericoupling
- 将系统概念化为子系统、代理、流、原因和影响，根据流的移动方向，系统可以被定义为发送、接收和外溢系统
- 在国际贸易、SDG、渔业等研究广泛应用，加深对不同距离相互作用的认识



Liu et al. 2013. *Ecology and Society*



Liu et al. 2018. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*

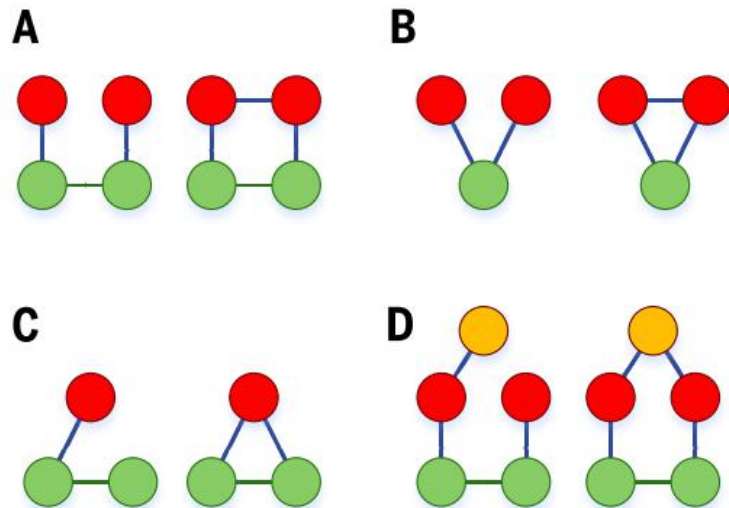


Liu et al. 2017. *Ecology and Society*

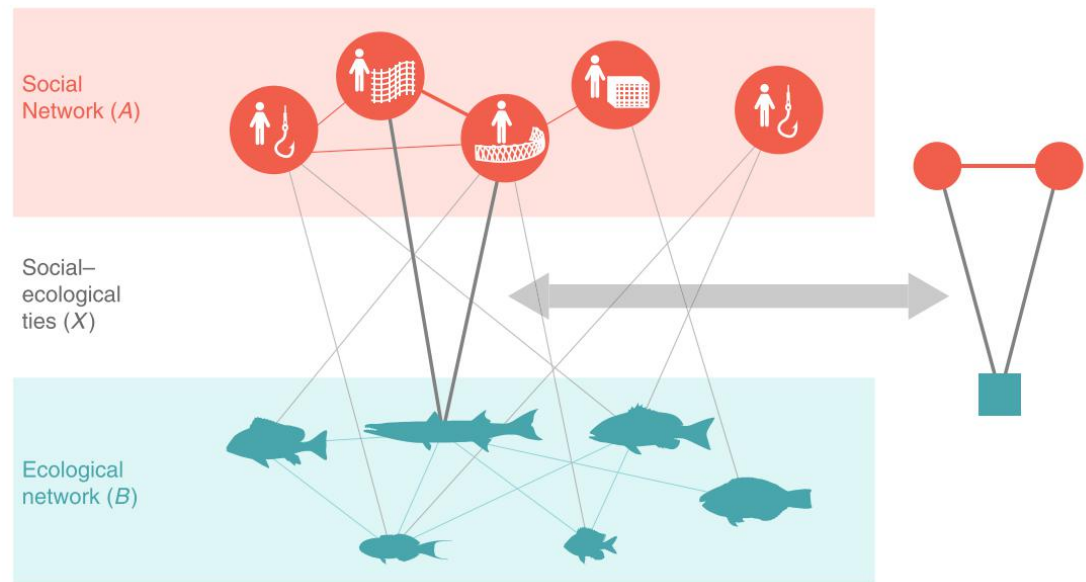
研究进展：社会-生态系统互馈机制

社会-生态系统网络—相互作用的模式和结构

- 使用网络解构和分析社会节点与生态节点的相互作用关系，是刻画复杂的社会-生态系统结构、探讨系统结构和功能的有效途径
- 相关研究主要关注社会系统和生态系统的匹配，即行动者之间的协作网络是否与被管理的生态系统或生物物理结构相一致
- 对于网络结构和社会-生态系统功能因果关系的研究仍比较有限



Bodin. 2017. *Science*

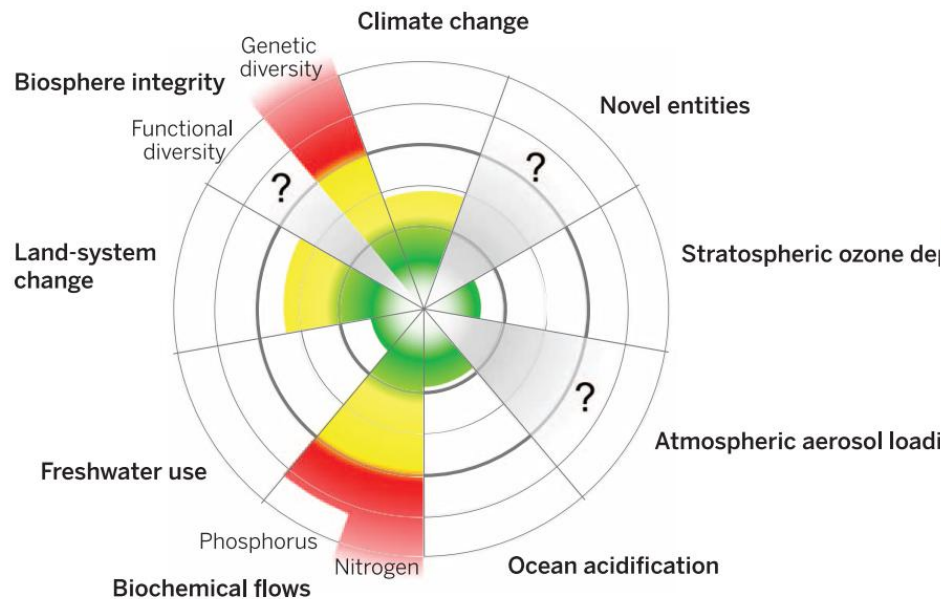


Barnes et al. 2019. *Nat. Commun.*

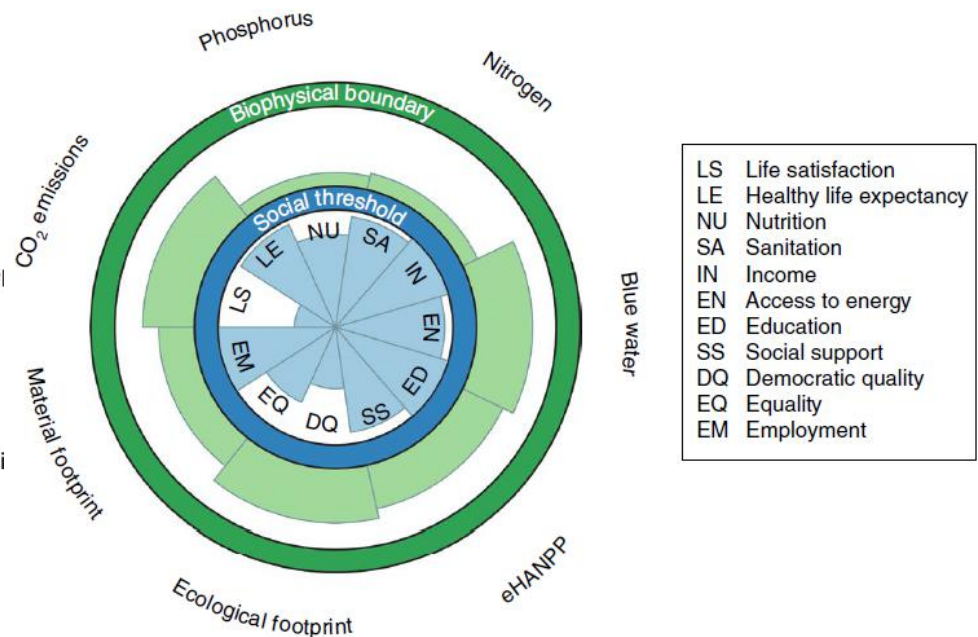
研究进展：社会-生态系统互馈机制

地球界限—相互作用的阈值效应

- 定义了人类相对于地球系统的安全运行空间，即人类活动合理的范围和程度
- 提出调节地球系统稳定性和弹性的9个关键过程，量化了部分过程的地球界限；也有研究将社会基础纳入地球界限的制定过程中，旨在创造安全公正空间
- 需要深入了解不同地球系统过程的相互作用机制，完善和发展不同尺度上的相关评估理论和方法，结合相关评估结果开展变革性环境管理的研究



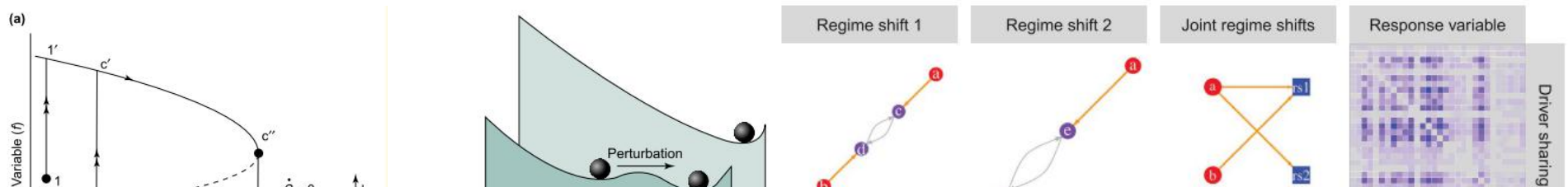
Steffen et al. 2015. *Science*



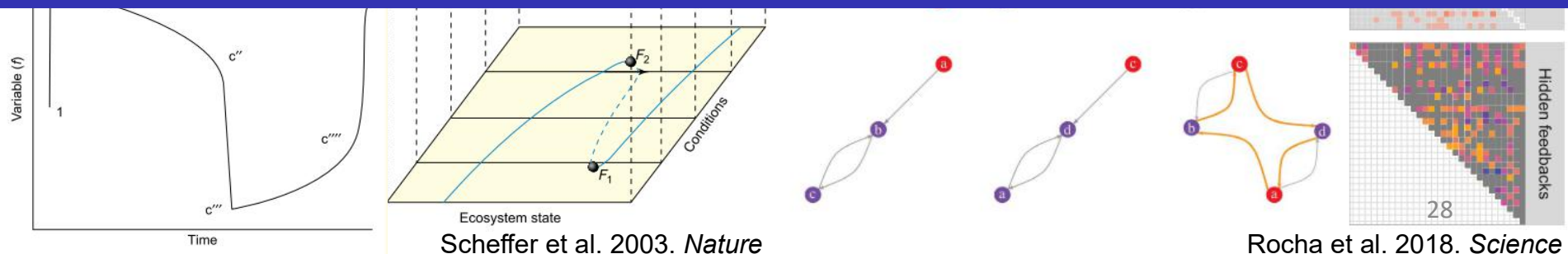
O'Neill et al. 2018. *Nat. Sustain.*

研究进展：社会-生态系统稳态转换

- 稳态转换 (regime shift) 是指系统的结构和功能发生巨大、突然和持续的变化，是社会-生态系统演化和弹性变化的重要视角
- 识别稳态转换的关键节点和变换类型，揭示稳态转换的驱动机制，以及不同稳态转换间的级联效应 (cascading effects) 是当前研究的前沿
- 主要基于社会或生态要素时间序列突变点识别，对要素相互作用关注较少，稳态转换影响研究主要集中在局地尺度，对其跨尺度的溢出效应研究有限



需要发展根据社会-生态要素相互作用变化识别系统稳态转换的方法，同时分析其驱动机制和溢出效应



报告提纲

1 背景与理论框架

2 研究内容

3 案例研究

4 未来展望

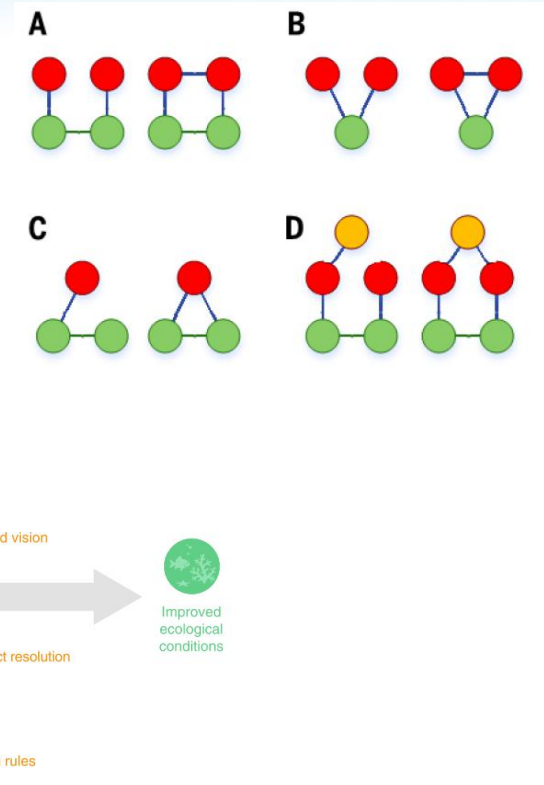
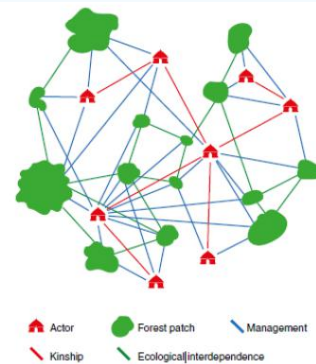
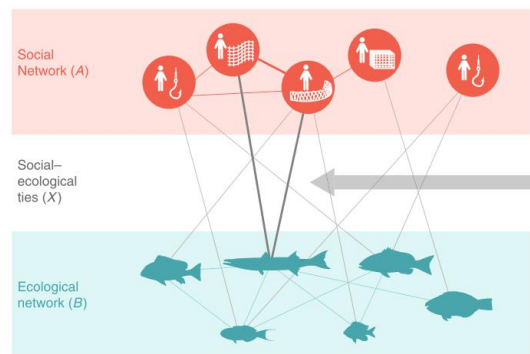
研究内容1：社会-生态系统结构

REVIEW

ENVIRONMENT

Collaborative environmental governance: Achieving collective action in social-ecological systems

Örjan Bodin*

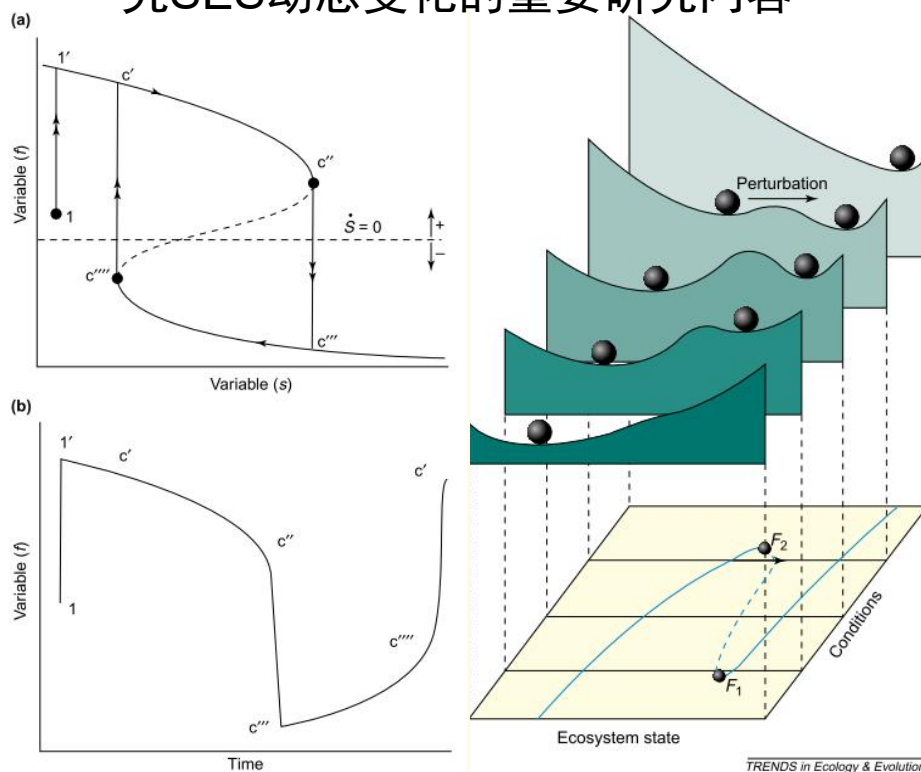
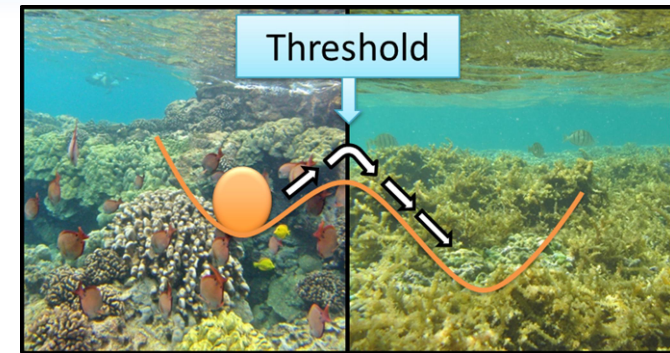


- 可以将社会与自然相互作用的模式进行拆解、定义和形式化，通过有根据的提出假设，将社会 - 生态网络结构与社会 - 生态过程（功能）相关联，实现社会生态关系的定量研究。
- 网络分析方法解析**社会-生态系统网络结构**，为应用SES框架分析实际案例提供了一套可量化、易操作的方法模型。

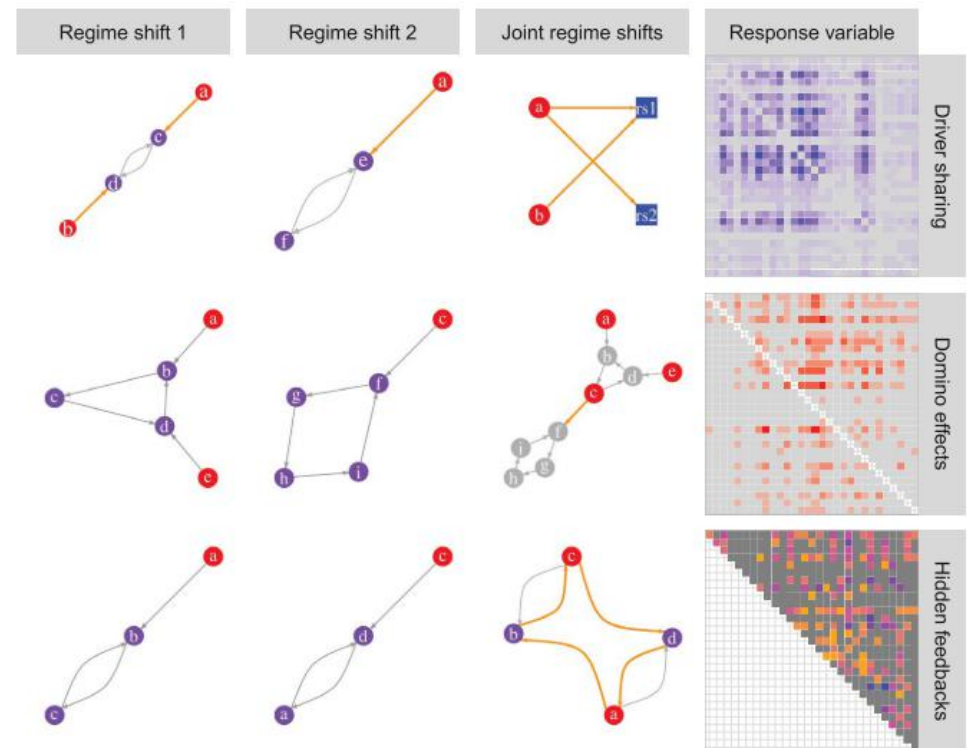
(Bodin et al., 2017, *Science* ; Barnes et al., 2019, *Nature Communication*)

研究内容2：社会-生态系统动态变化

- 社会-生态系统的结构和功能都是动态变化的，当变化超过阈值可能发生**稳态转换**（regime shift）
- 稳态转换还可能触发导致系统其它功能或外部系统崩溃的**级联效应**（cascading effects）
- 识别稳态转换的关键节点和变换类型，揭示稳态转换的驱动机制，以及不同稳态转换间的相互作用研究SES动态变化的重要研究内容



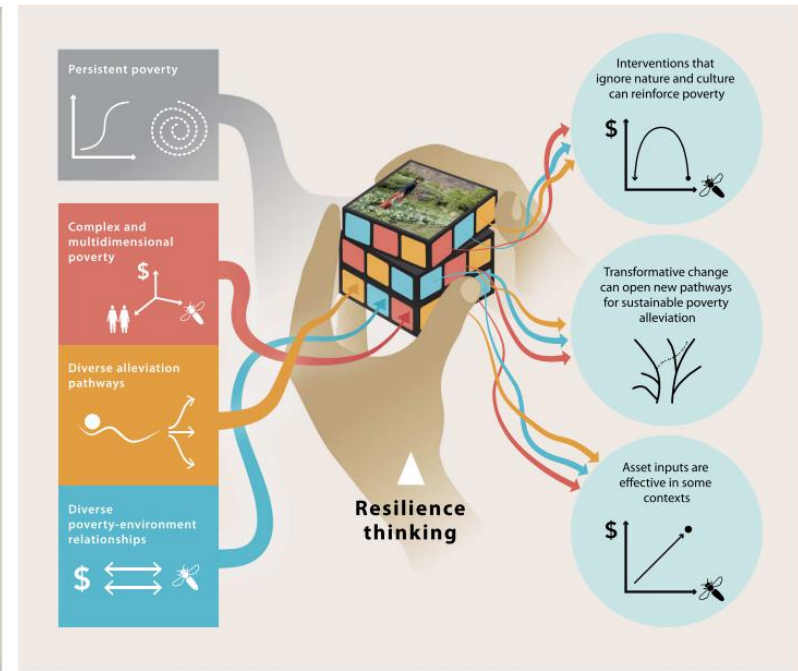
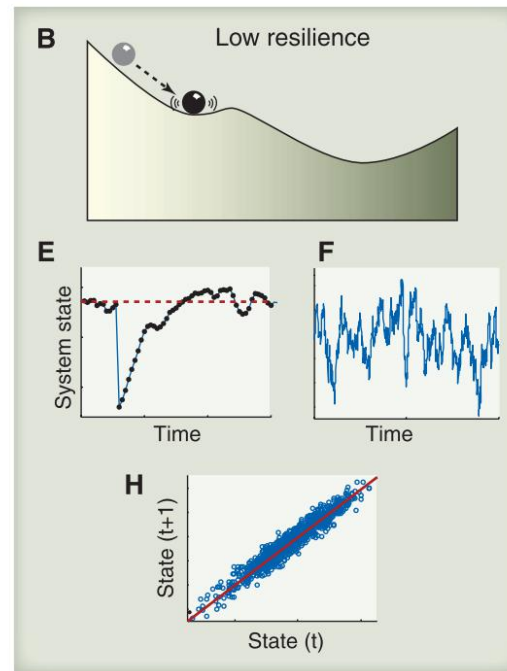
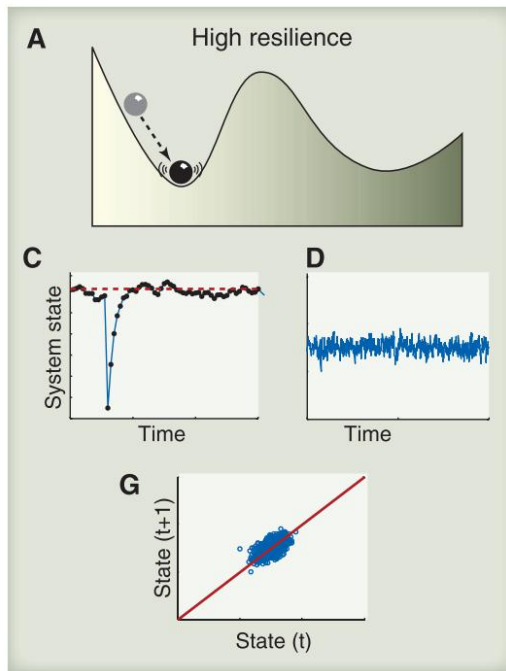
Scheffer et al., Nature. 2003



Rocha et al., Science. 2018

研究内容3：弹性

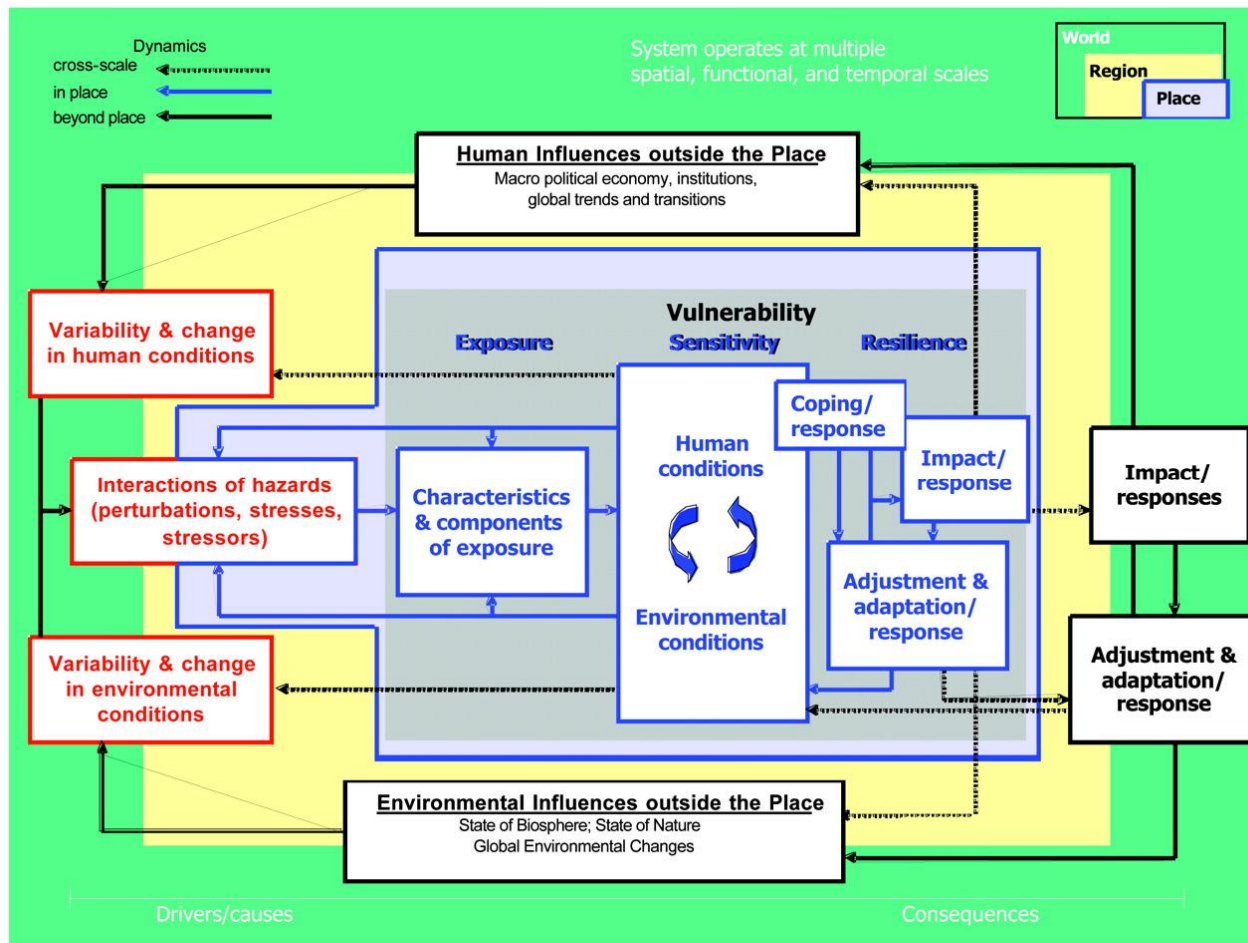
- **弹性**是研究社会-生态系统功能特性的核心理论
- 揭示耦合系统功能的弹性机制是保持和增强系统弹性和可持续性的科学基础，也是当前研究的主要难点
- 将系统理论与生态学理论和概念模型结合，利于对社会-生态系统功能进行分析、量化与建模



研究内容4：脆弱性

A framework for vulnerability analysis in sustainability science

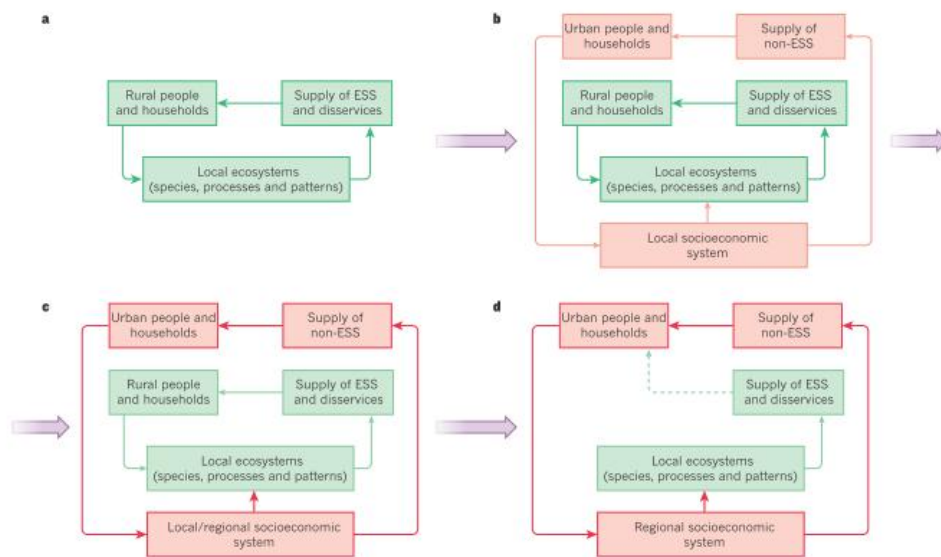
B. L. Turner II^{a,b,c}, Roger E. Kasperson^{b,d}, Pamela A. Matson^e, James J. McCarthy^f, Robert W. Corell^g, Lindsey Christensen^e, Noelle Eckley^{g,h}, Jeanne X. Kasperson^{b,d}, Amy Luers^e, Marybeth L. Martello^g, Colin Polsky^{a,b,g}, Alexander Pulsipher^{a,b}, and Andrew Schiller^b



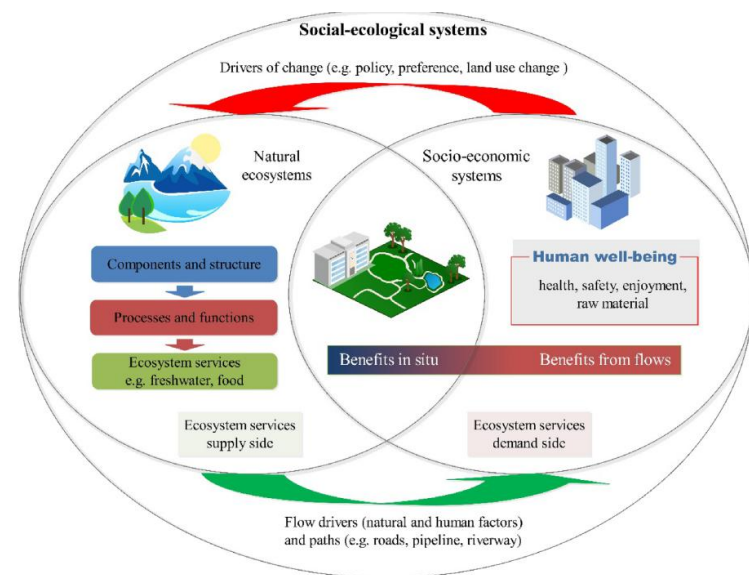
- 脆弱性是描述人地耦合系统发展程度和状况的基本概念
- 脆弱性要素包括敏感性、暴露性、适应能力
- 探究脆弱性关键要素阈值与演化机理，为应对气候变化、完善系统结构功能和实现可持续发展提供科学依据

研究内容5：尺度效应与区域关联

- 社会-生态系统具有尺度效应，相似的结构在不同的尺度上可呈现出不同的功能特性
- Cumming等人提出的**社会-生态系统路径识别**（Mapping）有助于理解由局地尺度社会-生态系统反馈向更高尺度系统反馈的过渡过程
- **远程耦合**（Telecoupling）有助于分析社会-生态系统与不同尺度之间贸易的关系
- **生态系统服务流**（Ecosystem services flow）有助于分析生态系统服务在不同区域和尺度之间的供需流关系。



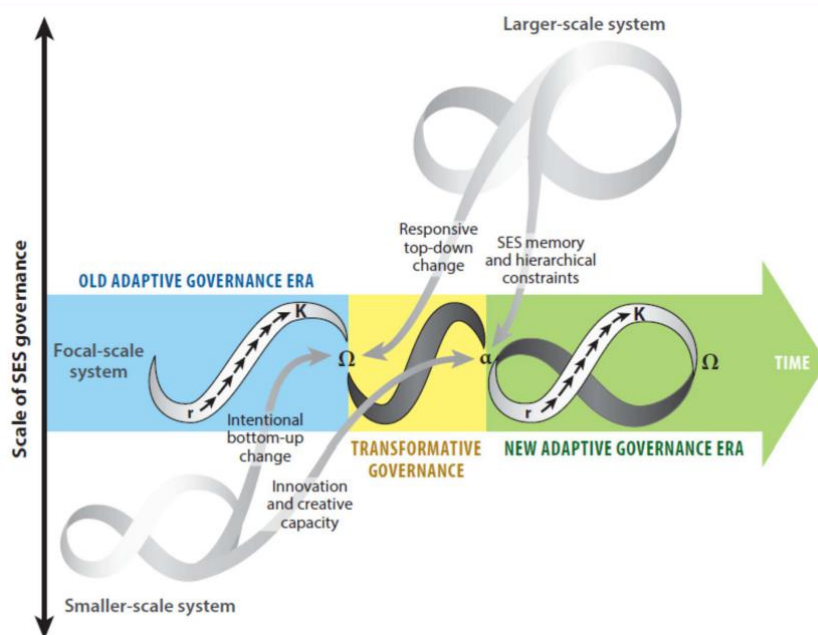
Cumming et al., 2014. *Nature*



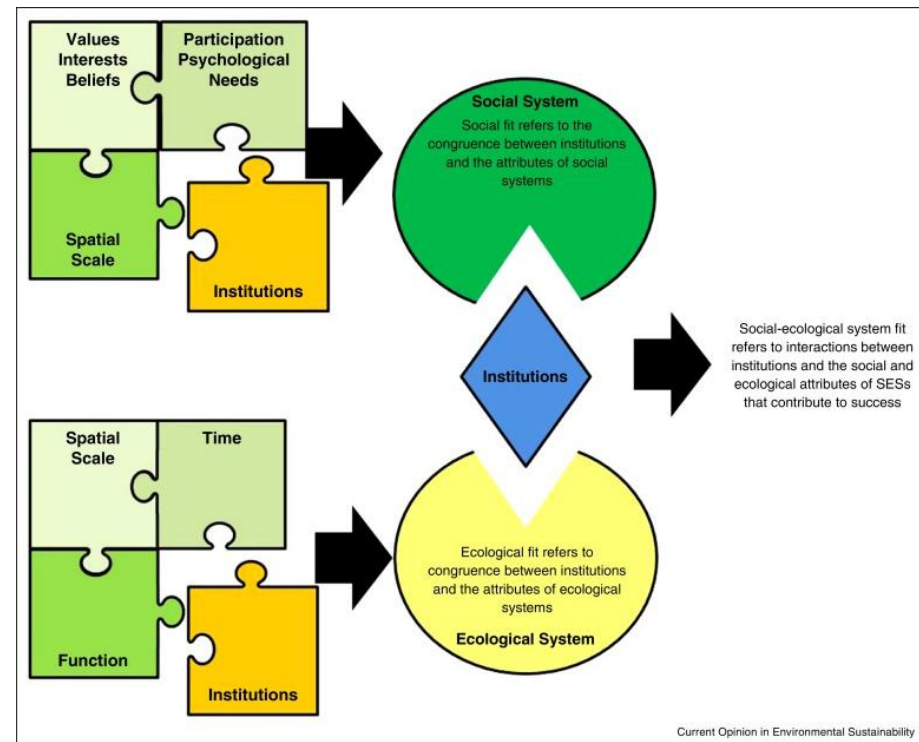
Wang et al., 2020. *Ecosystem Services*

研究内容6：社会-生态系统管理

- 系统通常经历开发（Growth）、保护（Senescence）、释放（Collapse）、更新（Renewal）四阶段的适应性循环，相应需要通过**适应（Adaptive）治理或转型（Transformative）治理**。
- 社会-生态系统匹配（social-ecological fit）**是指社会制度（institution）与环境（context）之间建立一种匹配关系，从而促进社会-生态系统的可持续性。



Chaffin et al., *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2016



Epstein et al., 2015. *COSUST*

报告提纲

1 背景与理论框架

2 研究内容

3 案例研究

4 未来展望



SCIENCE ADVANCES | RESEARCH ARTICLE

ECOLOGY

Evolution and effects of the social-ecological system over a millennium in China's Loess Plateau

Xutong Wu^{1,2}, Yongping Wei³, Bojie Fu^{2,4*}, Shuai Wang⁴, Yan Zhao³, Emilio F. Moran⁵

近千年来黄土高原社会-生态系统演变



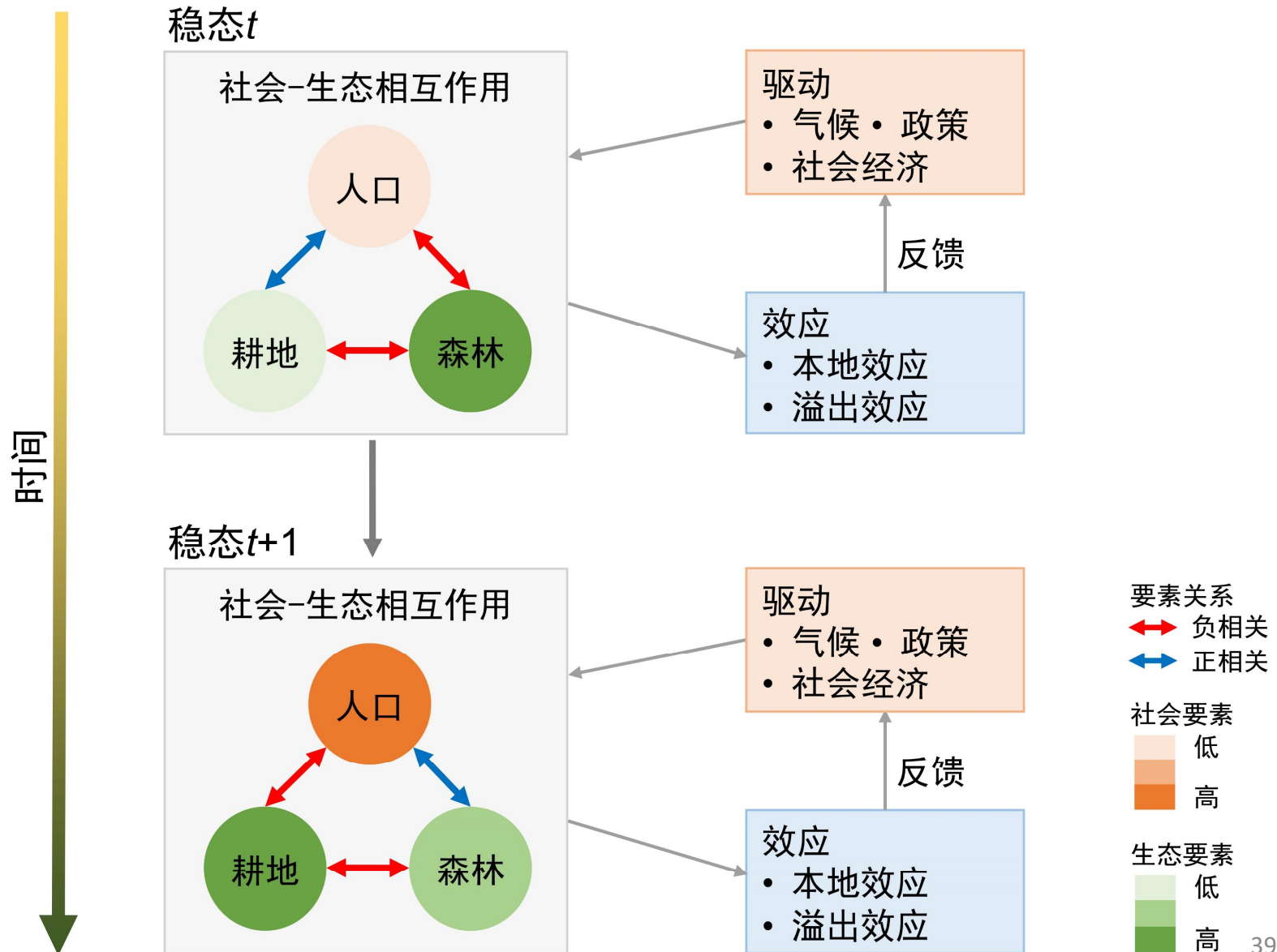
研究背景与意义

社会-生态系统耦合是黄土高原可持续发展的需求

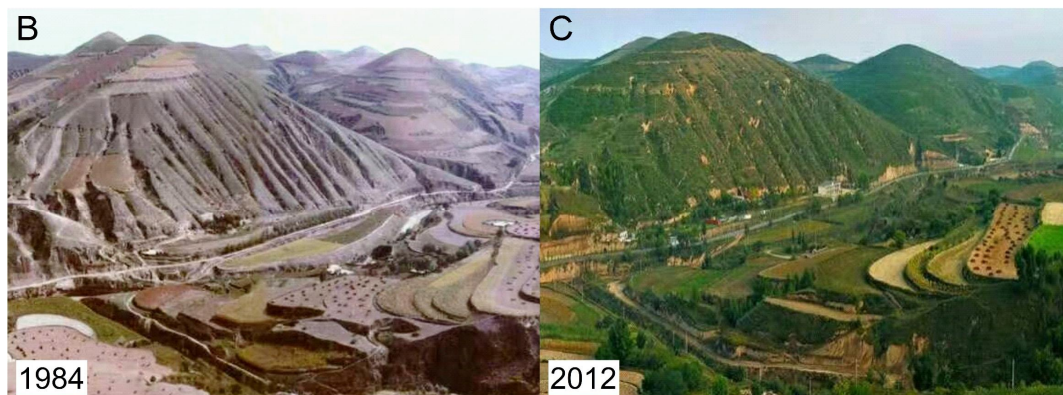
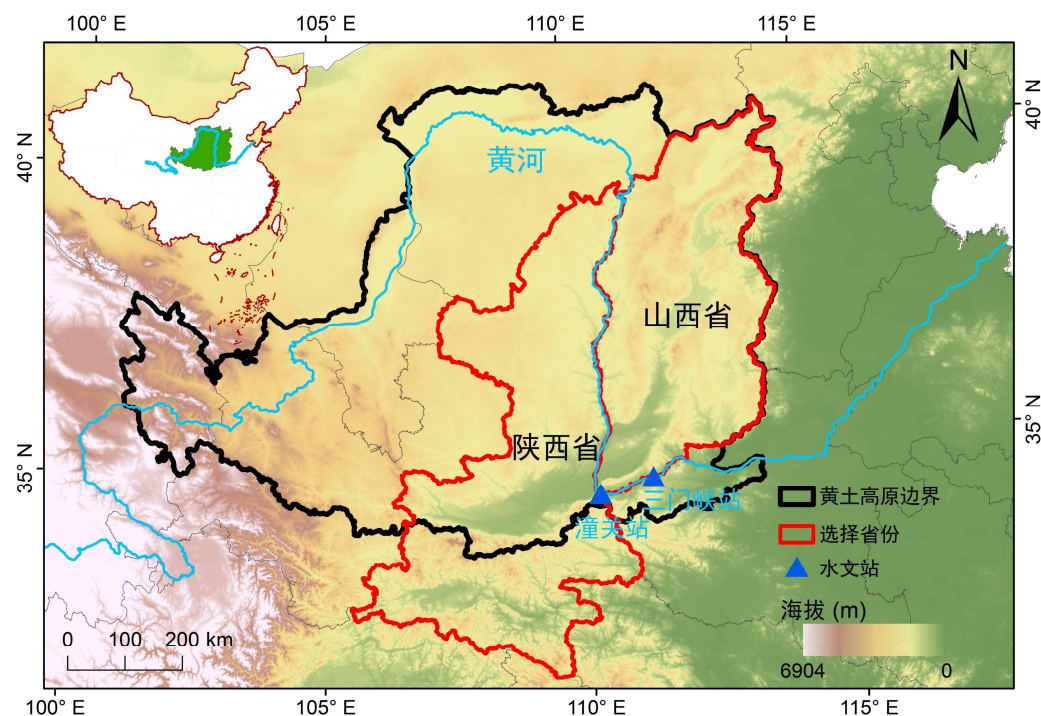


- 黄土高原地区是中国人口、资源、环境矛盾最集中的区域之一
- 开展社会-生态系统耦合研究可以为黄土高原的可持续发展提供理论基础和决策依据，对黄河流域生态保护和高质量发展具有重要意义

社会-生态系统稳态转换分析框架



社会-生态系统指标选取



- 社会-生态相互作用
 - 人口：人口及其伴随的粮食需求一直是社会面临的核心问题
 - 森林覆盖率：影响区域生态过程
 - 耕地面积：通过土地利用连接社会和生态系统，影响粮食安全
- 驱动因素
 - 政策：政策优先级、税收政策
 - 气候：气温、降水、旱涝事件
 - 社会经济：农业技术、战争频率
- 本地/溢出影响
 - 黄土高原粮食产量
 - 黄河输沙量和天然径流量
 - 黄河三角洲面积和黄河下游自然决堤变化



社会-生态系统指标选取

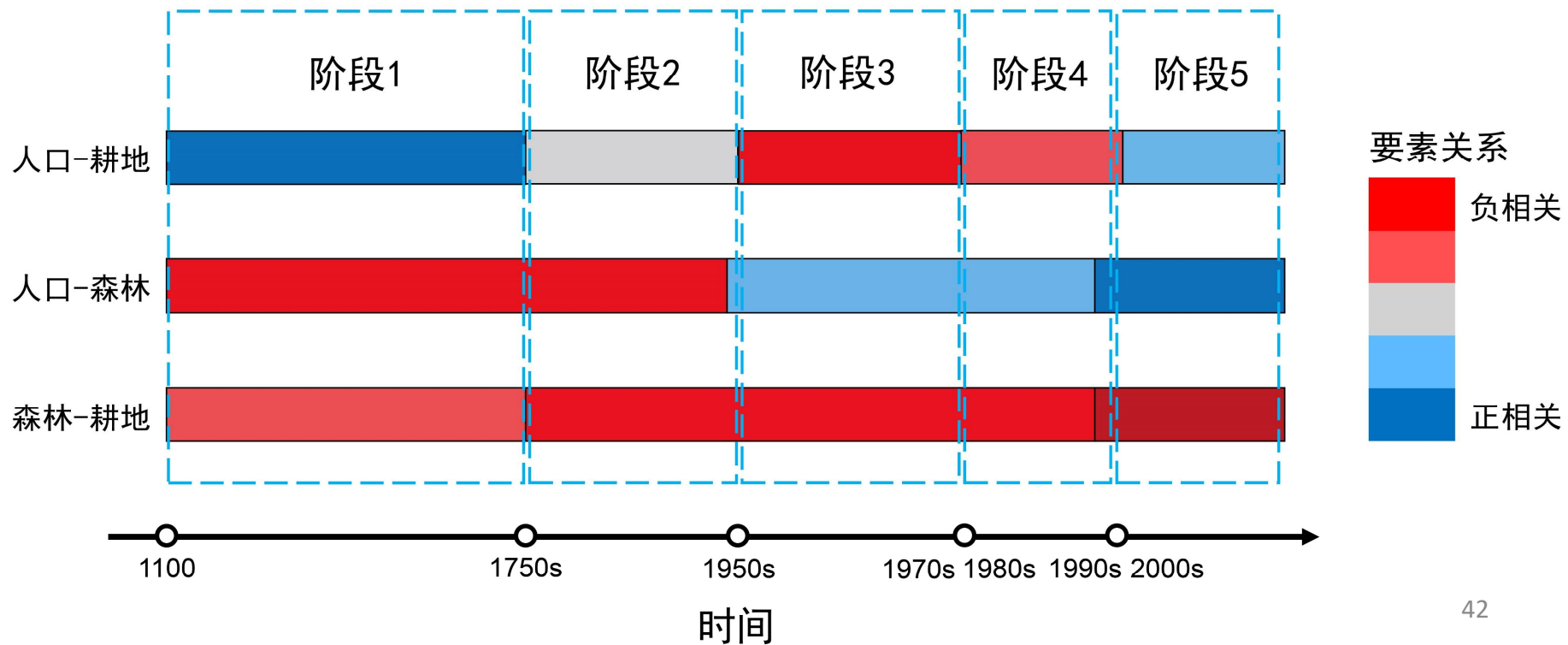
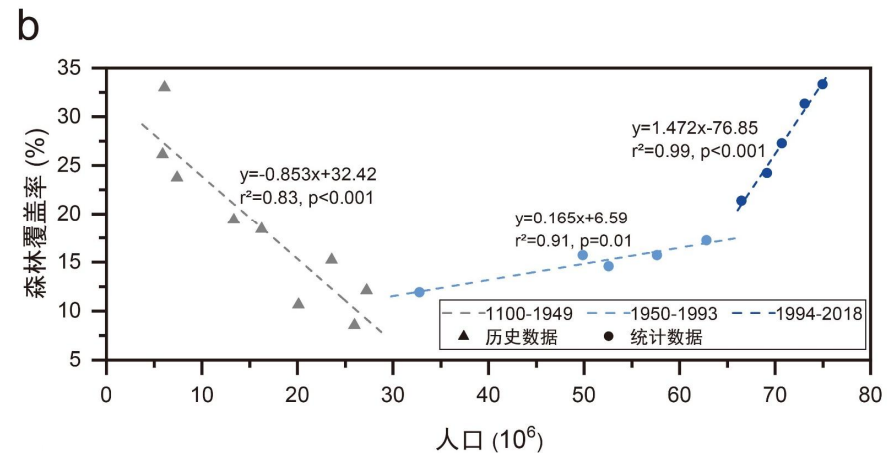
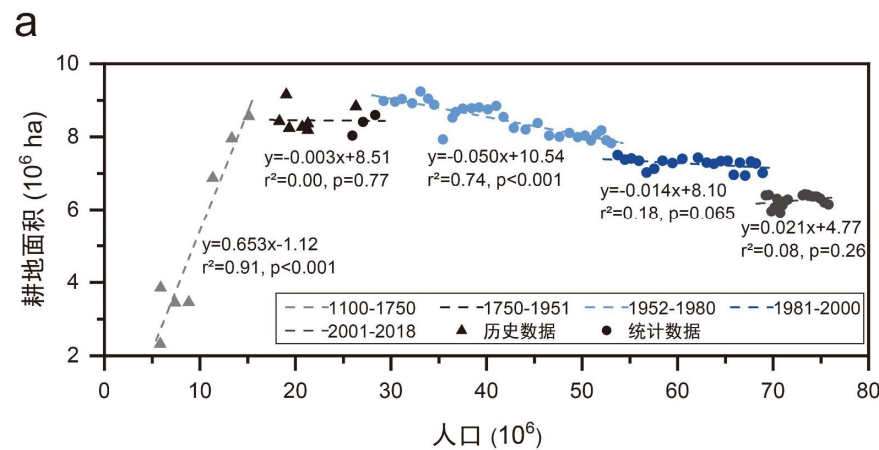
历史时期数据信息

序号	数据	类型	时间范围	时间分辨率	空间范围	原始数据	可信度	数据来源
1	人口	历史记录	980-1949	-	陕西省和山西省	户籍数据	人口为保守估计，但反映了整体的趋势，近 300 年数据点更多	地方志
2	耕地面积	历史记录	1082-1933	-	陕西省和山西省	官方文献和地方志	反映了整体的趋势，近 300 年数据点更多	(Perkins, 2017; 葛全等, 2003)
3	森林覆盖率	估算数据	960-1949	-	陕西省和山西省	根据史籍文献估算	反映了整体的趋势，近 300 年数据点更多	(Wang et al., 2006; 何小等, 2007; 念海, 1985)
4	中国东部冬半年温度距平	重建数据	1000-1949	30 年	长江和黄河中下游（包含黄土高原）	历史文献记载的气候冷暖事件	重建误差范围从 $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 到 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ；与近 500 年的其他重建数据高度一致	(Ge et al., 2003)
5	中国北方干湿指数	重建数据	1000-1949	10 年	中国北方 (34-40°N, 包含黄土高原)	历史文献记载和仪器测量数据	与 1736-1950 年黄河中下游重建降水的关系系数为 0.66；可以用来反映降水的变化	(Zheng et al., 2006)
6	中国北方极端旱涝事件	历史记录	1000-1949	50 年	中国北方 (34-40°N, 包含黄土高原)	由历史文献得出的每年旱涝等级	1100-1250 年数据可信度相对较低，其他时期数据可信度较高	(郝志新等, 2010)
7	粮食单产	估算数据	1400, 1776, 1851	-	陕西省和山西省	根据人口和耕地面积估算	时间分辨率差，但反映了总体趋势	(Perkins, 2017)

序号	数据	类型	时间范围	时间分辨率	空间范围	原始数据	可信度	数据来源
8	中国北方战争频率	历史记录	1000-1911	10 年	中国北方 (包含黄土高原)	中国历代战争年表	只有记录可靠的数据被用来计算战争频率的时间序列	(Zhang et al., 2006)
9	黄土高原农牧界线的变化	估算数据	1000-1911	朝代	黄土高原	根据中国历史地图集估算	时间分辨率差，但数据相对可信	(Xu, 2003)
10	粮食产量	估算数据	1400-1900	-	陕西省和山西省	由耕地面积和粮食单产估算	时间分辨率差，但反映了总体趋势	-
11	黄河输沙量	估算数据	960-1957	不同历史时期	黄河	根据沉积速率估算	时间分辨率差，但上升趋势可信	(任美锷, 2006)
12	黄河天然径流量	重建数据	1470-1949	1 年	黄河	清代黄河报讯资料和中国近五百年旱涝分布等	不同计算方法之间的可信度不一致，但总体可信度可以接受的；1919 年后数据作为观测资料高度可信	(王国安等, 1999)
13	黄河三角洲面积变化	估算数据	1194-1953	不同历史时期	黄河	根据黄河三角洲海岸线地图估算	反映了总体的趋势	(彭俊和陈良, 2009; 林等, 2014)
14	黄河下游自然决堤次数	历史记录	1000-1950	20 年	黄河	官方和地方历史记录	反映了总体的趋势，可信度可以接受	(Chen et al., 2012)

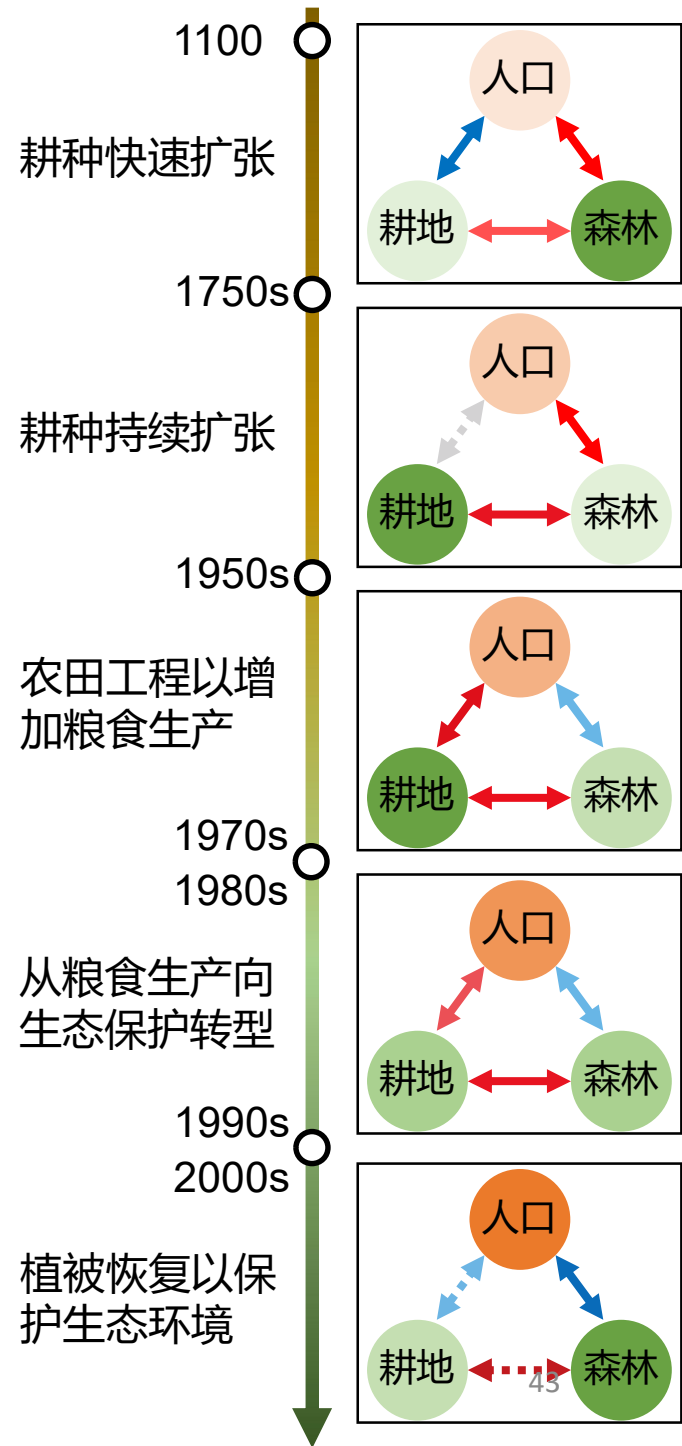
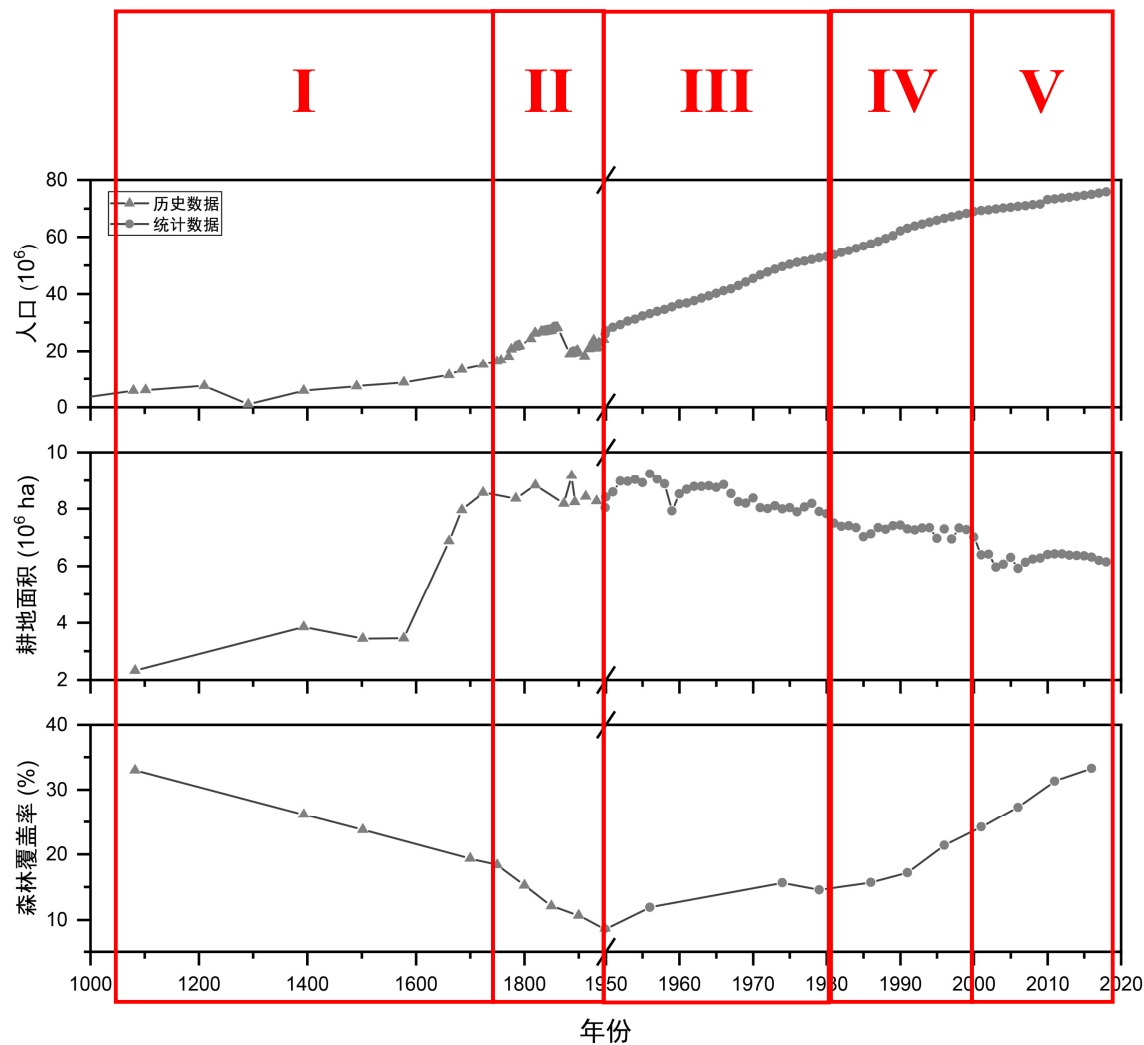


社会-生态系统要素相互作用变化





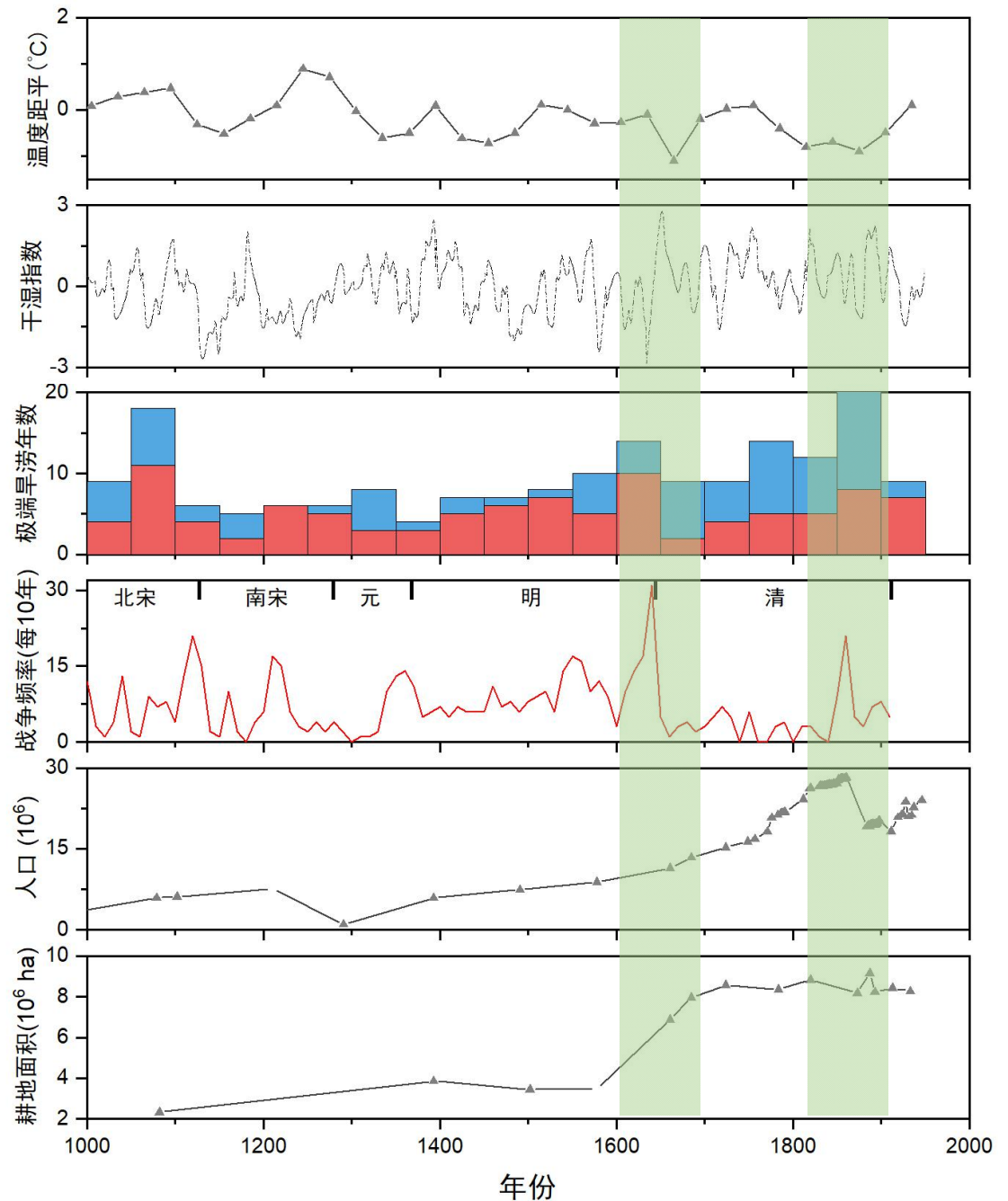
黄土高原SES演变阶段





驱动因素

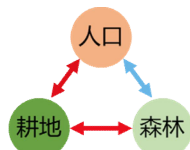
- 阶段I (1100-1750s)
 - 耕地面积是粮食生产的主要限制, 政府鼓励开垦
 - 康熙 (1712) 滋生人丁永不加赋, 刺激了清朝人口和耕地的增长
- 阶段II (1750s-1950s)
 - 高产作物 (玉米、红薯、马铃薯) 的引进和灌溉技术的进步提高粮食单产
 - 新作物耐寒耐旱, 农牧边界北移; 人口迁移至山区, 开垦坡地
- 阶段I、II的人口波动
 - 气候寒冷/极端旱涝→农业减产→粮价波动/社会冲突→战争频率增加→人口减少→部分耕地废弃



驱动因素

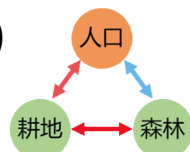
➤ 阶段III (1950s-1970s)

- 以粮为纲
- 水土保持, 梯田、淤地坝建设
- 梯田、坝地单产高, 化肥等的使用也提高了单产



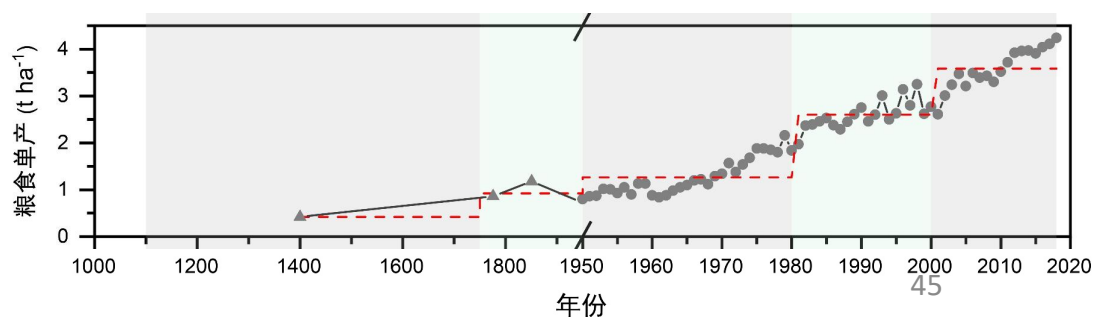
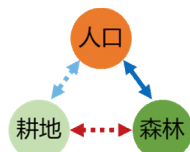
➤ 阶段IV (1980s-1990s)

- 小流域综合治理
- 三北防护林
- 农业技术进步使单产进一步提高



➤ 阶段V (2000s至今)

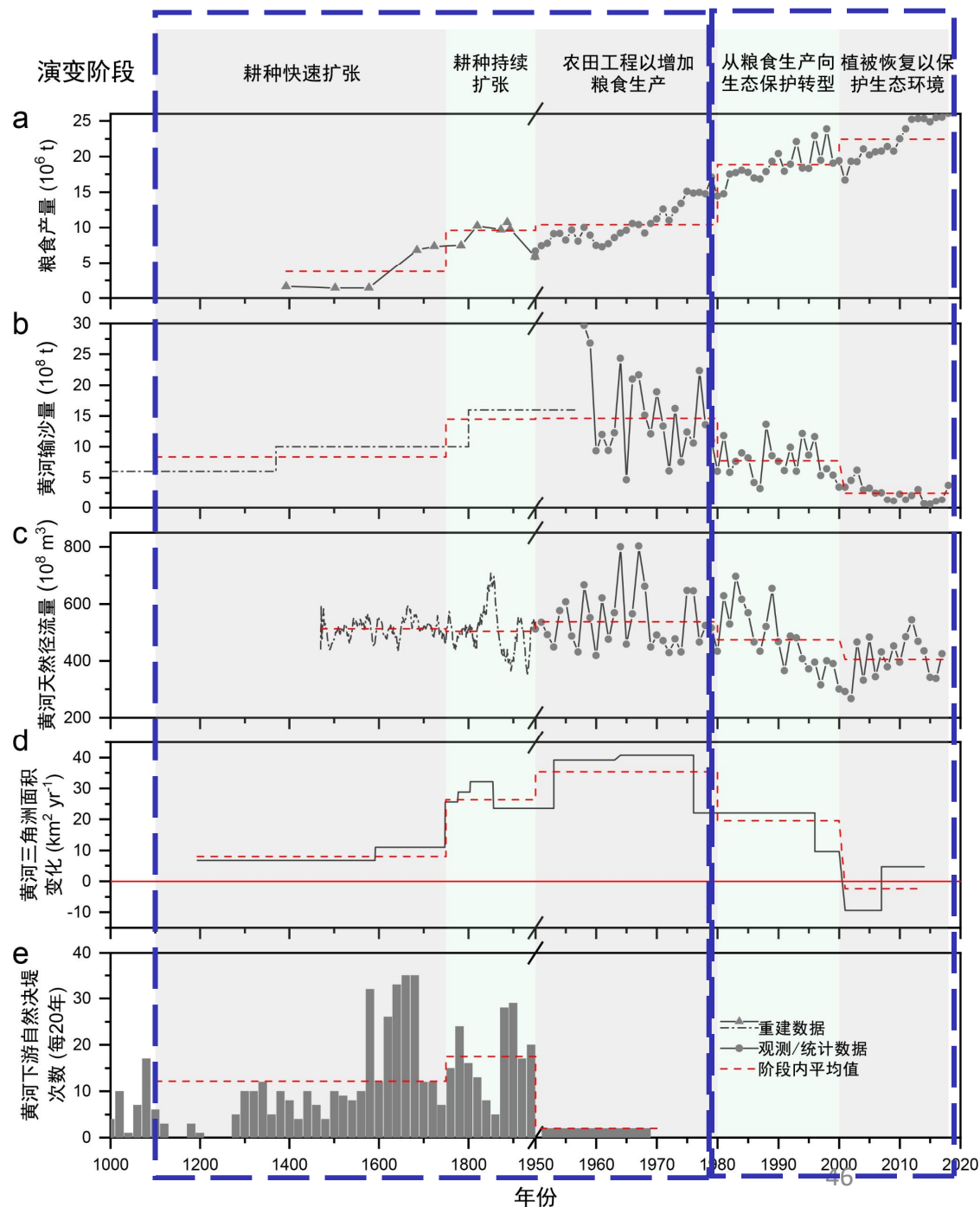
- 退耕还林还草工程



本地/溢出效应

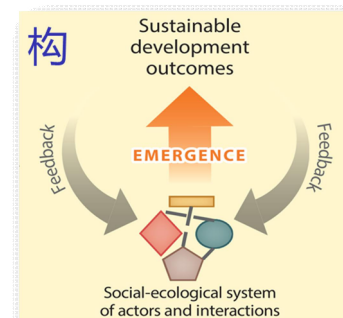
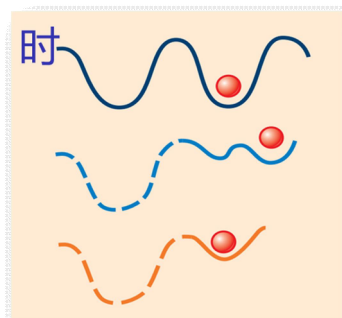
通过识别SES演变阶段，可以更好地理解SES问题的产生与解决

- 阶段I、II、III
 - 重视粮食安全而忽视环境问题
 - 耕地的扩张和森林的砍伐导致本地环境破坏，土壤流失加剧，黄河输沙量增加，黄河三角洲扩张，下游自然决堤频率增加
- 阶段V
 - 重视生态建设、大规模植被恢复
 - 与阶段IV相比，降水增加，但黄河天然径流下降，植被恢复已接近承载力阈值
 - 黄河输沙量下降，三角洲转为侵蚀状态



小结

- 提出了根据系统要素相互作用变化识别社会-生态系统演变阶段，同时关注其驱动因素和本地与溢出效应的研究框架
- 通过整合统计调查数据、历史时期重建数据和相关文献资料，分析了黄土高原近千年人口、耕地面积和森林覆盖率的关系变化，将其社会-生态系统演变划分为5个阶段
- 建立了黄土高原社会-生态系统状态与政策、气候、社会经济驱动因素和本地及溢出效应的经验联系
- 为社会-生态系统的动态演变研究提供了新的视角，可为世界其他区域的相关研究提供借鉴，黄土高原案例分析表明，社会-生态系统管理需要从系统与综合的角度出发，实现从追求单一目标到考虑要素相互作用，从关注局地到关注跨区域影响的转型





黄河历史输沙的稳态转换

Ambio
<https://doi.org/10.1007/s13280-020-01350-8>



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



RESEARCH ARTICLE

Sediment transport under increasing anthropogenic stress: Regime shifts within the Yellow River, China

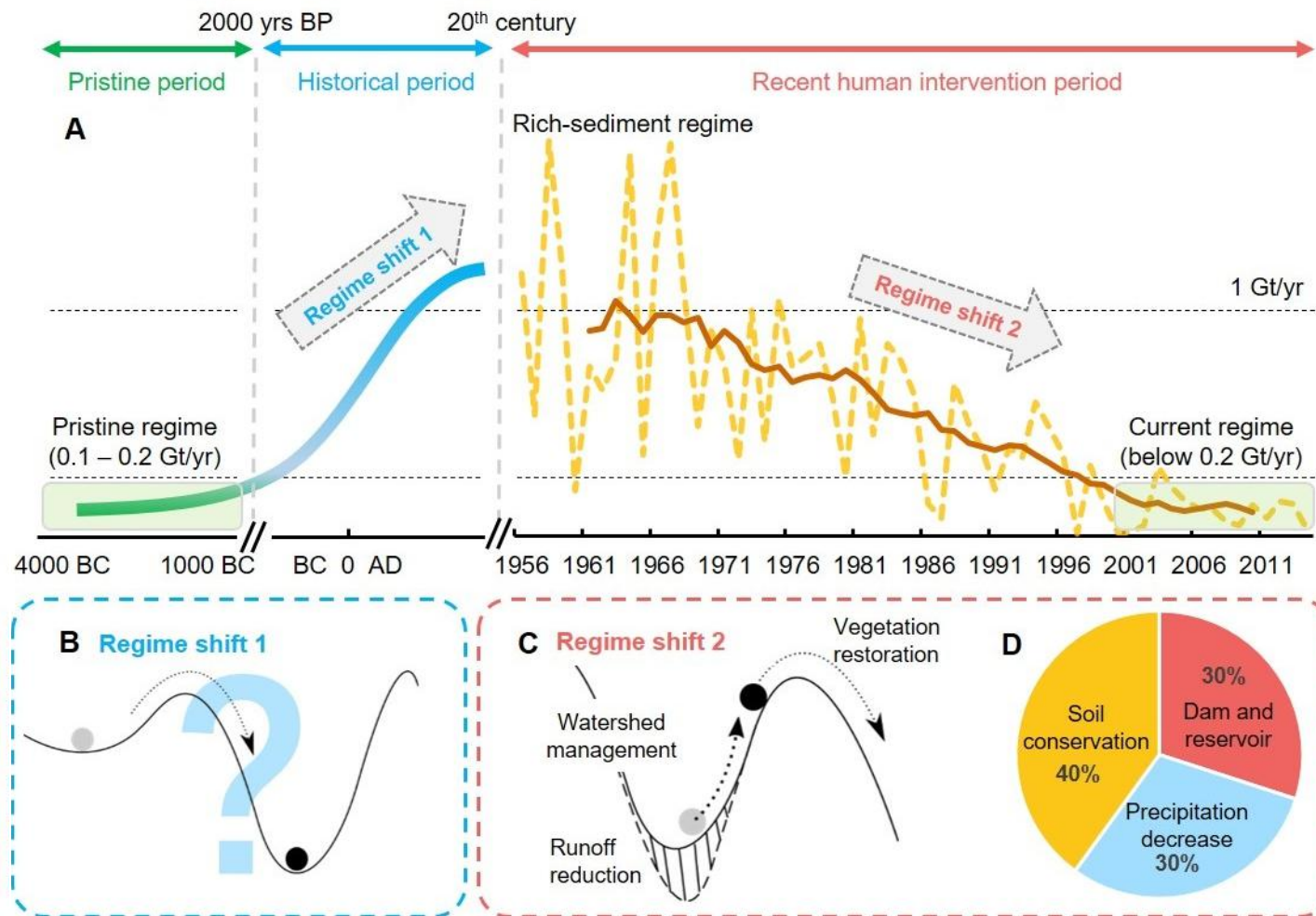
Shuang Song, Shuai Wang , Bojie Fu, Yanxu Liu,
Kevin Wang, Yikai Li, Yaping Wang



研究背景

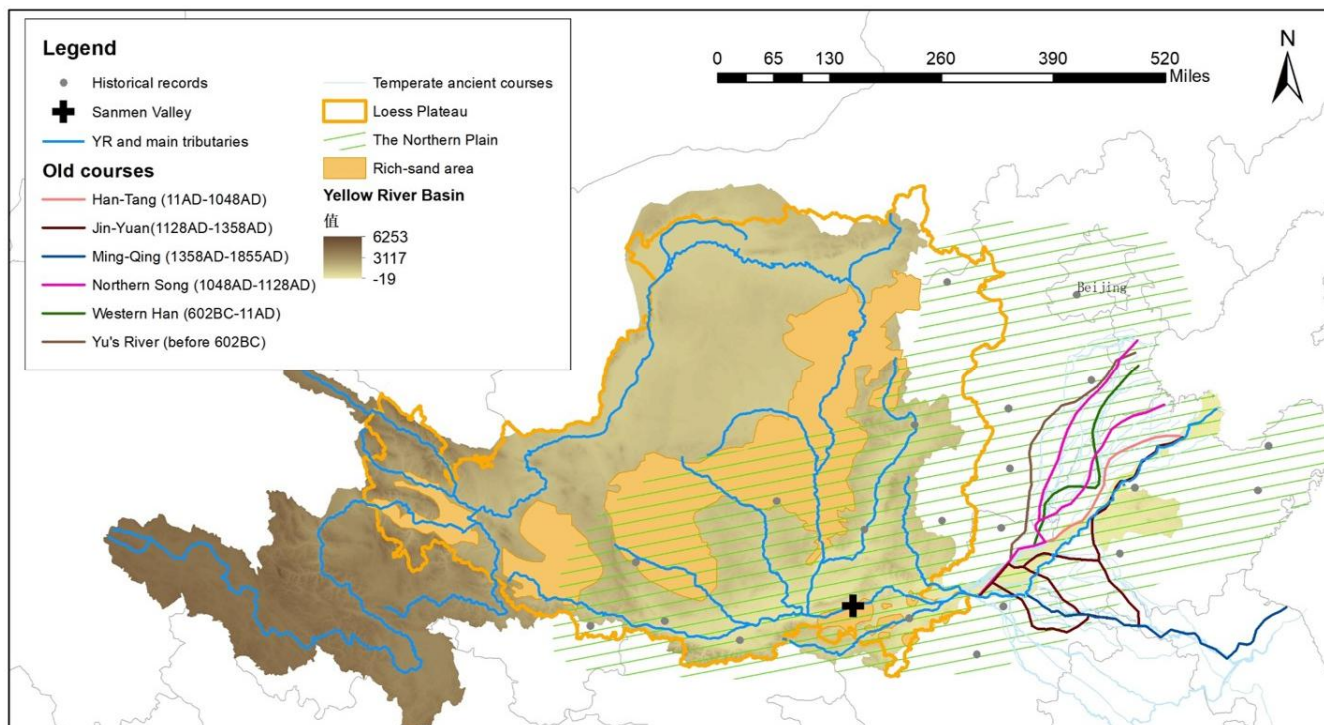
稳态转换是系统结构和功能的重组，可能是由生态系统内的逐渐和累积变化内因引起的，也可能由人为或自然干扰等外因触发。

黄河的输沙量在近60年发生了引人注目的稳态转换，输沙量减少值原始时期水平，但历史上向高输沙的稳态转换是何时、如何发生的，尚缺乏研究。

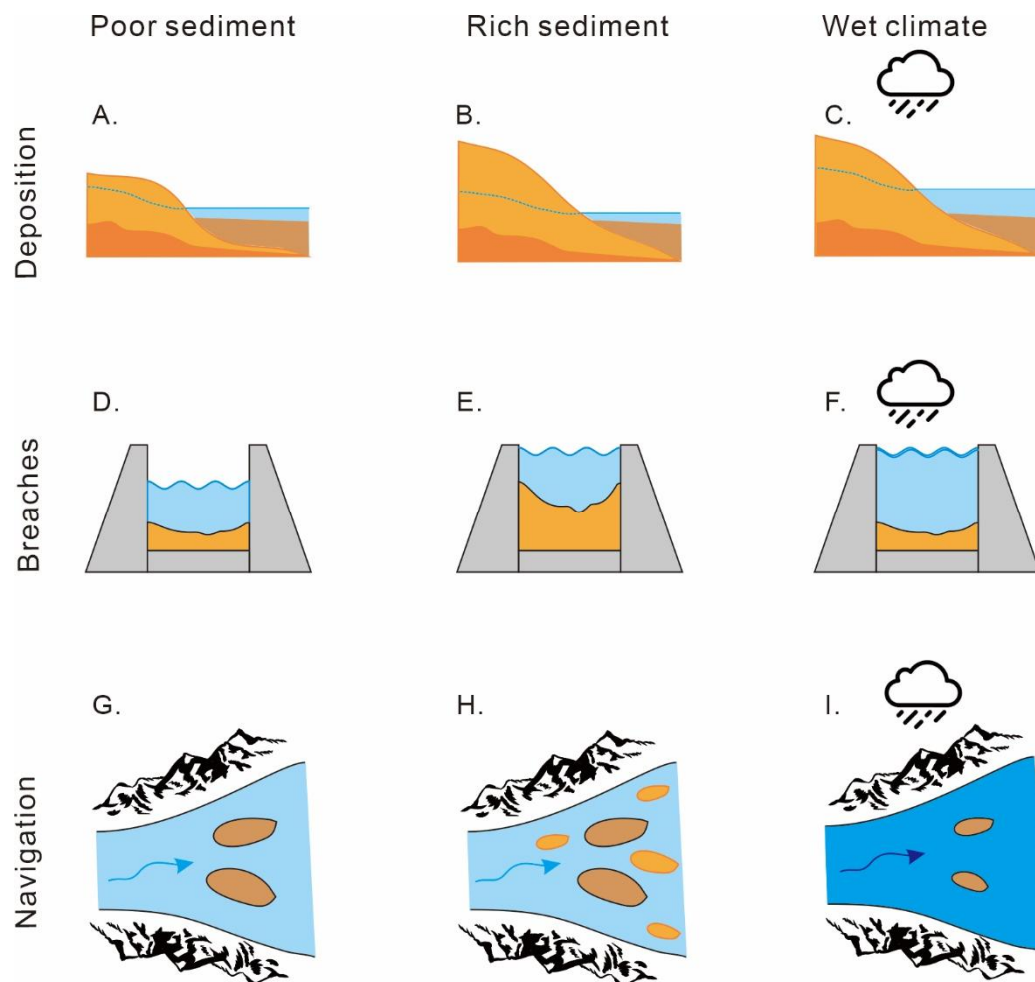


研究背景

- 黄河历史上下游河道多次迁徙，为沉积学推演历史输沙量变化带来困难。
- 黄河流域泥沙主要来自黄土高原上的多沙区，其产沙和输沙受到气候、植被、降水的综合影响。因此黄河输沙问题可以从三者相互作用下的系统视角进行考虑。
- 本研究将人为干扰做为外部驱动，气候变化为做内部驱动，开发方法识别黄河历史输沙的稳态转换。



指标选取



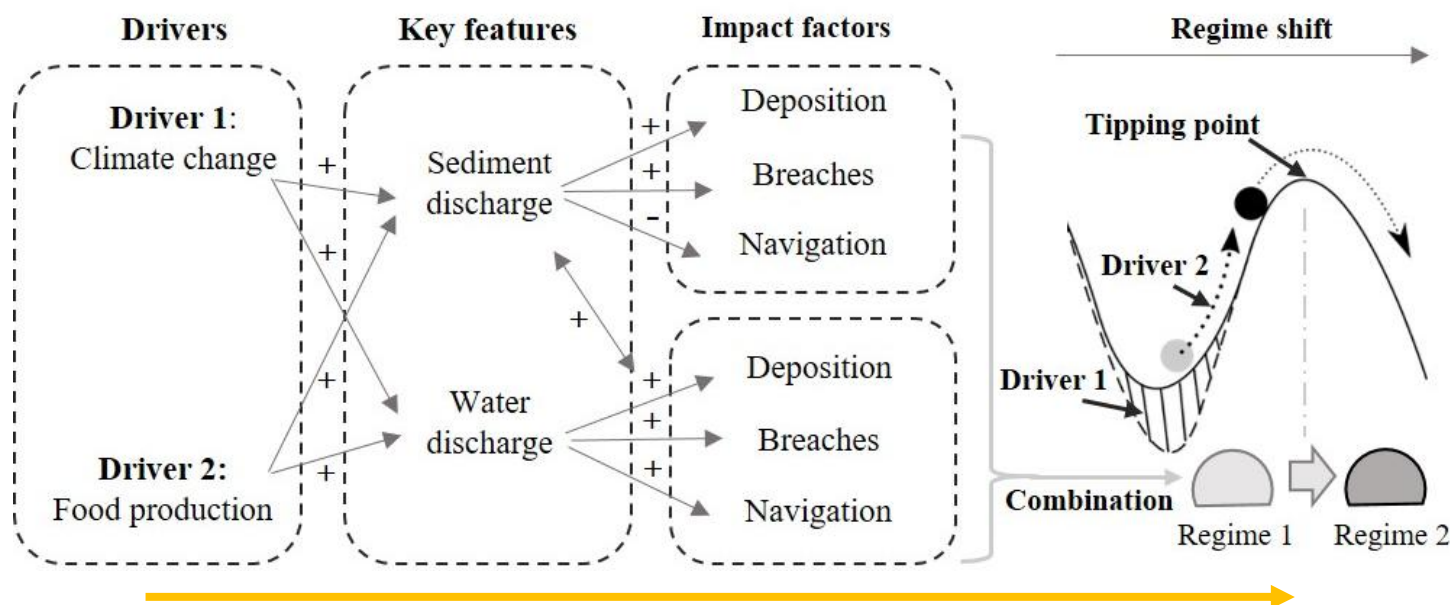
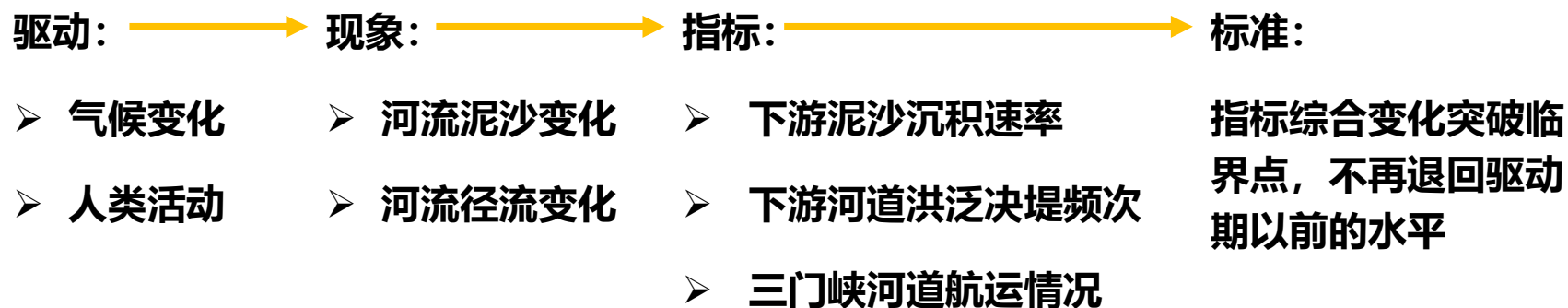
考虑数据可得性与连续性，采用以下三个指标：

- 下游泥沙沉积速率
- 下游河道洪泛决堤频次
- 三门峡河道航运情况

指标与黄河的径流、泥沙的关系：

- 沉积速率高：可能是人为驱动（图B）也可能是气候驱动（图C）
- 洪灾频繁：可能是泥沙沉积（图E）也可能是降水丰富（图F）
- 航运状况：可能因泥沙沉积丰富而糟糕（图H）也可能因丰水而变好（图I）

研究框架



数据资料

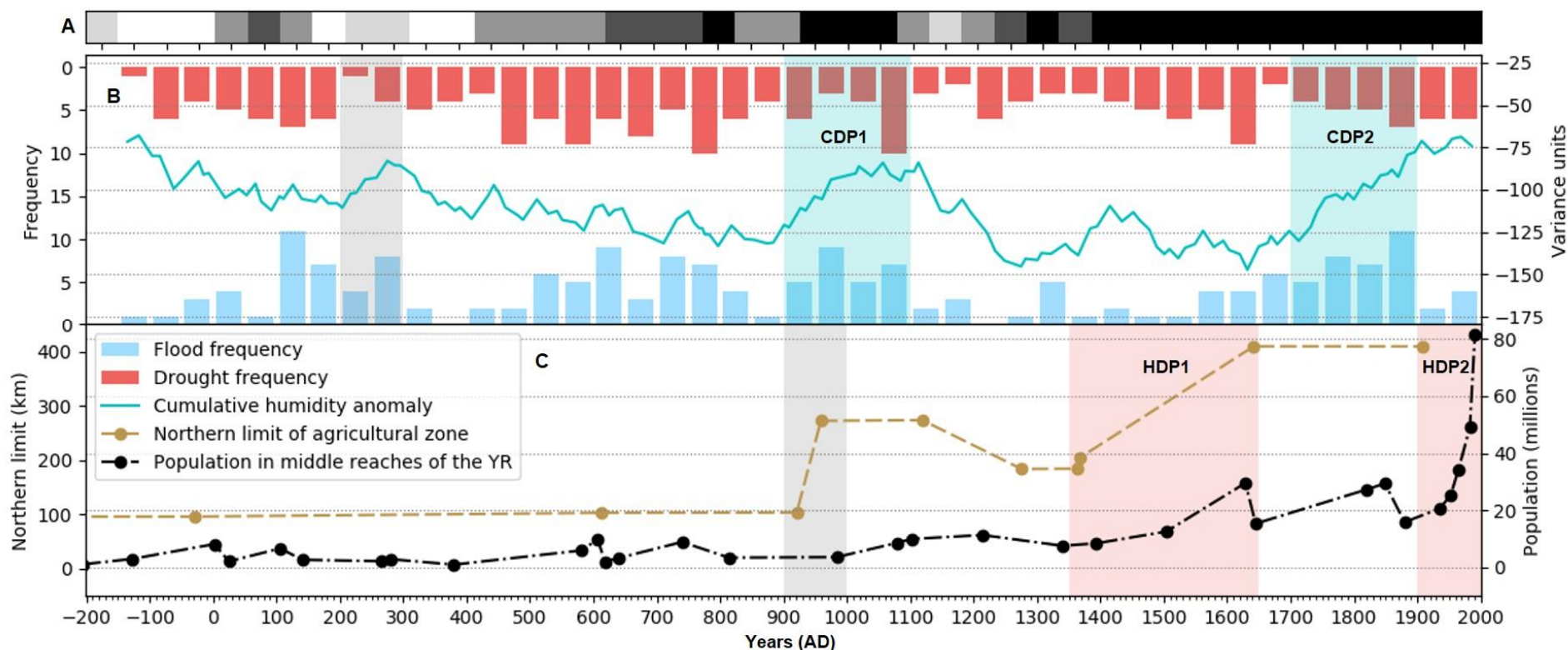
根据上述研究框架，区分驱动和指标选取历史资料和数据集

同时评估数据的可信度，作为分析结果时的参考

数据	描述	来源	原始材料	可信度
(驱动) 干旱和洪水频率	每50年为时间间隔统计的干旱和洪水频次	Ge, 2010	历史文献	根据不同历史朝代，史料可信度不同
(驱动) 湿润指数的累积距平	基于洪水和干旱事件，结合能够指示湿度的其他材料，评估干燥和潮湿水平，并进一步计算的累积距平指数。	Zheng, 2006	历史文献	根据不同历史朝代，史料可信度不同
(驱动) 中游人口	根据历史资料估算的中游人口	Chen, 2012	历史人口户籍数据	数字是根据历史材料推算估计的，但趋势基本可靠
(驱动) 农牧交错带北界	相对于基线（见研究区示意图）的农牧交错带北界距离	Xu, 2003	中国历史地图集	虽然样本很少，但数据基本可靠
(指标) 三门峡河谷的航运	三门河谷是一个非常险恶但非常重要的航道要塞，但由于干旱少，由于大量的沉积物和许多浅滩，因此经常无法航行。史料有描述航行的难易程度。	Yu and Wu, 1993	历史文献	根据不同历史朝代，史料可信度不同。我们用某一时期记录的数量来衡量可信度。有的历史航运记录丰富，则可信度较高。
(指标) 下游的洪水和决堤数据	黄河的泥沙沉积在下游河道，增加了下游河道决溢的可能性。但当气候湿润，降水增多时，决溢概率也会增加。	Chen, 2012	历史文献	根据不同历史朝代，史料可信度不同
(指标) 下游河道的泥沙沉积速率	利用钻孔沉积物样品的测年数据，结合历史地图比较方法确定其年份。	Xu, 1998 and 2003	沉积学资料	具有不确定性，当样本年份跨度过小时，其不确定性越高

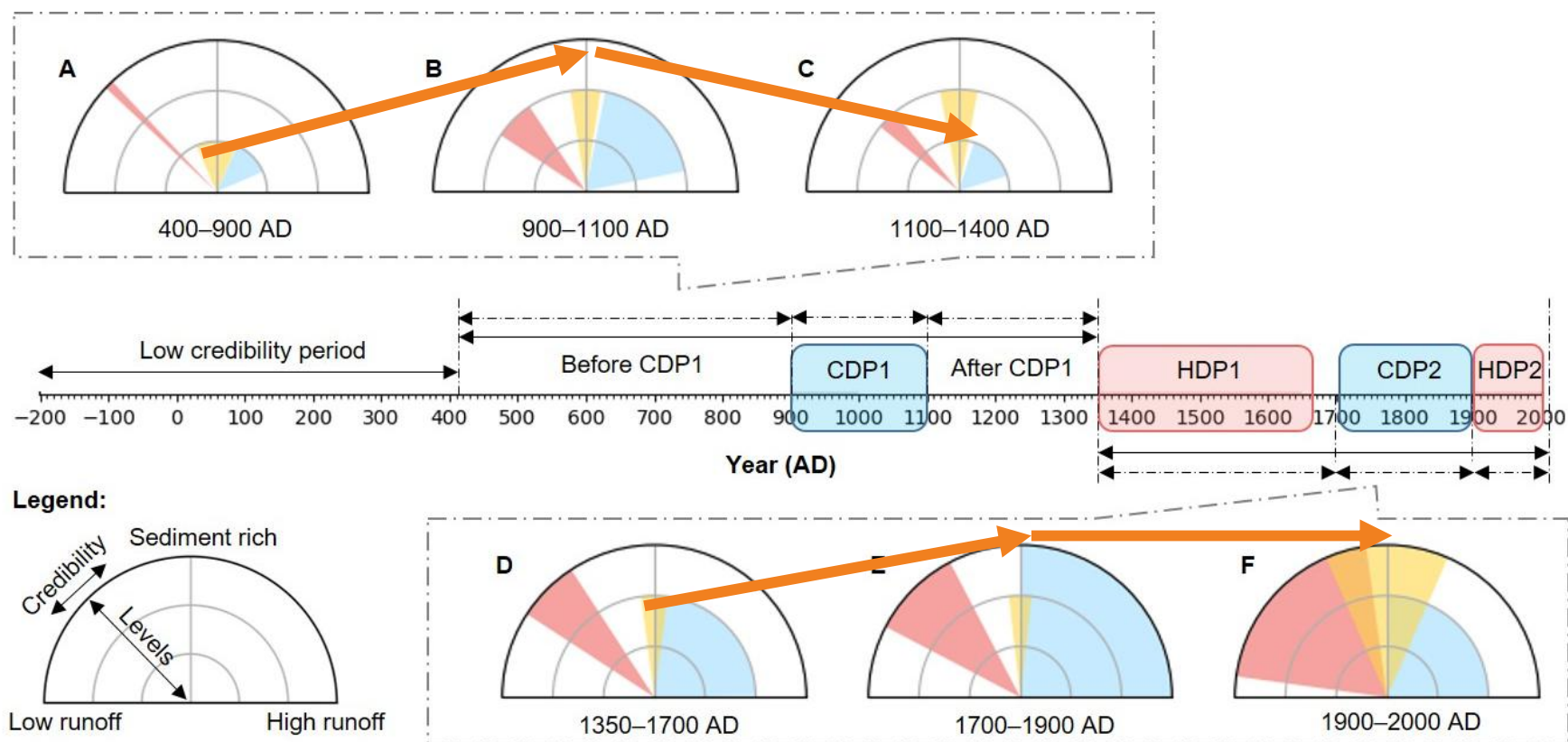
驱动因素

- 根据驱动因素的分析结果，我们确定了两个潜在的气候驱动期（CDP），表现为气候持续变湿且洪水频率大于干旱频率
- 我们还识别了两个潜在的人类活动驱动期（HDP），表现为农牧交错带北界伴随着人口增长而北移，或者人口密度的快速增长。

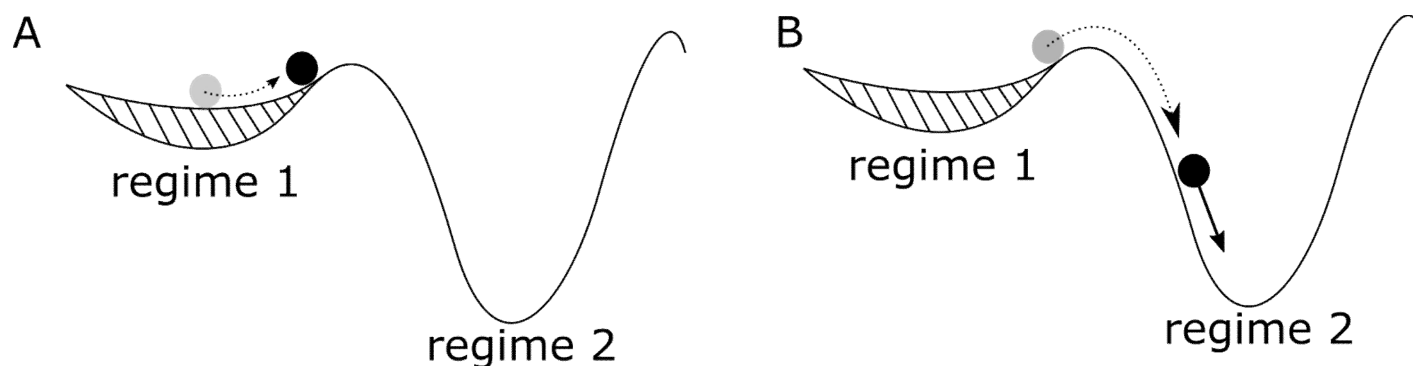


驱动因素

- 第一个输沙量有所增加的时期是公元900-1100AD，国际公认的“中世纪暖期”，但该气候变化驱动期结束后，综合指标退回气候变化前的水平。
- 相比之下，第二个气候驱动期结束后（公元1900AD），各指标综合起来没有回退到驱动期之前的状态，符合稳态转换的标准，而此时是人类活动强烈驱动的时期。



稳态转换的分析



根据上述结果，对黄河历史输沙的稳态转换做如下分析：

- 在黄河历史上“中世纪暖期”（约公元900AD-1100AD）的气候变化和有所增强的人类活动曾让黄河输沙量有过明显增加，但系统具有弹性且并未突破临界点。在该时期结束后，仍维持在原先的稳态（上图A）。
- 在1600AD以后，在气候变化（内因）和强烈增大的人类干扰（外因）的双重驱动下，黄河输沙量逐渐突破临界点并发生了稳态转换。

小结

- 建立了“驱动-现象-指标-标准”的稳态转换分析框架。
- 通过整合历史文献再分析资料，识别了黄河历史上的气候变化驱动期和人类活动驱动期。
- 利用由“泥沙、洪泛、航运”建立起的综合指标，识别了黄河历史输沙稳态转换的发生时间在公元1600AD后，驱动因素是气候变化和强烈增加的人类活动干扰。
- 黄河历史输沙的稳态转换分析表明，尽管黄河输沙量已经减小到原始时期的水平，但在气候变化和人类活动的驱动下，仍可能发生稳态转换，需要从人地耦合系统的视角出发加以治理。



社会-洪水互馈模型的改进与评估

Received: 16 May 2019

Revised: 18 August 2020

Accepted: 27 October 2020

DOI: 10.1111/jfr3.12679

ORIGINAL ARTICLE

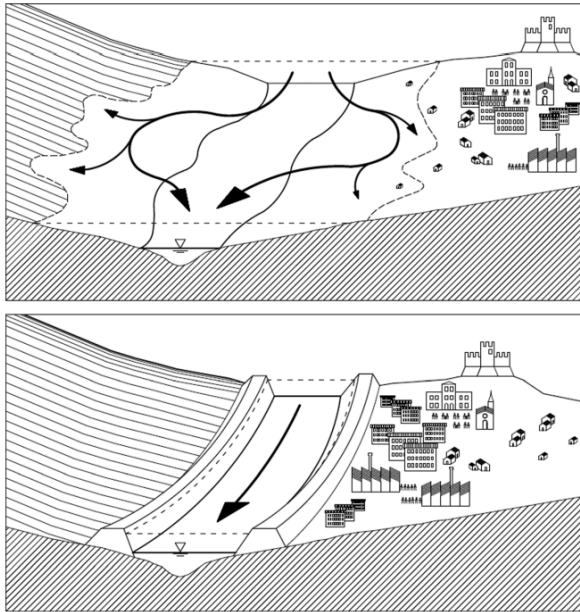
CIWEM Chartered Institution of Water and Environmental Management **Journal of Flood Risk Management** **WILEY**

Improving representation of collective memory in socio-hydrological models and new insights into flood risk management

Shuang Song^{1,2}  | Shuai Wang^{1,2} | Bojie Fu^{1,2} | Yuxiang Dong^{3,4} | Yanxu Liu^{1,2} | Haibin Chen⁵ | Yaping Wang^{1,2}



研究背景



Di Baldassarre et al., 2019, *Water Resource Research*

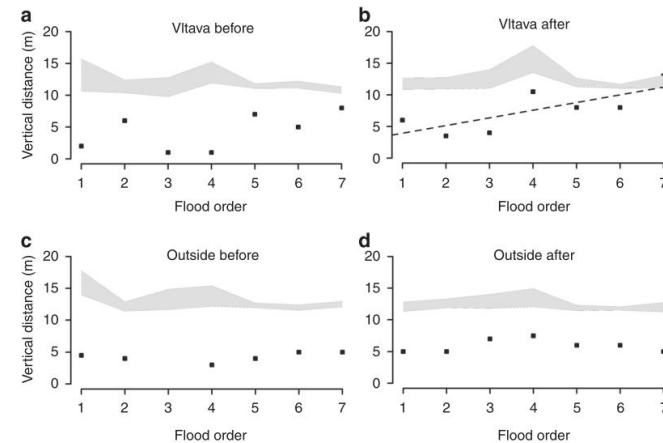
ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-019-09102-3>

OPEN

How long do floods throughout the millennium remain in the collective memory?

Václav Fanta¹, Miroslav Šálek¹ & Petr Sklenicka¹



Fanta et al., 2019, *Nature Communication*

- **集体记忆 (Collective memory)**, 由社会学家莫里斯·哈布瓦赫在1925年首次提出, 如今是被社会-水文学模型广泛应用的重要概念。
- 堤坝挡住了大部分洪水, 却也削弱了对洪水的集体记忆, 于是经济活动更靠近河道, 使超堤防的洪水造成更大的经济损失。这个反馈循环中, 社会对于洪灾的集体记忆扮演了重要角色。
- **Collective memory (集体记忆)** 在洪水后积累, 又随着时间被遗忘, 导致洪泛区的定居点到河道的距离在洪水前后产生显著差异, 而非洪泛区则不存在显著差异。

研究背景

- 社会学界长期对集体记忆的研究表明，集体记忆可分为交流记忆和文化记忆两个不同的渠道。交流记忆指的是集体通过互相交流信息而形成的集体记忆，文化记忆指的是通过文字记录等方式留存的集体记忆。
- **Nature Human Behavior** 的最新研究表明，通过将集体记忆区分为“交流记忆”和“文化记忆”进行建模，可以对不同领域的集体记忆的衰减过程均获得更好的预测。



The universal decay of collective memory and attention

Cristian Candia^{1,2,3*}, C. Jara-Figueroa¹, Carlos Rodríguez-Sickert³, Albert-László Barabási² and César A. Hidalgo^{1*}

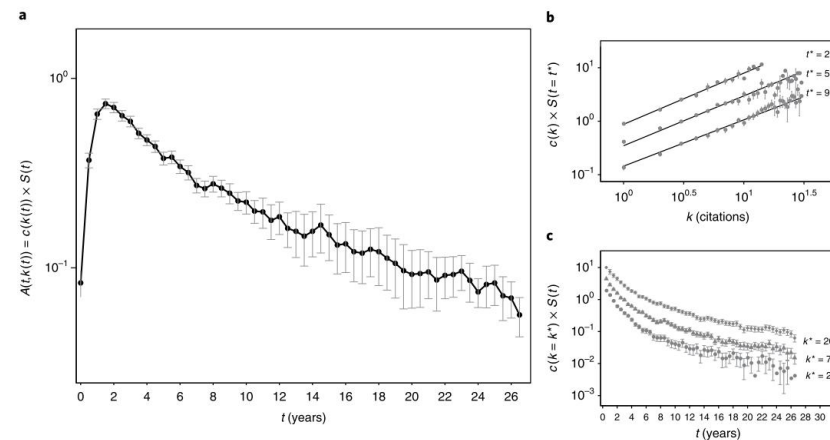
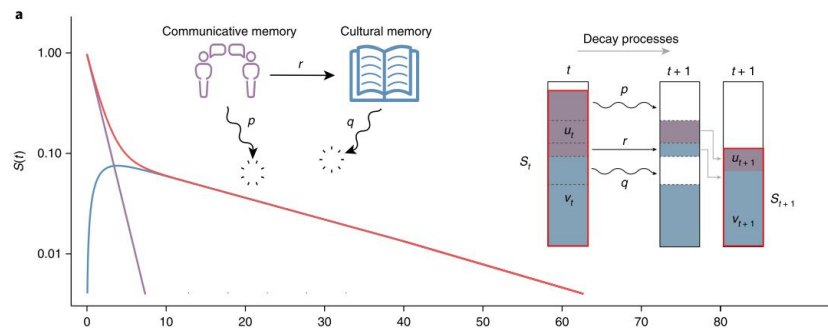
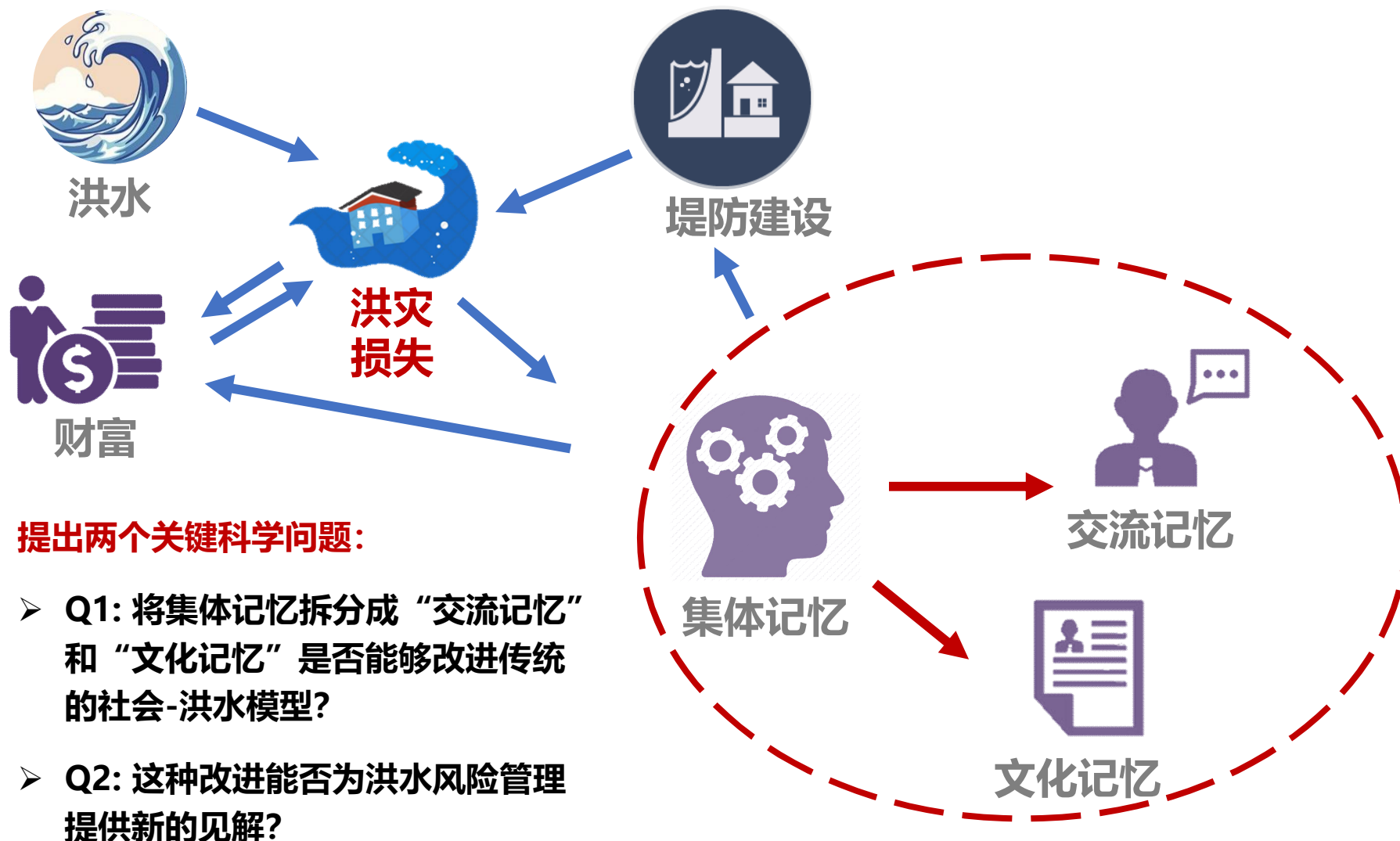


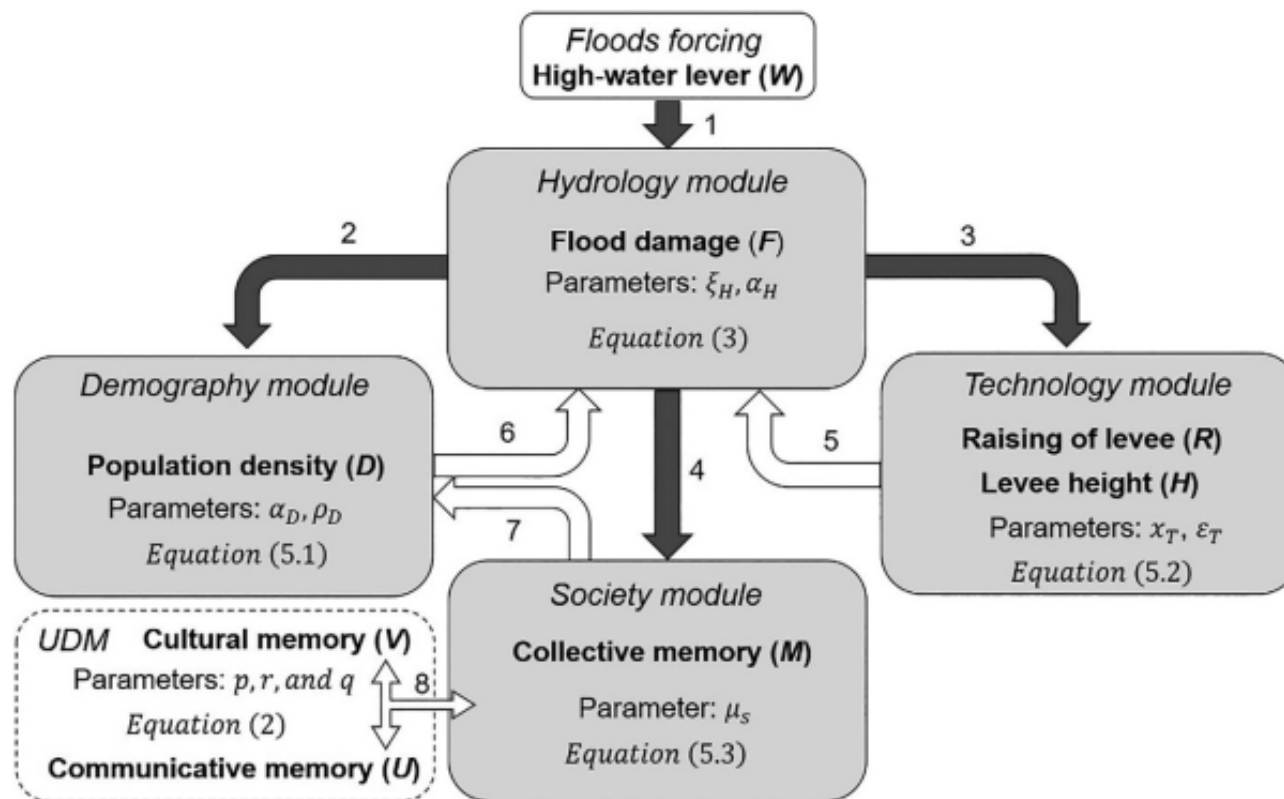
Fig. 1 | Universal patterns in the decay of human collective memory. **a**, Average number of citations received each semester by papers published in *Physical Review B* ($A(t)$). **b**, Average number of citations received by a paper as a function of the cumulative citations received by that paper ($\propto c(k)$). Different curves represent different ages. **c**, Average number of citations received by papers with the same number of cumulative citations as a function of their age ($\propto S(t)$). Different curves represent groups of papers with a different number of total citations. Error bars represent standard errors.

科学问题

因此，本研究旨在探索社会心理学的新模型是否有助于改进经典的社会-洪水互馈模型



研究框架



- 分别建立传统社会-洪水互馈模型与利用集体记忆通用衰减模块改进后的新模型。
- 进行社会调研，用处理后的问卷数据进行拟合，并分别使用不同模型进行预测，判断两者模拟结果是否有显著差异。
- 解释模拟结果的差异，并讨论这种差异对洪水风险管理有何启示。

问卷调查

在黄河典型洪泛区宁夏平原进行洪水记忆调查：

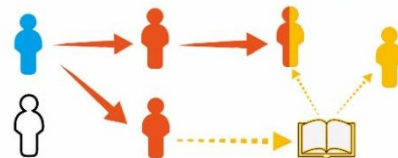
- 基本信息：农村 or 城市户口？常住地？家庭人口结构？
- 对5次典型历史洪水的记忆：

亲身经历？周围人经历？听人说起？见过报道？
见过书籍记录？见过碑刻遗迹？毫无了解？

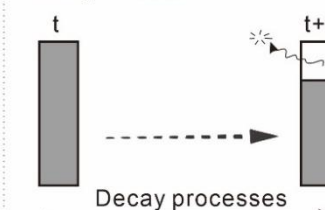
- 将问卷数据进行标签，指代不同的记忆类型。

Labels:

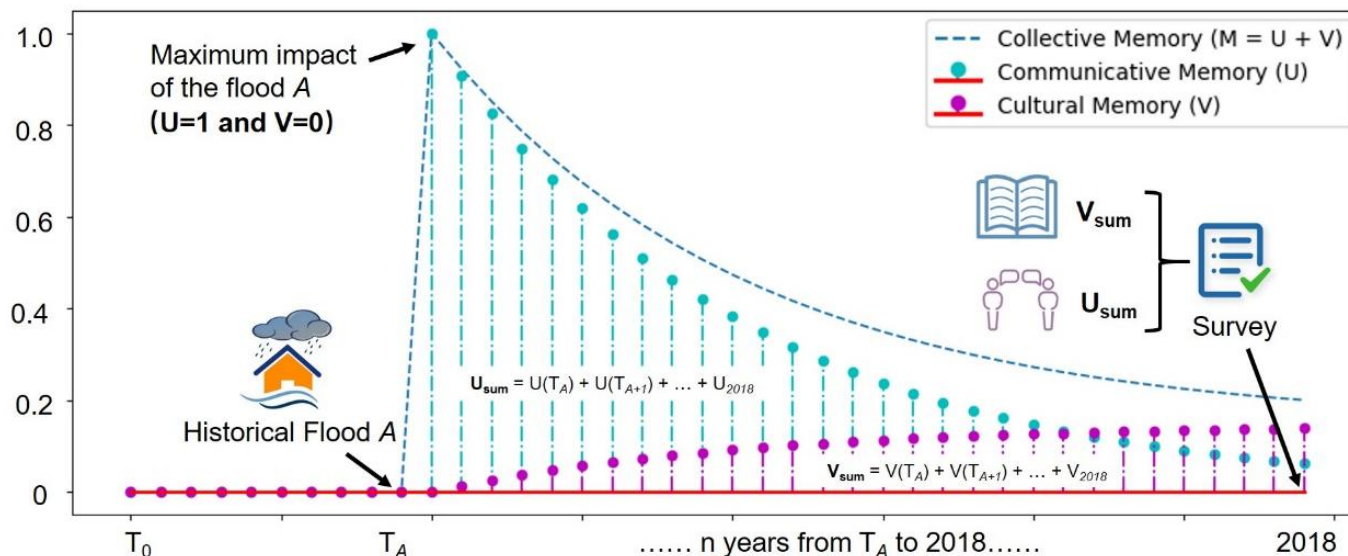
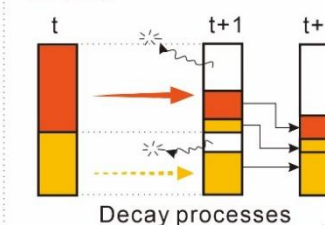
Experienced  Heard of 
Read about  Do not know 



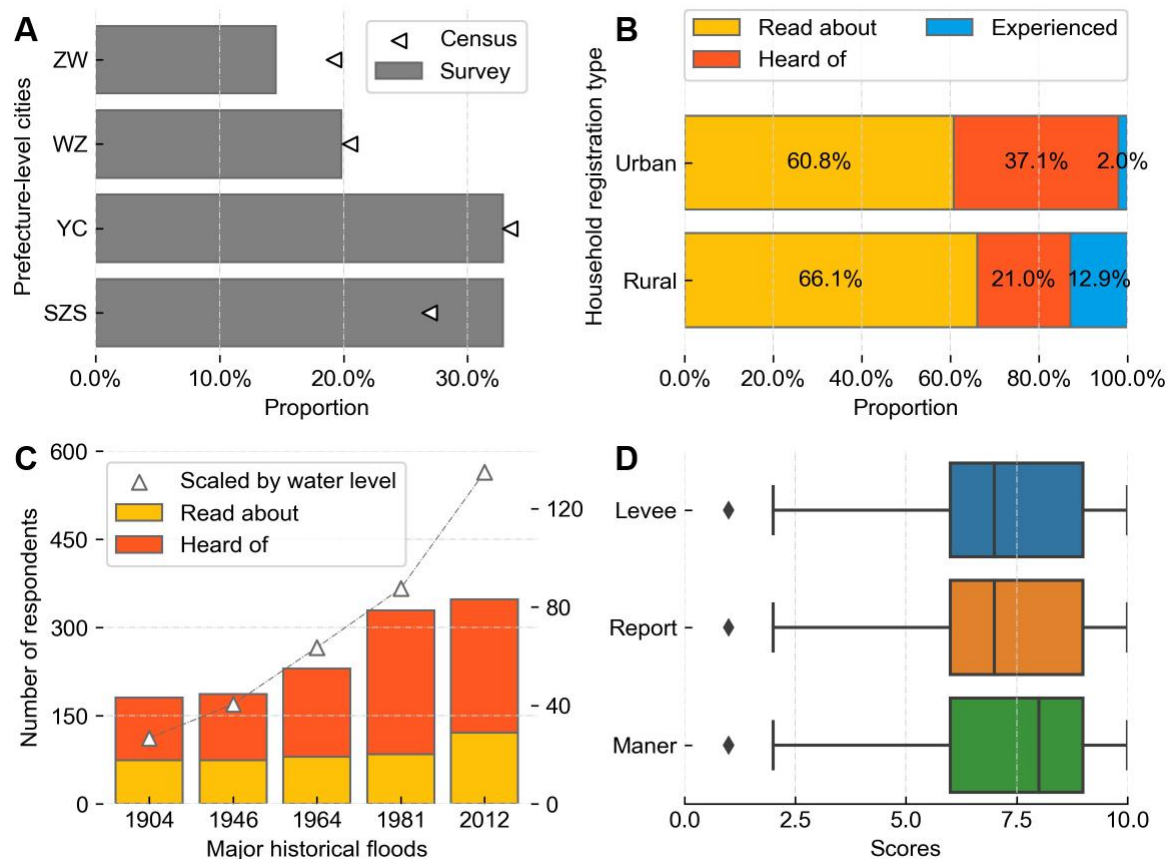
A: Exp. model



B: UDM



调研结果



- 问卷分配和研究区各行政单位的人口比例相似，男女比、年龄结构都相似。
- 对不同年份的洪水，集体记忆均以交流记忆为主。
- 城市的文化记忆明显高于乡村。
- 居民对现有的洪水风险管理方式（堤防、预测、政府管理）普遍比较信任。

模型对比

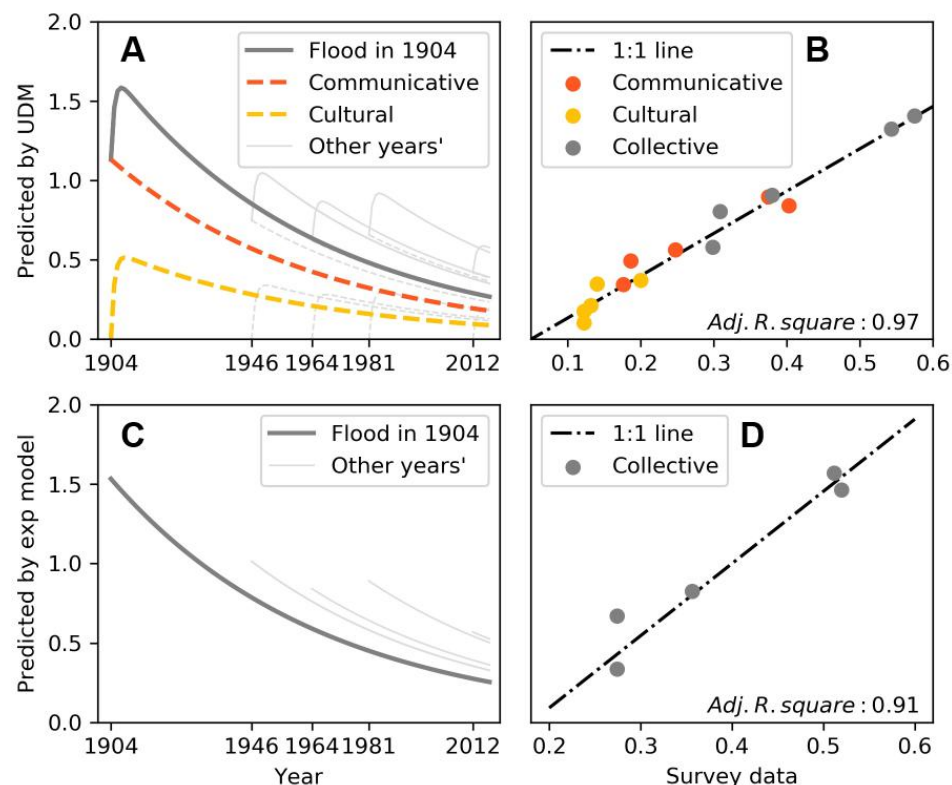
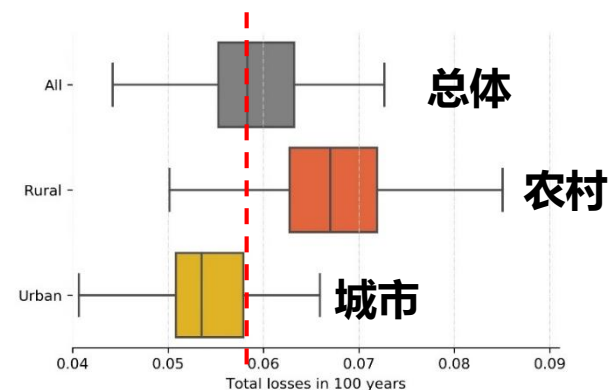


Table 3: Adjusted R-square of fitted by different dataset of respondents

	All	Rural	Urban
UDM	0.97***	0.90***	0.95*
Exp. model	0.91***	0.74**	0.59*

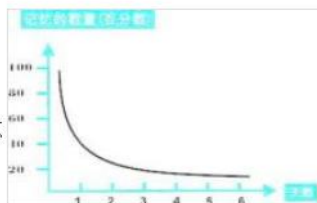
Different significance levels: $p < 0.01$ (***); $p < 0.05$ (**); $p < 0.1$ (*)

- 改进后的模型对居民洪水记忆的衰减过程做出了更好的预测。
- 如果将数据集分为城市居民和农村居民，传统模型将严重失去解释力，而改进后的模型仍保持较高的预测能力。
- 上述农村与城市之间的差异，会使预测的洪灾损失分别显著提升14.25%和显著下降8.27%。



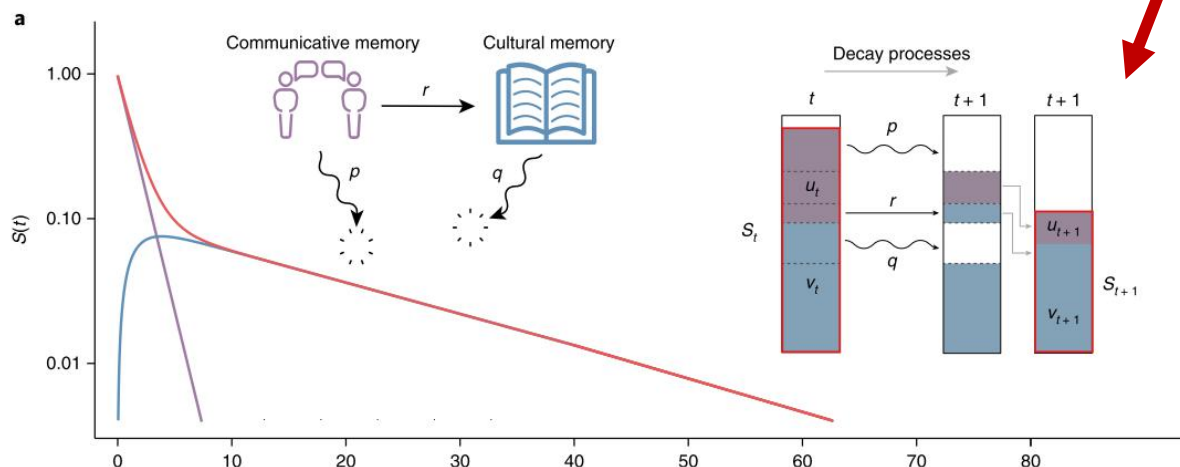
讨论：模型改进机理

德国心理学家艾宾浩斯(H.Ebbinghaus)研究发现,遗忘在学习之后立即开始,而且遗忘的进程并不是均匀的。最初遗忘速度很快,以后逐渐缓慢。他认为"保持和遗忘是时间的函数",他用无意义音节(由若干音节字母组成、能够读出、但无内容意义即不是词的音节)作记忆材料,用节省法计算保持和遗忘的数量。^[1]并根据他的实验结果绘成描述遗忘进程的曲线,即著名的艾宾浩斯记忆遗忘曲线。^[2]



时间间隔	记忆量
刚记完	100%
20分钟后	58.2%
1小时后	44.2%
8~9小时后	35.8%
1天后	33.7%
2天后	27.8%
6天后	25.4%

传统社会-水文学模型
基于个体记忆规律



改进后的模型使用了
群体记忆模型

- 原模型在集体记忆衰减上采用的指数模型, 基于对个体遗忘规律的实验结果。
- 新模型考虑了集体记忆的特性: 会在人群中随交流传播, 也会被文字载体记录而长远流传。
- 农村和城市居民在获得洪水记忆的渠道上存在差异, 而原模型因对渠道不做区分而难以捕捉此差异。

小结

- 利用最新的“集体记忆通用衰减模型”，改进了模拟社会-洪水相互作用的传统社会-洪水互馈模型。
- 在黄河流域的典型洪泛区开展社会调查，总结了研究区居民对历史洪水的集体记忆衰减模式。
- 利用社会调查数据对改进后的通用衰减模型进行检验与模拟，发现改进后的模型和传统模型间存在显著差异，模拟100年内两者的洪水总损失相差近16%。
- 此外，改进后的模型还能够捕捉不同地区群体（城市和农村）面对洪灾风险时的社会差异，有助于在此基础上探索新的洪水风险管理政策。

报告提纲

1 背景与理论框架

2 研究内容

3 案例研究

4 未来展望

亟待解决的主要科学问题

目前社会-生态系统研究主要集中在理论框架探索与政策管理方面，提出了耦合分析框架和综合治理理念，接下来仍：

- 需要理解社会-生态系统的复杂性、非线性和多稳态特征，发展跨学科，跨尺度、跨部门的科学研究框架。
- 需要开展自然-社会系统结构与动态匹配的理论与方法研究，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。
- 需要加强对动态过程的刻画和模拟，对复杂耦合与反馈过程和弹性机制的研究，以及对稳态转换的识别和机制分析。
- 需最终落实到区域景观格局的空间规划上，达到自然与社会土地利用的平衡和优化，形成可持续的社会-生态系统结构与功能。
- 针对涌现的系统性风险，动态和复杂的反馈，需要建立跨尺度的合作与全球范围内的行动。

区域社会-生态系统研究的主要方向

（1）社会 - 生态系统变化过程与驱动机制。

以生态系统服务为核心，连接生态系统结构、过程与社会系统结构和功能，构建社会 - 生态系统评估指标。分析社会 - 生态系统结构及其主要要素的动态变化和区域差异。探讨社会 - 生态系统结构及要素变化的自然和社会经济驱动机制。

（2）社会 - 生态系统互馈机制研究。

识别社会系统与生态系统的相互作用和复杂反馈机制。选取表征社会 - 生态系统状态的指标，发展稳态转换识别方法，探究稳态转换的关键节点，揭示稳态转换的驱动机制。

（3）面向可持续发展的社会-生态结构优化。

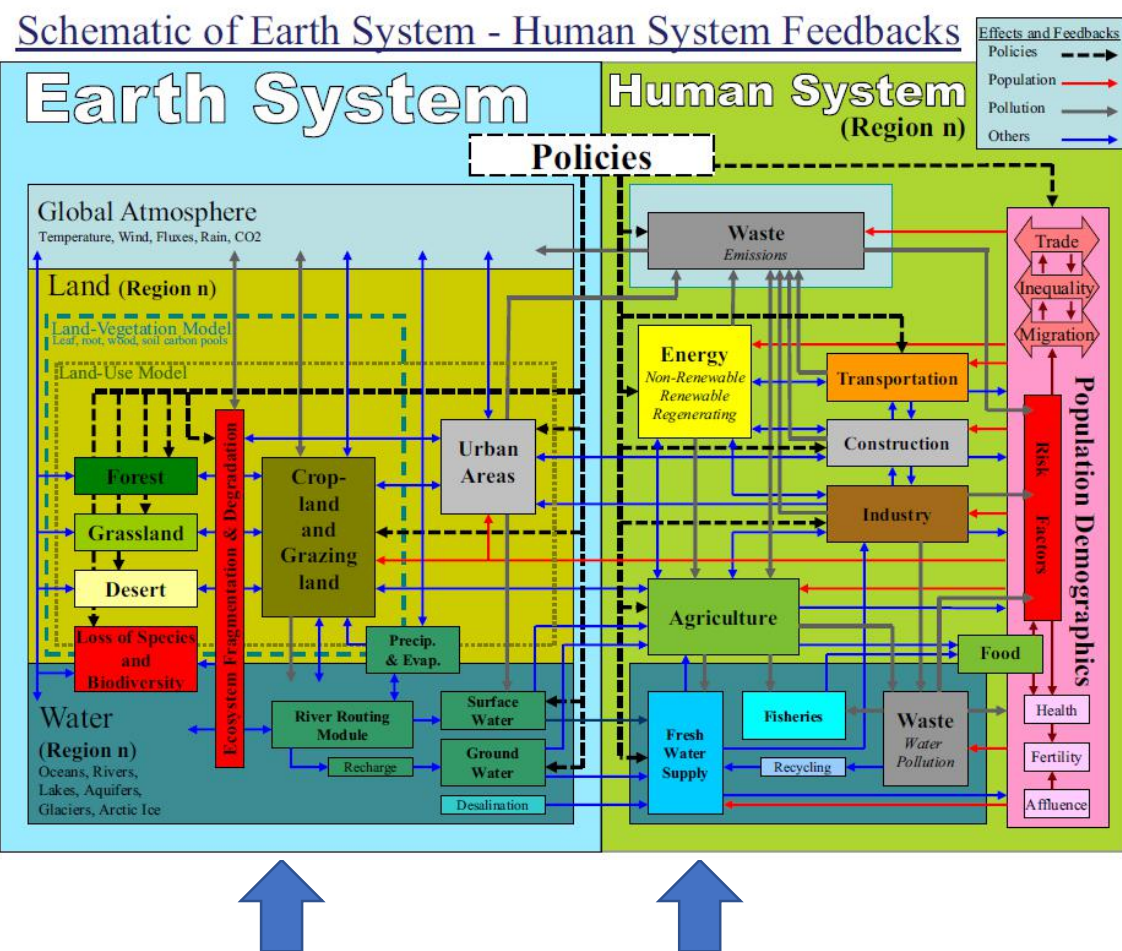
发展耦合社会系统与生态系统的模型，将管理要素纳入考虑，模拟不同情景下社会 - 生态系统状态与区域可持续发展目标实现情况，确定统筹区域自然与社会需求的社会-生态结构与发展路径。

人地耦合系统模拟的尺度效应



不同尺度人地系统在要素组成、结构功能、相互作用方式上存在巨大差异

1. 人地系统过程的定量表达与数据获取



- 人地系统数据获取
- 自然过程定量表征
- 人类活动过程定量表征

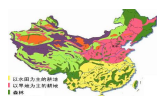
人地数据



基础地理



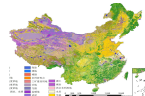
水文
水资源



土地
覆被



气候
模式



植被
覆被



生态
环境



地面
监测



遥感
监测



社会
经济



历史
资料

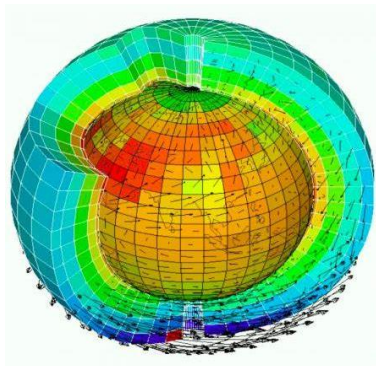


公众
媒体

...

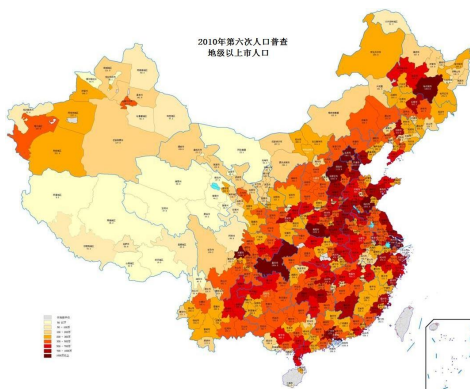
2. 人地过程耦合的尺度匹配与转换

自然系统



格网

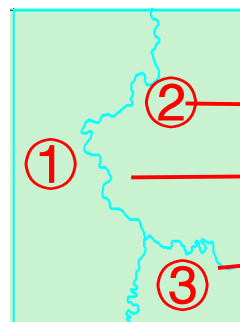
社会系统



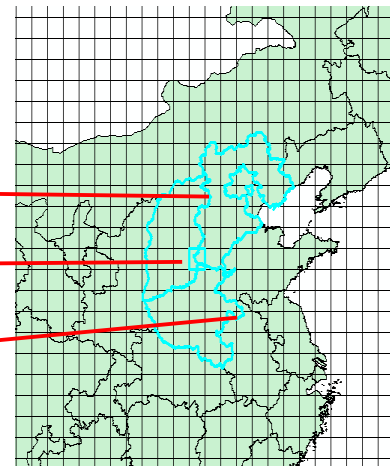
行政区划

空间单元匹配

行政边界

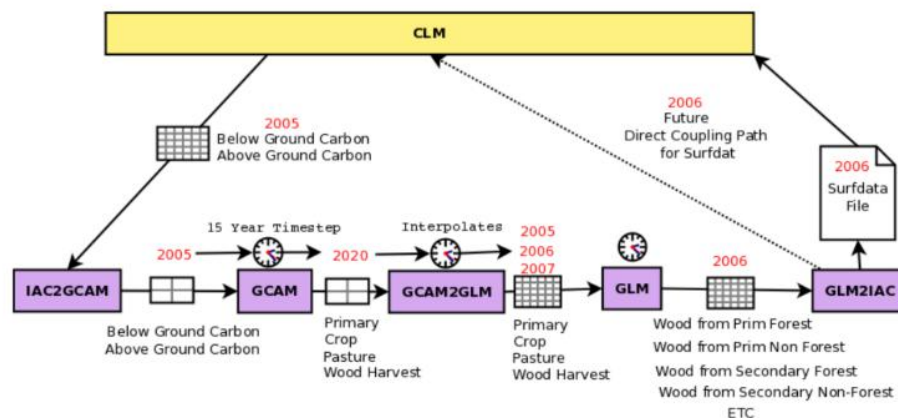


网络



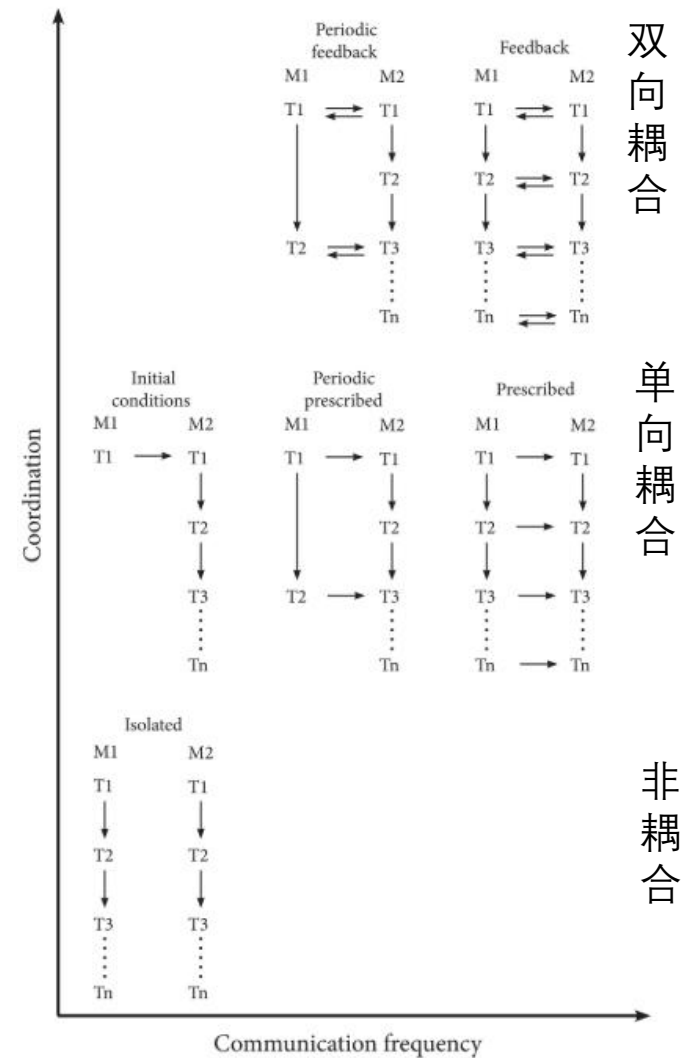
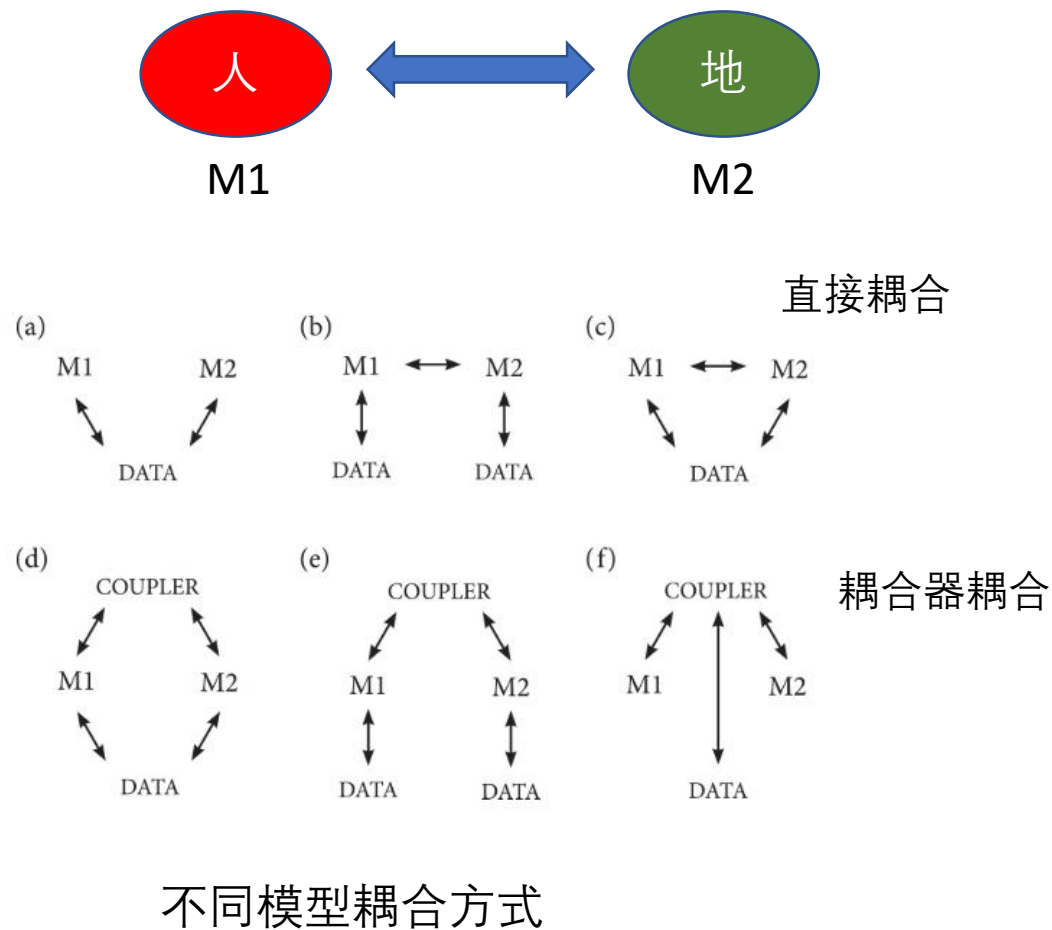
碳排放向地球系统模式的输入

时间单元匹配



与综合模型耦合的时间匹配

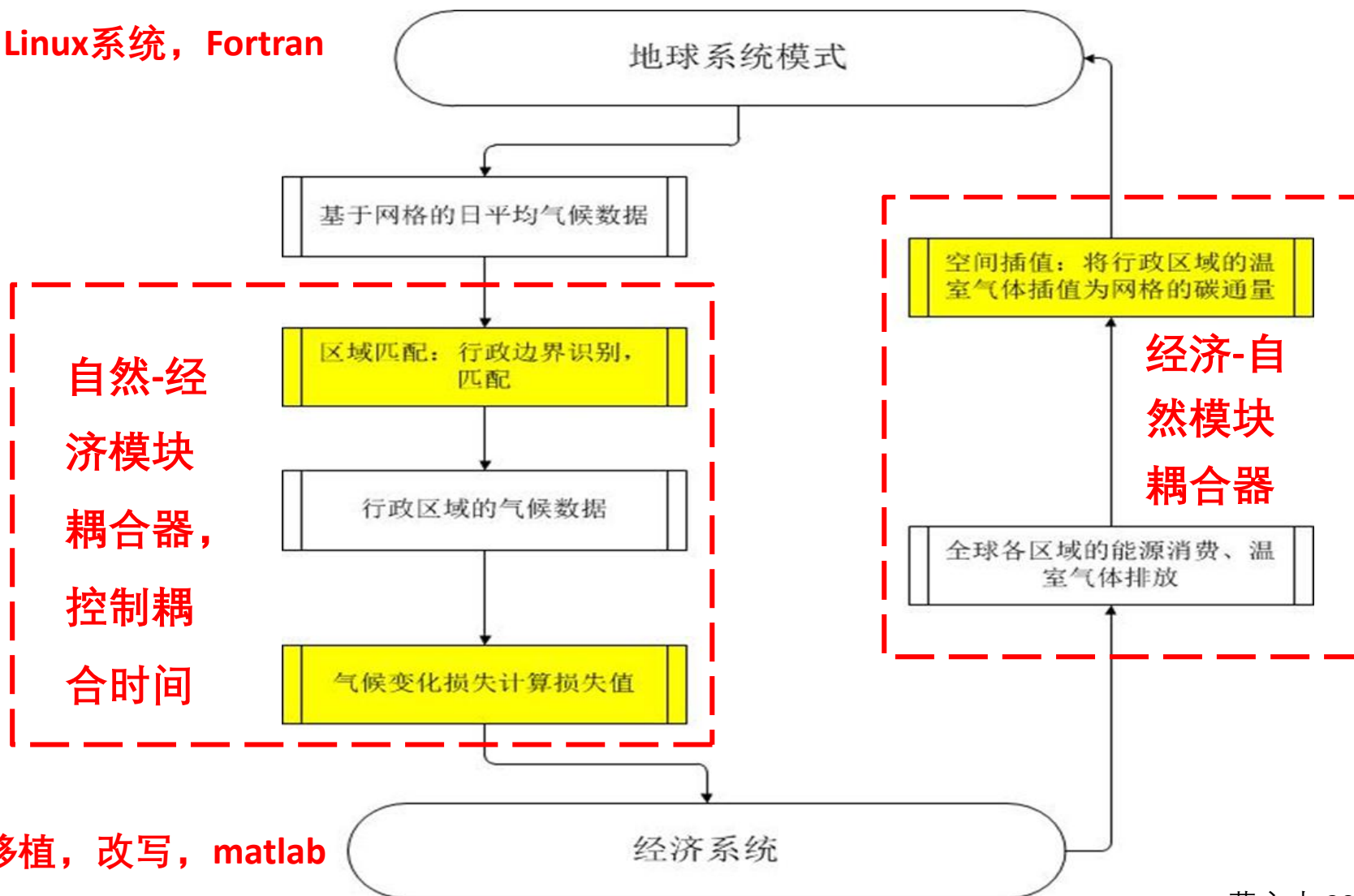
3. 人地系统耦合模型的耦合结构



4. 人地系统耦合的技术实现

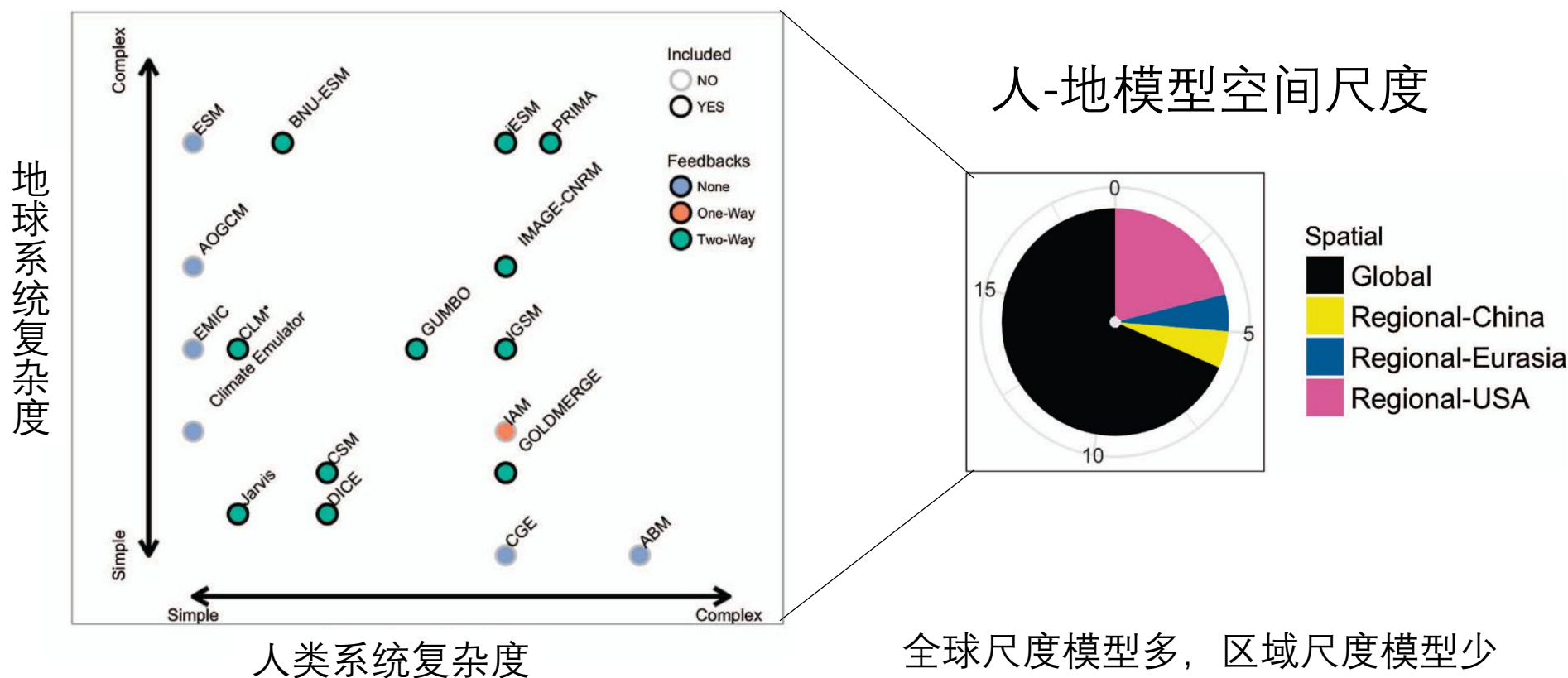
BNU-HESM

Linux系统, Fortran



5. 发展区域尺度人地系统耦合模型

人、地模型复杂度



区域尺度人地耦合模型是解决区域可持续发展问题的重要工具

谢谢，敬请批评指正！