

土地系统的脆弱性及其恢复力建设*

黄河清 甄霖 闫惠敏

(中国科学院地理科学与资源研究所 全球土地计划(GLP)北京节点办公室 北京 100101)

摘要 20 世纪中后期以来,全球气候变化、高强度的人类活动和两者之间的相互作用深刻地影响和改变着陆地生态系统的格局和过程,其共同作用产生的压力可能会导致一些地区的土地系统不堪重负。当前我国社会经济的迅速发展很大程度上是以加重土地系统的脆弱性、损伤其主要生态环境功能为代价,是不可持续的。认识和有效管理高强度人类活动和全球气候变化驱动下的土地系统脆弱性及其恢复力是我国社会经济发展面临的重要挑战。本文分析了当前陆地系统的脆弱性及其可持续利用面临的问题和挑战,阐述了我国土地系统脆弱性现状,介绍了国际上土地脆弱性与恢复力研究案例,重点探讨了当前恢复我国脆弱区土地系统的可能途径。

关键词 土地系统,脆弱性,恢复力,可持续发展,全球气候变化

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2009.06.006



中国科学院



黄河清研究员

1 引言

20 世纪中后期以来大规模、高强度的人类活动及其所导致的全球环境变化已经并且正在深刻地影响和改变着陆地生

态系统的格局和过程,使得生态系统服务功能维持和经济增长的矛盾日益突出。人类活动的直接干预及其造成的全球环境变化导

致土地退化、水资源枯竭、土壤和水环境恶化、生态系统服务功能严重衰退。如在过去的 50 年中,由于侵蚀、盐碱化、养分耗损、污染以及城市化等原因,全球有 40% 的农业用地出现退化;由于对氮、磷、硫以及碳等元素循环格局的改变而引起了酸雨、水土污染,河流和湖泊富营养化。总体而言,20 世纪中后期以来,全球社会经济的迅速发展是以增加土地系统的脆弱性、损伤其主要生态环境功能为代价,是不可持续的。

在 21 世纪,人口和经济的持续增长和全球环境快速变化将给生态系统带来前所未有的压力,而且人类活动对生态系统的影响方式也将出现重大转变。未来 100 年全球陆地平均温度将升高 2℃—6℃,气候变暖速度比 20 世纪高 5—10 倍,许多地区大气

* 收稿日期:2009 年 9 月 3 日

氮沉降将成倍增长^[1],如此快速的全球性变化将对生态系统结构和过程产生重大影响。在未来 50 年,人类对生态系统利用强度将翻倍,超过承载能力的 140%。在各种可能的社会经济发展和全球变化情景下,生态系统的主要服务功能均将出现不同程度的下降趋势^[2]。如果现有的社会经济发展模式得以继续,全球生态系统可能会进一步降低和退化,并将更加严重地威胁社会经济的持续发展。

“土地系统”是由人类-环境耦合系统构成的地球系统的陆地组成部分,是认识人类与环境关系的关键。土地系统暴露于灾害和干扰环境下,并会对灾害和干扰做出调节、适应或抵抗等响应,灾害和干扰的速度、先后顺序以及程度最终会影响土地系统及其协调和适应策略机制。土地系统的脆弱性和恢复力是由生态系统和一系列政治、经济、社会条件及过程的相互作用决定,冲突或干扰(如战争、冲突和气候改变)及持续的压力(如经济、土地利用和营养循环)将影响土地系统的环境和人文因素,其产生的结果又会改变脆弱性和恢复力之间的关系。识别土地系统组成,建立创造性和适应性减缓灾害的机制,是社会和决策者关注的焦点。全球土地计划(GLP)将生态系统的脆弱性/恢复力/适应性确立为核心主题,认为认识和管理集约化人类活动和全球环境快速变化驱动的土地系统脆弱性及其恢复力是人类社会面临的重要挑战^[3]。

2 我国现状

气候变化及其扰动与高强度人类活动共同作用产生的压力可能会导致我国土地系统不堪重负,对人口众多,自然资源短缺和社会经济快速发展的我国具有重大的影响。过去 20 年中,我国陆地平均温度增加了 0.32℃,高于全球平均水平 50%以上,而且北方出现了持续干旱,与北半球增暖变湿有

显著的差异。北方气候变暖主要发生在冬季,并不能显著增加作物的有效积温,但可能提高水分的蒸散损失,有加剧旱情发展的趋势;南方地区温度升高缩短了作物生育期,并在关键生长期会产生高温胁迫,雨量的增加还导致了严重的洪涝灾害。据统计,20 世纪 80 年代以来全国旱涝频率及其所造成的作物减产幅度均有增加的趋势。华北及东北平原、黄土高原和长江中下游的生态系统初级生产力在过去 20 年有明显的下降趋势^[4]。我国年平均温度将有可能在本世纪升高 3.9℃—6.0℃,降水量将在东南沿海增加、长江中下游地区减少,华北和东北南部将持续变干。尽管温度升高可能增加作物复种潜力,但由于提高了水分蒸散损失,加上在南方地区产生的高温胁迫,实际上可能会降低复种指数。大气环流模式和生物地理模型预测指出,我国各植被类型将向北移动约 500 km。温带草原和热带森林的面积将有所扩大,各类草原界限东移;农牧过渡带向东南方向移动。以温度升高为主要特征的气候变化对粮食生产的最大威胁是将进一步加剧水资源短缺。黄河、海河和淮河流域被列为世界上最缺水的地区,灌溉水资源尚不足作物生产需水量的 70%。根据一些气候-陆面过程耦合模型的预测,气候变化将减少我国多数江河的径流量,到 2080 年北方地区人均径流量将减少 20%以上,到 2050 年气候变化将使我国雨养作物产量降低 10%—20%,灌溉作物产量降低 3%—8%,作物总产量下降 5%—10%。过去 30 年的经济快速发展促使中国土地利用发生了巨大变化^[5]。城市扩张导致大量农田被侵占,新开垦草地、林地虽然弥补了耕地减少造成的农田生产力总量的损失,但新开垦的草地和农田生产力水平较低,而建设用地占用了高质量的耕地,城镇扩张导致的农业生产缺口需要开垦 1.8 倍的草地面积才能补足^[6]。

我国正处于社会经济快速发展期,人类活动与生态系统变化相互作用尤为强烈与复杂。20世纪90年代以来,我国生态状况总体呈“整体恶化、局部改善”与“边治理边破坏”的格局,这种状况还将持续。资源与生态环境问题已经成为阻碍社会经济发展的瓶颈,尤其是对脆弱生态区威胁更为严峻。对此,国务院极为重视,各级政府也越来越认识到生态建设和环境治理的重要性,对客观、科学分析生态状况与变化的需求越来越强烈。在2006年1月发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要》(2006—2020年)中,生态脆弱区生态系统功能的恢复与重建被列为全国62个优先主题之一;2006年11月发布的《国家“十一五”科学技术发展规划》将典型脆弱生态系统重建技术及示范作为环境领域的重点项目之一;国家环境保护“十一五”科技发展规划明确提出,“十一五”期间要重点解决生态脆弱区保护与建设的问题,支持开展生态交错区变化与监测评估方法与保护对策研究,并将区域生态系统的稳定性与社会发展的空间关系研究列为10大重点领域33项优先主题的重要内容之一。

3 欧美先例及启示

土地系统的脆弱性与恢复力是可持续发展研究的核心问题,认识其复杂的系统结构及其各类主体对人类活动和环境变化的反应及脆弱性与恢复力特点,掌握改变人类活动和环境变化对其的影响,建立具有弹性的适应性土地系统管理机制等,都首先要回答这一复杂系统各要素之间的联系和相互作用机制。为此,建立一个能描述土地系统各要素及其关系脆弱性的概念框架和一个土地系统变化过程的模拟平台是关键。美国哈佛大学国际可持续发展项目组为建立可持续评估系统建立了土地系统脆弱性评估概念框架(<http://sust.harvard.edu>),该框架包

括:(1)人类-环境耦合系统的人文和自然要素状态及变化过程;(2)各要素和过程所经受的扰动和压力;(3)系统的脆弱性分析,包括暴露和响应。框架描述了脆弱性分析中所涉及的系统复杂性,列出了可能影响系统脆弱性的要素和环节。美国克拉克大学(Clark University)、斯坦福大学(Stanford University)等机构的学者已将这一框架应用于墨西哥和北极的格陵兰、芬马克等地区的脆弱性案例研究^[7]。

位于北极区的格陵兰、芬马克、挪威北部等地区正经历着快速而剧烈的气候变化,温度升高、大气层臭氧减少、环境污染加重,同时伴随社会经济发展引发的技术革新、城市化、国际贸易、石油开采及旅游业发展等也给土地系统带来了巨大压力;墨西哥南部尤卡坦地区为提高当地居民经济收入而推动的农业与生态旅游发展,致使该区成为林地大面积采伐、生物多样性退化和碳储量减少的典型地区。面临水和飓风两种环境风险的胁迫,农户为降低作物产量损失而更加集约化利用土地,然而土地系统却由于杀虫剂、化肥等的影响变得更加脆弱;亚基河(Yaqui)流域是墨西哥主要的小麦主产区,河流沿岸是水鸟、水生哺乳动物、鱼类等的重要栖息地,流域利益相关者(农民、渔民、和土地水资源管理者)一方面要关心提高产量、维持家庭收入,减少补贴和价格支持,抵御干旱等问题,另一方面又面临着水资源减少、水质变差、农田土壤盐渍化,及其对下游农业和其他产业发展的不利影响等问题。联邦政府通过调整土地利用政策与规划,已经大大改变了人类与自然环境之间的关系与现状。这三个典型地区土地利用管理方式恰好有助于对比不同利益相关者面临脆弱性所持的不同态度,为研究脆弱性分析的复杂性提供了信息。了解典型地区土地系统的主要构成因素,掌握人类-自



中国科学院

然环境耦合系统长时段的变化过程,分析各类主体之间、风险与结果之间的响应和反馈方式,是建立区域脆弱性评价体系的关键。针对区域可持续发展所面临的问题,脆弱性评估系统的建立重点需要考虑以下4个基本问题:

(1)如何准确认识并耦合区域社会经济系统与自然系统的关系,并利用脆弱性评估体系开展脆弱性分析;

(2)哪些社会和自然因素会对该耦合系统面临的主要风险产生最重要的影响;

(3)该耦合系统脆弱性最强的状况会以何种方式表现出来;

(4)在局地、区域和全球尺度上应采取何种措施有效解决脆弱性问题。

脆弱性评价体系框架的应用研究提醒我们要清楚掌握研究区域面临风险时可能导致的危害,在建立系统框架响应方式的选择过程中需十分关注耦合系统中各环节间的动态作用关系。在进行脆弱性综合分析过程中,需充分获取定量或定性信息和应用新的分析方法,比如如何将大气环流模式输出的气候数据降至区域尺度;如何定量或定性描述居民生计调整对当地土地系统的动态影响等。上述3个案例表明,受社会、自然过程以及系统组成部分之间相互作用和变化动态的影响,土地系统对环境风险的脆弱性(包括暴露,敏感性和恢复力)非常复杂。系统外部政策和经济要素都会改变区域环境和应对其变化的能力,系统中利益相关者对环境变化趋势与过程的理解和应对环境变化能力的差异将会使他们采取不同的反应和响应方式。

4 对策建议

土地利用与管理方式的变化影响着生态系统的状态、过程和功能,这些变化反过来又会影响人类社会对生态系统利用的方式、生存能力和社会决策。土地利用的有序

调控是可持续发展战略的重要着力点,实现对土地系统的科学合理调控需要量测、模拟和理解人类-环境这一耦合系统的演化机理,以增加对人类活动如何影响陆地生物圈自然过程的认识,并在此基础上评估这些变化可能产生的后果。此外,准确地把握并干预这一耦合系统的时机和方式是脆弱性评价与恢复力建设的重要环节。从脆弱土地系统恢复力建设出发实现区域社会经济可持续发展是一新的观点,其方法和措施尚处于探索与不断完善的过程中。在现阶段,我国脆弱土地系统恢复力建设需从以下几方面着手探索和实践:

(1)利用遥感技术认识土地系统变化的关键路径,提高对土地系统动力学的认识。设计能涵盖过去、现在和未来的研究计划,使之有助于提高对我国土地系统变化的史实性及其发生的性质和非线性特征的认识,并利用卫星遥感与地面实际观测相结合的方式,对不同地域土地系统的变化过程进行监控,揭示该变化的关键路径以及变化过程中的阈值和反馈。同时,还需通过具体实例研究,分析不同类型和性质的灾害和干扰对土地系统影响的方式与程度,并探究生态系统暴露于这些灾害和干扰的后果。此外,还需确定哪些外在因素和过程会影响土地系统的脆弱性和恢复力,并定量评估这些外在因素的影响程度与方式。

(2)建立人类-环境耦合系统模拟平台。土地利用科学是在耦合人类-环境系统的基础上开展土地资源可持续利用研究的新兴学科,需要综合采用社会学、环境学、遥感学等多学科的理论和研究方法。土地系统非常复杂并受驱动力变化的影响,其对人类-环境系统的协调性也表现出特有的响应力。对土地系统脆弱性、恢复力和持续性的认识需要将微观尺度上人类在不同环境下利用

土地的社会经济行为,即行为个体在生产、消费、商品交换、借贷、投资以及对生态系统保护和自然灾害防治等方面的决策作为最根本的驱动力。显然,社会学家与自然科学家的共同参与是提高对土地系统脆弱性、恢复力和持续性认识的关键。生态系统变化的阈值和不可逆转的变化、生态系统管理以及如何使整个社会从中获利都要求以集成方式研究土地系统的脆弱性和恢复力。同时,系统中深层次的数量动态变化及给社会带来的多种收益都需要在集成分析和评估时采用多尺度时空的解决办法。20世纪90年代兴起的基于多主体的模拟方法和模型集成技术,已使我们能将包括气候、土地利用方式与植被、生物多样性、地貌等自然环境要素的长时段变化过程和人类个体的社会经济与环境保护行为进行自下而上的有效结合,从而能更加系统和全面地分析微观尺度上人与自然环境的复杂相互作用可能产生的宏观效应。这一建模方法具有主动性、层次性、动态性、可操作性、可视性等优点,自推出后已在众多领域得到应用^[8]。尽管这一方法仅为我们虚构了一个人工社会,但通过对这一社会在不同环境中的发展过程进行仿真,能极大地提高我们对人类与自然环境相互作用的情景及其主要驱动因素的认识。

(3)建立能够促使土地资源得到可持续发展的决策和管理制度,并采取有助于增强脆弱生态系统恢复力的适应性管理措施。制度、权利、准则和决策的结构在控制人类对土地系统进行干扰方面起着重要的作用。对不同类型的土地系统来说,掌握这一系统中生态系统服务、土地利用、制度和政策之间相互作用所产生的后果至关重要。这不仅需要认识制度在土地系统变化过程中的作用,以及这些制度间的相互作用对土地系统的影响,而且还需要对这些制度在不同尺度上

的影响进行有效评估。此外,还需详细分析土地利用决策的主要驱动力和不同的政策对人类行为的影响,并结合具体环境要素制度和生态系统的结构与功能,提出土地系统的制度安排和可持续利用的对策。

合理的政策和适应性管理措施通常可以扭转生态系统的退化趋势,并增强人类-环境系统的恢复力。我国近几年来实施的生态保护与修复政策与措施(如退耕还林草、围封转移等)有助于扭转我国生态系统退化的趋势,但还需对这些政策与措施的社会经济与生态效益进行科学的评价。要特别关注当前的生态状况与当地农牧民的生计是否达到理想的状态,以及目前已有的生态与社会效益是否可以持续等一系列问题。回答这些问题需要将社会(经济发展、人类福祉)与生态系统作为一个动态耦合的大系统,通过分析、认识这个大系统中各个环节及行为主体之间的反馈关系、相互作用机制和对历史环境变化及扰动事件(如温度升高、极端干旱、政策调整等)的响应与适应方式,科学评估人类-环境耦合系统当前的负荷以及可恢复能力,并对这一耦合系统未来可能面临的灾害事件与相应的政策调整作出合理的预测。只有这样,才有可能客观、公正地回答生态保护与修复工程以及环境管理政策与经济调节手段是否合理等问题。

主要参考文献

- 1 IPCC. Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge University Press
- 2 MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.
- 3 GLP, Science Plan and Implementation Strategy. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19. IGBP Secretariat, Stockholm, 2005.
- 4 Cao M, Prince S D, Li K R *et al.* Response of terrestrial carbon uptake to climate interannual



中国科学院

- variability in China. *Global Change Biology*, 2003, 9: 536-546
- 5 Liu J, Tian H, Liu M *et al.* China's changing landscape during the 1990s: Large-scale land transformations estimated with satellite data. *Geophysical Research Letter*, 2005: 32.
- 6 Yan H, Liu J, Huang H Q *et al.* Assessing the consequence of land use change on agricultural productivity in China. *Global and Planetary Change*, 2009, 67: 13-19.
- 7 Turner BL II, Kasperson RE, Matson P *et al.* Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences (U.S.)*, 2003, 100(14): 8 080-8 085.
- 8 Macmillan W, Huang H Q. An agent-based simulation model of a primitive agricultural society. *Geoforum*, 2008, 39: 643-658.

Current Status of the Vulnerability of Land Systems in China and Some Considerations on Strategies for Resilience Building

Huang Heqing Zhen Lin Yan Huimin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS and
Beijing Nodal Office of Global Land Project 100101 Beijing)

Since the middle of the 20th century, global climate change, intensified human activities and the interactions between the two have deeply impacted and altered the patterns and processes of land ecosystems. The resulting pressure of their joint action possibly leads to the approximate point of collapsing of land systems in some regions. The current rapid socio-economic development of China does not follow a sustainable path largely because it is at the expense of increasing the vulnerability of land systems and damaging ecological and environmental functions. It is a great challenge facing the socio-economic development of China to understand and effectively manage the vulnerability and resilience of land systems under the driving of both high-intensity human activities and global climate change. This paper presents a general analysis of the vulnerability of the current land systems and the problems and challenges facing the sustainable use of land resource. The current status of the vulnerability of land systems in China is particularly evaluated and typical international case studies of the vulnerability and resilience of land systems introduced. In consequence, possible approaches for rehabilitating land systems in fragile regions across China are emphatically discussed.

Keywords land system, vulnerability, resilience, sustainable development, global climate change

黄河清 中科院地理科学与资源所研究员,博士生导师。1986年毕业于清华大学水利工程系,获工学硕士学位。1997年获澳大利亚 Wollongong 大学哲学博士学位。1999-2005 年在英国 Glasgow 大学和牛津大学从事环境变化与水土资源可持续利用空间模拟方面的研究工作。2005 年 8 月入选中科院“百人计划”,2007 年获国家自然科学基金杰出青年基金,同年被国际两大科研组织 IGBP(国际地圈生物圈计划)和 IHDP(国际全球环境变化人文因素计划)共同发起的全球土地计划(Global Land Project)聘任为北京节点办公室主任。长期从事洪水防治与流域管理、河流过程与生态保护、土地系统脆弱性与可恢复性、水土资源可持续利用空间模拟等方面的研究工作。E-mail:huanghq@igsnr.ac.cn