

文章编号: 1000-5641(2020)03-0109-10

IPBES 土地退化与恢复驱动因素审视

郭晓娜¹, 陈睿山¹, 李 强², 潘真真³

(1. 华东师范大学 地理科学学院, 上海 200241; 2. 河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475001;
3. 武汉大学 资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要: 土地退化是全球性重大生态问题之一, 危及 32 亿人的福祉, 威胁粮食、水安全, 降低生物多样性, 同时引发地区冲突、大规模人口迁徙和疾病传播, 近年来受到 UN、IPBES、IPCC 等组织的广泛关注. 理解土地退化的驱动因素是防止土地退化和恢复退化土地的根本. 本文以生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 (IPBES) 土地退化与恢复评估报告为基础, 审视了土地退化的驱动因素. 具体包括: 土地退化的直接驱动因素, 即牧场经营, 农田和农林管理, 森林和人工林改造, 非木材自然资源开采, 林火变化, 外来物种引进, 采掘业发展, 以及基础设施建设、工业化、城市化共 8 类; 间接驱动因素和作用机制, 包括人口、经济、科学知识和技术、制度与管理及文化 5 大间接驱动因素间的交互作用、情境依赖、非线性剧变和远程耦合式驱动机制. 并指出气候变化也可导致多种类型的土地退化. 最后聚焦我国典型地区土地退化的驱动因素, 并提出相应的防范和应对措施. 对土地退化驱动因素的深入理解, 将为我国“山水林田湖草”土地系统的统筹治理和“美丽中国”建设提供决策支持.

关键词: 土地退化; IPBES; 驱动因素; 气候变化

中图分类号: K903 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.201941009

Review of driving factors for land degradation and restoration based on IPBES

GUO Xiaona¹, CHEN Ruishan¹, LI Qiang², PAN Zhenzhen³

(1. School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng Henan 475001, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Land degradation is one of the major global ecological problems that is endangering the health and well-being of 3.2 billion people, threatening food and water security, and reducing biodiversity. Land degradation, moreover, is triggering regional conflicts, large-scale migration and the spread of disease, and has raised widespread concerns from international organizations such as the UN, IPBES, and IPCC in recent years. Understanding the drivers of land degradation is fundamental to preventing land degradation and restoring degraded land. This paper examines the drivers of land degradation based on a land degradation and restoration assessment report from the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). The factors that lead to land degradation can be divided into direct (human) drivers, indirect (human) drivers, and climate change. This paper elaborates on eight

收稿日期: 2019-03-29

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1503001); 国家自然科学基金 (41771119); 国土资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室开放课题

第一作者: 郭晓娜, 女, 博士研究生, 研究方向为土地利用与人类环境耦合. E-mail: gxnl5802376539@sina.cn

通信作者: 陈睿山, 男, 教授, 研究方向为综合自然地理学、土地利用及人类环境耦合.

E-mail: chenrsh04@gmail.com

types of direct drivers for land degradation, namely grazing land management; cropland and agroforestry management; forests and tree plantation management; non-timber natural resource extraction; fire regime change; extractive industry and energy development; construction, industrial development, and urbanization; and invasive species. This research also explores indirect driving factors and their respective mechanisms, including: population, economy, technology, institution and management, and culture as well as mechanisms (i.e. interaction effects) that are situation-dependent, nonlinear or abruptly-changing, and remotely coupled. The research notes that climate change can also lead to various types of land degradation. Finally, this article reviews driving factors for land degradation in typical areas of China and proposes relevant preventive and response measures. An in-depth understanding of the drivers for land degradation will provide decision making support for “the governance of mountains, water, forests, cropland, lakes, and grass ecosystems” as well as the construction of “Beautiful China”.

Keywords: land degradation; IPBES; driving factors; climate change

0 引言

生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 (IPBES) 土地退化和恢复专题评估指出, 人类活动造成的土地退化危及 32 亿人的福祉, 使地球出现第 6 次物种大灭绝, 每年因土地退化造成的生态系统服务损失高达全球总产值的 10% 以上^[1-2]. 当前几乎所有国家的土地覆盖/利用及景观类型都在发生不同程度的土地退化, 全球多达 15 亿人居住并依赖于退化的土地^[3], 世界 80% 农业用地、10%~20% 牧场、87% 湿地正遭受严重退化^[4-6]. 尽管土地退化总成本难以估计, 但每年因土地退化造成的经济损失最少约 400 亿美元^[7]. 土地退化对生物多样性、生态系统服务及人类福祉产生不可逆的影响, 已造成全球 34% 生物多样性丧失 (2010 年). 预计到 2050 年, 这一比例将高达 38%~46%^[8].

遏制土地退化和恢复已退化土地对保障人类必需的生物多样性、生态系统服务及人类福祉至关重要, 国际上大多数可持续性目标的实现也多以解决土地退化为前提. 2012 年, 联合国防治荒漠化公约 (UNCCD) 中提出, 到 2030 年实现土地退化零增长 (Zero Net Land Degradation), 并于 2017 年发布了土地退化平衡框架 (Land Degradation Neutrality). 联合国“可持续发展目标 (2015—2030 年)”将遏制、扭转土地退化, 恢复退化土地, 减缓以环境退化为代价的经济增长作为其第 15 大目标; “爱知生物多样性目标 (2010—2020 年)”将土地退化作为降低生物多样性的主要威胁予以应对; “波恩挑战”中提出, 到 2020 年恢复 1.5 亿 hm^2 退化土地和森林^[9]. IPBES 在 2015—2018 年开展了全球第一次土地退化与恢复评估, 并于 2018 年 3 月 26 日正式得到 IPBES 的 129 个成员国批准. 据 IPBES 估计, 到 2050 年, 土地退化和气候变化将使全球作物平均减产 13%~45%^[10], 使 5 000 万至 7 亿人被迫迁移^[11], 严重威胁粮食安全及世界稳定. 联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 也于 2019 年发布了《气候变化与土地退化特别报告》, 主要关注气候变化、土地退化、可持续土地管理、粮食安全和陆地生态系统的温室气体通量.

中国各地土地退化形势比较严重, 类型多样, 其中分布最广、影响最大的是土地沙漠化和土壤侵蚀. 然而, 关于土地退化驱动因素, 学术界尚无统一的论述. 基于此, 本文审视了 IPBES 土地退化和恢复专题评估报告, 并深入考察了直接驱动、间接驱动和气候变化的组成和作用机制, 以期为进一步开展土地退化研究提供概念框架, 为我国土地资源保护和退化土地的恢复、生态文明建设和“山水林田湖草”系统治理提供理论支持. IPBES“土地退化与恢复”专题报告是全球第一份关于土地退化和恢复的综合实证评估, 由来自全球 45 个国家的 100 多名专家历时 3 年共同完成, 该科学报告尺度覆盖全球, 成果惠及经济发展、农民生计、粮食安全、自然贡献和人类福祉等领域. 土地退化驱动因素的全面阐述为深入了解土地退化、生物多样性及生态系统功能的变化创造了条件, 为监测、遏制和扭转土地退

化提供了理论基础,对合理利用土地,保护生物多样性及生态服务功能有重大意义。

1 土地退化驱动因素及其分析框架

驱动因素是土地利用变化、土地退化研究中的重要内容,土地变化和退化的模拟与预测需要深入理解导致其变化的驱动因素及作用机制。国内研究者认为驱动因素一般分为自然驱动和人为驱动,二者在土地退化过程中均发挥重要的作用。自然驱动主要是指气候因素,包括气温、降水、光照、风速等。一些学者指出,气候变化(降水、干旱)不可预测、破坏性大,控制着土地系统的变化;另一些学者认为,气候变化是漫长的复杂过程,且其变化均在正常范围内,不足以引起土地退化^[12-13]。人为驱动主要是指人口增加、城市化及不合理的人类活动,在土地退化过程中发挥重要的作用^[14-15]。国外学者 Geist 和 Lambin 在 2002 年最早提出了热带森林退化的驱动力分析框架,将驱动力分为直接驱动因素和间接驱动因素^[16],这一框架对后来的各类驱动力分析影响深远。2005 年完成的千年生态系统评估也将环境退化(包括土地退化)的驱动因素定义为直接或间接导致生态系统变化的任何自然因素或人为因素^[16-17]。直接驱动包括自然驱动和人为驱动。直接自然驱动不受人类控制,如滑坡、地震。直接人为驱动是人类决策的结果,如引进外来物种。间接驱动通过改变一个或多个直接驱动因素的程度、严重性或变化速率起作用。迄今为止,与人类活动直接相关的驱动因素对土地退化的影响最严重、最广泛,加剧了自然驱动的影响。例如,滑坡常发生于山区,但在森林砍伐严重和人类活动频繁的地区更容易发生^[18]。本文就气候变化和人为驱动,包括直接(人为)驱动、间接(人为)驱动进行分析阐述(见图 1)。

在气候变化背景下,直接驱动与间接驱动相互作用使土地退化随时间变化并呈现不同的空间特征。土地退化前存在一定基线,超出基线即进入退化,并呈现不同的退化状态。随着时间的推移,土地退化会出现不同的情境,这与退化过程中的弹性阈值有关,在阈值范围内的土地退化可恢复并重获自然对人类的馈赠,大于阈值可能永久退化。以我国西南亚热带地区(广西和云南南部)土地退化为例对图 1 框架进行说明。西南亚热带地区为季风气候,降水丰富且夏季多暴雨。地表以石灰岩和砂岩为主,成土过程难且慢,而气候变化尤其是降水增加造成了土壤侵蚀。由于地形、土壤、气候条件限制,农民广泛种植桉树、甘蔗、橡胶等经济作物以增加收入,同时导致一些环境问题,如地表径流减少、生态破碎化、生物多样性减少,成为土地退化的直接驱动因素;人口增加、城市扩张、经济发展等人类干扰活动强烈,成为土地退化的间接驱动因素^[19]。控制橡胶、桉树、甘蔗等经济作物的盲目扩张,禁止陡坡和高海拔森林的砍伐,鼓励延长森林轮作周期,加强森林抚育,这些措施都可以改善土地退化并维护自然对人类的馈赠。然而,若置之不理,则会加剧土地敏感性,甚至造成永久土地退化。

2 土地退化的直接驱动因素

IPBES 全球土地退化与恢复评估指出,土地退化的直接驱动因素包括牧场管理,农田和农林管理,森林和人工林管理,非木材自然资源开采,林火变化,引进外来物种,采掘业发展,以及基础设施建设、工业化、城市化。这 8 大类通过各种方式侵占自然植被达到扩张目的,共同驱动了全球土地退化(见表 1)。

在全球化背景下,人口增长、饮食变化、收入增加使世界各国畜产品需求不断增长^[20-21],造成牧场大面积扩张,进而导致了热带雨林的砍伐(如巴西亚马逊流域)。全球超过 3/4 农田种植作物不足 20 种,而绝大多数土地无法实现谷类产量最大化,因此需要开拓更多的耕地。从天然植被到农田的转变程度、作物种类和耕作强度及当地自然条件都会影响土地退化,如人造林和种植园在印尼等地的扩张导致了自然植被的退化。据粮农组织“全球森林资源评估”报告,1990—2015 年全球森林总面积下降了 3%,其中,天然林面积下降了 6%^[22]。人工林替代多样化的天然林将导致生物多样性的巨大损失,但若在农业区或退化土地上重新造林,则可促进生物多样性恢复并增加生态系统服务供应^[23-26]。非木

材自然资源包括除从森林和其他生态系统提取的木材之外的各种自然资源,如饲料、食品、药物、乳胶、树脂、建材和纤维等^[27].然而,不可持续的资源开采方式会影响种群大小和可获物资的持续性,进而影响群落及生态系统的组成和结构^[28-32].

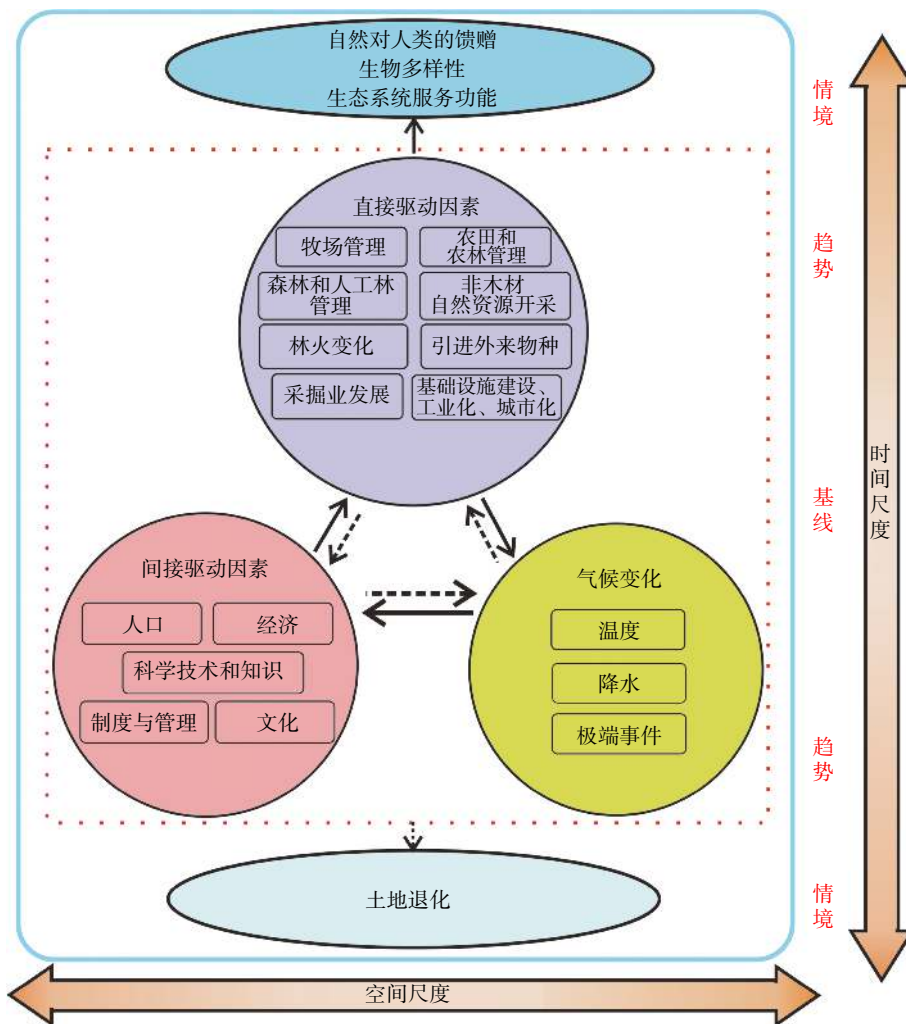


图 1 气候变化背景下土地退化驱动因素分析框架

Fig. 1 Analysis framework of the driving factors for land degradation under the context of climate change

全球除沙漠、潮湿的热带森林和苔原地区之外,每年有 3.5 亿 hm^2 土地受林火影响^[33-34].据估计,全球 25% 陆地不受林火影响, 53% 陆地受林火影响而退化, 8% 陆地受林火影响而严重退化, 剩余 14% 陆地受林火影响的情况尚在评估中^[35].入侵生物可在本地生态系统以外的生态系统中生根和繁殖,使被入侵的生态系统受到威胁并逐渐退化,如我国沿海地区互花米草的入侵.采掘业发展,尤其从地壳中提取矿物和化石燃料是世界范围内生物多样性减少和土地退化的重要驱动因素^[36-40].1950 年,世界仅 30% 人口居住在城市,2015 年约为 54%,预计 2050 年增长至 66%^[41],届时工业化和城市化的程度也会相应增加,这就需要大量基础设施建设(尤其发展中国家),进而加剧土地退化.

3 土地退化的间接驱动因素及作用机制

直接驱动因素影响生态系统的组成、结构,相比之下,间接驱动的作用更为隐性,可加速或减缓直

接驱动的作用程度和范围. 间接驱动是生态系统环境变化的潜在原因, 通过改变直接驱动变化的速率加剧土地退化或促进退化土地的恢复, 是遏制、减少和消除土地退化的最终机制. 从人类如何使用和影响自然资源角度, 可将土地退化间接驱动因素分为 5 类 (见表 2): 人口, 经济, 科学知识和技术, 制度与管理, 文化^[16,42]. 间接驱动因素以复杂的、相互依赖的方式在时空上相互作用, 同时受生态系统服务和人类福祉的直接驱动因素的反馈效应的影响^[43], 特征鲜明.

表 1 土地退化的直接人为驱动因素^[4]
Tab. 1 Anthropogenic direct drivers of land degradation

人为直接驱动	直接驱动子类	土地退化相关范例
牧场管理	牧场面积, 牲畜种类, 放牧率, 轮作制度, 补饲, 灌溉和水资源管理, 草场改良的变化	原生植被破碎, 生物多样性丧失, 土壤侵蚀, 土壤板结, 土壤和养分变化, 盐渍化, 径流和水入渗机制变化, 营养物和农药, 入侵物种, 林火变化, 木本侵占
农田和农林管理	农田和农林系统的变化, 包括湿地排水, 作物类型, 轮作或接茬, 土壤管理, 收割和休耕周期, 农业投入, 灌溉	原生植被破碎, 土壤侵蚀, 土壤板结, 土壤养分含量变化, 径流和水入渗机制变化, 营养物和农药, 土壤和水盐渍化, 沉积, 水污染, 物种入侵, 林火变化, 大气污染和沉降
森林和人工林管理	管理和种植的森林, 砍伐强度, 轮作制度, 造林技术的变化	原生植被破碎, 土壤侵蚀, 土壤板结, 土壤养分变化, 径流和水入渗机制, 营养物和农药, 沉降, 水污染, 物种组成和入侵变化, 地上和地下生物量变化, 碳储量变化, 林火变化
非木材自然资源开采	薪柴砍伐, 狩猎, 采摘野生食物, 饲料, 药品及其他产品	物种组成和丰度的变化, 植被结构和地上生物量的变化
林火变化	火灾频率和强度变化, 林火季节性和时间性, 包括灭火	物种组成和地上生物量, 土壤侵蚀, 物种入侵, 土壤养分变化, 径流和水入渗机制变化, 营养物和农药
引进外来物种	互花米草入侵、水葫芦的引种	物种组成、植被结构、地上生物量的变化, 林火的变化, 疾病和害虫的传播
采掘业发展	矿井类型, 提取和冶炼技术, 污染物排放和废渣处理, 开垦, 空间规划	土壤污染与板结, 水污染, 径流变化, 地下水储量变化, 大气污染与沉积
基础设施建设、工业化、城市化	土地清理, 大坝和水力发电厂、公路、铁路及其他基础设施建设, 灌溉	土壤污染与板结, 水污染, 径流变化, 地下水储量变化, 大气污染与沉积

表 2 土地退化间接驱动^[4]
Tab. 2 Indirect drivers of land degradation

间接驱动因素	间接驱动因素子类
人口	人口增长率, 移民和人口流动, 人口密度, 年龄结构
经济	供需, 贫困, 商业和贸易, 城市化, 工业化, 劳动力市场, 价格, 财政
科学知识和技术	教育, 土著和当地知识, 禁忌, 研发投入, 技术, 创新, 沟通和宣传
制度与管理	国家政策(基于监管和激励), 产权, 习惯法, 认证, 国际协议和公约(贸易, 环境等), 正规机构的能力, 非正规机构(社会资本)
文化	国际视野, 价值观, 宗教, 消费者行为, 饮食

3.1 交互式驱动机制

土地退化的间接驱动一般是“贡献型”或“组合型”, 很少相互独立. 通常多种因素相互作用可产生一个特定的结果, 但同样的结果也可由不同因素交互组合产生. 不同因素相互组合、交互作用, 自然环境与土地退化的潜在人为因素交互作用决定土地退化程度、范围及其影响. 例如, 人口增长和长期贫困加剧了山区森林砍伐与陡坡开荒, 并进一步导致土地退化, 损害了生物多样性和生态系统功能.

3.2 情境依赖式驱动机制

不同地区生物物理、经济、社会和政治背景之间的差异导致土地退化驱动因素不同. 例如, 商品农业是拉丁美洲和东南亚国家毁林的主要驱动力, 而生计农业则是非洲许多欠发达国家森林退化的

主导因素^[44]. 在与国际市场联系不紧密的偏远地区, 农民生活无保障, 获得投资和接触市场的机会不平等, 刀耕火种仍是千百万人重要的生存方式, 也是森林严重退化的主要原因^[45]. 平原耕地撂荒主要是因为劳动力大量外流, 而山区耕地撂荒可能是因为农业边际效益低. 我国黄土高原土壤污染是由煤矿开采破坏地表产生的粉尘沉降所致的, 长三角土壤污染则是汽车尾气和工业排放产生的硫酸和硝酸型酸雨共同作用的结果^[46-47].

3.3 非线性剧变式驱动机制

土地利用变化的不同非线性轨迹对应不同的“土地利用转变”, 它是由内生的社会—生态反馈(重要生态系统产品和服务供应下降引起的土地利用变化)和外生的社会—经济变化反馈共同引起的^[48-49]. 许多非线性、急剧性土地利用变化是由强大的正面反馈所驱动的, 在这些反馈中, 最初的干扰促使土地利用向更好或更糟的状态进一步演化^[50]. 虽然有些土地退化的间接驱动因素将在十年或更长的时间尺度上初见成效, 但另一些间接驱动因素则瞬间发挥作用, 尤其在经济全球化背景下, 价格、贸易条例和国外投资者的决策等因素会对世界另一端生产者的行为产生深远的影响^[51]. 例如, 巴西口蹄疫暴发后, 欧盟出口牛肉的贸易禁令对巴西农业扩张和森林砍伐产生了显著的影响^[52-53].

3.4 远程耦合式驱动

在全球化背景下, 某个地方土地及资源利用的最重要间接驱动力可能源于地球的另一端. 这种驱动往往被科研人员、环境保护与发展实践者视为外生变量, 很少被考虑^[54]. 因此, 如何识别远程间接驱动因素, 减轻其负面影响并扩大正面效益, 对解决土地退化至关重要. 全球化进程展示了人类活动如何驱动全球土地退化, 它既可以减弱土地退化直接驱动的作用, 也可以通过打破区域贸易壁垒等加强全球联系^[54-55]. 目前全世界已认识到与经济发展有关的因素, 尤其是全球贸易、法律惯例、禁令等是全球资源开采和土地退化的主要驱动因素^[16,51,56]. 例如, 中国增加对巴西大豆的进口加剧了该国土地退化(砍伐森林种植大豆)^[57].

4 气候变化

人类活动(包括化石燃料燃烧、水泥生产、森林砍伐、化肥使用、土地利用等)对地球气候系统产生了重大影响, 改变了全球温度、降水模式和极端事件发生的频率和强度^[58]. 反过来, 人为气候变化又加速了土地退化. 温度和降雨的变化将改变物种的活动范围, 在极端情况下造成物种灭绝^[59-61], 进而改变生态系统结构. 在高山和高纬度地区, 永久冻土的融化和冰川的消退将引起海平面上升、山崩和地面沉降. 极端干旱会降低作物产量, 减少人类、牲畜和野生动物的水资源供应, 导致森林树种死亡, 生物多样性丧失^[62-67]. 气候变化还可通过与其他驱动因素相互作用对土地退化产生重大影响. 例如, 气温升高 1~2 °C 会加剧埃塞俄比亚、卢旺达、肯尼亚等咖啡豆产区病虫害的发生, 进而导致种植园萎缩^[68]. 气候变化影响土地退化的范围、严重程度、发生频率等, 其对土地退化的影响既可以是瞬时的(极端事件), 如暴雨引起滑坡、泥石流和水土流失等; 也可以是滞后的(缓变性气候), 如冰川消退引起海平面上升, 导致沿海陆地退化(见图 2).

5 结论与讨论

土地退化是全球共同面临的重大生态问题, 导致自然对人类的贡献不断减少. 目前, 土地退化没有统一的定义, 其驱动因素的探讨还不全面, 定量评估相对较少. IPBES 全球土地退化与恢复评估报告指出, 土地退化是自然和人为驱动共同作用的结果, 且主要是人为驱动, 或人为驱动作用于自然驱动的结果. 本文阐述了造成土地退化的 8 大直接(人为)驱动、5 大间接(人为)驱动及气候变化因素.

一系列的国际计划,特别是“2011—2020年生物多样性战略计划”和“爱知生物多样性目标”都要求对土地退化进行量化,如何将驱动因素融入定量评估十分重要。厘清土地退化驱动因素,有助于从中找出避免土地退化及恢复退化土地的相关对策。

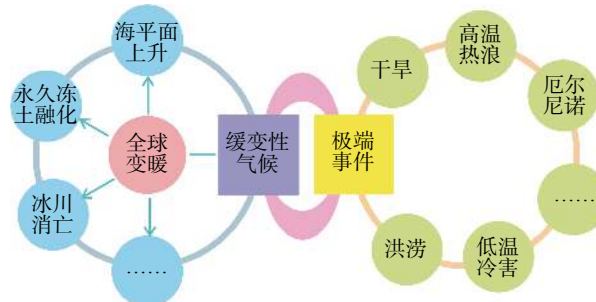


图2 缓变性气候和极端事件

Fig. 2 Changing climate and extreme events

人口众多、土地资源紧缺是我国长期以来的基本国情,然而,由于不合理的开发利用方式,我国土地退化面积高达4.87亿 hm^2 ,约占全国土地面积的50.7%。我国土地退化类型复杂,如水土流失、荒漠化、石漠化、土壤盐渍化、草场退化、土壤污染、湿地退缩等,其中西北地区的沙漠化和西南岩溶地区的石漠化是我国主要的土地退化问题,严重威胁着我国的生态安全。我国土地退化驱动因素一般分为自然因素和人为因素,两者共同作用导致土地退化。自然因素(北方少雨多风,地表为松散沙质;南方高温多雨,表层土松散)是外在条件,人口增长、经济发展、城市扩张造成的土地利用变化是土地退化的主导因素^[14,69]。城市化、人口增加及肉类市场需求大(牲畜数量增加)等是内蒙古草地退化的主要原因,控制人口数量、调整饮食结构、划定围栏脆弱区是防范及应对草地退化的重要措施^[70-72];地表径流减少、滥垦、滥伐等是黄土高原水土流失的主要驱动力,大规模的退耕还林不太适合气候干旱的黄土高原,选择抗旱能力强且耗水少的简单植被有利于该区生态恢复^[73-74];气候和人类活动压力(人口增加、过度放牧、耕地及第一产业比重大等)导致岩溶区植被覆盖减少、森林变农田,最后演变成裸露石灰岩乃至石漠化^[19,75-76],适当控制人口、合理利用土地、政策引导发展对岩溶生态系统恢复有益^[77]。值得关注的是,土地退化驱动因素产生的影响是区域性或全球性的,或当地土地管理者无法控制的其他区域,恢复退化土地需要各利益相关者共同努力,打破地区、文化与制度障碍。

多年的城市化和经济快速发展使我国土地退化问题突出,需要因地制宜、追根溯源,依据土地退化驱动因素科学防范土地退化并恢复退化土地。中共十九大报告指出,“建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计”,“绿水青山就是金山银山”,要“像对待生命一样对待生态环境”,“打造山水林田湖草生命共同体”。为实现“美丽中国”之梦,国家已经在体制机制上做了诸多思考,组建了自然资源部和生态环境部,计划对作为土地要素的“山水林田湖草”实行整体保护、系统修复、综合治理。然而,在具体实施中,还应该摸清家底、辨明联系、厘清机制,对引起土地退化的因素及其作用机制进行综合评估,从而实现标本兼治,系统治理。

[参 考 文 献]

- [1] LE Q B, NKONYA E, MIRZABAEV A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots [M] //NKONYA E, MIRZABAEV A, VON BRAUN J. Economics of Land Degradation and Improvement: A Global Assessment for Sustainable Development. [S. l.]: Springer, 2016: 55-84.
- [2] SCHOLLES R, MONTANARELLA L, BRAINICH A, et al. IPBES (2018): Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [R]. Bonn, Germany: IPBES secretariat, 2018.

- [3] United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Sustainable financing for forest and landscape restoration [R]. Rome: UNCCD, 2015.
- [4] MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis [R]. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
- [5] GIBBS H K, SALMON J M. Mapping the world's degraded lands [J]. *Applied Geography*, 2015, 57: 12-21. DOI: [10.1016/j.apgeog.2014.11.024](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024).
- [6] DAVIDSON N C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area [J]. *Marine and Freshwater Research*, 2014, 65(10): 934-941. DOI: [10.1071/MF14173](https://doi.org/10.1071/MF14173).
- [7] UN-FAO. LADA: Assessing the status, causes and impact of land degradation [R]. Rome: FAO, 2009.
- [8] VAN DER ESCH S, TEN BRINK B, STEHFEST E, et al. Exploring Future Changes in Land Use and Land Condition and the Impacts on Food, Water, Climate Change and Biodiversity: Scenarios for the UNCCD Global Land Outlook [M]. Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017.
- [9] International Union for Conservation of Nature. Bonn Challenge [EB/OL]. [2019-03-30]. <http://www.bonnchallenge.org>.
- [10] United Nations Convention to Combat Desertification. Zero Net Land Degradation-A sustainable development goal for Rio+20: To secure the contribution of our planet's land and soil to sustainable development, including food security and poverty eradication (Policy Bri) [R]. Bonn: UNCCD, 2012.
- [11] WARNER K, ERHART C, SHERBININ A, et al. In search of shelter: Mapping the effects of climate change on human migration and displacement [R]. New York: Columbia University, 2009.
- [12] 许端阳. 气候变化和人类活动在沙漠化过程中相对作用的定量研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [13] 王云霞. 内蒙古草地资源退化及其影响因素的实证研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [14] 杨朝飞. 中国土地退化及其防治对策 [J]. *中国环境科学*, 1997(2): 13-17.
- [15] 汪潇. 基于遥感的土地退化指标因子提取和综合评价 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2007.
- [16] GEIST H J, LAMBIN E F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation [J]. *BioScience*, 2002, 52(2): 143-150. DOI: [10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2).
- [17] NELSON G C, BENNETT E, BERHE A, et al. Anthropogenic drivers of ecosystem change: An overview [J]. *Ecology and Society*, 2006, 11(2): 29. DOI: [10.5751/ES-01826-110229](https://doi.org/10.5751/ES-01826-110229).
- [18] GUNS M, VANACKER V. Forest cover change trajectories and their impact on landslide occurrence in the tropical Andes [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 70(7): 2941-2952. DOI: [10.1007/s12665-013-2352-9](https://doi.org/10.1007/s12665-013-2352-9).
- [19] HAN W Y, LIU G H, SU X K, et al. Assessment of potential land degradation and recommendations for management in the south subtropical region, Southwest China [J]. *Land Degradation & Development*, 2019, 30(8): 979-990.
- [20] STEINFELD H. Livestock production in the Asia and Pacific region: Current status, issues and trends [J]. *Journal of the Geological Society of Japan*, 1998, 90(1): 14-21.
- [21] NKONYA E, MIRZABAEV A, VON B J. Economics of Land Degradation and Improvement: A Global Assessment for Sustainable Development [M]. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [22] KEENAN R J, REAMS G A, ACHARD F, et al. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015 [J]. *Forest Ecology and Management*, 2015, 352: 9-20. DOI: [10.1016/j.foreco.2015.06.014](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.014).
- [23] BROCKERHOFF E G, JACTEL H, PARROTTA J A, et al. Role of eucalypt and other planted forests in biodiversity conservation and the provision of biodiversity-related ecosystem services [J]. *Forest Ecology & Management*, 2013, 301(4): 43-50.
- [24] BROCKERHOFF E G, JACTEL H, PARROTTA J A, et al. Plantation forests and biodiversity: Oxymoron or opportunity [J]. *Biodiversity & Conservation*, 2008, 17(5): 925-951.
- [25] CARNUS J M, PARROTTA J, BROCKERHOFF E, et al. Planted forests and biodiversity [J]. *Journal of Forestry*, 2006, 104(2): 65-77.
- [26] LAMB D. Regreening the Bare Hills: Forest and Land Degradation in the Asia-Pacific Region [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2011.
- [27] DE BEER J H, MCDERMOTT M J. The Economic Value of Non-Timber Forest Products in Southeast Asia [M]. Amsterdam, Netherlands: World Conservation Union (IUCN), 1996.
- [28] FA J E, PERES C A, MEEUWIG J. Bushmeat exploitation in tropical forests: An intercontinental comparison [J]. *Conservation Biology*, 2002, 16(1): 232-237. DOI: [10.1046/j.1523-1739.2002.00275.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.00275.x).
- [29] MILNER-GULLAND E J, BENNETT E L, ABERNETHY K, et al. Wild meat: The bigger picture [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(7): 351-357. DOI: [10.1016/S0169-5347\(03\)00123-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00123-X).
- [30] RUWANZA S, SHACKLETON C M. Ecosystem-scale impacts of non-timber forest product harvesting: Effects on soil nutrients [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(5): 1515-1525. DOI: [10.1111/1365-2664.12891](https://doi.org/10.1111/1365-2664.12891).
- [31] SHANKAR U M A, HEGDE R, BAWA K S. Extraction of non-timber forest products in the forests of Biligiri Rangan Hills, India. 6. Fuelwood pressure and management options [J]. *Economic Botany*, 1998, 52(3): 320-336. DOI: [10.1007/BF02862151](https://doi.org/10.1007/BF02862151).
- [32] TICKTIN T. The ecological implications of harvesting [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2004, 41(1): 11-21. DOI: [10.1111/j.1365-2664.2004.00859.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00859.x).
- [33] GIGLIO L, RANDERSON J T, VAN DER WERF G R. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4) [J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2013, 118(1): 317-328. DOI: [10.1002/jgrg.20042](https://doi.org/10.1002/jgrg.20042).

- [34] KRAWCHUK M A, MORITZ M A, PARISIEN M A, et al. Global pyrogeography: The current and future distribution of wildfire [J]. *PLoS One*, 2009, 4(4): e5102. DOI: [10.1371/journal.pone.0005102](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005102).
- [35] SHLISKY A, WAUGH J, GONZALES P, et al. Fire, ecosystems & people: threats and strategies for global biodiversity conservation [R]// Global Fire Initiative Technical Report 2007-2. Arlington, VA: The Nature Conservancy, 2007.
- [36] BRIDGE G. Contested terrain: Mining and the environment [J]. *Annual Review of Environment & Resources*, 2004, 29(1): 205-259.
- [37] BUTT N, BEYER H L, BENNETT J R, et al. Biodiversity risks from fossil fuel extraction [J]. *Science*, 2013, 342(6157): 425-426. DOI: [10.1126/science.1237261](https://doi.org/10.1126/science.1237261).
- [38] DURÁN A P, RAUCH J, GASTON K J. Global spatial coincidence between protected areas and metal mining activities [J]. *Biological Conservation*, 2013, 160: 272-278. DOI: [10.1016/j.biocon.2013.02.003](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.02.003).
- [39] MURGUÍA D I, BRINGEZU S, SCHALDACH R. Global direct pressures on biodiversity by large-scale metal mining: Spatial distribution and implications for conservation [J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 180: 409-420.
- [40] TOWNSEND P A, HELMERS D P, KINGDON C C, et al. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976—2006 Landsat time series [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113: 62-72. DOI: [10.1016/j.rse.2008.08.012](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.012).
- [41] United Nations Population Division. World population prospects 2017 [DB/OL]. [2019-03-25]. <https://population.un.org/wpp/>.
- [42] GEIST H, LAMBIN E F. Dynamic causal patterns of desertification [J]. *BioScience*, 2004, 54(9): 817-829. DOI: [10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:DCPOD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:DCPOD]2.0.CO;2).
- [43] DÍAZ S, DEMISSEW S, CARABIAS J, et al. The IPBES conceptual framework-connecting nature and people [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 14: 1-16. DOI: [10.1016/j.cosust.2014.11.002](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002).
- [44] KISSINGER G M, HEROLD M, SY V D. Drivers of deforestation and forest degradation: A synthesis report for REDD+ policymakers [R]. Vancouver, Canada: Lexeme Consulting, 2012.
- [45] VAN VLIET N, MERTZ O, HEINIMANN A, et al. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment [J]. *Global Environmental Change*, 2012, 22(2): 418-429. DOI: [10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.009).
- [46] 张铨. 黄土高原地区煤矿土壤重金属污染调查研究及生态风险评价——以兰州红古煤矿为例 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2007.
- [47] 潘根兴, 冉炜. 中国大气酸沉降与土壤酸化问题 [J]. *热带亚热带土壤科学*, 1994(4): 243-252.
- [48] LAMBIN E F, MEYFROIDT P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118. DOI: [10.1016/j.landusepol.2009.09.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.003).
- [49] MÜLLER D, SUN Z, VONGVISOUK T, et al. Regime shifts limit the predictability of land-system change [J]. *Global Environmental*, 2014, 28(1): 75-83.
- [50] RAMANKUTTY N, COOMES O T. Land-use regime shifts: An analytical framework and agenda for future landuse research [J]. *Ecology and Society*, 2016, 21(2): 1. DOI: [10.5751/ES-08370-210201](https://doi.org/10.5751/ES-08370-210201).
- [51] MEYFROIDT P, LAMBIN E, ERB K H, et al. Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use [J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 438-444. DOI: [10.1016/j.cosust.2013.04.003](https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.04.003).
- [52] HARGRAVE J, KIS-KATOS K. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: A panel data analysis for the 2000s [J]. *Environ Resource Econ*, 2013, 4(54): 471-494.
- [53] NEPSTAD D, STICKLER C M, ALMEIDA O T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: Opportunities for Conservation [J]. *Conservation Biology*, 2006, 20(6): 1595-1603. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x).
- [54] LIU J G, HULL V, BATISTELLA M, et al. Framing sustainability in a telecoupled world [J]. *Ecology and Society*, 2013, 36(23): 7870-7885.
- [55] LAMBIN E F, TURNER B, GEIST H, et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths [J]. *Global Environmental Change*, 2001, 11(4): 261-269. DOI: [10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3).
- [56] SCHIERHORN F, MEYFROIDT P, KASTNER T, et al. The dynamics of beef trade between Brazil and Russia and their environmental implications [J]. *Global Food Security*, 2016, 11: 84-92. DOI: [10.1016/j.gfs.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.08.001).
- [57] LAMBIN E F, MEYFROIDT P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity [J]. *PNAs*, 2011, 108(9): 3465-3472. DOI: [10.1073/pnas.1100480108](https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108).
- [58] IPCC. Summary for policymakers. Climate change 2014: Synthesis report[R]. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2014.
- [59] POUNDS J A, BUSTAMANTE M R, COLOMA L, et al. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming [J]. *Nature*, 2006, 439(7073): 161-167. DOI: [10.1038/nature04246](https://doi.org/10.1038/nature04246).
- [60] POUNDS J, FOGDEN M, CAMPBELL J. Biological response to climate change on a tropical mountain [J]. *Nature*, 1999, 398(6728): 611-615. DOI: [10.1038/19297](https://doi.org/10.1038/19297).
- [61] SINERVO B, MENDEZ-DE-LA-CRUZ F, MILES D B, et al. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches [J]. *Science*, 2010, 328(5980): 894-899. DOI: [10.1126/science.1184695](https://doi.org/10.1126/science.1184695).
- [62] ALLEN C D. Climate-induced forest dieback: An escalating global phenomenon? [J]. *Unasylva*, 2009, 60(231): 43-49.
- [63] ALLEN C D, MACALADY A K, CHENCHOUNI H, et al. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(4): 660-684. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.09.001](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001).
- [64] CLARKE M L, RENDELL H M. Climate, Extreme Events and Land Degradation [M] // SIVAKUMAR M V K, NDIANG'UI N.

- Climate and Land Degradation. Heidelberg, Berlin: Springer, 2007.
- [65] HOOVER D L, DUNIWAY M C, BELNAP J. Testing the apparent resistance of three dominant plants to chronic drought on the Colorado Plateau [J]. *Journal of Ecology*, 2017, 105(1): 152-162. DOI: [10.1111/1365-2745.12647](https://doi.org/10.1111/1365-2745.12647).
- [66] LEWIS S L, BRANDO P M, PHILLIPS O, et al. The 2010 Amazon drought [J]. *Science*, 2011, 331: 554. DOI: [10.1126/science.1200807](https://doi.org/10.1126/science.1200807).
- [67] PHILLIPS O L, ARAGÃO L E O C, LEWIS S L, et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest [J]. *Science*, 2009, 323(5919): 1344-1347. DOI: [10.1126/science.1164033](https://doi.org/10.1126/science.1164033).
- [68] JARAMILLO J, MUCHUGU E, VEGA F E, et al. Some like it hot: The influence and implications of climate change on coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) and coffee production in East Africa [J]. *PLoS One*, 2011, 6(9): e24528. DOI: [10.1371/journal.pone.0024528](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024528).
- [69] BAI Z G, DENT D. Recent land degradation and improvement in China [J]. *Ambio*, 2009, 38(3): 150-6. DOI: [10.1579/0044-7447-38.3.150](https://doi.org/10.1579/0044-7447-38.3.150).
- [70] LIU M, DRIES L, HEIJMAN W, et al. Land tenure reform and grassland degradation in Inner Mongolia, China [J]. *China Economic Review*, 2019, 55: 181-198. DOI: [10.1016/j.chieco.2019.04.006](https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.04.006).
- [71] LI S Y, VERBURG P H, LV S H, et al. Spatial analysis of the driving factors of grassland degradation under conditions of climate change and intensive use in Inner Mongolia, China [J]. *Regional Environmental Change*, 2011, 12(3): 461-474.
- [72] BATUNACUN, RALF W, TOBIA L, et al. Identifying drivers of land degradation in Xilingol, China, between 1975 and 2015 [J]. *Land Use Policy*, 2019, 83: 543-559. DOI: [10.1016/j.landusepol.2019.02.013](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.013).
- [73] JIANG C, ZHANG H Y, WANG X C, et al. Challenging the land degradation in China's Loess Plateau: Benefits, limitations, sustainability, and adaptive strategies of soil and water conservation [J]. *Ecological Engineering*, 2019, 127: 135-150. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2018.11.018](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.018).
- [74] 李宪文, 张克锋, 张定祥, 等. 中国土地资源退化时空变化分析 [J]. *环境科学*, 2006(6): 1244-1251. DOI: [10.3321/j.issn:0250-3301.2006.06.040](https://doi.org/10.3321/j.issn:0250-3301.2006.06.040).
- [75] 朱守谦, 王德炉, 黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2003(3): 26-30. DOI: [10.3969/j.issn.1000-2006.2003.03.006](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-2006.2003.03.006).
- [76] 任海. 喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复研究综述 [J]. *热带地理*, 2005(3): 195-200. DOI: [10.3969/j.issn.1001-5221.2005.03.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-5221.2005.03.001).
- [77] ZHANG K, YU Z, LI X, et al. Land use change and land degradation in China from 1991 to 2001 [J]. *Land Degradation & Development*, 2007, 18(2): 209-219.

(责任编辑: 李万会)