

DOI: 10.5846/stxb201805231137

郭晓娜, 陈睿山, 李强, 苏维词, 刘敏, 潘真真. IPBES 专题评估中的土地退化过程、机制与影响. 生态学报, 2019, 39(17): - .

Guo X N, Chen R S, Li Q, Su W C, Liu M, Pan Z Z. Processes, Mechanisms, and Impacts of Land Degradation in the IPBES Thematic Assessment. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): - .

IPBES 专题评估中的土地退化过程、机制与影响

郭晓娜¹, 陈睿山¹, 李 强², 苏维词^{3,4}, 刘 敏¹, 潘真真⁵

¹ 华东师范大学地理科学学院, 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241

² 河南大学环境与规划学院, 开封 475001

³ 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 400047

⁴ 贵州科学院山地资源研究所, 贵阳 50001

⁵ 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079

摘要: 土地退化已成为威胁 32 亿人口福祉的全球性重大环境问题之一, 近年来受到 UN、IPBES、IPCC 等组织的广泛关注。然而, 当前的土地退化研究中, 还存在概念不清、过程和机理不明、影响认识不彻底等问题, 因此, 厘清土地退化的概念、过程和机制是防止土地退化和恢复退化土地的关键。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) 土地退化与恢复专题评估报告为基础, 剖析了土地退化的概念、过程、机制及影响: 土地退化过程受自然环境和人类活动两大因素驱动, 退化过程包括疑似退化、历史退化、敏感退化、弹性退化、持续退化和永久退化六种状态; 土地退化类型可根据土地利用类型分为城市土地退化、农田退化、森林与草地退化、湿地退化等; 土地退化具有多重影响, 包括威胁食物和水安全, 影响生物多样性及生态系统服务, 引发地区冲突、大规模人口迁徙和疾病传播, 加剧贫困及全球气候变化。土地退化过程、机制及影响的审视将为我国沙漠化、石漠化等土地退化的进一步研究提供理论指导, 并为我国“山水林田湖草”土地系统的统筹治理和“美丽中国”、“生态文明”建设提供决策支持。

关键词: 土地退化; IPBES; 过程; 机制; 影响

Processes, Mechanisms, and Impacts of Land Degradation in the IPBES Thematic Assessment

GUO Xiaona¹, CHEN Ruishan¹, LI Qiang², SU Weici^{3,4}, LIU Min¹, PAN Zhenzhen⁵

¹ Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education, School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China

² College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China

³ College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China

⁴ Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China

⁵ College of resources and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Land degradation has become one of the major environmental issues that threaten the well-being of the world's 3.2 billion people. In recent years, it has received extensive attention from the United Nations (UN), the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and so on. However, existing land degradation studies still suffer by unclear concepts, ambiguous processes and mechanisms, and incomplete understanding of impacts. Thus, clarifying the process and mechanism of land degradation is

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFC1503001); 国家自然科学基金项目 (4177011992); 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

收稿日期: 2018-05-23; **网络出版日期:** 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chenrsh04@gmail.com

the key to preventing further land degradation and restoring degraded land. Based on the thematic assessment of the IPBES, the present study reviewed the concept, process, mechanisms as well as impacts of land degradation. The process of land degradation is driven by two factors: the natural environment and anthropogenic activities. In land degradation process, there are six land degradation states; namely, the appearance of degradation, degraded in the past, susceptible to degradation, land recovers when stressors are removed, temporal trend of increase in degradation, and stable degraded state. Land degradation can be divided into urban land degradation, cropland degradation, forest and grassland degradation, wetland degradation, and other types of land degradation based on land use types. Land degradation can threaten food and water security, reduce biodiversity and ecosystem services, trigger regional conflicts, mass migration, and disease transmission, exacerbate poverty and global climate change. The review of the land degradation process, mechanism, and impacts will provide theoretical guidance for in-depth study of land degradation, such as desertification and rocky desertification in China, and provide decision support for overall planning of governance of the mountain, water, forest, cropland, lake, and grass systems, supporting the construction of a Beautiful China and Eco-civilization.

Key Words: land degradation; IPBES; processes; mechanisms; impacts

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影响到 32 亿人的福祉,使地球出现第六次物种大灭绝,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]。退化正发生在所有国家、土地覆盖/利用及景观类型,当前全球多达 15 亿人居住并依赖于退化的土地^[3],全球 80% 农业用地、10%—20% 牧场、87% 湿地正遭受严重退化^[4-6]。尽管土地退化总的人类成本难以估计,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)提出到 2030 年实现土地退化零增长目标(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、扭转及恢复土地退化,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)”将土地退化作为生物多样性减少的主要威胁予以应对;《波恩挑战》提出到 2020 年恢复 1.5 亿公顷退化土地和森林^[9]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)也于 2017 年启动了关于气候变化与土地退化评估的特别报告撰写工作,主要关注气候变化、沙漠化、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。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 5000 万至 7 亿人被迫迁移^[11],严重威胁粮食安全及世界稳定。

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,已引起诸多学者的关注,国家也高度重视退化土地的恢复和生态重建^[12-15]。然而,关于土地退化定义、机制、过程及影响,学术界尚无统一定论。基于此,本文以 IPBES“土地退化与恢复”专题评估报告为基础,考察了 IPBES 关于全球土地退化状态、过程、机制及对人类福祉、生态系统和气候变化影响的报告,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报告,由来自 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、生计、粮食安全、自然贡献和人类福祉等领域。土地退化过程、机制和影响的全面阐述为深入了解土地退化及生物多样性、生态系统功能的变化创造了条件,为监测、遏制、扭转土地退化提供了理论基础,对可持续管理土

地,保护生物多样性、生态服务功能及自然对人类馈赠有重大意义。

1 土地退化与转变的概念厘定

1971 年联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 提出了“土地退化”的概念,并区分了侵蚀、盐碱化、土壤污染等多种土地退化类型^[16];然而,土地退化的定义却存在诸多争议,在一些情况下将土地退化和土壤退化等同,甚至关于土地退化前的状态,或土地退化基准的确定也十分困难^[17-18]。IPBES 提出,土地退化是引起生物多样性、生态系统功能及服务减少或损失的多种过程,包括所有陆地生态系统的退化,也包括相关水生态系统的退化^[2]。

目前,全球仅有少量陆地未受人类影响,不同类型、程度的土地转变和退化对生物多样性和生态系统功能产生了不利影响^[19]。土地退化可在两种情况下发生,一是在土地覆盖种类或用途未改变的情况下,因生物多样性、生态系统功能或服务丧失而发生;二是通过转变成衍生类生态系统发生,例如把天然土地覆盖变成建设用地以获得经济和社会效益,但通常会丧失生物多样性和某些次要的生态系统功能和服务。土地转变属于后者,即人类有意把天然覆盖转变成生产性用地(如牧场、耕地)而造成的生境丧失和剩余生境可持续性的降低,从而对生物多样性和生态系统服务产生不利影响。土地退化与土地转变既有区别又有联系(图 1),表面上二者都是土地退化,土地退化可能是自然退化也可能是人为退化,土地转变是人为土地退化。实质上,土地退化是土地生产力的丧失,土地转变仅是土地种类和用途发生了变化,生产力并未完全丧失。转变后的土地也可能出现退化,已退化的土地也可以转变成另一种功能用地,两者都可通过部分或完全恢复回到自然土地状态。

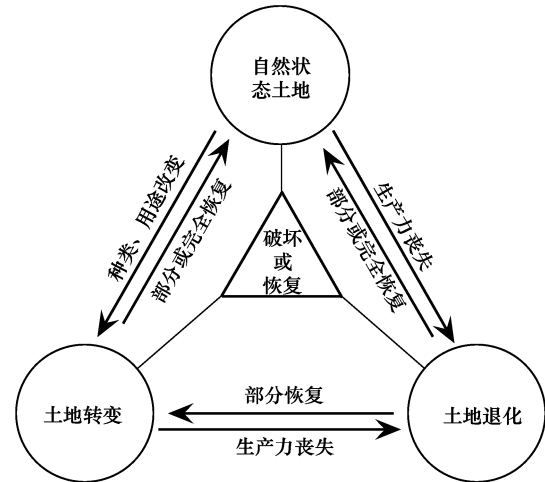


图 1 土地退化与土地转变

Fig.1 Land degradation and land transformation

2 土地退化过程

2.1 土地退化的机制

土地退化是自然环境压力和人类活动压力相互作用的结果,两大压力相互驱动造成不同的土地退化过程(图 2)。土地退化机制的理解得益于生态系统临界转型^[20]和地球系统安全运行边界^[21-22]的研究。图 2 中垂直维度表示生态系统服务的水平,垂直维度上的值越高,生态系统服务的层次和等级就越高。顶部两边表示自然环境压力(左)和人类活动压力(右)。从过程 1 到 2 表示人类活动压力逐渐增加,从过程 3 到 4 表示自然环境压力的增加。两大压力的变化导致生态系统服务(土地退化)的动态变化,在临界阈值内的变化范围称为弹性区,也是土地未永久退化前的可恢复区。当自然环境压力可忽略不计(原始环境状态)时,生态系统服务(土地退化)在大多人类活动压力强度下可表现出一定的弹性。随着自然环境压力的增加,生态系统服务降

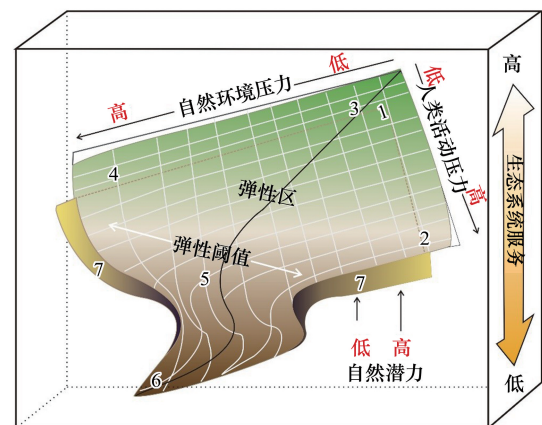


图 2 退化过程与人类活动、自然环境压力的潜在贡献^[2]

Fig.2 Process of degradation and the potential contributions of anthropogenic and natural environmental stresses^[2]

低,土地退化加剧。如果不采取强有力的补救措施,退化一旦超越弹性临界值(亦即安全运行边界,数字5),就会处于永久退化状态(数字6)。数字7表示提供的生态系统服务较低,具有上表面的所有特征,包括弹性退化和永久退化的可能性。无论是单一的人类活动压力还是自然环境压力都不会造成土地永久退化,但是两者相互作用时会产生强大合力,对生态系统服务(土地退化)造成不可挽回的灾难性损失。

2.2 土地退化的状态

土地退化过程有六种退化状态:疑似退化、历史退化、敏感退化、弹性退化、持续退化、永久退化^[23](表1)。疑似退化与敏感退化表面上看似退化,但实质上仍处于未退化状态,二者的差异在制定恢复计划时很难分清。退化实际上是计算土地提供生态系统服务潜力的差异,而不是退化的潜力^[24]。历史退化是可能已持续了较长时间,然而却被误认为尚未发生退化。持续退化和永久退化是唯一完全符合IPBES定义的退化状态^[25],即使压力源消除,若无人类恢复措施两者皆不能恢复到最初未退化状态。未达到阈值的退化通常不是静态的,而是随着压力的改变而动态变化的,且不会超过临界阈值。完全的静态退化,即永久退化,在一定程度上也会发生,如严重盐碱化的农田。弹性退化引起诸多研究者的关注,因为当外界压力减小时,它有可能自然恢复。持续退化和永久退化也存在恢复的可能性,但若恢复到最初状态则需要投入巨大的人力和资金。例如,20世纪30年代初,美国南部的大平原上约有2000万公顷的土地被沙尘吞没^[26-28],美国政府投资大约170亿美元并成立自然保护协会(Nature Conservancy)以恢复退化土地。但永久退化恢复率很低,且容易再次退化^[29],甚至可能在长达一个世纪的尺度上仍呈退化状态。

表1 土地退化过程中的六种状态^[23]
Table 1 Six states of land degradation^[23]

退化状态 Degradation state	内容描述 Description of content
疑似退化 Appearance of degradation	自然状态下资源利用率低的土地,表面上类似于退化土地 ^[24,30-31]
历史退化 Degraded in the past	假设处于自然状态,但实际上已经退化,缺少判定基线 ^[32]
敏感退化 Susceptible to degradation	由于其自然属性和外界环境而易受影响的土地,尚未实际退化 ^[33-34]
弹性退化 Land recovers when stressors removed	土地已退化,但在弹性范围之内。当压力源消失时,土地恢复到最初的非退化状态 ^[35-36]
持续退化 Temporal trend of increase in degradation	当压力源消除时退化依然存在且有持续退化的趋势 ^[37]
永久退化 Stable, degraded state	当压力源消除时变化不大,且难以恢复到最初状态 ^[38-39]

2.3 土地退化的类型

土地退化类型可根据土地利用类型分为城市土地退化、农田退化、森林与草地退化、湿地退化等,不同类型对应的过程及响应不同(表2)。城市土地退化是由资源的开采及商品化,废物的产生及不合理处置,土地分配中的冲突引起的城市土地废弃^[40]。科学的城市土地利用分类,合理的空间规划可减缓城市土地退化。农田退化则是人类不合理耕种,包括粗放经营、大肆使用农药化肥等造成的土地生产力下降,休耕轮作、精耕细作、发展生态农业等是农田可持续利用的有效途径。森林退化是森林砍伐造成的森林覆盖率降低,由于森林生态环境价值高且分布面广,需通过国家政策和项目进行森林保护,如森林编码、退耕还林、减少毁林和森林退化及其引起的碳排放等(简称REDD+)。草地退化则是载畜量超出草地承载力而引起的草地覆盖率下降,可通过退耕还草、降低载畜率和划区轮牧等遏制其退化。围垦湿地、填海造陆等造成湿地减少进而导致湿地退化,需综合海岸带及流域管理才能实现湿地保护。

3 地退化的影响

粮食、能源、水和各种谋生手段,生态系统服务功能及生物多样性全部或部分源于自然,并受到土地退化的影响,土地退化影响全球40%的人口福祉、生态系统服务、生物多样性及气候变化(图3)。

表 2 全球土地退化类型、过程及响应

退化类型 Degradation types	退化过程 Degradation processes	响应 Responses
城市土地退化 Urban land degradation	城市土地废弃	城市土地利用分类,空间规划
农田退化 Cropland degradation	土地生产力下降	休耕轮作,加大农业投入,精耕细作,生态农业
森林与草地退化 Forest and grassland degradation	森林覆盖率下降	国家政策和项目,如森林编码、REDD+、退耕还林
	草地覆盖率下降	退耕还草、降低载畜率、划区轮牧
湿地退化 Wetland degradation	湿地减少	综合海岸带管理,综合流域管理,拉姆萨尔公约
.....		

3.1 对人类福祉的影响

3.1.1 贫困和生计

贫困人口不同程度地依赖农业和畜牧业维持生计,而土地退化限制了这些生存方式。2003 年,世界 1/4 的贫困人口生活在敏感退化土地上^[41],土地退化限制了农业潜力,进而限制了生活在退化土地上的人口生计能力。2006—2015 年加纳因土地退化造成的农业损失高达 42 亿美元,国家贫困率提高了 5.4%^[42]。世界上约 10 亿最贫困人口主要依赖畜牧业生存^[43],土地退化通过降低畜牧业生产力加剧了贫困。此外,土地退化对自然生态系统产生不利影响,从而限制了非耕种产品的提取,即所谓的环境收入。环境收入受限,低收入人群等脆弱群体的生计受到威胁,贫困程度加深^[44-48]。

3.1.2 食物安全

零饥饿是联合国第二大可持续发展目标,即 2030 年结束所有形式的饥饿^[49]。然而,目前全球仍有 7.95 亿人缺乏足够食物,土地退化更加剧了粮食危机。土地退化通过直接影响粮食安全和人体健康进而威胁农村人口、儿童和妇女的福祉^[50-53]。土地退化以水土流失、土地肥力下降、盐碱化和其他严重影响粮食生产和分配的形式起作用,威胁世界粮食安全^[54-61]。目前全球 40% 的农业土地退化致使作物产量大幅下降,其中 9% 土地不能再困难用于作物生产^[55]。在气候或市场等相关要素发生变化的情况下(如作物歉收)森林可以在一定程度上帮助家庭填补季节性和其他周期性的粮食缺口^[62]。但森林砍伐、原生植被破坏、动植物栖息地丧失以及不可持续的农田与牧场管理,特别是集约化农业模式,造成了水、土资源退化,成为威胁粮食安全的重要因素^[56,58,63]。

3.1.3 人类健康

土地退化过程与疾病传播过程、生态系统服务功能丧失过程相互作用影响人类健康。传染病传播既是一种生态过程,也是一种社会过程。病原体可从野生动物保虫宿主直接传播给人类,也可从野生动物经家畜或驯养动物间接传播^[64]。新出现的病原体以各种方式,如土地利用、农业生产、人与动物接触等对人类健康产生难以预测的影响^[65]。土地退化往往通过扰乱环境和释放病原体,从而影响人类健康。自然土地变成耕地和居民点,使人类接触到新的病原体,从而增加患新疾病的风险。在发展中国家,由于贫困和社会不平等使疾病控制更加困难,并常与土地利用变化和环境退化相互作用^[66]。土地退化使人类接触被污染的空气、水和土地的几率增加,严重威胁人类健康,而发展中国家死于污染的人数是发达国家的 20 多倍^[67]。此外,土地退化通过降低人类的心理平衡、注意力等损害心理健康。

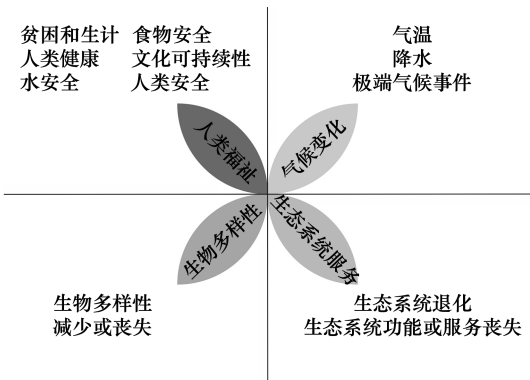


图 3 土地退化的影响

Fig.3 The impacts of land degradation

3.1.4 人类安全(冲突和迁徙)

土地退化导致土地生产力下降或原定居点不再适宜居住,迫使人类迁移或引发社会动乱。气候变化可导致大规模人口迁移,其中大部分迁移是由气候引发的土地退化造成的^[68]。如,有学者预言因海岸侵蚀孟加拉国可能会迁移 3—10 万人^[69]。土地退化是国内生产总值减少的重要原因,而国内生产总值每减少 5%,暴力冲突发生的可能性就增加 12%^[70]。移徙者可能会与迁入地区的居民发生冲突,特别是迁入地资源已全部消耗或退化时。及时采取行动遏制和扭转土地退化以保障粮食供应,降低冲突和人口移徙的可能性,对生活在干旱地区的 40 亿人(2050 年预测)尤其重要。

3.1.5 水安全

淡水生态系统(如河流、湖泊)可提供优质水源,是人类生存和福祉的核心^[71-72]。自然植被覆盖与植被多样性的减少,影响水循环的各环节从而改变水资源分配。土地退化和水循环之间的紧密联系,农田和城市土地退化与气候变化、人口增长、盐碱化、化学污染等因素相互作用影响水量和水质。目前,全球约 80% 人口生活在水安全和生物多样性易受威胁的地区^[73]。联合国水资源和世界卫生组织报告指出,全球有 7.83 亿人使用未经改良的水源^[74-75],18 亿人接触到被粪便污染的饮用水。水土固有联系紧密,减缓并遏制土地退化以保障水安全刻不容缓。

3.1.6 文化可持续性

文化与其所依赖的自然环境关系密切,在某些情况下,土地退化可能导致传统文化的重大损失。文化多样性和生物多样性之间存在强烈的共生关系^[76],土地退化通过改变生物多样性进而影响文化多样性。如,2000—2009 年玻利维亚某地生态环境退化导致当地特有生物物种的消失,降低了当地居民对传统植物的认知水平^[77]。土地退化还可导致当地人丧失地方感及与土地的精神联系,如圣地的遗弃和礼仪的淡化。

3.2 对生态系统服务的影响

土地退化通过各种方式造成生态系统退化,生态系统服务或功能的丧失。密集生产产生的各种废弃物可造成空气污染和水污染,进一步导致水生态系统退化。土地退化和由此导致的淡水质量下降阻碍了人类社会的发展,并威胁到淡水生物多样性和生态系统服务^[71,73,78-79]。在全球许多地方,土地退化造成的生态系统服务缺失已达到危急程度,人类现有的文明与技术可能无法应对由土地退化带来的灾难。

3.3 对生物多样性的影响

土地退化导致生境破碎或减少,从而造成生物多样性的减少或丧失。迄今为止,造成生物多样性丧失的最主要因素是农业(作物、肉类和奶制品生产),其次是林业、基础设施建设、城市扩张和气候变化。预计 2010—2050 年,气候变化、农作物耕种和基础设施建设将成为生物多样性丧失的主要因素,且增幅最大^[8]。全球许多牧场牲畜放养数量已经达到或超过土地最大载畜能力,加之土地退化和牧场减少,造成动植物数量不断减少。

3.4 对气候变化的影响

土地退化也会影响气候变化。不同的土地退化类型和过程导致区域性温度和降水的变化,或引发极端气候事件,甚至可通过影响全球温室气体的排放和吸收进而影响全球气候变化。

森林和草地退化减弱了绿色植被的光合作用,减少了绿色植被对大气中 CO₂ 和 CH₄ 的吸收,致使温室气体增加,加快了全球变暖的步伐。据全球碳项目(Global Carbon Project, GCP)估计,全球陆地植被在 2005—2015 年期间形成净碳汇(即由土地利用变化引起的 CO₂ 净排放量低于自然植被吸收的 CO₂ 量)^[80];由土地退化引起的地表植被覆盖的减少还会影响自然界的水循环,引发极端气象灾害。如在中国西北荒漠化地区,由于人类不合理的生产和生活活动导致地表裸露,植被的蒸腾作用减弱,输送到大气中的水汽减少,降水减弱,加剧了干旱。湖泊湿地的减少一方面使得径流减少,湿地涵养水源能力下降,另一方面,减少了对温室气体的吸收,削弱了湿地碳汇功能。城市地区对土地的高强度开发利用,改变了城市下垫面状况,形成了局地小气候,如“热岛效应”和“雨岛效应”等。

4 结论与讨论

土地退化过程是自然环境和人类活动两大压力驱动的过程,其最终状态取决于二者大小。土地退化过程存在弹性阈值,在阈值范围内的土地退化可恢复,大于阈值可能永久退化,需要极高的人类投入才能恢复。土地退化过程存在六大状态:疑似退化、历史退化、敏感退化、弹性退化、持续退化、永久退化。土地退化是动态变化的,某地土地退化可能只属于其中一个状态,但随着人类活动加剧及自然环境恶化,可能连续经历好几个状态。土地退化类型可分为城市土地退化、农田退化、森林与草地退化、湿地退化等,不同退化类型对应的退化过程及响应不同。土地退化是全球性生态环境问题,对人类福祉、生态系统、生物多样性及气候变化产生不可逆的影响。

土地退化的含义一直存在争议,所有陆生和水生生态系统平衡遭到破坏且短时间内难以恢复都可称为土地退化。但土地转变,如由林地转化为农田,是以另一种方式向人类提供产品和服务,归于土地退化存在争议。如何统一定义对土地退化相关研究的开展尤其是恢复退化土地至关重要。退化土地的恢复与土地退化前基准状态的确定关系非常密切。土地退化过程存在阈值,阈值具有不确定性和情景依赖性,即阈值取决于退化类型,不同退化类型的阈值不同,如森林和牧场退化阈值不同,如何确定阈值且发现其早期预警信号是难点。土地退化影响全球各地(除南极洲外),是世界性重大生态环境问题。如何减缓、遏制土地退化的不利影响,将其控制在可持续发展范围内,并找出高效恢复对策十分重要。土地退化过程复杂,影响广泛,需要深化和扩大跨学科研究,同时加强国际合作。地球水陆系统、气候和人类社会之间的固有相互关系意味着解决土地退化和恢复退化土地的益处会成倍增加,有利于全球可持续发展。

当前全球人口仍然在持续增加,发展中国家城市化仍在加快推进,对土地系统构成重要威胁,而气候变化则加剧了土地退化的风险。实现全球可持续发展的目标,需要在各个尺度上分析土地退化的状态及未来多种驱动力情景下的退化或恢复过程,进而在政策层面进行长远期规划,提出相应的对策。

参考文献(References):

- [1] Le Q B, Nkonya E, Mirzabaev A. Biomass productivity-based mapping of global land degradation hotspots//Nkonya E, Mirzabaev A, von Braun J, eds. *Economics of Land Degradation and Improvement-A Global Assessment for Sustainable Development*. Cham: Springer, 2016: 55-84.
- [2] IPBES. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella L, Scholes R, Brainich A. (eds.). Bonn, Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2018.
- [3] United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). *Sustainable Financing for Forest and Landscape Restoration*. Rome: UNCCD, 2015.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute, 2005.
- [5] Gibbs H K, Salmon J M. Mapping the world's degraded lands. *Applied Geography*, 2015, 57: 12-21.
- [6] Davidson N C. How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research*, 2014, 65(10): 934-941.
- [7] UN-FAO. LADA: assessing the status, causes and impact of land degradation. Rome, Italy: FAO, 2009.
- [8] Van der Esch S, ten Brink B, Stehfest E, Bakkenes M, Sewell A, Bouwman A, Meijer J, Westhoek H, van den Berg M. *Exploring Future Changes in Land Use and Land Condition and the Impacts on Food, Water, Climate Change and Biodiversity: Scenarios for the Global Land Outlook*. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2017.
- [9] Bonn Challenge. [2018-03-30]. <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). Bonn: UNCCD, 2012.
- [11] Warner K, Erhart C, Sherbinin A, de Adamo S. *In Search of Shelter: Mapping the Effects of Climate Change on Human Migration and Displacement*. New York: Columbia University, 2009.
- [12] 蔡运龙, 蒙古军. 退化土地的生态重建: 社会工程途径. *地理科学*, 1999, 19(3): 198-204.
- [13] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. *生态学报*, 2000, 20(1): 13-19.

- [14] 王涛. 荒漠化治理中生态系统、社会经济系统协调发展问题探析——以中国北方半干旱荒漠区沙漠化防治为例. 生态学报, 2016, 36(22): 7045-7048.
- [15] 贾晓红, 吴波, 余新晓, 蒋德明, 白永飞, 哈斯, 李晓松, 庞营军. 京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术与示范. 生态学报, 2016, 36(22): 7040-7044.
- [16] Rauschkolb R S. Land Degradation. Rome: Soils Bulletin, Food and Agriculture Organization, 1971: 105.
- [17] 赵其国. 我国红壤的退化问题. 土壤, 1995, 27(6): 281-285.
- [18] 赵中秋, 后立胜, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨. 地学前缘, 2006, 13(3): 185-189.
- [19] Hooke R L, Martín-Duque J F, Pedraza J. Land transformation by humans: A review. GSA Today, 2012, 22(12): 4-10.
- [20] Scheffer M, Carpenter S, Foley J A, Folke C, Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 2001, 413(6856): 591-596.
- [21] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin III F S, Lambin E F, Lenton T M, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber H J, Nykvist B, De Wit C A, Hughes T, Van Der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder P K, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell R W, Fabry V J, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J A. A safe operating space for humanity. Nature, 2009, 461(7263): 472-475.
- [22] Scheffer M, Barrett S, Carpenter S R, Folke C, Green A J, Holmgren M, Hughes T P, Kosten S, van de Leemput I A, Nepstad D C, van Nes E H, Peeters E T H M, Walker B. Creating a safe operating space for iconic ecosystems. Science, 2015, 347(6228): 1317-1319.
- [23] Prince S D. Where does desertification occur? Mapping dryland degradation at regional to global scales//Behnke R, Mortimore M, eds. The End of Desertification? Berlin: Springer, 2016: 225-263.
- [24] Vågen T G, Lal R, Singh B R. Soil carbon sequestration in sub-Saharan Africa: a review. Land Degradation & Development, 2005, 16(1): 53-71.
- [25] IPBES. Scoping for A Thematic Assessment of Land Degradation and Restoration. Bonn, Germany, 2015.
- [26] Baveye P C, Rangel D, Jacobson A R, Laba M, Darnault C, Otten W, Radulovich R, Camargo F A O. From dust bowl to dust bowl: soils are still very much a frontier of science. Soil Science Society of America Journal, 2011, 75(6): 2037-2048.
- [27] Hurt R D. Federal land reclamation in the dust bowl. Great Plains Quarterly, 1986, 6(2): 94-106.
- [28] 中国天气网. 1935 年“黑色星期天”--美国南部大平原之殇. (2012-04-24) [2018-03-18]. http://www.weather.com.cn/zt/kpzt/1628029.shtml?_ylc.
- [29] Romm J. The next dust bowl. Nature, 2011, 478(7370): 450-451.
- [30] Castro J M, Salomone J M, Reichart R N. Estudio de los focos de erosión en el SO de la Provincia de Chubut. Informe Técnico. Trelew, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1980.
- [31] Safriel U. Deserts and desertification: challenges but also opportunities. Land Degradation & Development, 2009, 20(4): 353-366.
- [32] Gritzner J A. Environmental Degradation in Mauritania. Washington D C: National Academy Press, 1981.
- [33] Kolios S, Mitrakos S, Stylios C. Detection of areas susceptible to land degradation in Cyprus using remote sensed data and environmental quality indices. Land Degradation and Development. 2018, 29: 2338-2350.
- [34] Nash D J, Middleton N, Thomas D S G. World atlas of desertification. Geographical Journal, 1999, 165(3): 325.
- [35] Olsson L, Eklundh L, Ardö J. A recent greening of the Sahel-trends, patterns and potential causes. Journal of Arid Environments, 2005, 63(3): 556-566.
- [36] Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. Science, 1991, 253(5017): 299-300.
- [37] Wessels K J, Prince S D, Carroll M, Malherbe J. Relevance of rangeland degradation in semiarid northeastern South Africa to the nonequilibrium theory. Ecological Applications, 2007, 17(3): 815-827.
- [38] Milton S J, Dean W R J, du Plessis M A, Siegfried W R. A conceptual model of arid rangeland degradation. BioScience, 1994, 44(2): 70-76.
- [39] UNCCD. Global Land Outlook. [2018-03-14]. <http://knowledge.unccd.int/knowledge-products-and-pillars/access-capacity-policy-support-technology-tools/global-land-outlook>.
- [40] Genske D D. Urban Land: Degradation-Investigation-Remediation. Berlin: Springer, 2003: 3-8.
- [41] World Bank. World Development Report 2003: Sustainable Development in a Dynamic World Transforming Institutions, Growth, and Quality of Life. Washington D C: The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, 2003.
- [42] Diao X S, Sarpom D B. Poverty implications of agricultural land degradation in Ghana: An economy-wide, multimarket model assessment. African Development Review, 2011, 23(3): 263-275.
- [43] Rojas-Downing M M, Nejadhashemi A P, Harrigan T, Woznicki S A. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. Climate Risk Management, 2017, 16: 145-163.

- [44] Angelsen A, Jagger P, Babigumira R, Belcher B, Hogarth N J, Bauch S, Börner J, Smith-Hall C, Wunder S. Environmental income and rural livelihoods: a global-comparative analysis. *World Development*, 2014, 64(S1): S12-S28.
- [45] Chhetri B B K, Larsen H O, Smith-Hall C. Environmental resources reduce income inequality and the prevalence, depth and severity of poverty in rural Nepal. *Environment, Development and Sustainability*, 2015, 17(3): 513-530.
- [46] Jagger P. Environmental income, rural livelihoods, and income inequality in western Uganda. *Forests, Trees and Livelihoods*, 2012, 21(2): 70-84.
- [47] Pouliot M, Treue T, Obiri B D, Ouedraogo B. Deforestation and the limited contribution of forests to rural livelihoods in West Africa: Evidence from Burkina Faso and Ghana. *AMBIO*, 2012, 41(7): 738-750.
- [48] Vedeld P, Angelsen A, Bojö J, Sjaastad E, Kobugabe Berg G. Forest environmental incomes and the rural poor. *Forest Policy and Economics*, 2007, 9(7): 869-879.
- [49] United Nations. The Sustainable Development Goals Report 2016. New York: United Nations, 2016.
- [50] Rogge M E. Children, poverty and environmental degradation: protecting current and future generations. *Social Development Issues*, 2000, 22(2/3): 46-53.
- [51] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [52] Asian Development Bank. *Gender Equality and Food Security-Women's Empowerment as a Tool against Hunger*. Mandaluyong: Asian Development Bank, 2013.
- [53] FAO. *Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the Context of National Food Security*. Rome: FAO, 2012.
- [54] Bindraban P S, van der Velde M, Ye L M, van den Berg M, Materechera S, Kiba D I, Tamene L, Ragnarsdóttir K V, Jongschaap R, Hoogmoed M, Hoogmoed W, van Beek C, van Lynden G. Assessing the impact of soil degradation on food production. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2012, 4(5): 478-488.
- [55] Bossio D, Geheb K, Critchley W. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 536-542.
- [56] Foley J A, Ramankutty N, Brauman K A, Cassidy E S, Gerber J S, Johnston M, Mueller N D, O'Connell C, Ray D K, West P C, Balzer C, Bennett E M, Carpenter S R, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockström J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks D P M. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 2011, 478(7369): 337-342.
- [57] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Pretty J, Robinson S, Thomas S M, Toulmin C, Toulmin C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818.
- [58] Nkonya E, Anderson W, Kato E, Koo J, Mirzabaev A, von Braun J, Meyer S. Global Cost of Land Degradation//Nkonya E, Mirzabaev A, von Braun J, eds. *Economics of Land Degradation and Improvement—A global Assessment for Sustainable Development*. Cham: Springer, 2016: 117-165.
- [59] Ortiz R, Nowak A, Lavado A, Parker L. Food Security in Amazonia. Report for Global Canopy Programme and International Center for Tropical Agriculture as part of the Amazonia Security Agenda Project. Oxford: Global Canopy Program, 2013.
- [60] Tschamtké T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 2012, 151(1): 53-59.
- [61] Vira B, Wildburger C, Mansourian S. *Forests, Trees and Landscapes for Food Security and Nutrition: A Global Assessment Report*. Vienna: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), 2015.
- [62] Arnold M, Powell B, Shanley P, Sunderland T C H. EDITORIAL: Forests, biodiversity and food security. *International Forestry Review*, 2011, 13(3): 259-264.
- [63] Mirzabaev A, Goedecke J, Dubovyk O, Djanibekov U, Le Q B, Aw-Hassan A. Economics of land degradation in central Asia//Nkonya E, Mirzabaev A, von Braun J, eds. *Economics of Land Degradation and Improvement-A Global Assessment for Sustainable Development*. Cham: Springer, 2016: 261-290.
- [64] Johnson C K, Hitchens P L, Evans T S, Goldstein T, Thomas K, Clements A, Joly D O, Wolfe N D, Daszak P, Karesh W B, Mazet J K. Spillover and pandemic properties of zoonotic viruses with high host plasticity. *Scientific Reports*, 2015, 5: 14830.
- [65] Wilcox B A, Colwell R R. Emerging and reemerging infectious diseases: biocomplexity as an interdisciplinary paradigm. *EcoHealth*, 2005, 2(4): 244-257.
- [66] Myers S S, Gaffikin L, Golden C D, Ostfeld R S, Redford K H, Ricketts T H, Turner W R, Osofsky S A. Human health impacts of ecosystem alteration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(47): 18753-18760.
- [67] Prüss-Ustün A, Bonjour S, Corvalán C. The impact of the environment on health by country: a meta-synthesis. *Environmental Health*, 2008, 7: 7.

- [68] 余庆年, 施国庆. 环境、气候变化和人口迁移. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(7): 42-47.
- [69] Hassani-Mahmoodei B, Parris B W. Climate change and internal migration patterns in Bangladesh: An agent-based model. Environment and Development Economics, 2012, 17(6): 763-780.
- [70] Miguel E, Satyanath S, Sergenti E. Economic shocks and civil conflict: An instrumental variables approach. Journal of Political Economy, 2004, 112(4): 725-753.
- [71] Gleick P H. The World's Water. Volume 8: the Biennial Report on Freshwater Resources. Washington D C: Island Press, 2014.
- [72] Postel S L, Thompson Jr B H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. Natural Resources Forum, 2005, 29(2): 98-108.
- [73] Vörösmarty C J, McIntyre P B, Gessner M O, Dudgeon D, Prusevich A, Green P, Glidden S, Bunn S E, Sullivan C A, Reidy Liermann C, Davies P M. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 2010, 467(7315): 555-561.
- [74] UN-WATER. Water Security & the Global Water Agenda-A UN-Water Analytical Brief. Canada: United Nations University, 2013.
- [75] WHO, UNICEF. Progress on Drinking Water and Sanitation-2014 Update. Switzerland: World Health Organization, 2014.
- [76] Gorenflo L J, Romaine S, Mittermeier R A, Walker-Painemilla K. Co-occurrence of linguistic and biological diversity in biodiversity hotspots and high biodiversity wilderness areas. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(21): 8032-8037.
- [77] Reyes-García V, Guèze M, Luz A C, Paneque-Gálvez J, Macía M J, Orta-Martínez M, Pino J, Rubio-Campillo X. Evidence of traditional knowledge loss among a contemporary indigenous society. Evolution and Human Behavior, 2013, 34(4): 249-257.
- [78] Scholes M C, Scholes R J. Dust unto dust. Science, 2013, 342(6158): 565-566.
- [79] Zedler J B. Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. Frontiers in Ecology and the Environment, 2003, 1(2): 65-72.
- [80] Le Quéré C, Moriarty R, Andrew R M, Canadell J G, Sitch S, Korsbakken J I, Friedlingstein P, Peters G P, Andres R J, Boden T A, Houghton R A, House J I, Keeling R F, Tans P, Arneeth A, Bakker D C E, Barbero L, Bopp L, Chang J, Chevallier F, Chini L P, Ciais P, Fader M, Feely R A, Gkritzalis T, Harris I, Hauck J, Ilyina T, Jain A K, Kato E, Kitidis V, Klein Goldewijk K, Koven C, Landschützer P, Lauvset S K, Lefèvre N, Lenton A, Lima I D, Metzl N, Millero F, Munro D R, Munro D R, Nabel J E M S, Munro D R, Nojiri Y, O'Brien K, Olsen A, Ono T, Pérez F F, Pfeil B, Pierrot D, Poulter B, Poulter B, Rödenbeck C, Saito S, Schuster U, Schwinger J, Séférian R, Steinhoff T, Stocker B D, Sutton A J, Takahashi T, Tilbrook B, van der Laan-Luijkx I T, van der Werf G R, van Heuven S, Vandemark D, Viovy N, Wiltshire A, Zaehle S, Zeng N. Global carbon budget 2015. Earth System Science Data, 2015, 7: 349-396.