

引用格式:甄霖,胡云锋,魏云洁,等.典型脆弱生态区生态退化趋势与治理技术需求分析[J].资源科学,2019,41(1):63-74.  
[Zhen L, Hu Y F, Wei Y J, et al. Trend of ecological degradation and restoration technology requirement in typical ecological vulnerable regions[J]. Resources Science, 2019, 41(1):63-74.] DOI :10.18402/resci.2019.01.07

# 典型脆弱生态区生态退化趋势与治理技术需求分析

甄霖<sup>1,2</sup>,胡云锋<sup>1,2</sup>,魏云洁<sup>1,2</sup>,罗琦<sup>1,2</sup>,韩月琪<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;

2.中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049)

**摘要:**近百年来,全球典型脆弱生态区生态退化日趋严峻,针对这一问题,国内外在生态治理和修复方面做出了巨大努力,积累了数量众多的生态技术,对遏制和缓解生态退化起到了关键性的作用。然而,生态技术常常由于缺乏对具体治理需求的考量而影响了其效果的发挥。本文旨在刻画全球典型生态脆弱区生态退化趋势的基础上,基于利益相关者问卷调查和权威国际组织评估报告,梳理和分析针对主要退化问题和区域的生态技术需求。分析表明,脆弱生态区生态退化主要表现为水土流失、荒漠化、石漠化与生态系统退化,2000—2014年间,全球和中国大部分退化区退化趋势出现持衡或逆转,但仍然有约22%(全球)和11%(中国)的退化区退化程度加重。在不同的退化区,生态技术需求的类型和数量各具特点,主要表现为对复合技术或技术模式需求的增加。生态技术的甄选和应用应当针对具体的退化问题、退化阶段和机理、以及当地的社会经济和政策体制,因此,技术需求评估是选择适宜的治理技术的重要方面,有助于找出技术的输出和引进的区域,促进中国生态文明建设。

**关键词:**生态退化;技术需求;脆弱生态区

DOI :10.18402/resci.2019.01.07

## 1 引言

近百年来,生态退化问题在全球范围内十分严峻。根据联合国千年生态系统服务评估报告,全球约60%的生态系统处于退化与不可持续状态<sup>[1]</sup>,联合国防治荒漠化公约在2018年世界防治荒漠化和干旱日发布的评估报告中警告,至2050年,土地退化将给全球带来23万亿美元的经济损失,但如果采取紧急行动,投入4.6万亿美元就可以挽回大部分损失;国别概况报告显示,亚洲和非洲因土地退化遭受的损失为全球最高,每年分别达840亿美元和650亿美元。在中国,中度以上生态脆弱区面积约占陆地总面积的55%,荒漠化、水土流失、石漠化等主要集中在西北和西南地区,占国土面积的22%左右<sup>[2]</sup>。第五次《全国荒漠化和沙化状况公报》<sup>[3]</sup>显示,截止2014年,全国荒漠化面积26 115.9万hm<sup>2</sup>,分布在18个省,占国土总面积27.2%,其中,轻度、中度、

重度、极重度荒漠化面积分别占荒漠化面积的28.7%、35.4%和20.5%<sup>[3]</sup>。与第四次荒漠化普查(2009年)相比,全国土地荒漠化面积五年间减少了0.46%,四类荒漠化面积均有减少,荒漠化程度有所减轻。

生态退化的程度既取决于生态系统功能维护能力和自我修复能力,也取决于外界压力<sup>[4]</sup>。近百年来,国内外在退化生态系统治理方面做出了巨大努力,以恢复退化、受损和毁坏的生态系统为主要使命的生态恢复理论和实践得到了迅速发展和广泛重视,同时,“适应性生态恢复”的理念及其相关知识也受到了学术界、应用部门和利益相关者的高度认可和接受<sup>[5,6]</sup>,同等重要的是把脆弱生态区,即生态稳定性较差、对环境因素变化反应敏感、生态环境恶化的趋势在有限的社会经济条件下不能得到有效遏止的区域,作为了生态恢复的目标区域<sup>[7-9]</sup>,

收稿日期:2018-12-05 修订日期:2018-12-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0503700)。

作者简介:甄霖,女,甘肃天水人,博士,研究员,主要从事生态系统服务和生态补偿机制研究。E-mail: zhenl@igsrr.ac.cn

从而大力推动了对适宜生态脆弱区生态治理和恢复技术(后面简称“生态技术”)研发和应用。从现有研究和实践应用的角度来看,生态技术广泛存在但目前尚无准确的、普遍认同的定义,但从其功能和作用来看,生态技术是指可以促使生态原真性得到恢复(即生态系统结构恢复、功能提升、并具有持续性);能够节约资源和能源、避免或减少环境污染;其带来的生态恢复促使区域经济发展、公众收入水平提高;有利于提高公众的社会参与意识和技能,促进生态文明建设的技术,包括单项技术和技术模式。根据Hobbs和Harris等<sup>[10,11]</sup>的研究,恢复阈值是确定生态技术应用的关键要素,即是否进行修复以及采用什么措施进行修复,取决于生态退化的程度及其生态系统功能受影响的程度,如果严重退化,则需要使用工程措施加以治理和恢复,如果是轻度退化或没有退化,则需要从管理的角度加以保护,如果介于二者之间,生物措施的使用更加有利于长期的恢复和功能的维持。

国内外在生态治理实践中,积累了数量众多的生态技术,建立了相关的理论、制度、法律。基于技术具有强烈的应用性和明显的经济目的性<sup>[12]</sup>,及其与经济、社会、环境发展相辅相成的密切关系,生态技术的研发和应用也从单一目标为主演化为兼顾生态、经济、民生等多目标的复合模式<sup>[5,9,13]</sup>。中国自“十五”以来,研发出了214项核心技术,64个技术模式,100多个技术体系<sup>[14]</sup>,进行了最佳技术案例的总结和优选工作<sup>[15]</sup>,其中,在水土流失、荒漠化以及石漠化治理方面处于国际领先地位,研发出的干旱条件下造林技术、生物篱技术、工程—生物措施相结合的治理模式、节水保土技术等,90%以上已经得到广泛应用;此外,针对区域发展和农民增收的需求,研发出了一系列的生态衍生产业,成为了带动一些区域经济增长的新兴产业<sup>[16]</sup>。

在“十三五”规划中,中国政府将生态文明建设和生态安全作为国家可持续发展战略的关键议题。然而,长期以来,由于对生态技术研发和应用的针对性重视不够,限制了一些技术的应用和推广。根据技术评估和预测结果,在生态修复技术领域,核心技术主要掌握在欧美国家,中国总体处于跟跑的状态;同时,研究与应用脱节,产业化水平

低<sup>[16]</sup>。生态技术需求与退化问题、退化诱因和机理、社会经济和体制制度密切相关,同时也具有鲜明的时空针对性。针对这些问题,科技部在2016年启动了国家重点研发计划项目“生态技术评价方法、指标体系与全球生态治理技术评价”,其中重要的任务之一是分析全球生态退化格局及生态技术需求。本文旨在刻画脆弱生态区生态退化状况及其空间格局,基于实地调研、文献计量和内容分析,梳理和总结针对不同退化问题的技术需求,提出今后研究的重点领域和方向,为提高生态技术应用效果、促进优良技术的输出和引进提供参考。

## 2 数据和资料来源

### 2.1 生态退化空间制图与分析方法

全球生态退化态势图的制作:基于土地退化严重性空间分布数据<sup>[17]</sup>获得荒漠化及水土流失空间数据。具体方法为:首先根据每个矢量斑块的退化类别属性(type),剔除不属于W(water erosion)、E(wind erosion)的斑块,其次根据严重程度(sev)及范围(extent)属性进行综合判断,得到各区退化程度;将水土流失空间分布与喀斯特数据空间叠加,重叠区域类型设为石漠化,其退化等级继承水土流失类型等级;将荒漠化、水土流失、石漠化三种类型进行空间集成;将集成后的综合空间分布数据转化成栅格数据,并使用NDVI<0.8的区域对其进行掩膜。

中国生态退化态势图的形成:首先对《全国1:200万沙漠图》<sup>[18]</sup>开展地理校正及空间矢量化,而后在公里尺度上进行栅格化,获得沙漠栅格数据;使用同样方法,基于《岩溶地区石漠化土地状况分布》<sup>[19]</sup>获得石漠化栅格数据;对《中国土壤侵蚀空间分布》<sup>[20]</sup>数据重新分级,剔除水力侵蚀部分中东部平原区及风力侵蚀部分的沙漠区,获得水力、风力侵蚀空间分布;对石漠化、水力和风力侵蚀数据分别进行局域统计分析,基于50km栅格统计各类型强度的均值,对统计结果采用等量分割法,逐步测试进行分级赋色及分布合并,最终得到各类型退化空间分布。在生态退化区空间制图基础上,基于2000—2014年MODIS 13A2产品获得各年年内最大NDVI数据,并开展变化斜率分析,形成各退化区生态变化态势图。

2019年1月

## 2.2 生态技术需求的资料和数据来源

### 2.2.1 国内外利益相关者问卷调研

2017年9月6—15日,在《联合国防治荒漠化公约》<sup>[21]</sup>“第十三次缔约方大会”期间(内蒙古鄂尔多斯),采用便利抽样开展半结构访谈,受访对象包括参会的相关国家政府部门代表、研究人员、国际非政府组织人员等,通过面对面问答式的深入互动交流,获得了国外生态技术需求的信息。共回收问卷35份,主要涉及18个国家,包括OECD国家(澳大利亚、日本、美国、德国、法国),“一带一路”沿线国家(以色列、菲律宾、印度、尼泊尔、伊朗、土耳其、蒙古、俄罗斯、泰国、菲律宾)和非洲国家(肯尼亚、埃塞俄比亚、纳米比亚)。

2018年5—6月对国内从事退化生态治理和恢

复的专家学者、企业以及管理人员进行了问卷调研。调研采用邮寄式问卷填答的方式,共回收有效问卷97份,涉及17个省市的55个机构,包括研究人员、政府部门和企业。问卷问题的设置从现有退化问题—治理技术—技术效果评估入手,提出技术需求并对其进行描述,因此,获取的生态技术需求信息能够反映退化区的实际情况。

### 2.2.2 国际权威组织发布的评估报告分析

国际权威组织针对生态退化和治理技术,开展了一系列跟踪研究和评估工作,其中,基于其研究和评估结果,提出了生态治理的技术需求。本文通过对21个国际组织报告和文献(表1)的全面梳理、归纳和总结,应用文献计量和内容分析法,凝练出不同区域生态技术需求。

表1 生态技术需求分析数据和资料来源

Table 1 Data and materials sources of ecological technology needs

国际组织	出版物名称	年份
IPBES	Thematic Assessment of Land Degradation and Restoration <sup>[22]</sup>	2018
IPBES	Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia <sup>[23]</sup>	2018
IPBES	Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for the Americas <sup>[24]</sup>	2018
IPBES	Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Africa <sup>[25]</sup>	2018
IPBES	Report of the Plenary of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services	2018
UNCCD	Sustainable Land Management Contribution to Successful Land-based Climate Change Adaptation and Mitigation <sup>[27]</sup>	2017
UNCCD	Sustainable Land Management for Climate and People <sup>[28]</sup>	2017
FAO	FAO Water Reports 45- Drought characteristics and management in North Africa and the Near East <sup>[29]</sup>	2018
WRI	Roots of Prosperity - The Economics and Finance of Restoring Land <sup>[30]</sup>	2017
UNEP	Global Environment Outlook - 6 Assessment: West Asia <sup>[31]</sup>	2016
UNEP	Global Environment Outlook - 6 Assessment: Pan-European Region <sup>[32]</sup>	2016
UNEP	Global Environment Outlook - 6 Assessment: Asia and the Pacific <sup>[33]</sup>	2016
UNEP	Global Environment Outlook - 6 Assessment: Africa <sup>[34]</sup>	2016
FAO	The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW)-Managing systems at risk <sup>[35]</sup>	2012
WOCAT	Desire for Greener Land - Options for Sustainable Land Management in Drylands <sup>[36]</sup>	2012
UNFCCC& UNDP	Technology Needs Assessment for Climate Change <sup>[37]</sup>	2010
UN	Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis <sup>[38]</sup>	2007
UN	Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis <sup>[39]</sup>	2007
UN	Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Wellbeing: Biodiversity Synthesis <sup>[40]</sup>	2007
UN	Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis <sup>[41]</sup>	2007
WB	Sustainable Land Management: Challenges, Opportunities, and Trades-offs <sup>[42]</sup>	2006

注: IPBES: The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services; UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification; FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations; WRI: World Resources Institute; UNEP: United Nations Environment Programme; WOCAT: World Overview of Conservation Approaches and Technologies; UNFCCC& UNDP: United Nations Framework Convention on Climate Change& United Nations Development Programme; UN: United Nations; WB: The World Bank.

### 3 结果分析

#### 3.1 脆弱生态区生态退化现状

对全球生态退化分析可以发现,2000—2014年期间,以荒漠化、水土流失、石漠化为代表的生态退化区域表现出了退化持衡、加重、逆转的趋势(图1)。其中,呈现退化持衡趋势的区域约占全球退化区面积的59.1%,约有22.7%的退化区处于退化加重态势,约有18.2%的退化区出现了退化逆转的态势。其中,荒漠化加重区主要分布在美国中部落基山脉南部、南美洲南端巴塔哥尼亚高原、阿拉伯半岛中部以及俄罗斯南部等地;水土流失加重区主要分布在非洲中部、东北部,亚丁湾沿岸南部等地;石漠化加重区主要分布在小亚细亚半岛南部。在退化逆转区域中,荒漠化退化逆转区主要分布在美国北部、印度半岛北部、及蒙古北部部分地区;水土流失退化逆转区主要分布在墨西哥东海岸、欧洲地中海沿岸及小亚细亚半岛,印度半岛西部、蒙古东部及中国黄土高原等地;石漠化退化逆转区主要分布在中国西南部云贵高原等地(图1)。

在中国,大部分退化区呈现退化持衡趋势(图2),约占全部退化区面积的66.4%,约有11.5%的退化区发生退化加重,22.1%的退化区发生退化逆转。荒漠化退化加重区主要分布在新疆北部阿尔泰山及天山地区、内蒙古东部浑善达克沙地、鄂尔

多斯,以及祁连山南部等地;水土流失退化加重区主要分布在天山南麓及横断山区地区;石漠化加重区主要发生在云南东部、贵州中东部、广西西部及湖南西南部等地;草地退化加重区主要分布在内蒙古中部、西藏西北部及青海东南部等地。在退化逆转区中,荒漠化逆转区主要分布在西北部呼伦贝尔、科尔沁及中部阴山南麓地区,青海东部等地;水土流失逆转区主要分布在黄土高原、辽河流域以及秦巴山区等地;石漠化逆转区主要分布在云贵高原等地(图2)。

#### 3.2 生态技术需求分析

##### 3.2.1 国外生态技术需求分析

(1)生态技术需求及其地域分异性。不同退化区在不同程度上存在对治理技术的需求。对相关国际组织报告和调研结果进行梳理和分析发现,国外生态技术需求主要集中在4类15项技术,其中生物类技术种类最多(6项),并以抗逆植物培育需求最高,人工建林、营建复合农林牧系统次之;其他类生态技术4项,其中对划区禁牧/轮牧/休牧/舍饲养殖、建立自然保护区均有较高需求;工程类技术3项,其中小型水坝建造需求最高,梯田建造技术次之;农作类技术2项,包括土壤改良技术、保护性耕作技术等(表2)。

不同地域生态技术需求存在分异,西非所需生

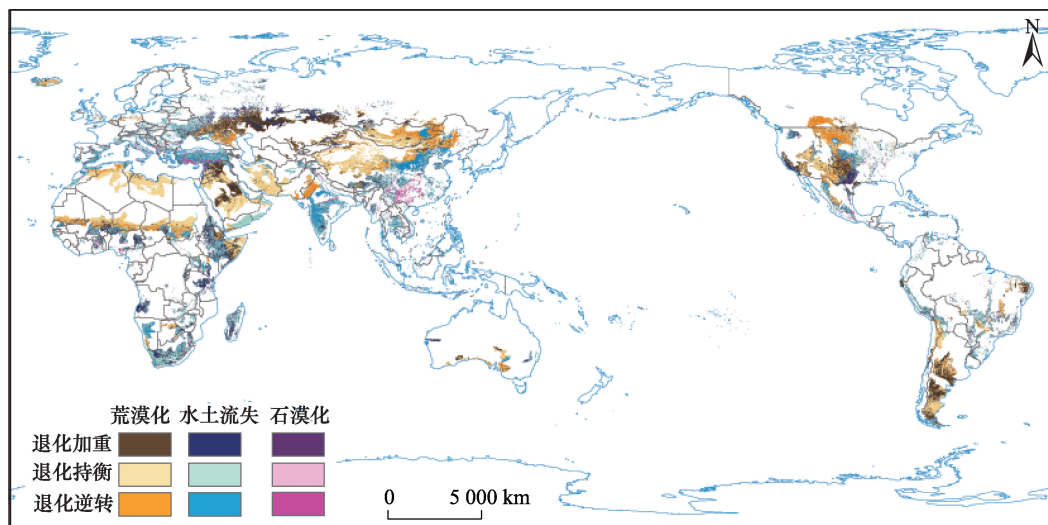


图1 2000—2014年全球主要生态退化区退化态势示意

Figure 1 Trend of ecological degradation in major degradation zones of the world from 2000 to 2014

注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1666标准地图制作,底图无修改。

2019年1月

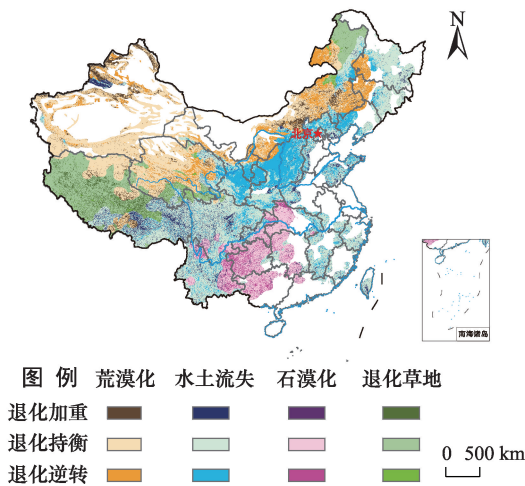


图2 2000—2014年中国主要生态退化区退化态势示意

Figure 2 Trend of ecological degradation in major degradation zones of China from 2000 to 2014

注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1594标准地图制作,底图无修改。

态技术总量最多(11项),涉及全部4类生态技术;东南亚次之(9项),主要集中在生物、工程、农作3类;欧洲最少(3项),主要集中在农作类、其他(建立自然保护区)(表2)。西非、东南亚、中亚等地区较高的生态技术需求表明这些地区退化问题突出、且得

到了较高的关注。西非主要的退化问题是由于人口剧增和过度耕作所引发的土地退化,例如布基纳法索75.0%的地区存在土地退化现象,是全球土地退化最为严重的国家之一<sup>[43]</sup>。东南亚主要的退化问题是由于扩大橡胶、棕榈种植所引发的森林破坏,2000—2010年该区原始森林面积从6.6万km<sup>2</sup>下降至6.4万km<sup>2</sup>(年均-0.35%),次生林面积从14.4万km<sup>2</sup>下降至13.5万km<sup>2</sup>(年均-0.67%),其中巽他大陆森林破坏情况尤为严重,泥炭沼泽森林面积下降3.7%<sup>[44]</sup>。中亚主要的退化问题是过度放牧和森林采伐引起的荒漠化,截至2012年,该区土地退化面积为58.8万km<sup>2</sup>,占中亚总面积10.4%,有土地退化趋势地区总面积为27.0万km<sup>2</sup>,2010—2015年间,该区荒漠化面积净增1.6万km<sup>2</sup>,增长率0.40%<sup>[45]</sup>。

(2)主要退化类型的生态技术需求。荒漠化是由人为因素导致的旱区(年降水量与潜在蒸发散之比0.05~0.65的区域)土地退化<sup>[21]</sup>。退化生态系统是指由于人为因素引起的生态系统结构或功能发生退化但尚未达到荒漠化程度,或者压力移除后能够自然恢复的区域,如退化林地、退化草地、退化湿地、退化农田等<sup>[46-48]</sup>。分析表明,两种退化类型生态技术需求总计4类34项,其中生物类10项、工程类6

表2 国外生态技术需求及其地域分异

Table 2 Ecological restoration technology needed in different regions of the world

技术类型	技术名称	西非	东南亚	中亚	东亚	南亚	东非	北非	南美	欧洲	总计
生物类	抗逆植物培育	√	√			√	√	√			5
	人工造林	√	√				√		√		4
	营建复合农林牧系统	√	√		√				√		4
	人工种草	√	√	√							3
	多样化种植		√			√					2
	植物固沙			√	√						2
农作类	土壤改良	√	√		√	√	√			√	6
	保护性耕作	√	√	√	√					√	5
工程类	小型水坝建造	√	√			√	√	√	√		6
	梯田建造	√	√						√		3
	拦沙坝淤地坝沟道护岸工程	√						√			2
其他类	划区禁牧/轮牧/休牧,舍饲养殖			√	√			√			3
	建立自然保护区	√				√				√	3
	林草病虫害生物防治	√					√				2
	围栏封育			√							1
总计		11	9	5	5	5	5	4	4	3	

数据来源:国际组织报告、实地调研;“√”表示有相关的技术需求。

项、农作类6项、其他类12项。荒漠化治理技术需求包括4类24项,退化生态系统技术需求共计4类22项,两种退化类型需求均以生物类和其他类为主,主要为人工造林等6项技术;而工程类、农作类技术需求在两种退化类型中分异较大,工程类中仅高效水资源资源配置利用1项技术同时存在需求,农作类中仅农林一体、土壤培肥2项技术同时存在需求(表3)。

荒漠化和退化生态系统发生的区域和程度不同,是造成其生态技术需求差异的原因。荒漠化多发生于干旱地区<sup>[21]</sup>,主要因素是水资源短缺,其技术需求多是关于高效节水的农作养殖(旱作农业、旱作区水产养殖、集雨蓄水、人工补给地下水、保护性耕作),以实现水土资源可持续利用<sup>[49]</sup>。退化生态系统多发生在湿地、森林、农田等区域,主要是由频繁人类活动打破原有生态平衡引起<sup>[50, 51]</sup>,其生态系统治理多关注物种多样性保护(建立保护区、人工湿地)、提高生态系统服务功能(海岸带种植、人工湿地建设、新能源替代薪柴)等。

3.2.2 国内生态技术需求分析

荒漠化、水土流失、石漠化和退化生态系统是中国生态退化的主要表现形式。分析结果表明,针对这些退化问题的生态技术需求总计4类25项,主

要分布在13个典型区。包括生物类7项,其中人工建植需求最高,高效旱作经果林次之;工程类6项,其中植物沙障技术需求度最高,新型水窖次之;农作类技术需求6项,其中高效种植需求度最高,等高沟垄种植、土壤保水技术、农田免耕/休耕次之;其他类技术6项,其中生态补偿及划区禁牧/轮牧/休牧等管理措施的需求度均较高(表4)。

不同退化区生态技术需求存在空间差异,荒漠化、退化草地区生态技术需求主要分布在7个典型区,共计4类19项,以生物类和其他类为主,主要包括人工建植、防除毒杂草、划区禁牧/轮牧/休牧、生态补偿、舍饲养殖等;工程类技术需求主要为沙障技术。水土流失区技术需求主要分布在5个典型区,共计4类16项,以其他类为主,其中生态补偿需求度较高。石漠化区技术需求主要集中在滇黔桂峰丛洼地,共计4类7项,以工程类为主,包括新型水窖、地坎/地埂保护、机整梯田等(表4)。

各退化区技术需求和退化问题的发生密切相关,其中巴丹吉林/腾格里沙漠/毛乌素沙地边缘(14项)、三江源(13项)、黄土高原丘陵沟壑区(13项)(表4)较高的技术需求表明这些地区退化问题突出、治理需求迫切并受到了国家的高度关注<sup>[52]</sup>。巴丹吉林/腾格里沙漠/毛乌素沙地边缘(内蒙古、甘肃、宁夏、陕西等地)人口密集,是中国重要的生态

表3 不同退化类型生态技术需求

Table 3 Ecological restoration technology needed by degradation types

	生物类												
	人工造林	物种筛选	林草病虫害防治	抗逆性植物培育	控制入侵物种	多样种植	人工种草	建立种子库	海岸带种植廊道	人工湿地			
荒漠化	√	√	√	√	√	√	√	√					
退化生态系统	√	√	√	√	√	√			√	√			
	农作类						工程类						
	农林一体	土壤培肥	保护性耕作	旱作农业	集雨蓄水	节水灌溉	高效水资源配置和利用	坡面防护	人工补给地下水	改善基础设施	排导技术	微地形改造	
荒漠化	√	√	√	√	√		√	√	√	√			
退化生态系统	√	√				√	√				√	√	
	其他类												
	划区禁牧/轮牧/牧/舍饲养殖	社区参与	适宜性管理政策和机制保障	土地规划	能力建设	替代生计	旱作区水产养殖	建立保护区	新能源替代薪柴	控制污染源	围栏封育	退耕/休耕	总计
荒漠化	√	√	√	√	√	√	√						24
退化生态系统	√	√	√					√	√	√	√	√	22

数据来源:国际组织报告、问卷调研;“√”表示有相关的技术需求。

2019年1月

表4 国内典型脆弱生态区生态技术需求

Table 4 Ecological restoration technology needed in typical vulnerable areas

技术种类	技术名称	荒漠化、退化草地							水土流失					石漠化	
		巴丹吉林/腾格里沙漠/毛乌素沙地边缘	三江源	浑善达克沙地边缘	科尔沁沙地边缘	羌塘藏北高原	吐哈盆地	塔里木盆地	黄土高原丘陵沟壑	燕山山地丘陵	三江平原	辽河三角洲	鄱阳湖湿地	滇黔桂峰丛洼地	总计
生物类	人工建植	√	√	√	√	√			√						6
	高效旱作经果林		√	√					√					√	4
	防除毒杂草技术	√	√	√											3
	景观格局优化		√								√			√	3
	物种筛选		√	√											2
	人工生物结皮	√			√										2
	林分改造								√						1
农作类	高效种植技术		√				√		√						3
	等高沟垄种植								√					√	2
	土壤保水技术	√	√												2
	免耕/休耕	√				√									2
	土壤快速熟化								√						1
	土壤改良	√													1
	植物沙障	√	√	√	√										4
工程类	新型水窖	√							√					√	3
	地坎/地埂保护								√					√	2
	机整梯田								√					√	2
	坝系水土资源利用	√							√						2
	人工湿地建设											√			1
	生态补偿	√	√	√					√	√	√		√		7
	划区禁牧/轮牧/休牧	√	√	√	√			√	√					√	7
其他类	舍饲养畜	√	√	√											3
	建立自然保护区	√	√						√						3
	人工降雨		√							√					2
	化学固沙	√													1
	案例区	14	13	8	4	2	1	1	13	2	2	1	1	7	
	退化区			19							16			7	

来源:问卷调查;实地调研;“√”表示有相关的技术需求。

保护区和农牧区<sup>[53]</sup>,然而过去很长时间,由于过牧过垦等因素导致严重的土地荒漠化<sup>[54-56]</sup>。三江源被誉为“中华水塔”,是我国重要的生态屏障和水源涵养区,也是全球高海拔生物多样性最集中的地区和气候变化的敏感区<sup>[57-59]</sup>,其生态环境健康关乎全球生态安全。但由于不合理的开发利用,三江源草地呈大面积退化,2004年达到总面积的40.1%,失去经济价值和生态服务功能的“黑土滩”面积达4.9万 km<sup>2</sup> (2007年)<sup>[60, 61]</sup>,对该区生态环境安全和草地畜牧业的持续发展构成了极大的威胁<sup>[62]</sup>。2005年国务院

批准了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》<sup>[63]</sup>,三江源治理工程全面展开,并取得了显著的成效<sup>[64, 65]</sup>。黄土高原丘陵沟壑区是中国水土流失最为严重的地区,水土流失面积达39.0万 km<sup>2</sup>,占该区总面积的60.9%;其中剧烈水蚀区3.7万 km<sup>2</sup>,占全国同类面积的89.0%;该区多年平均输沙量约14亿 t,严重影响当地农业生产并造成下游河道淤积<sup>[66, 67]</sup>。

#### 4 生态技术研究重点和趋势

生态技术所要达到的核心目标是调整人类生

存发展与生态环境之间存在的不合理、不协调的关系,最终一方面实现生态环境的健康、良性发展,保证其结构完整、功能稳定有效;另一方面实现经济社会可持续发展的最佳状态。然而,在过去很长时间,生态技术的应用缺乏地域针对性,并没有完全从实际需求出发来配置适宜的长效的技术模式,往往是“头痛医头、脚痛医脚”;同时,对于已经应用的众多技术,缺乏效果的评估和适宜性评价。针对这些问题,今后一段时间,对生态技术的研究和应用将集中在以下方面:

(1)生态技术、技术模式的概念和理论的科学化、规范化、统一化。随着区域可持续发展和生态文明建设的深入,对生态技术的研发和应用在全球范围内引起了高度重视。这就需要对其概念和理论进行科学的界定,以研发出符合生态理念的生态治理和恢复技术,服务于生态建设和绿色发展。

(2)生态技术评价方法、指标体系、评价模型的科学化、规范化、精准化、动态化和易操作性。目前缺乏科学合理的指标体系和方法模型,对已经研发和应用的生态技术及其组合予以评价、筛选和配置;相关研究和实践应用工作将有效节约研发成本,提高最佳技术及技术组合的推广和应用价值。

(3)技术需求评估将在未来很长时间里,对优选和配置针对治理目标、投入—产出率高、综合效益好的生态技术发挥关键作用。技术需求评估不仅仅对挖掘、评价和优选减缓气候变化的技术途径提供了系统的方法学基础<sup>[68]</sup>,同时也对生态技术需求评估包括技术界定、评估、优选、技术差距及应用障碍分析等提供了方法支持,为优良生态技术的选择和推介奠定基础。

(4)技术需求的可行性评估。退化诊断(如退化类型、主导因子、退化阶段与强度、退化趋势等)和技术需求匹配(如技术作用原理、适用条件、作用部位、实施阶段等)是形成技术需求清单的基础,在此基础上,需要开展可行性评估,以便产生可行性强的技术清单。可行性评估通常需要从生态与环境状况、经济条件、社会文化可接受性、机制体制保障等方面加以衡量。从实际应用的角度来看,基于技术清单,技术的优选需要着重考虑技术成本、技术成效和技术潜力等,利益相关者的参与,在技术需求评估过程中起着至关重要的作用。

## 参考文献(References):

- [1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Policy Response, Findings of the Responses Working Group [M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [2] 国家发展和改革委员会. 全国主体功能区规划[M]. 北京: 人民出版社, 2015. [National Development and Reform Commission. Planning of Major Function Regionalization[M]. Beijing: People's Publishing House, 2015. ]
- [3] 中国国家林业局. 第五次全国荒漠化和沙化监测结果[R]. 北京: 中国荒漠化和沙化状况公报, 2015. [State Forestry Administration, P. R. China. A Bulletin of Status Quo of Desertification and Sandification in China (the Fifth Time) [R]. Beijing: Bulletin on Desertification and Desertification in China, 2015. ]
- [4] 田美荣, 高吉喜, 邹长新, 等. 重要生态功能区生态退化诊断理论、思路与方法探析[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 691-696. [Tian M R, Gao J X, Zou C X, et al. Theories, ideas and methods for diagnosis of ecological degradation in important ecological function areas[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, 32(5): 691-696. ]
- [5] Zhen L, Yan H M, Hu Y F, et al. Overview of ecological restoration technologies and evaluation systems[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8(4): 315-324.
- [6] Higgs E, Hill J D. Keepers of the secret chants: the poetics or ritual power in an Amazonian society[J]. *Journal of American Folklore*, 1997, 109(431): 104-105.
- [7] Satyanarayana J, Reddy L A K, Kulshrestha M J, et al. Chemical composition of rain water and influence of air mass trajectories at a rural site in an ecological sensitive area of Western Ghats (India) [J]. *Journal of atmospheric chemistry*, 2010, 66(3): 101-116.
- [8] Moreau P, Ruiz L, Mabon F, et al. Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 147(2): 89-99.
- [9] 甄霖, 王继军, 姜志德, 等. 生态技术评价方法及全球生态治理技术研究[J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7152-7157. [Zhen L, Wang J J, Jiang Z D, et al. The methodology for assessing ecological restoration technologies and evaluation of global ecosystem rehabilitation technologies[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22): 7152-7157. ]
- [10] Hobbs R J, Norton D A. Towards a conceptual framework for restoration ecology[J]. *Restoration Ecology*, 1996, 4(2): 93-110.
- [11] Hobbs R J, Harris J A. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium[J]. *Restoration Ecology*, 2001, 9(2): 239-246.
- [12] 虞晓芬, 龚建立, 张化尧. 技术经济学概论(第五版)[M]. 北京: 高

2019年1月

- 等教育出版社, 2018. [Yu X F, Gong L J, Zhang H Y. Technical Economics (the fifth edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2018. ]
- [13] 郭彩霞, 韩致文, 李爱敏, 等. 库布齐沙漠生态治理与开发利用的典型模式[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(1): 112-118. [Guo C Y, Han Z W, Li A M, *et al.* The typical of ecological management and development and utilization in Hobq Desert [J]. *Journal of Northwest Normal University(Natural Science)*, 2017, 53(1): 112-118. ]
- [14] 傅伯杰, 刘国华, 欧阳志云, 等. 中国生态区划研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013. [Fu B J, Liu G H, Ouyang Z Y, *et al.* Study of Ecological Regionalization of China[M]. Beijing: Science Press, 2013. ]
- [15] Jiang Z H. Best Practices for Land Degradation Control in Dryland Areas of China: PRC-GEF Partnership on Land Degradation in Dryland Ecosystems China-land Degradation Assessment in Drylands[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008.
- [16] 资源环境领域技术预测工作研究组(ETFGC). 国内外资源环境领域技术竞争力综合报告[R]. 北京: 国内外资源环境领域技术竞争力综合报告, 2015. [Environmental Technology Forecasting Group in China (ETFGC). Global Technology Competition in Environmental Area[R]. Beijing: Global Technology Competition in Environmental Area, 2015. ]
- [17] United State Environment. Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD) [EB/OL]. (2006-11-05)[2018-12-05]. <https://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>.
- [18] 中国冰川冻土沙漠研究所. 中国 1: 200 万沙漠分布图[EB/OL]. (2013-05-24)[2018-12-05]. <http://westdc.westgis.ac.cn/data/4999860d-734b-478f-bfbb-10b673ad63fe>. [Lanzhou Institute of Glaciology Geocryology Desert, Chinese Academy of Sciences. The Map of Desert Distribution in 1: 2, 000, 000 in China[EB/OL]. (2013-05-24)[2018-12-05]. <http://westdc.westgis.ac.cn/data/4999860d-734b-478f-bfbb-10b673ad63fe>. ]
- [19] 中国国家林业局. 岩溶地区石漠化土地状况分布[R]. 北京: 中国石漠化状况公报, 2012. [State Forestry Administration, P. R. China. Distribution of Rocky Desertification in Karst Areas[R]. Beijing: Bulletin on the Status of Rocky Desertification in China, 2012. ]
- [20] 徐新良. 中国土壤侵蚀空间分布数据[EB/OL]. (2018-06-05)[2018-12-05]. <http://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=47>. [Xu X L. Spatial Distribution Data of Soil Erosion in China[EB/OL]. (2018-06-05)[2018-12-05]. <http://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx?DOIid=47>. ]
- [21] UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa[M]. Bonn: UNCCD, 1999.
- [22] IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Thematic Assessment of Land Degradation and Restoration[M]. Bonn: IPBES, 2018.
- [23] IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Europe and Central Asia[M]. Bonn: IPBES, 2018.
- [24] IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for the Americas[M]. Bonn: IPBES, 2018.
- [25] IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services for Africa[M]. Bonn: IPBES, 2018.
- [26] IPBES (Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). Report of the Plenary of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its sixth session[M]. Bonn: IPBES, 2018.
- [27] UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). Sustainable Land Management Contribution to Successful Land-based Climate Change Adaptation and Mitigation[M]. Paris: UNCCD, 2017.
- [28] UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). Sustainable Land Management for Climate and People[M]. Paris: UNCCD, 2017.
- [29] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Water Reports 45- Drought Characteristics and Management in North Africa and the Near East[M]. Rome: FAO, 2018.
- [30] WRI(World Resources Institute). Roots of Prosperity -the Economics and Finance of Restoring Land[M]. Washington, DC: WRI, 2017.
- [31] UNEP(United Nations Environment Programme). Global Environment Outlook - 6 Assessment: West Asia[M]. Nairobi: UNEP, 2016.
- [32] UNEP(United Nations Environment Programme). Global Environment Outlook-6 Assessment: Pan-European Region[M]. Nairobi: UNEP, 2016.
- [33] UNEP(United Nations Environment Programme). Global Environment Outlook-6 Assessment: Asia and the Pacific[M]. Nairobi: UNEP, 2016.
- [34] UNEP(United Nations Environment Programme). Global Environment Outlook-6 Assessment: Africa[M]. Nairobi: UNEP, 2016.
- [35] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)- Managing Systems at Risk[M]. Rome: FAO, 2011.
- [36] WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Tech-

- nologies). Desire for Greener Land—Options for Sustainable Land Management in Drylands[M]. Berne: WOCAT, 2012.
- [37] UNDP (United Nations Development Programme). Technology Needs Assessment for Climate Change [M]. New York: UNDP, 2010.
- [38] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [39] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis[M]. Washington D C: World Resources Institute, 2005.
- [40] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis[M]. Washington D C: World Resources Institute, 2005.
- [41] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis[M]. Washington D C: World Resources Institute, 2005.
- [42] WB(World Bank). Sustainable Land Management: Challenges, Opportunities, and Trades-offs[M]. Washington DC: WB, 2006.
- [43] Niemeijer D, Mazzucato V. Soil degradation in the West African Sahel: how serious is it? [J]. *Environment Science & Policy for Sustainable Development*, 2002, 44(2): 20–31.
- [44] Wilcove D S, Giam X, Edwards D P, *et al.* Navjot's nightmare revisited: logging, agriculture, and biodiversity in Southeast Asia[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2013, 28(9): 531–540.
- [45] 陈文倩, 丁建丽, 谭娇, 等. 基于DPM-SPOT的2000–2015年中亚荒漠化变化分析[J]. 干旱区地理, 2018, (1): 119–126. [Chen W Q, Ding J L, Tan J, *et al.* Desertification change in Central Asia based on DPM-SPOT from 2000 to 2015[J]. *Arid Land Geography*, 2018, (1): 119–126.]
- [46] 韩大勇, 杨永兴, 杨杨, 等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1293–1307. [Han D Y, Yang Y X, Yang Y, *et al.* Recent advances in wetland degradation research[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1293–1307.]
- [47] 黎云昆, 肖忠武. 我国林地土壤污染、退化、流失问题及对策[J]. 林业经济, 2015, (9): 3–15. [Li Y K, Xiao Z W. China's forestland soil pollution, degradation, erosion problems and countermeasures[J]. *Forestry Economics*, 2015, (9): 3–15.]
- [48] 张兴义, 张少良, 刘爽, 等. 严重侵蚀退化黑土农田地力快速提升技术研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(4): 1–5. [Zhang X Y, Zhang S L, Liu S, *et al.* Study on technique to upgrade of productivity of serious eroded black farmland[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(4): 1–5.]
- [49] 宗宁, 石培礼, 牛犇, 等. 氮磷配施对藏北退化高寒草甸群落结构和生产力的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3458–3468. [Zong N, Shi P L, Niu B, *et al.* Effects of nitrogen and phosphorous fertilization on community structure and productivity of degraded alpine meadows in northern Tibet, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12): 3458–3468.]
- [50] 孙永光, 赵冬至, 吴涛, 等. 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应—以大洋河口为例[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3645–3655. [Sun Y G, Zhao D Z, Wu T, *et al.* Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3645–3655.]
- [51] 牛莉芹, 程占红. 五台山森林群落中物种多样性对旅游干扰的生态响应[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 106–111. [Niu L Q, Chen Z H. Study on the ecological response of species diversity to tourism disturbance in forest communities in Wutai Mountains[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(4): 106–111.]
- [52] Bryan B A, Gao L, Ye Y, *et al.* China's response to a national land-system sustainability emergency[J]. *Nature*, 2018, 559 (7713): 193–204.
- [53] 李蕾蕾, 李飞, 杨久春, 等. 北方农牧交错带农村居民点分布特征及其对土地利用的影响—以科尔沁左翼中旗为例[J]. 地理科学, 2015, 35(3): 328–333. [Li L L, Li F, Yang J C, *et al.* Spatial distribution of rural settlements in farming-pastoral zone of Northern China and its impact on land use pattern: a case study of Korqin Left Wing Middle Banner[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(3): 328–333.]
- [54] 万华伟, 高帅, 刘玉平, 等. 呼伦贝尔生态功能区草地退化的时空特征[J]. 资源科学, 2016, 38(8): 1443–1451. [Wang G W, Gao S, Liu Y P, *et al.* Grassland degradation monitoring and spatio-temporal variation analysis of the Hulun Buir Ecological Function Region[J]. *Resources Science*, 2016, 38(8): 1443–1451.]
- [55] 陈宝瑞, 辛晓平, 朱玉霞, 等. 内蒙古荒漠化年际动态变化及与气候因子分析. 遥感信息, 2007, (6): 39–44. [Chen B R, Xin X P, Zhu Y X, *et al.* Change and analysis of annual desertification and climate factors in Inner Mongolia using MODIS data[J]. *Remote Sensing*, 2007, (6): 39–44.]
- [56] 蒋琴. 甘肃省民勤县水资源利用与绿洲生态安全的经济学分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2011. [Jiang Q. The Economic Analysis of Water Resource Utilization and Ecological Security of Oasis at Minqin Country, Gansu Province[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.]
- [57] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1322–1331. [Xu EQ, Zhang H Q. Land use structure and change of important ecological space in China and protection research[J]. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1322–1331.]
- [58] Liu H X, Liu G H, Fu B J. Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5495–5504.

- [59] Shao Q Q, Fan J W. Comprehensive Monitoring and Assessment of Ecosystem in the Three-River Headwater Region[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [60] Shang Z H, Ma Y S, Long R J, *et al.* Effect of fencing, artificial seeding and abandonment on vegetation composition and dynamics of 'black soil land' in the headwaters of the Yangtze and the Yellow Rivers of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Land Degradation & Development*, 2008, 19(5): 554-563.
- [61] Li X L, Gao J, Brierley G, *et al.* Rangeland and degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau: implications for rehabilitation[J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1): 72-80.
- [62] Zhang Y, Dong S K, Gao Q Z, *et al.* Responses of alpine vegetation and soils to the disturbance of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) at burrow level on the Qinghai-Tibetan Plateau of China[J]. *Ecological Engineering*, 2016, 88: 232-236.
- [63] 国家发展改革委员会. 青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划[R]. 北京: 青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划, 2005. [National Development and Reform Commission, P. R. China. General Plan for Ecological Protection and Construction of Qinghai Sanjiangyuan Nature Reserve[R]. Beijing: General Plan for Ecological Protection and Construction of Qinghai Sanjiangyuan Nature Reserve, 2005. ]
- [64] Zhen L, Du B, Wei Y, *et al.* Assessing the effects of ecological restoration approaches in the alpine rangelands of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Environmental Research Letters*, 2018, DOI: 10.1088/1748-9326/aada51.
- [65] 邵全琴, 樊江文, 刘纪远, 等. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20. [ Shao Q Q, Fan J W, Liu J Y, *et al.* Assessment on the effects of the first-stage ecological conservation and restoration project in Sanjiangyuan region [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(1): 3-20. ]
- [66] 黄明斌, 董翠云, 李玉山. 黄土高原水土流失区粮食现状与增产潜力研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 366-372. [ Huang M B, Dong C Y, Li Y S. On potential grain yield increase in the soil loss region of Loess Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(4): 366-372. ]
- [67] 高海东, 李占斌, 李鹏, 等. 基于土壤侵蚀控制度的黄土高原水土流失治理潜力研究[J]. 地理学报, 2015, 70(9): 1503-1515. [Gao H D, Li Z B, Li P, *et al.* The capacity of soil loss control in the Loess Plateau based on soil erosion control degree[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(9): 1503-1515. ]
- [68] UNDP (United Nations Development Programme). Handbook for Conducting Technology Needs Assessment for Climate Change [M]. New York: UNDP, 2010.

# Trend of ecological degradation and restoration technology requirement in typical ecological vulnerable regions

ZHEN Lin<sup>1,2</sup>, HU Yunfeng<sup>1,2</sup>, WEI Yunjie<sup>1,2</sup>, LUO Qi<sup>1,2</sup>, HAN Yueqi<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. School of Resource and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Over the past decades, ecological degradation was grim on global level, especially in typical ecological vulnerable regions. To combat such degradation issues, tremendous efforts have been made among the scientific community, decision makers, and practitioners in the world. A lot of restoration technologies have been developed and applied, which played a key role in restoring and mitigating degraded ecosystems. However, some of the restoration technologies ignored the real needs on the ground and thus affected their applications. This paper aims to describe the trend of ecological degradation at the global level in general and China in specific, assess the technological needs for restoration using data and information from interviews of stakeholders from 18 countries, and 21 assessment reports from international organizations. The results illustrate that the major degradation issues in the vulnerable regions include soil and water erosion, desertification, rock desertification, and ecosystem degradation. Over the past 15 years (2000-2014), degradations in overwhelming majority of the regions remained unchanged or improved, about 22% (global level) and 11% (in China) of the regions exhibited a worsening trend. Technology needs for restoration varied among the regions, indicating an increasing trend in demanding combination of different technologies, rather than single technology, which gave the complexity of degradation issues and their impact on socio-economic development of the region. It is recommended that selection and application of restoration technology shall consider specific degradation issue, phase and drivers of degradation, as well as local conditions including economic, cultural, policy, and institutional settings. Technology required assessment is vital for identifying suitable restoration measures, investigating potential areas for exporting and importing technologies, and promoting ecological construction of China.

**Key words:** ecological degradation; technology needs; ecological vulnerable regions