

水土保持生态自然修复适宜性研究综述

聂斌斌^{1,2}, 蔡强国^{2†}, 綦俊谕², 崔普伟^{2,3}, 陈晓安^{2,3}

(1. 华中农业大学园艺林学学院, 430070, 武汉; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地水循环与地表过程重点实验室, 100101, 北京; 3. 华中农业大学资源与环境学院, 430070, 武汉)

摘要 根据我国的地域特点和水土保持生态建设的实施情况, 进行适宜性研究至关重要。在介绍生态自然修复主要基础理论的基础上, 分析了自然因素和人为因素对生态自然修复的影响作用。从区域定性、定量分析, 地带性分区到 GIS 技术应用, 以及适宜人为促进修复的作用和措施等方面探讨了水土保持生态自然修复适宜性研究的方法和内容。生态自然修复适宜性研究正向前迈进, 在地理空间分析技术的引领下, 生态自然修复适宜性评价在方法上会有新的发展。

关键词 生态自然修复; 适宜性; 地带性; GIS

Analysis on the suitability of natural ecological restoration for soil and water conservation

Nie Binbin^{1,2}, Cai Qiangguo², Qi Junyu², Cui Puwei^{2,3}, Chen Xiao'an^{2,3}

(1. College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agriculture University, 430070, Wuhan; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Process, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 100101, Beijing; 3. College of Resources and Environment, Huazhong Agriculture University, 430070, Wuhan, China)

Abstract It has a very strong practical significance to research on suitability of natural ecological restoration under different natural conditions and implementation of soil and water conservation. According to the theories of natural ecological restoration, the effects of natural factors and human factors on the function of the natural ecological restoration are analyzed. And then the suitability of natural ecological restoration for soil and water conservation is analyzed qualitatively and quantitatively. Zonal regionalization and application of GIS technology as well as the function and suitable measures of artificial ecological restoration are discussed in this paper. The methods to evaluate suitability of natural ecological restoration come up with new development.

Key words natural ecological restoration; suitability; zonality; GIS

为推进水土保持生态建设, 水利部于 2000 年在全国水土流失地区进行水土保持生态修复试点工程。各地的成功实践证明, 实施生态修复符合自然规律, 依靠大自然的力量实现生态的自我修复是可行的, 生态修复是在较短时间内实现大面积水土流失初步治理和生态系统初步恢复的一项有效措施,

是新时期水土保持生态建设一举多得、费省效宏的好措施^[1-3]。我国幅员辽阔, 纬度跨越很大, 自然条件、经济社会状况和水土流失现状等诸多要素均存在明显的地域分异性, 各地对水土保持生态修复的政策和投入也不同。面对如此大的差异, 根据自然规律和社会经济情况, 开展水土保持生态修复适宜

收稿日期: 2009-11-05 修回日期: 2010-05-25

项目名称: 973 国家重点基础研究发展计划“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407207)

第一作者简介: 聂斌斌(1983—), 男, 硕士研究生。主要研究方向: 生态修复。E-mail: binny123@163.com

† 责任作者简介: 蔡强国(1946—), 男, 研究员。主要研究方向: 土壤侵蚀、流域侵蚀产沙模拟和 GIS 应用。E-mail: caiqg@igsnrr.ac.cn.

性分析,因地制宜开展指导工作是水土保持生态修复迫切需要解决的问题。

水土保持生态自然修复(恢复)亦称水土保持生态修复,是指在水土流失区,通过一定的人工辅助措施,使自然界本身固有的再生能力得以最大限度地发挥,促进植被的持续生长发育和演替,保护并改善受损生态系统的功能,加快水土流失防治的步伐,建立和维系与自然条件相适应、与经济社会可持续发展相协调并良性发展的生态系统(水利部生态修复规划)。生态修复措施必须与自然环境条件相适应,不同气候、土壤、植被等条件,生态修复标准有差异,生态修复的途径、技术路线也有差异。只有针对不同区域的生态条件适宜分析,对生态修复地区实行合理区划,制订相应具体措施,才能达到预期效果。很多人工群落由于在建群种选择、培育措施上没有做到适地适树,出现了明显的衰退特征,如“小老树”“土壤干层”等问题^[4],通过生态修复适宜性研究,可以减少或避免这种现象的发生。生态修复适宜性研究是水土保持生态修复的核心工作,对于水土保持生态修复具有指导作用。

1 主要理论基础

1.1 限制因子原理与生态自然修复

生物的生存和繁殖依赖于各种生态因子的综合作用,其中限制生物生存和繁殖的关键性因子就是限制因子。这些因子发生变化,生物的生存和繁殖就会受到影响和限制。气候、植被是黄土高原生态系统的主要限制因子,它们之间的相互作用决定了水土保持生态自然修复的潜力及适宜区^[5-6],生态的脆弱程度影响水土保持生态自然修复适宜条件。

1.2 干扰演替理论与生态自然修复

群落的自然演替机制奠定了恢复生态学的理论基础^[6]。生态演替可看作是在外界压力不复存在之后,生态系统所经历的一系列恢复阶段。演替包括顺行演替和逆行演替。顺行演替其实就是生态自然修复过程。生态自然修复的具体表现就是生态系统逆行演替的某一阶段转变到进展演替的某一阶段。植被的正向演替是通过生态系统的反馈能力、抵抗力和恢复力实现的,这是生态系统自然修复的驱动因子。水土保持生态自然修复过程就是植被群落的进化和重建过程。

干扰破坏了生态系统的稳定性,形成生态系统结构和功能的破损,使生态系统处于一种过渡状态;但是,干扰也是生态系统演替的外在驱动力,自然和

人为干扰引起的生态系统对称性破缺,推动了系统的进化和演变^[7]。自然恢复过程是要经历很长时间的,严重干扰后,需要的时间更长。生态演替在人为干预下可能加速、延缓、改变方向以致向相反的方向进行。究竟朝哪个方向进行,就取决于人类的行为。演替的初始条件应该实现很好的人为干预,适宜干预会显著促进自然修复过程。生态理论揭示演替过程中生态因子间相互可补偿性是值得重视的,不能被动地等待某种促进过程或抑制过程发生。虽然这些因素很重要,但没有理由成为限制生态自然恢复的最终因素,只要确定了生态自然恢复的目标,就可一定程度上合理调控某些因子的效应^[8-11]。

1.3 地带性分布规律与生态自然修复

我国疆域广阔,自然地理条件的区域变化巨大,土壤、气候、植被等地带性差别十分明显。而不同土质、地形部位和坡向的地块,土壤水分状况存在一定差异,适合不同植被群落的生长^[12],这也导致了植被分布存在非地带性特征,其植被分布的总体特征应为植被的地带性分布与非地带性分布的自然组合。水土保持生态自然修复必须按照植被的自然分布规律,在自然植被为森林的区域,恢复森林植被,在草原区域恢复草原植被,使自然修复恢复的植被,最适应当地的自然环境,形成的群落最为稳定。从尊重自然地带规律出发,因地制宜,有选择地实施生态修复工程,使修复地区既适宜生态环境的需要,又有必要实施自然修复,从而达到治理水土流失、改善生态环境的目的。

2 自然和人为因素分析

自然条件和人为干预是实施水土保持生态自然修复的基础,通过生态自然修复适宜性研究,使自然恢复力和人为促进的恢复力有机结合,促使生态自然修复向前发展,实现社会、经济、生态效益最优。

2.1 自然因素

2.1.1 气候因素 气候因素主要考虑光热条件和降水条件,它一定程度上决定了我国植被的主要类型及分布情况。光热条件好,降水丰富的地区,退化生态系统的自然修复比较容易,并且见效快。如热带、亚热带地区,植被生长速度快,生物多样性复杂,物质再生更新速率快,生态自然修复很快,效果也比较明显。而我国广大的西北地区,地处干旱、半干旱地带,显然水热条件、植被条件不及东南沿海,生态自然修复的速度比较缓慢。

2.1.2 水文因素 总的来说,我国水资源分布极为

不均,南多北少。水分是植物生长的必要条件,是水土保持生态建设的首要制约因素^[13]。各地都有适宜区域气候条件的植被,并具有顶级群落,只要对生态自然修复区进行严格的管护,生态自然修复同样可以达到目的。如塔里木河流域的下游绿色走廊区,由于上游水文条件的变化,绿色走廊急剧萎缩,湖泊干涸,森林枯死,两侧的大沙漠呈现合拢态势,国家在 2000—2003 年向断流超过 30 年的塔里木河下游超过 500 km 的天然河道,实施了 5 次应急输水,结果使下游绿色走廊重新趋于活跃^[14]。可见,水分条件在特定范围、特定时段制约生态自然修复的进程。

2.1.3 地貌因素 地貌主要是自然力作用形成的结果,中国地貌最明显的特点是平地少,山地多,西高东低。高山、高原分布在大兴安岭—太行山—巫山—雪峰山一线以西,丘陵和平原则主要分布在这一线以东^[13]。虽然地貌特征复杂,但不同地区都具有适宜该区地貌条件的生态系统;因此,地貌条件对生态自然修复的影响作用不大,但是特殊的地貌条件对水土流失的影响却较大,治理难度相差甚远。如黄土高原丘陵地貌、喀斯特地貌条件下,水土流失相对严重,而平原的水土流失治理难度比丘陵山区相对容易。

2.1.4 土壤因素 土壤是植被生存的基础,土壤条件包含土壤的质地、结构和生产力等。在同样的降水、光热条件下,土层厚、肥力高的区域植被自然恢复较快,反之在水土流失严重、土层薄、土壤贫瘠的区域,生态自然修复的能力就很有限^[15]。试验^[16]表明,即使在降水丰沛的南方地区如兴国县(年均降水量 1 599.5 mm)的强度花岗岩水土流失区,由于土壤条件的限制(有机质质量分数只有 0.90%,约占无明显侵蚀区有机质质量分数 5.24% 的 1/6),13 年生马尾松(*Pinus massoniana*)高还不足 70 cm。黄土高原地区长期严重的水土流失,致使土壤质量已严重退化,与原生植被相伴黑垆土几乎丧失殆尽,现存的是大面积新发育的黄绵土,有机质质量分数在 1% 左右,极少达到 1.5%。特别是近 20 余年以来,随着农民对土地投入的增加,农民更多地重视化肥的投入,忽视有机肥的投入^[17],使土壤质量面临更为严峻的挑战。在非农用地上,由于高强度的放牧和轮荒,自然生态系统受到严重创伤,形成恶性循环,恢复难度很大。土壤可谓是生态安全的第二道屏障,失去了土层意味着生态系统再生的基础丧失,可以说生态自然修复不可能进行^[18]。

2.1.5 植被因素 水土保持生态自然修复是以植被恢复为主,关键措施是封山育林(草),因此,植被群落破坏程度是衡量生态系统在一定时间内有无自然修复能力的重要指标^[15]。无论是森林生态系统还是草地生态系统,一旦生态群落及其结构遭到了根本性的破坏、地力发生退化,再开展生态自然修复就是不切实际的,如出现了一些严重水土流失区,表土流失殆尽,基岩裸露的南方和严重沙化、石漠化的北方草木稀疏的草原区;但是,植被的自然修复功能非常强大,适应区域环境的自然植被,最终能够形成稳定的群落^[19]。植被自然修复不是对低产群落的改造,不是对现有群落进行大幅度间伐或清除非目的的植物,而是现有群落中栽植一些演替后期才出现的建群种或优势种,通过增加它们的繁殖体,加速群落演替,通过在现有群落林间空地补植植物,有意识保留入侵的乡土植物,使群落覆盖度整体提高,群落质量、生态功能更加完善^[4]。

2.2 人为因素

如前所述,自然因素对生态自然修复的影响作用很大,人为因素主要是利用和改变这些自然因子对生态自然修复产生影响^[20],人类活动与各自然要素关系有大量的研究,如人类活动对气象^[21]、水文^[22]、土壤^[23]、植被^[24]影响等。人为破坏作用主要表现在水资源污染和枯竭、水土流失严重、陡坡耕种、毁林毁草、不合理放牧等情况,导致一些地区的生态环境很恶劣,短时间难以自然修复;然而,人类能发挥其主观能动性,改变不利环境为生态自然修复创造适宜条件,如提高育种技术、实施人工补播、改善生长条件、改良土壤、修建配套水利设施、加强封禁管理、生态移民、促进生态补偿机制等措施,改变生态自然修复的环境,加快生态自然修复的进程。人为因素对自然环境的直接作用和间接作用,都会对生态自然修复产生一定的影响,因此,人类要采用合理的活动方式利用自然环境、适宜的措施促使水土保持生态自然修复从局部快速修复到区域内整体恢复。

3 生态自然修复适宜性研究内容

水土保持生态自然修复是在适宜的自然环境、社会条件下实施并实现的,并不是所有地区都适合实施生态自然修复,对此,很多人就水土保持生态自然修复适宜条件进行了多方面的探讨和研究,刘震^[25]首先提出因地制宜多种措施并举为生态的自然修复创造条件。

3.1 区域定性研究

研究区域从大尺度到中小尺度,从大流域、省域到县域都开展了生态自然修复适宜性条件的研究。廖纯艳等^[26]在长江流域对自然环境的空间差异进行了生态自然修复能力评价,不同区域应开展不同生态自然修复措施;李万全^[27]把青海省黄河流域分为黄河河源区生态建设区和东部黄土高原水蚀生态建设区来探讨水土保持生态自然修复适宜性分析;林敬兰等^[28]、张和等^[29]、左元庆^[30]分别对福建省、吉林省、重庆市的气候、地貌、植被、社会经济等情况进行分析,并探讨了区域水土保持生态自然修复的可行性;王宏兴等^[31]、庄秀琴等^[32]、张庆祥等^[33]分别对榆林市、泉州市、吉木萨尔县中小尺度的水土保持生态修复适宜条件进行了讨论,王宏兴等还对生态修复的制约因素和有利条件进行了对比分析,提出了生态自然修复适宜的相应措施。这些生态自然修复适宜性研究旨在为生态脆弱区提供指导,以满足行政区域制订政策,指导好水土保持生态自然修复的实施,保护生态环境的需要。

3.2 适宜评价指标探讨

水土保持生态自然修复的研究和试点工程的开展一直在延续,很多学者根据生态自然修复影响因子和实践经验提出了生态自然修复的适宜评价指标。彭少麟^[34]根据热带人工林恢复定位研究提出,森林生态自然恢复的条件标准包括结构(物种的数量及密度、生物量)、功能(植物、动物和微生物间形成食物网、生产力和土壤肥力)和动态(可自然更新和演替)。杨少林等^[15]和李凤等^[35]提出水土流失程度、植被破坏程度是生态自然修复适宜的主要指标条件;赵秉栋等^[36]把水作为生态恢复的主导因子,把年降水量、土壤类型、人口密度、社会经济状况等因子作为确定不同区域的生态自然修复潜力的依据;梁宗锁等^[37]以类似的指标和方法对黄土高原进行适宜分区研究,确定不同区域的生态自然修复潜力;解明曙等^[38]根据人口、土层厚度、降雨量等条件划分了8类地区,认为凡是对土地没有高效高产要求,草木难以生长的山丘、河网或湿地等均可实施水土保持生态自然修复;刘俊立等^[39]从生态学角度分析生态系统的状态——植被群落破坏程度、生态环境给水状况、土壤条件的性能指标,提出了生态临界点概念,这为生态自然修复的适宜评价提出了新的、

更为全面客观的思路。这些评价主要在指标的选取上,并未对生态自然修复适宜程度进行量化的分析,很大程度上影响水土保持生态自然修复措施的具体实施。

3.3 评价指标量化分析

随着生态自然修复适宜性不同指标的提出和兴起,生态自然修复适宜定量评价也倍受关注。定量分析在特定情况下针对性强,能抓住要害,对实施生态自然修复非常有效。黄自强^[40]对于黄土高原提出了25°以上坡耕地,降雨量500 mm以上、400~500 mm、400 mm以下的3个不同地区开展不同的水土保持措施。水利部^[41]根据国家土地分类标准,认为适宜于生态自然修复的土地类型主要有5类:1)郁闭度>40%、高度在2 m以下的灌木林地;2)郁闭度为10%~30%的稀疏林地;3)覆盖度在20%~50%的草地;4)覆盖度在5%~20%的低覆盖度草地;5)地表土质覆盖、植被覆盖度在5%以下的裸土地,以及地表为岩石或砾石、其覆盖度>50%的裸岩石砾地。另外,还利用模糊聚类分析进一步将全国的生态自然修复划分为3种适宜治理类型:1)以人工重点治理为主,促进区域生态自然恢复,所针对的区域多为人口密度大且水土流失严重的区域;2)人工重点治理和生态自然修复同等重要,该类型区在重视自然修复的同时,还要配置一定的人工治理面积,所针对的区域多为人口密度相对较大且水土流失较严重的区域;3)以生态自然恢复为主,人工重点治理为辅,针对地广人稀、水土流失相对较轻的区域,这都为生态自然修复适宜地类分析研究提供了科学依据。钟明星等^[42]根据生态自然修复的主要制约因素,以人口密度、年降水量、土层厚度、林草覆盖度、水土流失强度、人均收入和人均基本农田7个指标,按5个等级划分了生态修复适宜程度,详见表1。该研究进行了不同指标条件下5个适宜等级的评价方法,有利于准确地做出生态自然修复的适宜性评价,为开展好生态自然修复工作奠定了基础。

此外,李果^[43]从生态敏感性入手,以三峡库区宜昌市三斗坪镇为例,针对库区各种生态自然恢复对自然环境的不同要求进行了评价分级,为该库区合理的开展生态自然恢复建设提供了参考。

表 1 水土保持生态自然修复适宜条件评价标准

Tab. 1 Standards of suitability assessment of natural ecological restoration for soil and water conservation

级别	适宜性	人口密度	年降水量	土层厚度	林草覆盖度	水土流失	年人均纯收入	人均基本农田
		人·km ⁻²	mm	cm	%	强度	元	km ²
I	完全适宜	<50	>800	>40	>40	轻度	>4 000	>0.09
II	基本适宜	51~100	601~800	31~40	31~40	中度	3 001~4 000	0.07~0.09
III	较难适宜	101~200	401~600	21~30	21~30	强度	2 001~3 000	0.05~0.07
IV	困难适宜	201~400	201~400	11~20	11~20	极强	1 001~2 000	0.03~0.05
V	极难适宜	>400	<200	<10	<10	剧烈	<1 000	<0.03

3.4 自然地带性差异的适宜性研究

自然地带性规律是地表水热状况组合的影响结果,其主要表现之一是自然带界线的分布高度随水热条件而呈现规律性变化^[44]。根据干燥指数、降水量等具有地带性特征因子,陈法杨等^[45]、蔡建勤等^[46]、第宝锋等^[47]将全国划分为 4 个水土保持生态自然修复类型区:湿润生态自然修复类型区、半湿润生态自然修复类型区、半干旱生态自然修复类型区、干旱生态自然修复类型区;王永军等^[48]对长江上游 362 个县级行政区域进行了湿润、半湿润、半干旱的 3 个生态自然修复分区。

地球上各种植被类型的分布,基本上取决于热量和水分等相应的气候条件,而我国自然区域水热条件呈现规律性变化,因此,植被也表现地带性的特征。根据植被地带性,第宝锋等^[47]将我国 4 个一级类型区划分为 16 个具有地带性特征的二级生态自然修复区;王永军等^[48]对长江上游 3 个生态自然修复分区划分为 5 个二级生态自然修复区;汪习军^[49]把黄土高原划分为西北部干旱半干旱草原带草灌修复区、中部半干旱森林草原带乔灌草修复区和东南部半湿润阔叶林带乔灌修复区。

自然地带性产生的区域差异对生态自然修复的影响很大,掌握自然地带性规律,充分利用各地有利条件,进行生态修复适宜性评价,实施合适的修复措施,取得最佳的效益。

3.5 基于 GIS 的适宜性研究

遥感和 GIS 的兴起为生态自然修复评价带来了技术上的革新,它将空间数据和属性数据完美地结合在一起,并且具有强大的空间分析能力,使对生态自然修复适宜性这种空间复杂系统的分析、评价更具科学性。

程建权^[50]总结了 GIS 对空间性多指标定量化的空间分析方法,为空间决策分析提供基础。陈崇成等^[51]通过 Arcview3.1 提供的接口函数,实现了

Avenue 和 VB 间的数据传输和表现,集空间数据管理、空间应用分析模型和土地利用方式改造可视化决策支持于一体,为生态自然修复评价和土地利用优化配置提供了很好的决策工具。沈素真等^[52]基于 GIS 技术平台,对生态自然修复影响因子采用特尔非法量化赋值进行了空间叠加分析。陈丽慧等^[53]以根溪河小流域为研究区域,选择土壤有机质、植被覆盖度、坡度、土壤侵蚀强度等作为评价指标,基于 GIS 构建评价指标模型,对多源数据进行空间分析,得到生态自然修复定量化评价结果图。王奉英^[54]利用遥感图像,结合地理信息系统技术建立了淮河流域生态修复管理数据库,进行了生态自然修复适宜评价范围及生态自然修复规划,将结果落实到具体区域上。

借助遥感和 GIS 技术使生态自然修复适宜性评价更加方便可操作。虽然目前在这方面的研究还不多,研究技术还不完善,但生态修复适宜性评价的发展趋势会更向这方面靠近。比如 GIS 与评价模型集成化、以 GIS 为平台的生态自然修复适宜评价二次开发,基于 GIS 人工智能以及多种方法综合的研究,基于 Web 服务的土地适宜性评价 PSE 设计与实现等等,都为生态自然修复适宜评价发展提供了很好的途径。

3.6 人为促进措施适宜性研究

水土保持生态自然修复取得的成效中,人为促进措施不可忽视,人为促进措施能改善植物生长环境因子,与自然修复相辅相成,共同促进生物生长、繁衍,加快生态系统的自然演替,保证生态自然修复又快又好地进行;因此,对人为促进措施适宜性分析显得尤为重要。

林敬兰等^[28]对福建省进行了生态修复分区,根据分区的结果确定了不同区生态修复方向,是采用自然修复还是人为促进措施,主要分为:1)闽北闽中内陆山地丘陵盆谷轻度水蚀自然修复区;2)闽东

北沿海山地丘陵中强度水蚀人工辅助修复区;3)闽西南内陆山地丘陵中强度水蚀自然+人工辅助修复区;4)闽东南丘陵台地强度水蚀人工促进修复区;5)闽东南沿海岛屿平原轻中度水蚀风蚀自然修复区,为区域规划提供决策。田立生等^[11]根据群落空间分布格局和林下更新的分析,阐明适宜人工干预对生态自然修复的促进作用。陈奇伯等^[55]通过对金沙江上游滇西北高原植物群落、土壤理化分析、径流小区观测,对陆生生态系统的生态自然恢复效果研究表明,人工干扰形成的退化生态系统通过人为诱导修复,可在较短时间内形成功能较完善的人工生态系统。程积民等^[56]在黄土高原半干旱区灌草植被的自然恢复重建研究表明,以乡土植物为主的人工改良措施,不但改变了群落的物种结构,而且还大幅度地提高了生物产量。人为促进修复的作用逐渐被人们重视,但要使人为作用起到最优效果,还需从生态自然修复的内在机制、群落演替的原动力、人为促进修复的功能上进行研究和探讨,准确把握人为干预的时间、过程、措施等。

4 小结

综上所述,我国水土保持生态自然修复的适宜性研究呈现一定特点,研究范围不断拓展,评价指标更加多元化,定性与定量相结合的方法、自然地带性分析贯穿于大多数生态自然修复适宜性评价过程,模糊聚析等也得到使用,GIS技术被逐步利用,并且各种技术、方法相结合在取长补短中共同推动着生态自然修复适宜性研究的发展。

实施水土保持生态自然修复,离不开自然因素和人为因素的作用,二者缺一不可。如果只注重自然条件,没有人去制止有碍生态自然修复的活动或人为引导生态自然修复的辅助措施,生态自然修复目的又快又好实现是不可能的;如果在各方面都做了努力,但自然条件不具备,也不能很好地实现生态自然修复目的:因此,进行水土保持生态自然修复适宜性研究,有利于确定采取怎样的自然修复方式,实施什么样的具体促进修复措施,研究生态可自然修复性与农、林、牧用地以及粮食安全、畜牧业持续发展的基本关系;明确一定区域内生态自然修复、人工植被建设、封禁的比例、强度与经济协调发展的关系,为不同区域生态自然修复提供指导性决策。

5 参考文献

[1] 余新晓,牛健植,徐军亮.山区小流域生态修复研究.

中国水土保持科学,2004,2(1):1-5

- [2] 武烽东,贾瑞燕,肖玉保.陕北生态修复现状与对策:以榆林地区为例.中国水土保持科学,2004,2(4):98-101
- [3] 黄自强.黄河流域水保生态修复实践及思考.中国水利,2004(14):10-12
- [4] 张文辉,刘国彬.黄土高原地区植被生态修复策略与对策.中国水土保持科学,2009,7(3):114-118
- [5] 张青峰,王九军,田鹏,等.黄土高原水土保持生态修复机理与模式研究.陕西农业科学,2005(6):58-60
- [6] Brink P, Nilsson L M, Svedin U. 生态系统的恢复与发展.宋玉芳,张艳彦,译.生态学进展,1989,6(4):263-271
- [7] 江洪,张艳丽,James S. 干扰与生态系统演替的空间分析.生态学报,2003,23(9):1861-1875
- [8] 丁圣彦.生态学.北京:科学出版社,2004
- [9] 王震洪,朱晓柯.国内外生态修复研究综述//中国水土保持学会第三次全国会员代表大会学术论文集.北京:中国农业科学技术出版社,2006:25-31
- [10] 岑慧贤,王树功.生态恢复与重建.环境科学进展,1999,7(6):110-115
- [11] 田立生,刘艳军,吴立军.天然混交林水土保持生态修复技术研究.水土保持研究,2006,13(3):137-139
- [12] 孙鸿烈,张荣组.中国生态环境建设地带性原理与实践.北京:科学出版社,2004
- [13] 焦居仁.生态修复的探索与实践.中国水土保持,2003(1):10-12
- [14] 邓铭红.塔里木河下游应急输水植被恢复响应及生态修复研究.中国水利,2004(14):15-18
- [15] 杨少林,孟菁玲.浅谈生态修复的含义及其实施配套措施.中国水土保持,2004(10):7-9
- [16] 周昌涵.我国南方典型水土流失的防治对策.武汉:华中理工大学出版社,1998
- [17] 刘小兰,李世清,李凤民.论旱地农业中有机肥和豆科作物的农学意义.水土保持学报,2000,14(6):161-165
- [18] 刘士余,左长清,孟菁玲.水土保持与国家生态安全.中国水土保持科学,2004,2(1):102-104
- [19] 焦士兴.关于生态修复几个相关问题的探讨.水土保持研究,2006,13(4):127-129
- [20] Enrico F, Laura G V, Woldu Z. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socioeconomic factors. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002,91(1-3):313-325
- [21] 任立良,张炜,李春红.中国北方地区人类活动对地表水资源的影响研究.河海大学学报,2001,29(4):13-18
- [22] 高前兆,李吉均.气候变化与人类活动干扰下塔里木

- 盆地南缘地下水的变化及其生态环境效应. 干旱区地理, 2002, 25(1): 16-23
- [23] 王祖伟, 徐利森, 张文具. 土壤微量元素与人类活动强度的对应关系. 土壤通报, 2002, 33(4): 303-305
- [24] 李香云. 干旱区土地荒漠化中人类因素分析. 干旱区地理, 2004, 27(2): 239-244
- [25] 刘震. 尊重自然充分发挥生态的自我修复能力加快水土流失防治步伐. 中国水利, 2001(10): 50-52
- [26] 廖纯艳, 蒲勇平. 长江流域生态修复工程的意义及对策. 人民长江, 2003, 34(11): 37-37
- [27] 李万全. 青海省黄河流域生态修复适宜性的初步探讨. 水土保持研究, 2005, 12(6): 68-70
- [28] 林敬兰, 朱颂茜. 福建省水土保持生态修复探讨. 亚热带水土保持, 2008, 20(1): 65-70
- [29] 张和, 年吉刚. 依靠生态自然修复能力加快吉林省水土流失治理步伐. 中国水土保持, 2002(4): 17-18
- [30] 左元庆. 重庆市水土保持生态修复初探. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4725-4727
- [31] 王宏兴, 孙秋来, 王博, 等. 对陕北榆林生态修复的思考. 中国水土保持, 2006(10): 36-37
- [32] 庄秀琴, 苏典南. 关于水土保持生态修复相关问题的商榷. 亚热带水土保持, 2005, 17(5): 27-28
- [33] 张庆祥, 花永辉. 浅谈新疆吉木萨尔县水土保持生态修复治理模式. 新疆水利, 2004(4): 55-59
- [34] 彭少麟. 恢复生态学与植被重建. 生态科学, 1996, 15(2): 26-31
- [35] 李凤, 陈法扬. 生态恢复与可持续发展. 水土保持学报, 2004, 18(6): 187-189
- [36] 赵秉栋, 赵军凯, 宫少燕. 论生态修复在水土保持生态建设中的优化作用. 水土保持研究, 2004, 11(3): 105-108
- [37] 梁宗锁, 左长清, 焦巨仁. 生态修复在黄土高原水土保持中的作用. 西北林学院学报, 2003, 18(1): 20-24
- [38] 解明曙, 吴秋丽, 谌利斌, 等. 实施陆地生态修复的科学观. 中国水利, 2004(8): 33-34
- [39] 刘俊立, 杨挺博. 水土保持生态修复生态临界点之我见. 河北水利, 2008(6): 10
- [40] 黄自强. 黄河流域水土保持生态修复实践及思考. 中国水利, 2004(14): 10-12
- [41] 张文聪, 陈法扬, 杨新民. 水土流失综合治理与生态修复重大问题研究报告技术报告. 水利部水土保持监测中心, 2005: 34-36
- [42] 钟明星, 黄正建, 黄明艳, 等. 浅谈水土保持生态修复的适宜条件及工作重点. 中国水土保持, 2005(1): 16-17
- [43] 李果. 区域生态修复的空间规划方法研究[D]. 北京: 北京林业大学图书馆, 2007
- [44] 蒋忠信. 中国自然带分布的地带性规律. 地理科学, 1990, (10)2: 114-125
- [45] 陈法扬, 张长印, 牛志明. 全国水土保持生态恢复分区探讨. 中国水土保持, 2003(8): 2-3
- [46] 蔡建勤, 张长印, 陈法扬. 全国水土保持生态修复分区研究. 中国水利, 2004(4): 46-48
- [47] 第宝锋, 崔鹏, 艾南山. 中国水土保持生态修复分区. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40(5): 32-37
- [48] 王永军, 齐实, 第宝锋, 等. 长江上游水土保持生态修复分区. 科技风, 2008(4): 10-12
- [49] 汪习军. 用人与自然和谐发展的思想指导黄土高原生态修复. 中国水土保持, 2004(11): 6-8
- [50] 程建权. GIS 技术支持多指标综合评价. 系统工程, 1997, 15(1): 50-56
- [51] 陈崇成, 涂平, 黄绚. 土地利用改造规划的多因子空间分析. 自然资源学报, 2000, 15(2): 117-122
- [52] 沈素真, 颜玉旋, 施兰香, 等. 花岗岩侵蚀地自然生态修复区域研究: 以长汀根溪河流域为例. 内江师范学院学报, 2007, 22(6): 81-83
- [53] 陈丽慧, 陈志彪, 陈志强, 等. 根溪河小流域生态修复潜力评价. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2008, 24(3): 98-102
- [54] 王奉英. 淮河流域土石山区水土保持生态修复研究[D]. 济南: 山东师范大学图书馆, 2008
- [55] 陈奇伯, 寸玉康, 王利民, 等. 金沙江上游滇西北高原水土保持生态修复效果. 中国水土保持科学, 2005, 3(4): 48-53
- [56] 程积民, 万惠娥, 胡相明. 黄土丘陵区植被恢复重建模式与演替过程研究. 草地学报, 2005, 13(4): 324-328

(责任编辑: 程 云)