

宁宝英, 马建霞, 姜志德. 生态治理技术适宜性评价影响因素及概念模型——以沙漠化治理技术为例[J]. 中国沙漠, 2020, 40(2): 9-16.

生态治理技术适宜性评价影响因素及概念模型 ——以沙漠化治理技术为例

宁宝英¹, 马建霞¹, 姜志德²

(1. 中国科学院西北生态环境资源研究院 兰州文献情报中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 生态系统退化已是全球的主要环境问题, 旨在恢复和重建生态系统的生态治理技术受到重视。在众多直接、间接的技术中, 如何遴选最适宜的技术, 目前仍缺乏系统、科学、完善的评价方法。根据对其他领域中有关技术评价理论、方法、要素等的梳理, 以沙漠化治理技术涉及的多个影响因素为例, 首次提出一般性生态治理技术适宜性评价概念模型——“双圈十二维”模型, 包括两类十二个维度: (1) 内生因素(内圈): 限制性、独立性、经济性、可操作性; (2) 外部因素(外圈): 目标、地域、时效、政治政策制度、意识理念态度、社会经济、退化状况、机会成本。将该概念模型用于具体的生态治理技术适宜性评价时, 可根据需要缩减影响因素数量, 并需将影响因素具体化为可操作的指标。此外, 技术的适宜性具有时空异质性。

关键词: 生态治理技术; 适宜性评价; 影响因素 “双圈十二维”概念模型

文章编号: 1000-694X(2020)02-009-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2019.00084

中图分类号: X80

文献标志码: A

0 引言

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^[1-2], 土地沙漠化、水土流失、石漠化面积占地球总面积的25%以上^[3]。生态系统退化已成全球面临的主要环境问题, 退化生态系统的恢复和重建成为当前生态研究的热点, 生态治理技术作为其中的重要环节, 受到高度重视。

响应多种退化生态系统类型、原因和程度, 发展和积累的生态治理技术种类多、外延广。从时间上看, 包括在漫长历史发展过程中积累的大量的实践经验技术(传统技术)和近代科学兴起之后的实验科学技术(新兴技术)。从技术作用力类型上分为物理、化学、生物、综合型。在具体实施治理行动时, 采用哪种技术或技术组合才能达到治理的目标, 需要对技术进行遴选, 其实质是技术适宜性评价。

生态治理技术适宜性评价要回答具体、实际问题: 不同技术或技术方案优化配置的区域适宜性理

论和方法是什么? 同一区域下, 哪种配置才是优化配置? 不同配置模式下的自然和社会的响应特征如何? 当前为最佳的配置模式在自然和社会条件变化时其动态过程如何? 目前的研究和实践还不足以回答这些问题。

适宜性是技术得以进一步发展和演化的基础, 对其中不适宜要素的分析, 则是认识影响技术进步和发展因素的最透彻的一环。形成统一的评价方法和指标体系、建立一套科学的筛选方法和模式、构建适用于任意技术适宜性评价的概念模型, 进而开展技术适宜性评价, 对于国家、地区相关部门遴选和推介合适的治理技术、确定技术的推广方向、指导技术研发与布局、优化投入产出比、降低生态治理成本等都具有非常现实且迫切的实践意义。

1 技术适宜性评价模型影响因素

1.1 技术适宜性评价研究进展

吴晓娟^[4]对“适宜”含义的阐述包括两方面: 一

收稿日期: 2019-08-11; 改回日期: 2019-09-30

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0503703)

作者简介: 宁宝英(1979—), 女, 山东费县人, 研究馆员, 主要从事生态经济与科技情报分析。E-mail: ningby@ilas.ac.cn

Copyright © 2020 Desert Research Institute. All rights reserved. http://www.cnki.net

是此地是否有实施该技术的“必要”,二是此地是否“有条件”实施该技术。即是否“必要”实施该技术、实施的条件是否“充分”,简言之,该技术是否是治理的“充要条件”。作者认为退化生态的治理,必要性仅有大小之别,不涉及有无之分;而是否“有条件”才是“适宜”评价的重点,其含义可能包括:是否具备客观条件(如经济基础、交通条件)、是否具备承受技术的负面影响的调节能力(例如,实施了某项技术之后会造成农业从业人员部分失业,如封禁后不能再放牧)、是否可为生态需要留出更多资源等,从生态学上讲,即实施治理技术后是否降低了生态系统的熵值。

适宜性评价本应是遴选、优化实施技术的前提,即,为了使某一项技术或综合技术方案在实施地能顺利推广且综合效益最大化,应当“事前”对该技术或方案进行适宜性评估,但实际情况是“事后”评估做得都很不够。当前对技术开展适宜性评价的文献不多,目前仅在部分领域做了“适宜技术(appropriate technology)”研究,取得了一些间接成果,多在于生态建筑^[5-12]、水土保持^[13-22]、耕作技术^[23-24]、工程技术^[25]、土地复垦^[26-31]领域,具体到生态治理技术适宜性评价总体做得更少^[32-34]。

尽管生态治理技术适宜性评价非常少,但其他领域中已开展的研究为适宜性评价的一般思路、影响要素发现、指标体系及模型构建提供了思路和方法的借鉴。Li等^[31]采用层次分析法,考虑多种影响因素,构建了污染农田修复技术评价指标,建立了污染农田修复技术适宜性评价模型,并以3种修复技术在北京市石楼镇的污染农田做试验,得出修复技术的适宜性。周甜甜^[8]对建筑节能技术适宜性筛选研究中提出将其分为区域与建筑两个层面,提出采用模糊综合评价法划分适宜性等级,即从技术层面抽剥技术共性,建立通用指标体系,采用层次分析法计算指标权重。杨捷^[24]使用层次分析法、灰色综合评价法、农户调查法对保护性耕作技术在黄河流域4个典型研究区域的生态适宜性、经济可行性、社会可接受性3方面进行适宜性评价。王蒙^[25]找到影响技术应用的主要因素,提出技术适宜性评价体系,建立了层次分析与模糊评价法相结合的综合评价模型。

这些研究中存在诸多问题:大多数研究是针对技术在某个方面的研究和评价,较关注技术自身的可行性(如气候、自然条件等的适宜性)和在经济方面的表现(实际生产生活中)应用性、可比性和通

用性差,缺乏地域针对性,缺乏技术优选与配制方法模型,指标的选择及其权重的设定主观性强,科学性欠缺^[5, 22, 35-36]。由此,近些年来,对技术多方面、全方位的考量已经有了萌芽,一些研究者开始关注技术的综合适宜性问题,将社会学理论、多目标决策理论、综合评价理论运用到技术的选择和评价上。

1.2 影响因素

在目前已开展的有关技术适宜性评价中,涉及到了众多因素,侧重点也不一样,并未形成统一的评价方法和指标体系。通过综合分析,认为可将众多因素先分为内生因素和外部因素两大类。内生因素是技术本身内在的、固有的特点,不受或极少受外部因素影响。外部因素指技术使用时外部环境中存在或因需求差异而出现的相关因素。然后再细分和归类,形成影响因素的分类体系。

1.2.1 内生因素

技术是否适宜,首先受技术内生因素影响,根据技术经济学中技术评价的涵义,包括技术的先进性(本研究中细分为限制性和独立性)、经济性和可操作性。技术的限制性越少、独立性越强,可认为技术先进性越好。

限制性指技术使用时存在限制性因子,根据受限制的程度不同,又可细分为绝对限制性(一旦存在某个绝对限制性因子,该技术即不能使用)和相对限制性(受该因子限制,但也可通过某些途径在一定程度上解决)。例如引水拉沙造田治理沙漠化技术在缺水地区无法使用,水是该技术的绝对限制性因子,而塔中石油公路护路灌草带植物水分通过管道输水滴灌得以解决。技术的限制性会影响技术的使用地域范围、扩散能力。姚应龙^[17]在水土保持技术适宜性评价中提出要考虑最弱的一个因子,最弱的因子限制了土地的适宜性,即只要一个因素限制了退耕,其他条件再好也难以实施该技术。最低限制因子评判法着重强调主要限制因素的作用。

独立性是指技术在使用时对其他要素的依赖性,比如是否需要搭配其他技术共同使用。

经济性是指技术的投入产出比(成本与产生效益的比率),即技术实施成本是否低廉。技术的成本包括技术研发成本、原材料成本、人工成本、技术使用后续的管理和维护成本。目前的研究集中于技术使用后产生的效益包括经济效益、社会效益和生态效益^[37-42],缺乏对技术前期研发成本的考量。该指标用以衡量技术在经济层面是否具有可行性和竞

争性。多数学者从技术的效益(生态效益、经济效益和社会效益)评价彰显其经济性^[13],其难点在于量化的效益指标是否可由某项技术的实施单独解释,如果不能,如何厘清“多因一果”的状况。喻权刚^[43]提出具体的量化指标“技术的保存率”,即技术治理的验收面积与实际保存面积的比值来反映技术质量的好坏。作者认为,还可以在时间维度延伸该概念,如技术保存率半衰期,意为技术保存率为50%时的时间长度。

可操作性是指技术是否易于被操作者学会和使用。技术操作简单易行,使用者一学就会,则利于技术被采用。

1.2.2 外部因素

尽管缺乏直接相关的生态治理技术适宜性评价文献,但从对于其他技术评价的一些研究中获得一些提示。吴晓娟^[4]认为,评价一个技术是否适宜需要考虑到自然条件、退化状况、社会资源适应性、经济发展水平、机会成本、比较优势以及生态环境建设等综合因素。周甜甜^[8]提示技术适宜性评价受技术作用对象的异质性影响。魏思琳^[44]使用结构方程(SEM)模型分析了影响农户对机械化保护性耕作技术产生采纳行为意向的因素,包括农户受教育水平、传统耕种思想、思维习惯、经济条件等。王蒙等^[45]认为要考虑技术自身与应用环境的适应程度、当地经济投入能力、用户对工程技术的接受和掌握程度、劳动力价格、建设费用、运行和维护费用、效益、技术使用的目的。杨越^[46]认为农业技术适宜性评价的影响因素包括农户自身条件(收入、年龄、受教育程度、性别)和外部条件(相关法律政策、政府重视程度)。翟治芬等^[19]认为农业技术适宜性评估主要考虑技术本身的特点和区域实际情况,其构建的评价指标体系中主要考虑的因素包括作物适宜性、水资源条件、光温、地形、经济、生态6个方面。代富强^[20]认为水土保持技术的适宜性问题就是适应当地的土壤条件自然条件和社会经济条件。刘刚才等^[13]认为技术评价时需考虑其技术自身指标、区域适宜性指标和农户评价指标。胡开波等^[47]分析了中国各地荒漠化防治技术及模式,认为中国荒漠化防治技术及模式的构建均基于当地自然条件、社会条件、经济条件,参考当地群众治沙经验,表现出的特点有:综合性(工程措施、化学措施、生物措施、农业措施、水利工程措施等综合应用)、多样性(根据具体立地条件及荒漠化类型等、因地制宜、适地适树,提出适应技术及适合的具体植被模式,技术及模

式多样化)、兼顾性(生态、社会、经济三方面效益兼顾,荒漠化治理与生态建设兼顾等)。Xiao等^[48]在研究如何设计和匹配石漠化治理和生态恢复措施时,认为应充分考虑土地利用条件、石漠化等级、土地适宜性评价和耕地需求预测等因素。Yang等^[49]评价煤炭塌陷区土地复垦技术和生态重建设计时考虑到的因素包括规划、土地的适宜性、成本效益等。甄霖等^[50]认为在选择治理技术时,需要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,考虑具体治理需求。在以上研究中,每一个技术适宜性评价中都提到多项影响因素,并对本研究提供了有价值的影响因素抽取参考。

目标:分单一目标和综合目标,目标不同,采取的治理技术不同。王军德等^[51]在石羊河流域中游武威市凉州区,为分析蔡旗断面下泄水量目标,利用生态适宜性原理确定节水灌溉技术的适宜性分区。高吉喜等^[52]提到中国生态恢复大部分目标是以生态问题为导向,欠缺对恢复的终点应是“区域生态功能的提升”的认识,目标认识的错位,不仅使生态问题没有从根本上解决,还造成了恢复资源的浪费,认为中国生态恢复应从问题导向转为提升区域生态功能导向。宁夏中卫沙坡头地区采用草方格沙障阻沙,确保包兰铁路运行,后在长期的治沙实践中,创建了卵石防火带、灌溉造林带、草障阻沙带、前沿阻沙带、封沙育草带“五带一体”治沙模式,即将单一的“旱路固沙”目标变为“水旱并举”的综合治沙目标而采取了不同的治理技术^[53]。由于生物结皮具有固氮能力,特别是结皮演替早期的藻结皮,它们对荒漠生态系统功能重建具有重要作用,为了恢复沙漠生态系统功能而不仅仅是固沙,生物结皮技术被广泛关注和应用^[54-56]。王蒙等^[45]认为技术使用的目的,也是技术适宜性评价的主要因素,当一项技术的使用是为了提高产量等单纯地追求经济效益时,投入产出比的影响权重就大。代富强^[20]认为水土保持技术在一个区域内是否适宜,包含技术对当地各种条件的要求和当地农民对技术产出效益的期望两个方面,即技术实施地的土壤条件、自然环境条件和社会经济条件满足技术要求的程度和技术的保水保土效益、自然环境效益和社会经济效益达到当地农民期望的程度。

地域:空间异质性是生态系统的一大地理分布特征,退化生态系统治理有一条基本原则“因地制宜”,即突出强调了地域适宜性的重要性,地域因素

包括自然地理地带性因素,如气候、地带性植被,也包括非地带性因素(如海拔)和具体的立地条件,如坡向、坡度、干湿状况、微地形等。中国幅员辽阔,区域差异明显,评价一项技术是否适宜,地域分异和分区^[57]是需要考虑到的基本前提。如在沙漠化土地治理中,为便于不同地区科学、合理地开展沙漠化防治,在不同历史阶段出台了多次沙漠化土地治理的区划:朱震达等^[58-59]早在1981年就开展了土地沙漠化治理区划的研究,提出了具有里程碑意义的中国北方沙漠化治理区划方案,指出进行沙漠化治理区划必须遵循自然地带原则和沙漠化发展程度原则,并将自然地带性作为区划的第一级指标,将发展程度作为第二级指标,把中国北方地区的沙漠化土地划分为3个大区26个分区。王涛^[60]根据自然地带原则和发展强度原则,将中国沙漠化土地划分为4个大区29个亚区。刘拓^[61]将沙漠化区域分4个类型区12个亚区。吴波等^[62]根据沙漠化影响因素和沙漠化土地分布将京津风沙源工程区划分为6个治理区。另有一些在省域层面或地理单元层面,做了更为细致的区划划分^[63-64]。王德等^[65]针对塔中一号公路不同地貌部位防沙体系的沙害状况,提出可对防沙体系的结构做适当调整。

时效:对技术发挥功效的时间要求,包括两个方面,一是从技术被采用实施到发挥技术预期治理效果所需的时间,即生效时间;二是治理效果出现后,能够保持、持续的时间,即持续时间。沙漠化治理技术机械沙障中,多类型沙障如黏土沙障、沙袋沙障、砾石沙障等死沙障一旦建立即时生效,不倒塌可一直持续有效;而草方格沙障由于原材料是麦草,会倾倒、腐烂,三五年就失去防治效用;植物活沙障,如沙柳沙障、柠条沙障等灌草沙障要在栽植几年后才能具有防治效果,但其持续有效时间可达十几年甚至更长。

政治政策制度:属宏观社会因素,政治是国际和国家政局等国家层面的大环境,政策和制度通常以法律、条例、办法等具有约束效力的文本发布,其特点是刚性的、明确的、一致的。首先是国家政治安稳,才有基本条件和精力做生态文明建设,而战乱国家即使面对严重的生态系统退化问题,也无力考虑治理问题。其次是政策,生态建设是外部性巨大、耗资巨大、耗时长、涉及面广的综合工程,需要国家在各种政策的制定、规范化执行、监督和管理等多个层次有部署,如在经济层面,要有扶持和激励政策

(培训、补贴、贷款优惠等),才能调动民众参与的积极性。制度建设,尤其是土地所有制问题,也被广泛论及,在坚持土地公有制前提下,强化市场化的制度设计,如承包经营权流转等市场化措施,促进民众参与、共建共享。还有生态补偿制度、生态移民等等,要素众多^[61,66-71]。大量文献论述了政策制度通过农户行为对治理技术的响应与适应,以农户行为为研究视角,反映了政策制度等具有行政性的管理措施对治理技术是否适宜的影响^[72-75]。

社会和民众的意识形态、发展理念、态度,属于精神范畴,是柔性的、潜在的、差异化的。民众关于生态环境的意识、理念和态度直接或间接地影响行为。如粗放型经济增长,没有充分认识到生态环境对于社会经济的重要性,造成了严重污染,随后出现治理和环境保护理念兴起,节能减排、减少污染、可持续发展、循环经济等,从意识形态层面改变了民众认知和行为。其中,作为典型研究对象的农户,因在微观层面系统反映各要素的作用,也因农户本身更大比例地处于治理区域,是治理行为的实际操作者和直接受影响人群,治理技术的功效和影响通过农户行为展示出来,成为近些年来研究的热点^[76-78]。

社会经济水平:“衣食足而知荣辱、仓廩实而知礼节”,社会经济发展水平是重要的影响要素,退化生态系统的治理需要大量的、持续的人力物力投入,如果没有足够的经济能力支撑,无法支付治理所需的各种费用。

退化状况:退化状况包括生态系统退化的类型、成因及严重程度。生态系统退化类型多种多样,在国内较典型的有沙漠化、石漠化、水土流失、森林退化等,国外较多的是森林退化、水土流失。退化原因更加多样,仅沙漠化的成因就包括自然因素和人为因素两大类,又细分为多个因素,包括干旱少雨、植被破坏、大风吹蚀、流水侵蚀、土壤盐渍化、开矿、过度开垦、过度放牧、乱砍滥伐和水资源不合理利用等等。退化程度一般分为轻度、中度、重度。类型、成因、程度的不同,直接影响治理技术的选择^[79-80]。

机会成本:机会成本指采用某一技术而未采取其他技术或措施而放弃的机会或收益。退化生态系统治理是一种经济行为,一旦选择了某些技术,同时意味着放弃了使用其他技术,在未充分对比、权衡使用不同技术可能带来的后果的情况下,机会成本可能很高,这类讨论在文献中很少涉及。因治理的时间周期一般较长,因而更全面地做机会成本预测和

分析很有必要。机会成本最难衡量,不确定性强,是适宜性评价中的重大难题。目前基本是对已实施技术的结果和影响做事后事实评价,时间上的滞后、技术实施的成本和或许已造成的不良影响,都是放弃最优技术的机会成本。技术适宜性评价,终极目标是能通过总结、整合以往技术使用数据,通过模拟、多场景的预判,提出可供选择的技术适宜性评价事前“预判”方案,最大化降低机会成本。其他影响大部分较易判断和量化,但经济性和机会成本在实际计算过程中却难以精确量化,机会成本尤难判断,比

如,对某块沙漠化的土地采用了化学固沙法将其固定达到防止沙漠化扩张的治理目的,放弃的就是将其开辟为沙漠公园、发展沙产业等其他治理方式的机会和收益,二者之间效益之差究竟有多少,需要更多类比分析和研究。

综上所述,退化生态系统治理技术适宜性评价影响因素根据因素特性,分为技术内生因素和外部因素(表 1)。在具体评价某一治理技术时,可根据评价的实际需要,遴选要评价的要素,并将指标细化、量化。

表 1 技术适宜性评价影响因素

Table 1 Influencing factors in suitability assessment of ecological control technologies

| 类别 | 影响因素 | 因素含义 |
|------|--------|---|
| 内生因素 | 限制性 | 技术使用时存在限制性因子,例如引水拉沙造田治理沙漠化技术在缺水地区无法使用,水是该技术的限制性因子 |
| | 独立性 | 技术是否能单独使用,或需要搭配其他技术共同使用才能达到使用效果 |
| | 经济性 | 技术的投入产出比:成本与产生效益的比率 |
| | 可操作性 | 技术是否易于被操作者学会和使用 |
| 外部因素 | 目标 | 治理的目标是单一的或综合的 |
| | 地域 | 地域异质性 |
| | 时效 | 技术从使用到产生效果耗时、治理效果保持的时间长度 |
| | 政治政策制度 | 国家政局状态、制定的有关政策和制度,如土地所有制、扶持和激励政策(培训、补贴、贷款优惠等) |
| | 意识理念态度 | 社会和民众的意识形态、发展理念、态度 |
| | 社会经济 | 社会经济发展水平 |
| | 退化状况 | 生态系统退化的类型、成因及严重程度 |
| | 机会成本 | 采用某一技术而未采取其他技术或措施放弃或损失的机会或收益 |

2 概念模型构建

为更直观和形象地认识各影响因素与适宜性评价的关系,基于影响要素分类,构建“双圈十二维”概念模型(图 1)。

“双圈十二维”概念模型,以技术的限制性、独立性、经济性和可操作性 4 个内生因素作为内圈影响维度,从这 4 个维度评价技术自身特征对于治理行为的适宜性。其中,技术的限制性因素具有“一票否决权”,一旦存在限制性,则可根据限制性的绝对性或相对性判断是否采用该技术。以目标、地域、时效、政治政策制度、意识理念态度、社会经济、退化状况、机会成本 8 个外部因素作为外圈影响维度。

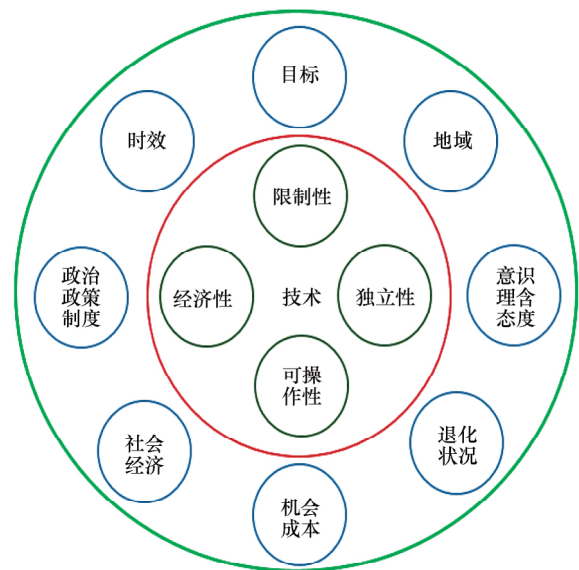


图 1 生态治理技术适宜性评价的“双圈十二维”概念模型

Fig.1 The “12-dimensional double-circle” conceptual model for suitability assessment of ecological control technology

3 讨论

一般技术评价的流程包括确立评价目的、确定影响要素、建立指标体系、确定指标权重、选择评价模型并评价、分析评价结果。①明确适宜性评价的

目的是该工作进行的首要前提,包括对已有技术评价、遴选、比较、已采用技术的中后期效果评估。核心目的包括减灾、治理、重建、经济收入等。若同时有多个目的,明确主要目的。②具体评价某个技术时,参照如“双圈十二维”概念模型确定可能涉及的影响因素。③对影响要素进行指标层面的细化、量化。指标选取原则有:科学性、代表性、可度量性、可比性、可操作性、持续稳定性。④采用主观(专家咨询法、经验法、德尔菲法、层次分析法、模糊评价法等)或客观赋值(如熵值法)确定各因素权重,构建指标体系。⑤选择评价模型,进行评价。⑥解读评价结果。经过这6个步骤,完成技术在特定地域和时间段上的适宜性评价工作。

在整个评价流程中,指标体系及指标权重是核心。大量相关论文对两步骤进行了定性讨论或实证研究。孙书同^[12]采用了经验统计方法(如专家打分法)、数学定量计算方法(如排列成对比较法、高维降维技术、投影寻踪回归技术、可变模糊集理论)、层次分析法确定权重。层次分析法是当前研究中运用最多的方法^[18,24,31,44-45,81-83]。

本文限于篇幅,仅提出了一个概念模型,就生态治理技术适宜性评价可能涉及的要素进行了分析、归类 and 阐述,提供了一般性的影响因素概览,对于当前还没有形成成熟评价方法的研究和应用现状而言,是一个阶段性的梳理和总结。但对其中因素的量化以至形成可实际操作的指标体系,还有从理论到实践的距离,且需要结合具体的技术,对指标进行细化、量化、归一化、制定权重、实效检验等等。而且,对于不同治理目标、地域、时效要求、退化程度时,所要求的要素的数量和权重亦会有不同,故不能统一确定为固定的指标和因素权重,从而设计出一个通用的适宜性评价模型来。该概念模型需因地制宜地修改和使用。

需要注意的是,适宜性是动态的,当社会环境或气候变化导致生态发生较大幅度改变时,适宜性可能会发生变化。

4 结论

生态治理技术适宜性评价应是生态治理和重建的事前评价,借鉴相关研究的成果,梳理并总结其影响因素涵盖两类十二个维度:①内生因素:限制性、独立性、经济性、可操作性;②外部因素:目标、地域、时效、政治政策制度、意识理念态度、社会经济、退化状况、机会成本。

适宜性评价涉及多方面因素,这些因素在技术具体实施时,会因各种外部因素的影响使技术适宜性有差别,同一技术也存在适宜性的时空异质性。避免因素中的负面影响,认知影响因素间的相互作用关系,也是深化技术适宜性认识的重要方面。

基于对以往研究中涉及的多要素分析和归类而提出的“双圈十二维”技术适宜性评价影响因素概念模型,在具体评价某项技术时可根据需要缩减影响因素数量。

参考文献:

- [1] UNEP. UNEP Yearbook 2014: Emerging Issues in Our Global Environment [R]. Nairobi, Kenya: UNEP, 2014.
- [2] MA. Ecosystems and Human Well-being: Policy Response [M]. Washington D C, USA: Island Press, 2005.
- [3] Lal R, Lorenz K, Hüttl R F, et al. Recarbonization of the Biosphere: Ecosystems and the Global Carbon Cycle [M]. New York, USA: Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] 吴晓娟. 黑河流域虚拟水战略适宜性评价研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2018.
- [5] 郭文波. 适宜技术与我国当代小城镇生态住宅建设 [J]. 工业建筑, 2013, 43(增刊1): 52-55.
- [6] 秦佑国. 绿色建筑的中国特点 [C] // 中国建筑学会建筑物理分会. 第九届全国建筑物理学术会议论文集. 2004: 3.
- [7] 唐燕. 生态住区的适宜技术研究 [D]. 天津: 天津大学, 2003.
- [8] 周甜甜. 建筑节能技术适宜性筛选方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [9] 杜永恒. 基于中原地区的水/土壤源热泵适宜性评价技术研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [10] 张帆. 近代历史建筑保护修复技术与评价研究 [D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [11] 张金华. 上海市地面沉降监测技术适宜性评价研究 [J]. 黑龙江科技信息, 2017(8): 239.
- [12] 孙书同. 优秀近现代砖砌体建筑清洗技术与适宜性评价 [D]. 北京: 北京工业大学, 2015.
- [13] 刘刚才, 张建辉, 杜树汉, 等. 关于水土保持措施适宜性的评价方法 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 108-111.
- [14] 刘刚才, 游翔, 张建辉, 等. 紫色土丘陵区陡坡荒地水土保持措施的适宜性初探 [J]. 山地学报, 2008(6): 714-720.
- [15] 王宇飞. 水土保持措施适宜性评价的理论与方法初探 [J]. 农业开发与装备, 2018(9): 153.
- [16] 崔卫东. 水土保持技术的适宜性评价 [J]. 科技展望, 2015, 25(23): 126.
- [17] 姚应龙. 水土保持措施适宜性评价空间决策支持系统研究 [D]. 福州: 福州大学, 2015.
- [18] 张丽丽. 农业节水技术适宜性评价 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [19] 翟治芬, 严昌荣, 张建华. 气候变化背景下农业技术适宜性研究 [J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(1): 185-194.
- [20] 代富强. 水土保持技术的适宜性评价 [J]. 江苏农业科学,

- 2014 A2(12): 8-12.
- [21] 张玉斌, 王昱程, 郭晋. 水土保持措施适宜性评价的理论与方法初探[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 47-55.
- [22] 代富强, 刘刚才. 紫色土丘陵区典型水土保持措施的适宜性评价[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 23-30.
- [23] 丁淘沙. 基于遥感技术对河南省永城市农作物三种轮作方式经济适宜性评价研究[J]. 福建电脑, 2017, 33(5): 93-94.
- [24] 杨捷. 黄河流域保护性耕作技术适宜性评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [25] 王蒙. 江苏地区低压管道输水工程技术适宜性评价及模式研究[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2014.
- [26] 贾文豪, 董增川, 耿芳, 等. 基于投影寻踪的土地复垦适宜性评价[J]. 山西农业科学, 2017, 45(10): 1667-1670.
- [27] 赵天琪. 土地复垦适宜性评价实证研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2014.
- [28] 石璞. 基于 GIS 的吉林市采矿业用地复垦适宜性评价[D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- [29] 王铎霖. 基于适宜性评价的土地复垦技术措施研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2012.
- [30] 陈旭欣. 基于适宜性评价的土地复垦技术体系研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [31] Li Y, Pan L G, Li A, et al. Suitability evaluation of remediation technology for polluted farmland [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2015, 8(2): 39-45.
- [32] 张仲成. 河北滨海盐碱区暗管排水排盐技术的土壤适宜性评价[J]. 工程技术研究, 2017(5): 39-40.
- [33] 张伟. 河北省矿山废弃地治理模式与适宜性评价研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2011.
- [34] 孙霞. 塔里木河中下游退耕适宜性评价技术体系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2004.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 王睿, 周立华, 陈勇, 等. 库布齐沙漠 3 种沙产业模式的经济效益评价[J]. 中国沙漠, 2017, 37(2): 392-398.
- [38] 王秋菊. 草原沙漠化治理工程生态效益评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [39] 杨志国. 宣化区黄羊滩沙地沙漠化治理及其效果评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [40] 王睿, 周立华, 陈勇, 等. 库布齐沙漠机械防沙措施的防护效益[J]. 干旱区研究, 2017, 34(2): 330-336.
- [41] Zhou S Q, Zhao K. Evaluation of the effects of implementing degraded grassland ecosystem restoration technology: a case study on technology for returning grazing land to grassland [J]. Journal of Resources and Ecology, 2017, 8(4): 359-368.
- [42] 王光耀. 土地沙漠化防治中的环境公平问题研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [43] 喻权刚. 黄河流域四大水土保持重点治理区治理措施保存率的分析评价[J]. 水土保持通报, 1995(1): 1-7.
- [44] 魏思琳. 吉林省中部地区玉米种植农户对机械化保护性耕作技术的认知研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [45] 王蒙, 刘建华, 刘群昌, 等. 南方地区低压管道输水灌溉工程技术应用适宜性评价[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(1): 87-91.
- [46] 杨越. 气候变化背景下农业技术适宜性研究[J]. 农业与技术, 2019, 39(6): 144-145.
- [47] 胡开波, 刘凯, 蒋勇, 等. 我国土地荒漠化防治技术体系研究进展[J]. 四川林业科技, 2009, 30(6): 87-92.
- [48] Xiao S Z, Ying B, Xiong K N, et al. Study on the design and matching of the measures for karst rocky desertification control in small catchment scale [J]. Advanced Materials Research, 2012, 518/523: 4557-4563.
- [49] Yang R S, Yang G L, Che Y L, et al. Coal subsided area land harmonious governance and suitability evaluation methods [C]//3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 2011: 1222-1227.
- [50] 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.
- [51] 王军德, 金彦兆, 程玉菲. 石羊河流域生态治理目标下节水灌溉技术分区[J]. 人民黄河, 2018, 40(9): 153-156.
- [52] 高吉喜, 杨兆平. 生态功能恢复: 中国生态恢复的目标与方向[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(1): 1-6.
- [53] 李新荣, 周海燕, 王新平, 等. 中国干旱沙区的生态重建与恢复: 沙坡头站 60 年重要研究进展综述[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 247-264.
- [54] 管超, 张鹏, 李新荣. 腾格里沙漠东南缘生物结皮土壤呼吸对水热因子变化的响应[J]. 植物生态学报, 2017, 41(3): 301-310.
- [55] 苏延柱, 李新荣, 赵昕, 等. 不同类型生物土壤结皮固氮活性及对环境因子的响应研究[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 332-338.
- [56] 姚德良, 李家春, 杜岳, 等. 沙坡头人工植被区陆气耦合模式及生物结皮与植被演变的机理研究[J]. 生态学报, 2002(4): 452-460.
- [57] 王晓. 基于空间适宜性评价分区的土地利用调控技术研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [58] 朱震达, 刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [59] 朱震达, 刘恕, 邱醒民. 中国的沙漠及其治理[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [60] 王涛. 我国沙漠化研究的若干问题: 3. 沙漠化研究和防治的重点区域[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 3-11.
- [61] 刘拓. 中国土地沙漠化及其防治策略研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [62] 吴波, 李晓松, 刘文, 等. 京津风沙源工程区沙漠化防治区划与治理对策研究[J]. 林业科学, 2006(10): 65-70.
- [63] 阿力木江. 新疆沙质荒漠化防治区划及分区防治模式研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [64] 李庆, 张春来, 周娜, 等. 青藏高原沙漠化土地空间分布及区划[J]. 中国沙漠, 2018, 38(4): 690-700.
- [65] 王德, 雷加强, 徐俊荣, 等. 塔中一号公路防沙体系不同地貌部位风沙危害差异研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004(5): 29-

- 33.
- [66] 樊胜岳,徐裕财,徐均,等.生态建设政策对沙漠化影响的定量分析[J].中国沙漠,2014,34(3):893-900.
- [67] 徐裕财.制度对沙漠化影响的定量分析[D].北京:中央民族大学,2013.
- [68] 杨旭.宁夏沙漠化生态补偿的法律机制研究[D].兰州:西北民族大学,2012.
- [69] 韦环伟.土地制度对沙漠化变化影响的制度经济学分析[D].北京:中央民族大学,2010.
- [70] 碌婧.沙漠化治理制度的交易成本分析[D].北京:中央民族大学,2010.
- [71] 吕志祥,高兵桃,刘嘉尧.公共政策视域中土地沙漠化治理研究[J].生态经济,2010(1):180-182.
- [72] 韦仁忠.保障、整合、激励:后移民时代三江源生态移民生活重建机制的三个维度[J].青海社会科学,2019(1):117-124.
- [73] 郭秀丽,周立华,陈勇,等.生态政策作用下农户生计资本与生计策略的关系研究:以内蒙古自治区杭锦旗为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):34-41.
- [74] 侯彩霞,周立华,文岩,等.社会-生态系统视角下农户对禁牧政策的适应性:以宁夏盐池县为例[J].中国沙漠,2018,38(4):872-880.
- [75] 赵敏敏,周立华,陈勇,等.禁牧政策对库布齐沙漠农户土地利用行为的影响[J].中国沙漠,2017,37(4):802-810.
- [76] 周升强,赵凯.草原生态补奖认知、收入影响与农牧户政策满意度:基于禁牧区与草畜平衡区的实证对比[J].干旱区资源与环境,2019,33(5):36-41.
- [77] 马晴.民勤绿洲农村社区主导沙漠化防治模式研究[D].兰州:兰州大学,2014.
- [78] 宁宝英,何元庆.农户过度放牧行为产生原因分析:来自黑河流域肃南县的农户调查[J].经济地理,2006(1):128-132.
- [79] 尚占环,董全民,施建军,等.青藏高原“黑土滩”退化草地及其生态恢复近10年研究进展:兼论三江源生态恢复问题[J].草地学报,2018,26(1):1-21.
- [80] 马玉寿,董全民,施建军,等.三江源区“黑土滩”退化草地的分类分级及治理模式[J].青海畜牧兽医杂志,2008(3):1-3.
- [81] Tinti F, Kasmae S, Elkarmoty M, et al. Suitability evaluation of specific shallow geothermal technologies using a GIS-based multi criteria decision analysis implementing the analytic hierarchic process[J]. Energies, 2018, 11(2): 457.
- [82] Zhao P, Niu Y T, Xie L N, et al. Green building technology of regional suitability evaluation system research and case study[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 357/360: 478-481.
- [83] Hua X R, Shen X M. Suitability evaluation of four thermal insulation solutions in hot summer and cold winter zone in China[J]. Advanced Materials Research, 2011, 217/218: 652-655.

Influencing factors and conceptual model for suitability evaluation of ecological control technologies: an example in desertification control

Ning Baoying¹, Ma Jianxia¹, Jiang Zhide²

(1. Lanzhou Information Center, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. College of Economics & Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shanxi, China)

Abstract: Ecosystem degradation has been a major global environmental problem. Ecological control technologies aimed at restoring and rebuilding ecosystems have received considerable attention. Among many direct and indirect technologies, there is still a lack of systematic, scientific and perfect evaluation methods on how to select the most appropriate technology. Based on the review of the theories, methods and elements of technology evaluation in other fields, and taking several factors involved in desertification control technology as an example, a general concept model of “12-dimensional double-circle” ecological control technology suitability evaluation is proposed for the first time, which includes twelve dimensions in two categories: (1) endogenous factors (internal circle): restrictive, independent, economic and operational ones; (2) external factors (outer circle): objectives, regions, timeliness, political system, ideology and attitude, social economy, degradation and opportunity cost. It is also pointed out that when the conceptual model is applied to the suitability evaluation of a specific ecological control technology, the number of influencing factors can be reduced according to the need, and the influencing factors need to be concretely translated into operable indicators. In addition, the suitability of technology has spatial-temporal heterogeneity.

Key words: ecological control technology; suitability evaluation; influencing factors; “12-dimensional double-circle” conceptual model