

DOI: 10.5846/stxb201811222533

骆汉, 胡小宁, 谢永生, 王继军, 郭满才. 生态治理技术评价指标体系. 生态学报, 2019, 39(16): - .

Luo H, Hu X N, Xie Y S, Wang J J, Guo M C. An evaluation index system for ecological management technology. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

生态治理技术评价指标体系

骆 汉^{1,2,*}, 胡小宁³, 谢永生^{1,2}, 王继军^{1,2}, 郭满才³

1 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100

2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100

3 西北农林科技大学理学院, 陕西杨凌 712100

摘要: 为了对生态治理技术进行更加科学合理的评价, 在确定了指标体系构建思路的基础上, 根据评价指标的筛选原则, 通过对评价指标的理论初选和专家筛选, 构建了能够揭示生态治理技术本身属性、相宜性、应用效果、推广潜力等的综合评价指标体系。该指标体系包含目标层和指标层两个层次, 目标层为生态治理技术适应效果, 指标层分为控制性指标和分类评价指标。控制性指标包含 5 个一级指标和 14 个二级指标, 适用于所有类型的生态治理技术; 分类评价指标为三级指标, 共有水土保持技术、荒漠化治理技术、石漠化治理技术和生态恢复技术四个类型的三级指标各 29 个, 针对不同的生态治理技术可以选用合适的三级指标对其进行评价。这样的评价指标体系既可体现区域差异, 又可建立公共评价平台, 为生态治理技术的评估提供了科学依据和关键技术支撑。

关键词: 生态治理技术; 评价; 指标体系

An evaluation index system for ecological management technology

LUO Han^{1,2,*}, HU Xiaoning³, XIE Yongsheng^{1,2}, WANG Jijun^{1,2}, GUO Mancai³

1 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100, China

3 College of Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi, 712100, China

Abstract: To facilitate more scientific and reasonable evaluation of numerous ecological management technologies, based on the construction strategy and the screening principle, a comprehensive evaluation index system for ecological management technology was generated through primary theoretical selection and expert screening. The index system can reveal the attributes, suitability, application effects, and promotion potential of the technology. The index system comprises two levels: the target layer and the index layer. The target layer is the adaptation effect of the ecological management technology, and the index layer is divided into the control index and the classification evaluation index. The control index includes 5 first-level indices and 14 second-level indices, which are applicable to all types of ecological management technologies; the classification evaluation index is a three-level index including 29 indices of four types of technology separately, i.e., soil and water conservation technologies, desertification control technologies, rocky desertification control technologies, and ecological restoration technologies. Different ecological management technologies can be evaluated using appropriate three-level indices. Such an evaluation index system not only reflects regional differences, but also establishes a public evaluation platform that provides a scientific basis and key technical support to assess ecological management technology and is conducive to the development and innovation of ecological management technologies and the construction of China's ecological environment.

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0503702)

收稿日期: 2018-11-22; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hanl@ms.iswc.ac.cn

Key Words: ecological management technology; evaluation; index system

现代技术是人类适应和改造自然最重要的手段,它在几百年内为人类创造出了辉煌的文明^[1]。然而人类利用现代技术在发挥创造性的同时,也对生态系统产生了强大的破坏力。这种破坏对生态系统所产生的累积负效应日渐突出,全球约 60% 的生态系统处于退化或不可持续状态^[2-3]。环境危机加深,资源匮乏加剧,严重制约了区域经济和社会发展。为修复破碎的生态环境、构建绿色的生产发展方式,生态治理技术的概念应运而生。生态技术以受损自然生态学过程及其恢复机制为理论依据逐步发展而来,经历了生态退化问题形成机制研究、退化过程监测方法研究、治理与修复技术研究等阶段^[4]。寻求尊重自然规律、环境友好的生态治理技术成为实现可持续发展目标的重要内容^[5]。世界上多数国家启动了诸多生态治理项目,积累了大批生态治理、修复技术,既有以单一目标为主的生态治理技术(如湿地恢复生态技术^[6-7]),也有兼顾生态、经济、民生等多目标的复合生态治理技术(如流域恢复生态技术^[8])。我国是世界上生态脆弱区分布面积最大、生态退化最为严重的国家之一,中度以上脆弱生态区已占陆地面积的 55%,主要集中在西北和西南地区的荒漠化、水土流失、石漠化等水土流失、荒漠化、石漠化、草地退化等,其面积已占国土面积的 22% 左右^[9-10],严重威胁着生态系统的功能和人类的生计^[11-12]。为了治理生态脆弱区、遏制日益严重的生态退化问题,我国研发和应用了一系列的生态治理技术。然而,由于技术水平的差异,以及特定技术在适用地区范围、实施的社会经济条件、技术人员条件应用等方面的不同,不同技术或者同一技术的实施得到的效果差异巨大,甚至造成了相反效应。究其本质,重要的一条就是缺乏对生态治理技术的评价指标体系,特别是针对不同地域、社会和经济等条件下的适宜性的综合评价。

指标体系是对生态治理技术进行合理评价的关键。指标体系指的是若干个相互联系的统计指标所组成的有机体,它是将抽象的研究对象按照其本质属性和特征的某一方面的标识分解成为具有行为化、可操作化的结构^[13]。生态治理技术评价指标体系是对生态治理技术本身及其在生态建设、经济发展、社会进步中的影响、作用进行统计、分析、评价的依据。在不同地域、不同时期和发展阶段生态治理技术的产生、发展和演变各不相同。国内外学者在指标筛选的方法和理论上都作了积极有效地探索,实现了从单因素、单目标评价到多因素、多功能、多指标的综合评价,评价指标体系的建立日渐科学和客观^[14]。Chou 等运用模糊理论对台湾水库流域的河流堤防生态技术进行了评价,确定了在河流堤防方面可以作为优先参考的生态技术^[15]。Piñeiro 等对 14 个国家退化旱地的生态恢复技术进行了综合对比分析和评价,并给出了相应的建议使得各种生态恢复技术能够最大限度的发挥其正面作用^[16]。然而,这些研究更多的局限于对某个地区某种生态治理技术的评价,对于更大尺度的从全国范围对多种生态治理技术建立综合评价指标体系从而进行评价的研究还处于非常薄弱和分散的状态,尚未形成有效的、可供大家使用的合理的生态治理技术评价指标体系。

因此,针对长期以来生态治理技术研究中忽视生态治理技术应用、生态治理技术地域和经济适宜性缺乏科学评价的问题,开展生态治理技术评价研究,构建生态治理技术评价指标体系,旨在为生态治理技术评估提供科学依据和关键技术支撑。这对于推动生态经济学、水土保持学等学科的发展,促进区域生态文明建设具有重要的现实意义。

1 生态治理技术评价指标体系构建

1.1 构建依据

1.1.1 生态治理技术概念

生态治理技术是指针对生态退化及其危害结果,运用生态学、经济学原理为基础的科学知识,直接作用于自然界(生产劳动)的各种(工程、生物、农作和其他)手段和方法的总和。

1.1.2 生态治理技术产生的生态经济社会学基础

(1) 生态学

生态良好是生态治理技术最核心的理念和最突出的特征。生态学在 20 世纪得到迅速发展,生态治理技术是生态科学转化为现实生产力的产物^[17]。生态治理技术产生的根本原因莫过于技术带来的生态负效应——严重的环境污染、生态破坏和资源危机。日益加深的技术生态负效应不但成为生产发展的强大限制因素,甚至对人类生存产生巨大威胁,迫使人类以一种新的思维观念去建构和使用以与生态环境相协调为标志,具有生态正效应的新的技术体系——生态治理技术^[18]。

(2) 经济学

随着人们环保意识的增强和对自身健康的关注,那些对环境污染少、资源利用率高的生态产品成为了消费的主流——生态消费^[19]。消费是生产的基础,消费能引导和刺激生产,激活绿色市场需求,刺激相关企业在生产流程、加工工艺上的生态化改造,促进了治理技术的生态化转向^[20]。加之日益高涨的公众环保要求所带来的公众压力,这就使得企业不得不重视产品和治理过程中的环境因素,这就使得企业成为开发生态治理技术最强有力的力量。

(3) 社会学

技术的发展离不开相关政策的支持。政府的相关政策制度是生态治理技术一个很好的推手,通过政府的引导,那些污染严重、对生态破坏严重的企业必将把生态治理技术纳入到视线当中,使企业自身得到发展,同时也必然使生态治理技术获得发展。另外,随着文化的发展和文明程度的提高,人的社会生存需要越来越多,新的要求和愿望不断地滋生。可持续发展观的出现为生态治理技术的产生提供了重要的理论基础。生态治理技术是为了满足人们能够迅速地从传统技术造成生态危机的阴影中摆脱出来的需要和实现人与自然界和谐发展的愿望而产生的^[21]。

1.2 构建思路

科学的指标体系应根据不同的研究目的要求和研究对象所具有的特征加以科学分类和有机结合。生态治理技术评价,不是一个或少数几个指标所能反映和涵盖的,只有把众多指标结合起来作为一个有机整体,组成一个指标体系,才能进行科学、全面的评价。

构建生态治理技术评价指标体系的基本思路是:从可持续发展的角度出发,运用系统论的观点和系统分析的方法,立足客观现实,尊重科学规律,力求全面概况和充分体现生态治理技术本身及其综合影响;在指标选择上,绝对指标与相对指标相互兼顾;在科学、全面、合理的前提下,力求实际应用过程中方便、简洁、可行。

1.3 构建原则

(1) 科学性

生态治理技术在各个方面的应用不是随意使用或堆砌的,它们之间相对独立,又相互联系,可以集成和组合。因而,生态治理技术评价指标体系的构建要充分考虑各类生态治理技术的特征和作用,科学的组合并构建指标体系,使其能科学的反应生态治理技术的内涵及本质。

(2) 系统性

生态治理技术评价指标体系作为一个统一整体,必须能够全面涉及各个方面,具有较强的涵盖性和完整性。一方面,便于具体操作者对于生态治理技术类别有全面的认识;另一方面,也为生态治理技术的选取和综合应用提供基础。

(3) 层次性

生态治理技术数量多,项目繁杂,如何清晰的将各类技术梳理,是生态治理技术评价指标体系必须要解决的问题。指标体系内部应具有较强的逻辑性,层次分明,结构清晰,确保在实际应用中能够准确、快捷的选取评价指标。

(4) 独立性

生态治理技术评价指标繁多,为了避免指标的重复、交叉给评价分析造成的误差,在指标的选择上应保持不相互重叠,不存在运算或因果关系。

(5) 可行性

生态治理技术评价指标体系构建最终目的是为生态治理技术的选择提供支撑,因而指标体系应该是符合实际,具有较强的实用性和可操作性。生态治理技术评价指标体系应尽可能采用现有适用范围广、普遍被采纳、操作性强的指标,便于操作应用。

1.4 构建过程

(1) 构建总体框架

一个好的结构框架是确定科学合理指标体系的前提。在构建指标体系时,依据建立指标体系的理论和原则,首先对研究对象进行系统划分,并结合系统划分来构建理论模型,即指标体系的结构框架,然后挖掘和筛选评价指标。

(2) 评价指标的理论初选

围绕总体框架,按照指标初选方法进行资料、数据的收集、整理和分类,建立一个指标库。理论初选是体系设计思想的重要环节,因此在进行广泛的资料收集和研究分析,掌握和占用大量的理论和经验材料的基础上,经过反复研究和征求有关方面的意见,初步预选符合生态治理技术评价思想的一些指标作为初选指标集。

(3) 评价指标的专家筛选

初步建立的指标体系是一个理想化的系统,但在实际操作中可能会遇到数据无法监测、数据有缺失值、有相近指标替代等情况。将初选的指标发放给多位专家,请专家根据本人的知识经验对初选指标集进行评分,通过计算比较,从中选出重要的、评价较高的指标。

(4) 确定最终指标体系

评价指标经理论初选和专家筛选后,还需要根据指标间的相互关系进行归类,确定相互间的结构关系,使指标体系更加科学合理,从而建立最终的生态治理技术评价指标体系。

2 生态治理技术评价指标筛选

指标的挖掘与筛选是一项复杂的系统工程,要求评价者对评价系统有充分的认识及多方面的知识。指标选择的原则只是给出了指标取舍的基本标准,在具体筛选指标时,既要注意已有研究成果中的优良指标,同时也要根据评价对象的结构、功能以及区域特性,提出反映其本质内涵的指标,最后根据有关专家意见,对评价指标进行必要的修正。

2.1 评价指标的理论初选

评价指标的理论初选运用的方法主要有实地调查分析法、频度分析法和理论分析法。

(1) 实地调查分析法选取指标。实地调查分析法选取指标是通过典型生态治理技术实施案例点的实地调查,总结分析生态治理技术实施前后对当地各方面的影响,进而选择出部分评价指标。

(2) 频度分析法选取指标。频度分析法就是从国内外相关的生态治理技术评价文献中选出使用频度高,具有典型性、针对性的,列为生态治理技术评价的指标。

(3) 理论分析法选取指标。理论分析法选取指标是在对生态治理技术的含义、特点、作用 and 意义等进行分析、比较、综合的基础上,选择适合评价目标要求和针对性强的指标。

2.2 评价指标的专家筛选

在理论初选的基础上,采用专家评分法来筛选出生态治理技术评价指标。专家评分法是由同行专家对指标做定量评分,通过计算比较,从中选择具有共识的、评分较高的指标。

将理论初选的指标设计成调查表,邀请林业、农业、生态、水利等相关专业的专家学者根据指标的重要程度,对指标以“非常重要 1 分、不重要 2 分、一般 3 分、重要 4 分、非常重要 5 分”进行打分。

然后统计整理分析专家对每个指标的打分,计算出每个指标的算术平均值(M_j)来分析专家意见的集中程度。专家意见集中度越高,说明该项指标越重要。

假设 x_{ij} 表示第 i 个专家、第 j 个指标的打分,共有 n 个专家、 m 个指标,则第 j 个指标的算术平均值为

$$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (1)$$

计算出每个指标的变异系数 (V_j) 来分析专家意见的离散程度。变异系数越小,该项指标的专家意见离散度就越低,说明在该项指标上专家意见分歧不大。

第 j 个指标的变异系数为

$$V_j = \frac{S_j}{M_j} \quad (2)$$

其中, S_j 表示第 j 个指标的标准差

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - M_j)^2} \quad (3)$$

计算 Kendall 一致性系数来分析专家们对全部指标的意见协调度。专家意见协调度是指专家组中各位专家彼此间对各项指标给出的评价意见是否存在较大分歧。

Kendall 一致性系数 W 的计算公式为

$$W = \frac{\sum_{j=1}^m \left(R_j - \frac{n(m+1)}{2} \right)^2}{\frac{n^2 m (m^2 - 1)}{12}} \quad (4)$$

其中, n 表示专家数, m 表示指标数, R_j 表示第 j 个指标的秩的和。

W 的取值范围为 0—1。一般来说, W 的值越接近 1, 表明各专家评价之间的一致程度越高; W 的值越接近 0, 表明各专家评价之间的一致程度越低。

3 生态治理技术评价指标体系

3.1 评价指标

根据上述指标体系的筛选原则和方法,同时结合生态治理技术的背景特征、解决的主要问题等方面,并对指标进行相近性归类后,确定了从目标层和指标层两个层次来构建指标体系。目标层是指通过多级指标层的评价后,最终得到的结论。指标层设置为三级,一级、二级指标为控制性指标,三级指标为分类评价指标,针对不同类型的生态治理技术而设置。

3.1.1 目标层

目标层是生态治理技术适宜效果,指通过多级指标层的评价后,最终得到该项技术是否适合在当地使用(表 1)。

表 1 生态治理技术评价的目标层及其量化标准

Table 1 Target index of ecological management technology evaluation and its quantification standard

指标名称 Index name	量化标准 Index specification and quantification standard
生态治理技术适宜效果 Adaptation effect of the ecological management technology	评分标准:1. 技术不成熟、难应用、效益差、不适宜当地使用、难推广;2. 技术成熟、难应用、效益差、适合当地使用、难推广;3. 技术成熟、方便使用、效益差、适合当地使用、难推广;4. 技术成熟、方便使用、效益较好、适合当地使用、容易推广;5. 技术成熟、方便使用、效益好、适合当地使用、容易推广

3.1.2 指标层

(1) 一级指标

一级指标用于快速评估过程,具有简单易用、省时、成本低、便于比较等特点,可以用于对所有技术的评

价。每个一级指标给出五个量化标准,通过专家选择,快速判定生态治理技术的优劣。一级指标包括技术成熟度、技术应用难度、技术相宜性、技术效益、技术推广潜力等 5 个方面(表 2)。

表 2 生态治理技术评价一级指标说明及其量化标准

指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
技术成熟度 Technological maturity	对技术体系完整性、稳定性和先进性的度量。 评分标准:1. 较为简单的技术或技术集成,组成不完整,不稳定;2. 较为简单的技术或技术集成,组成完整,不稳定;3. 较为简单的技术或技术集成,组成完整,稳定发挥作用;4. 国内领先技术或技术集成,组成完整,能够有效发挥作用;5. 国际领先技术或技术集成,组成完整,能够长期稳定发挥作用
技术应用难度 Technological application difficulty	技术应用过程中对使用者技能素质的要求及技术应用的成本。 评分标准:1. 技能要求高,应用成本高;2. 技能要求高,应用成本适中;3. 技能要求适中,应用成本适中;4. 技能要求适中,应用成本低;5. 技能要求低,应用成本低
技术相宜性 Technological suitability	与实施区域发展目标、立地条件、经济需求、政策法律配套的一致程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
技术效益 Technological benefit	生态治理技术实施后对生态、经济和社会带来的促进作用。 评分标准:1. 效果不明显;2. 效果一般;3. 效果较好;4. 效果良好;5. 效果非常好
技术推广潜力 Technological popularization potential	在未来发展过程中该项技术持续使用的可能性大小。 评分标准:1. 小;2. 较小;3. 中等;4. 较大;5. 大

(2) 二级指标

二级指标是对一级指标的细化,即给出评价指标的量化标准,赋予每个二级指标 1—5 分的分值,对每个分值给予特别的涵义。然后采用选定的方法(如机器学习法等)赋予每个二级指标一个有特定意义的分值,即对各项指标打分并赋予权重(0—10),然后计算每项指标的平均得分,利用加权平均计算得到某项生态治理技术的得分,通过得分高低来评价生态系统治理技术的优劣。

该指标体系中二级指标共 14 个,分别为技术完整性、技术稳定性、技术先进性、技能水平需求层次、技术应用成本、目标适宜性、立地适宜性、经济发展适宜性、政策法律适宜性、生态效益、经济效益、社会效益、技术与未来发展关联度和技术可替代性(表 3)。

表 3 生态治理技术评价的二级指标说明及其量化标准

指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
技术完整性 Technological integrity	技术的体系、标准和工艺是否完整。 评分标准:1. 技术组成不完整,不能有效发挥作用;2. 技术要素较为齐全,不能有效发挥作用;3. 技术要素较为齐全,能够发挥作用;4. 技术要素齐全,配置较为合理,能够发挥作用;5. 技术要素齐全,配置合理,能够有效发挥作用
技术稳定性 Technological stability	技术是否可以长效发挥作用。 评分标准:1. 不稳定;2. 较不稳定;3. 一般;4. 较稳定;5. 稳定
技术先进性 Technological progressiveness	技术所处水平层次。 评分标准:1. 简单集成;2. 区域先进;3. 国内先进;4. 洲际先进;5. 全球先进
技能水平需求层次 Skill level	技术应用过程中对劳动力文化程度与能力的要求状况。 评分标准:1. 技能要求高,协作要求高;2. 技能要求高,协作要求适中;3. 技能要求适中,协作要求适中;4. 技能要求适中,可以独立完成;5. 技能要求低,可以独立完成
技术应用成本 Technological application cost	技术研发或购置费用的高低和技术应用导致生产力损失的多少。 评分标准:1. 完全不能接受;2. 可以考虑;3. 不完全接受;4. 能接受;5. 完全乐意
目标适宜性 Target suitability	满足生态治理技术设定的自然、经济、社会目标的实现程度。 评分标准:1. 几乎未达到目标;2. 少数目标达到;3. 部分目标达到;4. 基本目标达到;5. 完全达到目标

续表	
指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
立地适宜性 Site suitability	生态治理技术应用需要的立地条件与实施区域立地条件的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
经济发展适宜性 Economic development suitability	生态治理技术应用可能带来的经济变化与实施区域经济发展需求的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
政策法律适宜性 Policy and law suitability	生态治理技术应用需要的政策法律条件与实施区域政策法律的配套程度。 评分标准:1. 几乎不配套;2. 少数配套;3. 部分配套;4. 基本配套;5. 完全配套
生态效益 Ecological benefit	生态治理技术实施对生态环境改善的贡献。 评分标准:1. 效果不明显;2. 效果一般;3. 效果较好;4. 效果良好;5. 效果非常好
经济效益 Economic benefit	技术实施对经济增长的贡献。 评分标准:1. 效果不明显;2. 效果一般;3. 效果较好;4. 效果良好;5. 效果非常好
社会效益 Social benefit	技术实施对社会公共利益和社会发展方面的贡献。 评分标准:1. 效果不明显;2. 效果一般;3. 效果较好;4. 效果良好;5. 效果非常好
技术与未来发展关联度 Correlation between technology and future development	技术与未来发展趋势的相关程度。 评分标准:1. 小;2. 较小;3. 中等;4. 较大;5. 大
技术可替代性 Technology substitutability	技术是否可以被其他技术所替代。 评分标准:1. 非常容易被替代;2. 比较容易被替代;3. 容易被替代;4. 不容易被替代;5. 不能被替代

(3) 三级指标

对于典型、重要、有代表性的生态治理技术,需要利用三级指标对其进行评估。三级指标也是实际用于评价的最低一层指标。运用三级指标要求对评价技术的实施时间和空间进行确定,有相应的生态治理技术实施后的生态、经济和社会统计或监测数据。针对不同的生态治理技术做评价时,指标体系中的三级指标选择可以存在差异,但不可以缺项,即每个二级指标下面需要有对应的三级指标。

三级指标作为分类评价指标,根据我国生态退化的主要类型^[22],分别给出了水土保持技术、荒漠化治理技术、石漠化治理技术以及生态恢复技术等四类生态治理技术的三级评价指标,共 38 个(表 4)。

表 4 三级指标说明及其量化标准
Table 4 Third-level index of ecological management technology evaluation and its quantification standard

指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
技术结构 Technological structure	构成技术的要素的完整性。 评分标准:1. 无主体技术;2. 只有主体技术;3. 有主体技术并且有配套技术;4. 有主体技术并且配套技术较为齐全;5. 有主体技术并且有完整的配套技术
技术体系 Technological system	各种技术之间相互作用、相互联系,按一定目的、一定结构方式组成的技术整体的完整性。 评分标准:1. 无主体技术或者有主体技术但无配套技术;2. 主体技术和配套技术匹配不合理;3. 主体技术和配套技术能够一起协作;4. 主体技术和配套技术匹配合理;5. 主体技术和配套技术的匹配度达到最佳
技术弹性 Technological resiliency	劳动力技能人员改变后技术稳定性的改变程度 评分标准:1. 几乎都发生改变;2. 少数不变;3. 部分不变;4. 大部分不变;5. 不变
可使用年限 Service life	同一背景下,技术在实际使用过程中能够稳定发挥功能的有效使用时间 评分标准:1. 一次性使用;2. 规划时间的 25%;3. 规划时间的 50%;4. 规划时间的 75%;5. 达到规划时间,甚至超出规划时间
创新度 Innovativeness	技术的创新程度 评分标准:1. 几乎无创新;2. 少数创新;3. 部分创新;4. 大部分创新;5. 完全创新
领先度 Superiority	技术的领先程度 评分标准:1. 简单集成;2. 区域领先;3. 国内领先;4. 洲际领先;5. 全球领先
劳动力文化程度 Educational level	技术实施需要的劳动力的文化程度。 评分标准:1. 大学及以上;2. 高中;3. 初中;4. 小学;5. 文盲

续表

指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
劳动力配合程度 Degree of labor cooperation	技术实施需要的劳动力的配合程度。 评分标准:1. 需要人员相互协作;2. 多数人合作;3. 少数人配合;4—2 个人配合;5. 可以独立完成
技术研发或购置费用 R & D or purchase cost	研发或购置此项技术所需费用。 评分标准:1. ≥ 100 万元;2. ≥ 10 万元且 < 100 万元;3. ≥ 5 万元且 < 10 万元;4. ≥ 1 万元且 < 5 万元;5. < 1 万元
机会成本 Opportunity cost	技术应用导致生产力的损失。 评分标准:1. ≥ 1 万元;2. ≥ 0.5 万元且 < 1 万元;3. ≥ 0.3 万元且 < 0.5 万元;4. ≥ 0.05 万元且 < 0.3 万元;5. < 0.05 万元
生态目标的有效实现程度 Effective realization of ecological objectives	满足生态治理技术设定的生态目标的实现程度。 评分标准:1. 几乎未达到目标;2. 少数目标达到;3. 部分目标达到;4. 基本目标达到;5. 完全达到目标
经济目标的有效实现程度 Effective realization of economic objectives	满足生态治理技术设定的经济目标的实现程度。 评分标准:1. 几乎未达到目标;2. 少数目标达到;3. 部分目标达到;4. 基本目标达到;5. 完全达到目标
社会目标的有效实现程度 Effective realization of social objectives	满足生态治理技术设定的社会目标的实现程度。 评分标准:1. 几乎未达到目标;2. 少数目标达到;3. 部分目标达到;4. 基本目标达到;5. 完全达到目标
地形条件适宜度 Topographic condition suitability	生态治理技术使用需要的地形条件与实施区域地形条件的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
气候条件适宜度 Climatic condition suitability	生态治理技术使用需要的气候条件与实施区域气候条件的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
土壤条件适宜度 Soil condition suitability	生态治理技术使用需要的土壤条件与实施区域气候条件的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
水资源条件适宜度 Water resource condition suitability	生态治理技术使用需要的水资源条件与实施区域气候条件的适合程度。 评分标准:1. 完全不适合;2. 较不适合;3. 一般;4. 较适合;5. 非常适合
技术与产业关联程度 Correlation degree between technology and industry	生态治理技术与实施区域产业发展的关联程度。 评分标准:1. 无关联;2. 关联度差;3. 关联度一般;4. 关联度好;5. 促进产业迅速发展
技术经济发展耦合协调度 Coupling coordination of technological and economic development	生态治理技术与实施区域经济发展的相互协调程度。 评分标准:1. 阻碍经济发展;2. 经济发展速度不变;3. 减慢经济发展增速;4. 加快经济发展增速;5. 使得经济发展飞速发展
政策配套程度 Degree of policy support	生态治理技术得到相应的政策支持的程度。 评分标准:1. 几乎不配套;2. 少数配套;3. 部分配套;4. 基本配套;5. 完全配套
法律配套程度 Degree of law support	生态治理技术得到相应的法律支持的程度。 评分标准:1. 几乎不配套;2. 少数配套;3. 部分配套;4. 基本配套;5. 完全配套
土壤侵蚀模数 Soil erosion modulus	单位面积土壤及土壤母质在单位时间内侵蚀量的大小(单位:吨/平方公里·年)。 评分标准:1. 比使用该技术前减少程度介于 $[0, 20\%)$; 2. 比使用该技术前减少程度介于 $[20\%, 40\%)$; 3. 比使用该技术前减少程度介于 $[40\%, 60\%)$; 4. 比使用该技术前减少程度介于 $[60\%, 80\%)$; 5. 比使用该技术前减少程度介于 $[80\%, 100\%]$
水土流失治理度 Control degree of soil and water loss	水土流失治理面积与原水土流失面积的比值。 评分标准:1. $[0, 20\%)$; 2. $[20\%, 40\%)$; 3. $[40\%, 60\%)$; 4. $[60\%, 80\%)$; 5. $[80\%, 100\%]$
固沙面积比率 Sand fixing area rate	固定沙地面积与区域土地面积的比值。 评分标准:1. 比使用该技术前增加程度介于 $[0, 20\%)$; 2. 比使用该技术前增加程度介于 $[20\%, 40\%)$; 3. 比使用该技术前增加程度介于 $[40\%, 60\%)$; 4. 比使用该技术前增加程度介于 $[60\%, 80\%)$; 5. 比使用该技术前增加程度介于 $[80\%, 100\%]$
起沙风速 Threshold velocity for transportation of sand	风力逐渐增加使地表颗粒物脱离静止状态开始运动时的临界风速(单位:米/秒)。 评分标准:1. 比使用该技术前提高程度介于 $[0, 20\%)$; 2. 比使用该技术前提高程度介于 $[20\%, 40\%)$; 3. 比使用该技术前提高程度介于 $[40\%, 60\%)$; 4. 比使用该技术前提高程度介于 $[60\%, 80\%)$; 5. 比使用该技术前提高程度介于 $[80\%, 100\%]$
石漠化面积比率 Rocky desertification area rate	石漠化面积与区域土地面积的比值。 评分标准:1. 比使用该技术前减少程度介于 $[0, 20\%)$; 2. 比使用该技术前减少程度介于 $[20\%, 40\%)$; 3. 比使用该技术前减少程度介于 $[40\%, 60\%)$; 4. 比使用该技术前减少程度介于 $[60\%, 80\%)$; 5. 比使用该技术前减少程度介于 $[80\%, 100\%]$

续表	
指标名称 Index name	指标说明及量化标准 Index specification and quantification standard
基岩裸露率 Bedrock outcropping rate	裸露基岩面积与区域土地水平投影面积的比值。 评分标准:1. 比使用该技术前减少程度介于[0,20%); 2. 比使用该技术前减少程度介于[20%,40%); 3. 比使用该技术前减少程度介于[40%,60%); 4. 比使用该技术前减少程度介于[60%,80%); 5. 比使用该技术前减少程度介于[80%,100%]
林草覆盖率 Vegetation coverage	林草植被面积与区域土地面积的比值。 评分标准:1. 比使用该技术前增加程度介于[0,20%); 2. 比使用该技术前增加程度介于[20%,40%); 3. 比使用该技术前增加程度介于[40%,60%); 4. 比使用该技术前增加程度介于[60%,80%); 5. 比使用该技术前增加程度介于[80%,100%]
生物多样性指数 Species diversity index	应用数理统计方法求得表示生物群落的种类和个数量的数值。 评分标准:1. 比使用该技术前增加程度介于[0,20%); 2. 比使用该技术前增加程度介于[20%,40%); 3. 比使用该技术前增加程度介于[40%,60%); 4. 比使用该技术前增加程度介于[60%,80%); 5. 比使用该技术前增加程度介于[80%,100%]
人均纯收入 Net income per. capita	当地居民当年从各个来源渠道得到的总收入,相应地扣除获得收入所发生的费用后的收入总和(单位:元)。 评分标准:1. [0,3000); 2. [3000,6000); 3. [6000,9000); 4. [9000,12000); 5. 大于或等于 12000
粮食单产 Grain yield per mu yield	在粮食作物实际占用的耕地面积上,平均每亩耕地全年所生产的粮食数量(单位:斤/亩)。 评分标准:1. [0,300); 2. [300,600); 3. [600,900); 4. [900,1200); 5. 大于或等于 1200
土地生产力 Land productivity	土地在一定条件下可能达到的生产水平。 评分标准:1. 不适宜;2. 勉强适宜;3. 中等偏下适宜;4. 适宜;5. 高度适宜
区域农户应用和发展理念 Farmers' application and development concept in the area	生态治理技术实施后农户在技术应用和生产经营理念方面的变化。 评分标准:1. 基本无变化;2. 部分发生变化;3. 总体上有所变化;4. 发生较大变化;5. 发生很大变化
辐射带动程度 Degree of influence and drive	生态治理技术的实施带动周围乡村经济、文化、教育、科技发展的程度。 评分标准:1. 小;2. 较小;3. 中等;4. 较大;5. 大
生态建设需求度 Demand for ecological construction	未来该区域的生态建设对该项生态治理技术的需求程度。 评分标准:1. 小;2. 较小;3. 中等;4. 较大;5. 大
经济/社会发展需求度 Demand for economic & social development	未来该区域的经济/社会发展对该项生态治理技术的需求程度。 评分标准:1. 小;2. 较小;3. 中等;4. 较大;5. 大
优势度 Degree of dominance	该项生态治理技术相对其他技术的优势程度。 评分标准:1. 低;2. 较低;3. 中等;4. 较高;5. 高
劳动力持续使用惯性 Sustainable use of labor force	劳动力持续使用该项生态治理技术的惯性。 评分标准:1. 放弃;2. 部分放弃;3. 有放弃的念头;4. 继续使用;5. 动员其他人员使用

3.2 指标体系

综合以上所述的三个级别的指标,根据水土保持技术、荒漠化治理技术、石漠化治理技术以及生态恢复技术等生态治理技术的分类,得到生态治理技术评价指标体系,如表 5 所示。

表 5 生态治理技术评价指标体系

Table 5 Evaluation index system of ecological management technology

目标层 Target layer	指标层 Index layer					
	一级指标 First-level index	二级指标 Second-level index	三级指标 Third-level index			
			水土保持技术 Soil and water conservation technology	荒漠化治理技术 Desertification control technology	石漠化治理技术 Rocky desertification control technology	生态恢复技术 Ecological restoration technology
生态治理技术	技术成熟度	技术完整性	技术结构	技术结构	技术结构	技术结构
适宜效果			技术体系	技术体系	技术体系	技术体系
Adaptation effect of the ecological management technology		技术稳定性	技术弹性	技术弹性	技术弹性	技术弹性
			可使用年限	可使用年限	可使用年限	可使用年限
		技术先进性	创新度	创新度	创新度	创新度
			领先度	领先度	领先度	领先度

续表

目标层 Target layer	指标层 Index layer					
	一级指标 First-level index	二级指标 Second-level index	三级指标 Third-level index			
			水土保持技术 Soil and water conservation technology	荒漠化治理技术 Desertification control technology	石漠化治理技术 Rocky desertification control technology	生态恢复技术 Ecological restoration technology
	技术应用难度	技能水平需求层次	劳动力文化程度	劳动力文化程度	劳动力文化程度	劳动力文化程度
			劳动力配合程度	劳动力配合程度	劳动力配合程度	劳动力配合程度
		技术应用成本	技术研发或购置费用	技术研发或购置费用	技术研发或购置费用	技术研发或购置费用
			机会成本	机会成本	机会成本	机会成本
	技术相宜性	目标适宜性	生态目标的有效实现程度	生态目标的有效实现程度	生态目标的有效实现程度	生态目标的有效实现程度
			经济目标的有效实现程度	经济目标的有效实现程度	经济目标的有效实现程度	经济目标的有效实现程度
			社会目标的有效实现程度	社会目标的有效实现程度	社会目标的有效实现程度	社会目标的有效实现程度
		立地适宜性	地形条件适宜度	土壤条件适宜度	地形条件适宜度	地形条件适宜度
			气候条件适宜度	气候条件适宜度	水资源条件适宜度	土壤条件适宜度
		经济发展适宜性	技术与产业关联程度	技术与产业关联程度	技术与产业关联程度	技术与产业关联程度
			技术经济发展耦合协调度	技术经济发展耦合协调度	技术经济发展耦合协调度	技术经济发展耦合协调度
		政策法规适宜性	政策配套程度	政策配套程度	政策配套程度	政策配套程度
			法律配套程度	法律配套程度	法律配套程度	法律配套程度
	技术效益	生态效益	土壤侵蚀模数	固沙面积比率	石漠化面积比率	林草覆盖率
			水土流失治理度	起沙风速	基岩裸露率	生物多样性指数
		经济效益	人均纯收入	人均纯收入	人均纯收入	人均纯收入
			粮食单产	土地生产力	土地生产力	土地生产力
		社会效益	区域农户应用和发展理念	区域农户应用和发展理念	区域农户应用和发展理念	区域农户应用和发展理念
			辐射带动程度	辐射带动程度	辐射带动程度	辐射带动程度
	技术推广潜力	技术与未来发展关联度	生态建设需求度	生态建设需求度	生态建设需求度	生态建设需求度
			经济发展需求度	经济发展需求度	经济发展需求度	经济发展需求度
		技术可替代性	优势度	优势度	优势度	优势度
			劳动力持续使用惯性	劳动力持续使用惯性	劳动力持续使用惯性	劳动力持续使用惯性

3.3 应用建议

(1) 指标差异性方面,不同的生态退化类型,均有其产生的特定的问题和原因。水土流失的形成以自然要素(如地貌、地形、降雨量以及植被等)为内因,以人类活动为外因;土地荒漠化主要是发生在脆弱生态环境

下(如戈壁、荒漠、草原等干旱及半干旱地区),由于人为过度活动或自然灾害所造成的原生植被的破坏、衰退甚至丧失,从而引起沙质地表、沙丘等的活化^[22]。石漠化多发生在石灰岩地区,由于长期以来自然植被不断遭到破坏,大面积的陡坡开荒,造成地表裸露,加上喀斯特石质山区土层薄(多数不足 10cm),基岩出露,暴雨冲刷力强,大量的水土流失后岩石逐渐凸现裸露,从而呈现出石漠化现象。而相应的生态治理技术正是根据这些不同的问题和原因“对症下药”来遏制其退化趋势,并对其进行恢复和重建。因此,不同的生态治理技术有着不同的属性和特点,特别是其适用的立地条件以及产生的生态效益方面有着明显的差异,对其进行评价时也要有所区分。另外,不同的生态治理技术在生态效益评价方面的研究已经较为完善,不同的治理技术都有其代表性的生态效益评价指标。因此,在选择指标时,应优先选择那些有代表性的指标,更加直接准确的反映其生态效益。

(2) 指标数据获取方面,对于像技术结构、技术体系等属性指标,主要通过技术现实状况与最佳状况(适宜的结构、体系)的差异程度进行判定,然后再进行量化;而创新度、领先度等指标则主要反映所采用生态技术在目前国内外生态技术中的线性排序,首先进行判定,其次根据判定结果可分阈值赋值或者占比赋值,建议用前者。

(3) 指标规范性方面,像土壤侵蚀模数、固沙面积比率等定量指标,首先应运用通用的计算公式进行计算;若缺乏计算公式需要的数据资料,无法进行计算时,应选用国家相应归口部门发布的权威数据。

(4) 评价结果方面,最终评价结果是一个综合值,这样一方面可反映整体状况,另一方面可对相关技术进行比较优选。

4 讨论

现有的生态治理技术评价多是效益评价(或称作后评价),如石漠化综合治理效益评价^[23-25],荒漠化治理综合效益评价^[26-30]等,是针对生态治理技术实施后产生的生态、经济、社会效益进行的评价。我们所构建的生态治理技术评价指标体系是针对技术做评价时应用的指标体系,并不只限于效益评价,而是包含了针对技术本身属性、技术应用难度、技术的相宜性和推广潜力等方面的综合评价指标体系。这样的综合评价指标体系可以用在技术实施之前,评价分析该项技术在拟实施区域的适宜程度,为更深层次的认识生态治理技术提供基础,为政府部门制定重大生态工程决策和计划提供依据。

另外,本研究在指标层所确定的控制性指标和分类评价指标的构架,可以反映不同类型生态治理技术的关键环节和主要方面,也充分考虑了运用层次分析法进行评价时容易遇到的指标不合理,含义混淆不清或指标间的关系不正确等问题,以及后期评价平台的构建以及生态治理技术种类繁多、区域跨越性大等特点。一级、二级指标为控制性指标,为建立公用的评价模块服务,所有类型的生态治理技术评价使用共同的一、二级指标;三级指标为分类评价指标,根据评价对象的异质性而设置,不同的生态治理技术可以选用合适的三级指标对其进行评价,目的在于反映区域共性与特殊性的统一,同时置于控制指标之下。这样既可体现区域差异,又可建立公共评价平台,为不同生态退化区域的生态治理技术的推广提供理论支撑。

指标体系确定后,需要对各指标在总体评价中的作用进行区别对待,确定各指标在体系结构中所发挥影响的大小,即各指标的权重。权重确定是评价指标体系构建中非常重要的一个环节,对于能否客观、真实的反映出生态治理技术的优劣起着至关重要的作用。基于主观或者客观的权重确定方法也多种多样,如模糊分析法、最大熵技术法、灰色关联法等。本文只是针对生态治理技术评价指标体系的构架及指标的筛选和确定做了初步的研究,笔者将会在此研究的基础上,对不同类型生态治理技术及其实施区域进行更加深入的调查和样本数据采集,从而确定指标体系各级指标的权重,并对生态治理技术的评价方法和评价模型做进一步的研究。

5 结论

针对生态治理技术研究中缺乏科学、合理、全面的评价指标体系的问题,在对我国常见生态退化类型区域

进行实地调查的基础上,通过对评价指标的挖掘与筛选,构建了能够揭示生态治理技术本身属性、应用效果、推广潜力等的综合评价指标体系。本指标体系包含目标层和指标层两个层次,目标层为生态治理技术适应效果,指标层又分为控制性指标和分类评价指标。控制性指标包含 5 个一级指标和 14 个二级指标,适用于所有类型的生态治理技术;分类评价指标为三级指标,共有水土保持技术、荒漠化治理技术、石漠化治理技术和生态恢复技术四个类型的三级指标各 29 个,针对不同的生态治理技术可以选用合适的三级指标对其进行评价。这样的评价指标体系既可体现区域差异,又可建立公共评价平台,为生态治理技术的评估提供了科学依据和关键支撑,有助于推动生态治理技术的发展与创新,促进我国生态环境的建设。

参考文献 (References):

- [1] 马佳泰. 生态技术文化的可行性探析[D]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Policy Responses; Findings of the Responses Working Group. Washington D C: Island Press, 2005.
- [3] United Nations Environment Programme. UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment. Nairobi: UNEP, 2014.
- [4] Cairns Jr J. The Recovery Process in Damaged Ecosystems. Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1980.
- [5] United Nations Development Programme. UNDP in Focus 2014/2015—Time for Global Action. New York: UNDP, 2015.
- [6] Mitsch W J. Wetland creation, restoration, and conservation; a wetland invitation at the Olentangy River Wetland Research Park. Ecological Engineering, 2005, 24(4): 243-251.
- [7] Mitsch W J, Day Jr J W. Restoration of wetlands in the Mississippi - Ohio - Missouri (MOM) river basin: experience and needed research. Ecological Engineering, 2006, 26(1): 55-69.
- [8] Boesch D F. Scientific requirements for ecosystem-based management in the restoration of Chesapeake Bay and Coastal Louisiana. Ecological Engineering, 2006, 26(1): 6-26.
- [9] Liu X Y, Zhou S, Qi S, Yang B, Chen Y H, Huang R, Du P F. Zoning of rural water conservation in China: a case study at Ashihe River Basin. International Soil and Water Conservation Research, 2015, 3(2): 130-140.
- [10] 国家发展和改革委员会. 全国主体功能区规划. 北京: 人民出版社, 2015.
- [11] 刘纪远, 岳天祥, 鞠洪波, 王桥, 李秀彬. 中国西部生态系统综合评估. 北京: 气象出版社, 2006.
- [12] 甄霖, 曹淑艳, 魏云洁, 谢高地, 李芬, 杨莉. 土地空间多功能利用: 理论框架及实证研究. 资源科学, 2009, 31(4): 544-551.
- [13] 陈建宏, 杨彦柱. 统计学基础. 北京: 北京理工大学出版社, 2013.
- [14] 王珠娜, 潘磊, 余雪标, 史玉虎. 退耕还林生态效益评价研究进展. 西南林学院学报, 2007, 27(1): 91-96.
- [15] Chou W C, Lin W T, Lin C Y. Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method; a case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan. Ecological Engineering, 2007, 31(4): 269-280.
- [16] Piñeiro J, Maestre F T, Bartolomé L, Valdecantos A. Ecotechnology as a tool for restoring degraded drylands: a meta-analysis of field experiments. Ecological Engineering, 2013, 61: 133-144.
- [17] 许坚. 初论生态技术. 农业现代化研究, 1990, 11(5): 37-39.
- [18] 代锦. 生态技术: 起因、概念和发展. 科学技术与辩证法, 1994, 11(2): 15-18.
- [19] 张昕宇. 技术的生态化转向及其实现路径研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2017.
- [20] 李婵娟. 促进生态技术发展的思考. 才智, 2009, (14): 190-191.
- [21] 陈君. 生态技术发展机制研究[D]. 南京: 东南大学, 2008.
- [22] 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.
- [23] 尹育知. 岩溶地区石漠化综合治理及其生态效益评价研究——以新化县为例[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
- [24] 杨小青, 胡宝清, 曹少英. 喀斯特山区石漠化生态治理效益模糊综合评价——以广西都安瑶族自治县为例. 生态与农村环境学报, 2008, 24(2): 22-26.
- [25] 吴鹏, 朱军, 崔迎春, 赵文君, 侯娜, 张喜. 喀斯特地区石漠化综合治理生态效益指标体系构建及评价——以杠寨小流域为例. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(10): 95-101, 106-106.
- [26] 黄月艳, 岳德鹏, 任慧君, 王计平. 亚湿润干旱区荒漠化防治工程综合效益评价——以北京市桑马房村为例. 经济师, 2011, (10): 61-63.
- [27] 丁国栋, 赵廷宁, 范建友, 杜华. 荒漠化评价指标体系研究现状述评. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 92-96.
- [28] 朱海娟. 宁夏荒漠化治理综合效益评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [29] 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.
- [30] 于文斌. 民勤县荒漠化草地治理监测与效益评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.