

DOI: 10.5846/stxb201809302133

王效科, 杨宁, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄乖民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益及其评价: II、评价内容与评价指标筛选. 生态学报, 2019, 39(15): - .

Wang X K, Yang N, Wu F, Ren Y F, Wang S Y, Bo G M, Jiang G M, Wang Y K, Sun Y J, Zhang L, Ouyang Z Y. Ecological benefit and its evaluation: II. Contents and indicator selection. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

生态效益及其评价: II、评价内容与评价指标筛选

王效科^{1,2,*}, 杨宁¹, 吴凡^{1,2}, 任玉芬¹, 王思远³, 薄乖民⁴, 蒋高明⁵, 王玉宽⁶, 孙玉军⁷, 张路¹, 欧阳志云¹

1 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094

4 西北林业调查规划设计院, 西安 710084

5 中国科学院植物研究所, 北京 100093

6 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041

7 北京林业大学, 北京 100083

摘要:生态效益评价的重要性已经广为人知,但评价内容和指标不统一,大大影响了评价结果的可信度。基本上是各说各有理,很难相互比较。本文在分析国内外相关生态系统评价方法基础上,提出生态效益评价框架,强调生态效益与经济效益和社会效益共同构成了人类社会的价值判断标准和决策依据,是经济效益和社会效益的基础,应该包括生态系统整体贡献,考虑与生态系统的动态变化的关系;并探讨了生态效益评价指标筛选的原则(关联性、灵敏性、层级性、决策导向性、代表性、可行性、独立性、经济适用性和社会可接受性);提出了生态效益指标筛选的多准则综合法和生态效益评价指标检验的 3 个标准(可量化、专一化和震撼性)。作为一个初步的理论分析成果,本文为生态效益指标体系的构建提供重要参考。

关键词:生态效益;评价内容;指标选择

Ecological benefit and its evaluation: II. Contents and indicator selection

WANG Xiaoke^{1,2,*}, YANG Ning¹, WU Fan^{1,2}, REN Yufen¹, WANG Siyuan³, BO Guaimin⁴, JIANG Gaoming⁵, WANG Yukuan⁶, SUN Yujun⁷, ZHANG Lu¹, OUYANG Zhiyun¹

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

4 Northwest Institute of Forest Inventory, Planning and Design, State Forestry Administration, Xi'an 710084, China

5 Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

6 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

7 Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The importance of ecological benefit evaluation is widely recognized; however, the inconsistency of evaluation content and indicators has greatly affected the credibility of the evaluation results. Most of these results are reasonable but are difficult to be compared. Based on analysis of available relevant ecosystem evaluation methods, this paper proposes an ecological benefit evaluation framework that emphasizes that ecological, economic, and social benefits together constitute the

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFA0507303,2016YFC0503004)

收稿日期:2018-09-30; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@rcees.ac.cn

value judgment standard and decision-making basis for human society. The ecological benefit is the foundation of economic and social benefit and should include the overall contribution of the ecosystem and consideration of ecosystem dynamics. The principles of selecting ecological benefit evaluation indicators include relevance, sensitivity, hierarchy, decision orientation, representativeness, feasibility, independence, economic applicability, and social acceptability. A multi-criteria synthesis method for selecting ecological benefit indicators and three criteria (quantifiable, specific, and surprising) for ecological benefit evaluation is proposed. As a preliminaries theoretical analysis, it can provide an important reference for the construction of ecological benefit indicator systems.

Key Words: ecological benefit; evaluation method; indicator selection

尽管生态效益一词已经被国人熟知和广泛使用,但是如何科学评价生态效益还存在很多急需解决的问题。生态效益作为人类从生态系统得到的好处,不像经济效益那样可以通过市场交易价格来定量评估。生态效益多选择一些相关指标来评价。但由于受生态系统、区域环境、人类活动和人类福祉需求差异等影响,不同学者选取的生态效益评价内容相差很大。这就造成了生态效益在不同项目、不同研究和不同区域之间很难比较,严重影响了生态效益作为决策依据的客观性和科学性,特别是影响到基于生态效益的国家生态补偿政策的制定。

早在 1980 年,我国科学家就提出了森林生态效益的评价内容和指标,如朱济凡在“论我国林业发展的新战略问题”中就指出“森林具有调节气候、涵养水源、保持水土、制服风沙、净化大气、栖息鸟兽、保护环境、保存物种等多种功能”^[1],并提到张嘉宾同志初步估算,云南省怒江州的贡山、福贡、碧江、泸水四县森林保土、保水功能的价值是森林用材、燃材功能价值的 6 倍。后来,随着我国大规模的三北防护林体系、农田防护林体系、长江珠江上游和沿海防护林体系及退耕还林工程建设等,林业生态工程生态效益的评估在各地大规模开展,其中有代表性的包括:雷孝章^[2]等针对林业生态工程生态效益,提出了森林生态系统稳定性维持、森林改善小气候、森林水源涵养、森林保土作用、土壤改良状况指标和区域功能特异性等 6 类评价内容。王兵^[3]等在《退耕还林工程生态效益监测国家报告 2015》中,提出了北方沙化土地退耕还林工程生态效益评价内容包括 7 类:森林防护、净化大气环境、固碳释氧、生物多样性保护、涵养水源、保育土壤和林木积累营养物质等。朱教君等在进行三北防护林工程生态效益评价时,提出了水源涵养、水土保持、防风固沙、农田增产、固碳释氧等评价内容^[4]。

从上可以看出,学界对生态效益评价内容的认识不统一、选取标准不清楚,这大大影响了评价结果的可信度。基本上是各说各有理,很难相互比较,因此,本文将在进行生态效益分类基础上,提出生态效益评价内容框架,并探讨生态效益评价指标筛选原则和方法,为全面评价生态效益提供科学依据。

1 生态效益多层级评价框架

尽管人类具有很强的环境适应能力,但人类作为一种生物,除需要食物外,其生存和发展的环境条件需要局限于一定的范围之内,特别是需要适宜的温度湿度及优良的空气和水体质量,还需要避免各种自然灾害(如洪涝、沙尘暴等)威胁。而这些条件的提供除大尺度的气候、地质和水文等背景外,主要依靠生态系统来提供。这就是生态系统提供给人类的生态效益。根据我们的定义,生态效益是生态系统及其变化引起的人类生存和社会经济发展条件的改善程度(见前文),是对传统评价人类福祉的社会效益和经济效益的补充。

由于人类生存和发展需要的环境条件具有很多种,因此,生态效益评价的内容会是多样化的。为了保证评价工作的科学性和完整性,就需要将多样化的生态效益评价内容,按照一定的逻辑关系,构成一个评价体系。其目的是:(1)更科学客观完整精确地评估生态效益;(2)便于辨识影响生态效益的关键因素和过程;(3)易于生态评价指标的筛选;(4)促进生态效益评价指标能够科学地指导生态环境保护政策制定。

目前已经进行的大部分生态效益评价工作中,并没有很好的梳理生态效益评价内容间的逻辑关系,只是

简单将生态效益分成几个类型。应用最多的是借用国际上生态系统服务分类体系^[5],按照生态系统对人类生存和社会经济发展的作用,分成了4类:产品提供、支持、调节和文化等服务。产品提供服务主要是为人类输出生活和生产资源,这些资源绝大部分可以通过市场交换来实现,具有市场价值,容易评估。支持服务包含生态系统要素、结构和过程内容,是生态系统的物理属性,反映了生态系统整体性和健康状况。调节服务是生态系统在预防生态环境问题中所发挥的功能和所起的作用,是由生态系统过程提供的人类生存和发展的条件。文化服务是与人类精神生活和社会发展相关的指标,满足人类非物质性的需求。一般认为支持服务对产品提供、调节和文化服务具有支撑作用,并不作为最终生态系统服务评价内容。生态系统服务指标分类体系能够避免定义内在的模糊性、有效减少双重核算、更好地链接自然系统与人类社会、以及可以找到服务的受益方而易于理解和交流。千年生态系统评估(MA, Millennium Ecosystem Assessment)将与生态系统最终服务相关的人类福祉分为健康、安全、维持高质量生活的基本物质需求、良好的社会关系即选择与行动的自由等方面^[5]。经济合作发展组织(OECD, Organization for Economic Co-operation and Development)进一步建议人类福祉要考虑生活质量和物质生活条件。另一个被广泛应用于衡量生态系统对人类福祉贡献的词是自然资本。环境与经济综合核算体系(SEEA, System of Integrated Environment and Economic Accounting)将自然资本分成了3个功能组:资源功能、汇功能和服务功能^[6]。资源功能包括从生态系统输入到人类社会的各种材料和能源;汇功能主要是对人类造成副产品或废物的处理能力;服务功能是为人类和其他生物提供良好生境和友好环境的能力。这3组功能和生态系统服务4种类型间既一致又交叉。资源功能主要指生态系统产品提供服务;汇功能主要指生态系统调节服务的净化功能;生态系统除净化功能外的其他调节服务和文化服务可以划分到这里的服务功能。但生态效益在内容上不但与生态系统服务和自然资本既有联系又有区别,而且还需要包括与人类福祉相关的生态系统质量和功能指标。

为了阐明生态系统服务形成机制,理解生态系统与人类社会之间的联动机制,Potschin 等^[7]提出了生态系统服务级联(ecosystem service cascade)框架:结构-过程-功能-服务-效益-价值,生态系统与生物多样性经济学(TEEB, The Economics of Ecosystems & Biodiversity)对该框架进行完善后认为:生态系统服务级联框架比较完善的偶联了自然环境和人类社会的特性^[8-9],如生态系统结构、功能以及社会福祉等,常常被用来表征一个生态系统和一个社会的基本特性^[10]。并强调了生态系统通过服务传递到社会,从而使人类福祉提高。但这里还是忽视了一个重要理念,人类从生态系统获益,可能不一定要经过生态系统服务级联途径。生态系统结构和过程的变化也可以直接使人类受益。例如生态系统水质改善、生态廊道建设,人们从中可以直接利用清洁水体和绿色环境,提高社会福祉。尽管生态系统服务级联框架很好的描述了生态系统服务形成机制和传递到人类社会的主要途径,但没有考虑生态系统变化的原因以及评价与管理决策的关系,因此,不能简单地将这些框架应用于生态效益评价。

生态系统质量评价中广泛使用的压力-状态-响应(PSR, Pressure-State-Response)评价体系框架对生态效益评价也会有帮助。该框架是由加拿大统计学家 Rapport 提出^[11],后经过经济合作发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP, United Nations Environment Programme)推广,得到了广泛使用。该评价体系框架反映了生态系统在人类和环境之间的传递作用。生态系统在受到外界干扰和压力时,其状态会发生变化,从而引起人类社会的响应。这种评价体系框架,反映了一种从人类到环境再到人类的完整过程,建立了影响生态系统的人类活动与人类社会受到的影响之间的关系,很好表征了人类活动影响生态系统的链条,可以为制定生态环境保护政策提供重要科学依据。欧洲环境署(EEA, The European Environment Agency)将压力-状态-响应框架扩展为驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR, Driving force-Pressure-State-Impact-Response)评价体系框架,强调了对生态系统产生压力的驱动力和生态系统状态变化产生的影响,更完整的反映了人类活动作为驱动力,对生态系统产生压力,引起生态系统状态变化,从而对人类社会产生影响,针对受到的影响,人类则会采取一定的对策措施控制驱动力,使人类活动影响最小化。这种评价框架的核心是生态系统状态变化及其人类采取的应对能力,更多是从人类活动的负面影响角度考虑。但生态效益评价,则希望更多的考虑人类从生态系统

及其变化中获得的好处,重点要关注对人类生存和社会经济发展具有较大贡献的生态系统特性。因此,不能直接将 PSR 或 DPSIR 评价框架用来开展生态效益评价。

综合以上分析的生态系统服务评价框架和 DPSIR 评价框架,结合已有研究在生态效益评价中遇到的问题,我们建立了生态效益与生态系统和人类社会之间的联系,构架了生态效益评价框架(图 1)。该评价框架体现了以下特点:

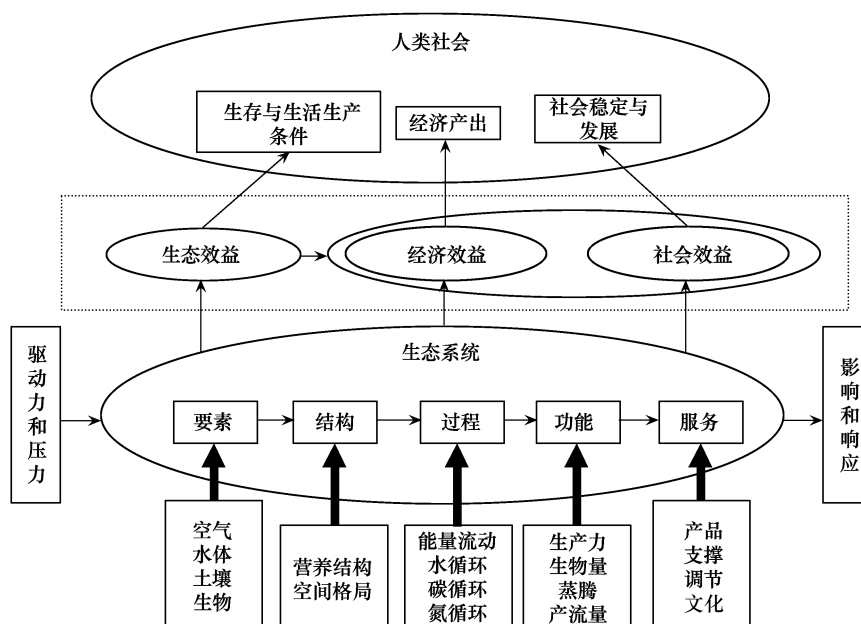


图 1 生态效益评价框架

Fig.1 Ecological benefit evaluation framework

(1)生态效益、经济效益和社会效益共同构成了人类社会的价值判断标准和决策依据。面对一个多样的复杂世界,无论公众生活需要还是管理决策需要,人们对各种事物和事件都在不断进行价值分析(即评价),以决定下一步应该怎么办。对于人类赖以生产和发展的生态环境(即生态系统),我们也一直对其价值进行判断,是应该保护还是应该开发或重建,根据就是它能够对人类产生多大的好处或效益。这些效益按照人类需求可以分为生态效益、经济效益和社会效益。我们生活在一个市场经济的社会,对于经济效益最为敏感,因为获得经济收入意味着可以通过交换获得许多人类需要的生活生产资源。我们生活在一个社会环境中,人类需要各种交流和社会活动,社会效益的作用也容易得到重视。往往被人类忽视的是生态效益,它主要是为人类提供生存和生活生产的条件,如洁净的空气和水体、适宜的温度湿度、较少的灾害和较高的生物多样性。通常情况下,人类可以无偿获取多数生态效益以满足其日常需求,体会不到自身已享受到的生态效益,也认识不到这些生态系统的重要性;即使发现其重要性,不同人的判断不一样,重视程度也提升不到一定高度。但当生态效益减少到一定阈值,势必会威胁到社会经济进一步发展。因此人类社会在进行决策时,应综合考虑三种效益。

(2)生态效益是经济效益和社会效益的基础。人类是自然界的一部分,自然生态系统为人类提供的生态效益是支撑人类社会运转的基石,脱离了自然人类无法生存,更不用说发展社会经济。但是人的社会性决定了人类过多的关注经济效益和社会效益,而往往忽视生态效益。由此而引发了多种生态环境问题,例如森林砍伐造成水土流失、草原过度放牧造成沙漠化加剧。这些生态环境问题的出现,将会直接影响人类社会所需要的经济效益和社会效益;相反的,生态效益的改善会提升社会效益和经济效益,如我国的三北防护林工程,从生态效益方面,提高了防风固沙、调节当地气候和减少沙尘暴的能力,从经济效益上增加了粮食产量和农民收入,从社会效益上提高了社会稳定和人体健康价值。

(3)生态效益综合了生态系统的多层级贡献。由于生态系统和人类社会的多样性和复杂性,少数几个指标可能很难科学评价生态效益。因此从生态系统要素、结构、过程、功能和服务等方面,分析生态系统与人类福祉的关系,建立生态效益多层级指标评价体系。生态效益评价指标包括了能够反映与人类生存和社会经济发展条件相关的生态系统要素、结构、过程、功能和服务 5 个方面的指标。例如,生态系统要素指标:空气质量、水体质量、土壤肥力、植被类型、生物多样性等;生态系统结构指标:生态效率、植被覆盖度等;生态系统过程指标:水文波动、有机质分解速率、硝化反硝化速率等;生态系统功能指标:产水量、生产力、生物量、蒸腾量等;生态系统服务指标:气温调节、水文调节、土壤保持、授粉、观赏等。多层级指标评价体系,一方面能够使评价更加全面,另一方面可以筛选出易于进行测量判断以及与人类福祉关系密切的评价因子:例如生态系统土壤保持效益难以精确测定时,可以采用土壤肥力提高作为评价指标;生态系统防风固沙效益评价时,如果采用反映人类福祉的沙尘天气日数指标,将更能够得到受益人群的认可。

(4)生态效益与生态系统的驱动力和人类应对能力有关。生态效益评价的出发点是为了认识生态系统的重要性以及为制定生态环境保护政策提供科学依据。对于不同的外在驱动力和压力,生态系统的要素、结构、过程、功能和服务变化是不同的。受到这些变化的影响,人们从中得到的效益也就不同。因此,生态效益评价要考虑生态系统发生变化的驱动力及其对生态系统状态造成的压力,还要考虑生态系统变化对人类社会造成的影响以及人类采取的响应措施,为生态系统环境保护修复决策提供科学依据。

2 生态效益评价指标筛选原则和方法

对于生态效益,可以围绕生态系统或人类福祉及其相关关系,进行多方面的评价。从前面的生态效益评价框架可以看出,能够用来作为生态效益评价的指标应该非常多。在实际生态效益评价工作中,由于时间、资金和资料等限制,只能选取有限的指标进行评价工作。因此,生态效益评价首先需要建立评价指标筛选的原则和方法。

2.1 生态效益评价指标筛选原则

进行生态效益评价指标筛选是一件非常困难的事,既要受到人类认识水平的限制,更要受到许多客观条件的限制(如资金、监测能力、数据可获得性、管理需要等)。进行生态效益评价指标筛选时,需要参考生态学领域已建立的指标筛选方法^[12-13],针对评价工作的具体目标,指标体系的构建应考虑其完备性,指标的代表性、精度、普遍性、真实性、简单性及各指标之间的一致性和相关性,并权衡评价模型的复杂性等。基于此,建立了筛选生态效益评价指标的参考原则^[14]:

(1)关联性:生态效益是人类从生态系统中获取的福祉,因此生态效益指标首先应该与人类福祉密切相关。人类得到的生态效益(好处)应该是由生态系统变化带来的,无论是生态系统要素还是过程或功能指标,只要其变化能够给人类生存和社会经济发展的条件维持和改善带来好处和益处,并易于被人们认识和理解,它们就可以作为生态效益的评价指标。生态效益指标还应该与人类活动或政策有相关性,能够反映社会的努力和重视程度对生态环境改善的作用,这样才能为生态保护和建设的政策制定提供直接依据。

(2)灵敏性:敏感的指标更能反映生态系统的变化及其对人类社会产生的好处(效益)。由于生态系统类型和特性及其与人类关系的差异,在众多的生态效益候选指标中,各指标本身变化程度有差异,对人类活动或环境变化响应的敏感程度有差异,其变化引起的人类福祉的变化程度也会有差异。指标本身变化大,可能较容易检测出其变化;指标对人类活动敏感,才能及时发现生态效益的变化;对人类福祉贡献大的指标,才容易认识到其重要性。因此在选择评价指标时,应重在考虑那些本身变化大,对人类活动响应敏感、对人类福祉贡献大的生态效益指标。

(3)层级性:现有的反映生态系统属性及其与人类关系的指标数量较多,就生态系统而言,可从其要素、结构、过程、功能和服务 5 个层级来反映生态系统属性。这 5 个层级指标之间具有关联性,前一层级对后一层级指标具有决定性影响,后一层级指标可能包含了前一层级指标的信息。不同层级指标与人类福祉的关系密

切程度存在差异,密切程度随生态系统要素、结构、过程、功能、服务层级依次递增。因此,在筛选生态效益指标时,应优先考虑与人类福祉关系最紧密的指标。

(4)决策导向性:生态效益评价主要是通过评价人为干预后生态系统变化引起的人类福祉改变,认识人类活动的成效和存在问题,为人类活动的改进和成效提升的政策制定提供科学依据。因此,生态效益评价指标要考虑其对决策的支撑作用,优先考虑决策者容易理解的指标,这样才有利于评价结果被接受并纳入到决策工作中去。

(5)代表性:由于生态系统和人类需求的特殊性和区域差异性,生态效益指标筛选时应该考虑生态系统类型、区域和服务人群的特殊性,优先考虑具有生态系统、区域和人群代表性的指标,要考虑生态效益产生和发挥的时间空间尺度。选用的评价指标应该多为知名国际组织或国家评估应用较多的指标,同时还应考虑中国已有的生态系统评估项目或报告中采用的指标。

(6)可行性:主要是考虑指标的可获得性和可测量性。由于受到监测方法、资料来源、评价模型及模型参数的限制,不同生态效益指标评价的难易程度和可靠性具有很大差异。为保证评价的客观性,避免主观因素的影响,选择指标时主要考虑可以量化的(包括直接观测、计算或模拟)指标,进而依靠数据做出客观的判断。指标计算需要的直接观测数据、模型和参数要容易采集或有权威、可靠的来源。因此筛选时需要综合考虑评价模型的可靠性以及数据资料的可获得性及其可靠性,优先选择一些资料可靠完整和评价方法科学简单的指标。总体来说,指标应易于获取,评价方法易于掌握,可操作性强。

(7)独立性:由于生态效益评价指标体系是由许多指标构成的,指标间相关性和重复性可能难以避免。为了科学高效的开展评价工作,需要分析各指标间的相关程度,尽量将指标间的信息重复性和相关性减到最小,避免指标之间的包容和重叠;筛选出的指标数目要足够少,但又能表征生态系统最主要成分变量。

(8)经济适用性和社会可接受性。生态效益评价目的是为了科学评价自然或人为干预后的生态系统为人类带来的福祉及其变化,评价工作应该考虑经济成本,应该将指标的监测、资料收集处理、模型开发与检验等工作成本控制在适当范围,否则由于占用较多资金资源,影响生态环境保护与管理项目的整体效益。同时筛选的指标应该具有社会可接受性,考虑与管理工作的相关性、与当地社会经济条件和知识水平的适应性,只有评价指标和结果得到社会接受,才能发挥其决策支持的作用。

2.2 生态效益评价指标筛选方法

在实际评价工作中,往往只能选择有限数量的指标来反映生态效益,这就需要采用科学的筛选技术手段,从大量的与生态效益相关的生态系统要素、结构、过程、功能以及服务指标中,筛选出简单易行和科学客观的指标体系。目前筛选指标的方法主要有频度分析法、专家咨询法和层次分析法等^[15]。频度分析法,是通过收集各种研究论文和报告,整理出所有相关指标列表,统计出各指标使用的频率,筛选出使用频率较高的指标。专家咨询法,是通过会议、问卷和访谈等多种形式,向有经验的专家进行咨询,基于专家分别提出的指标体系和各指标的重要性分析,筛选出评价指标。层次分析法,事实上是专家咨询法的一种,只是在进行专家意见咨询时,将所有候选指标向上合并成多个层级的指标组,在每一层级上,专家对有限个(一般不大于5个)指标或指标组进行相对重要性评判,建立判断矩阵,计算出一致性指标,获得各个指标的重要性权重,筛选出权重大的指标。采用这些方法筛选出的指标体系,很大程度上取决于现有的研究资料分布和依赖于专家的先验知识,并不能完全体现以上的生态效益指标筛选原则。为了提高生态效益评价的可行性和效率,往往需要分析每一个候选指标的相关特性^[16],如所评价生态系统的类型、要素、结构和功能、与人类福祉关系、对应时空尺度和组织水平、适用生态区域、效益产生源、理解难易程度、可测量性、统计可信度、指标范围、敏感程度、预警能力、可获得性、获取成本和诊断作用。

基于以上的生态效益评价框架和评价指标筛选原则,生态效益筛选可以采取多准则综合法(图2)。根据各候选评价指标的综合排名,筛选出比较重要的指标用来进行生态效益评价。

生态效益指标筛选的多准则综合法具有以下特点:(1)根据生态效益多样性和多级性,构建出全面系统

完整的生态效益候选指标。(2)以生态效益指标筛选原则作为准则,分析各生态效益候选指标与评价目标及使用难度间的相关性。将指标的重要性判断基于一些具体的相关知识,而不是笼统的经验。(3)确定各判断准则的相对权重,构建整体的各指标综合排名。在大多数情况下,无论候选指标列表、准则相关性评价还是准则权重确定,都需要借助于专家咨询或其他形式的社会调查方法。

尽管生态效益具有多样性和复杂性,需要采用多指标方法进行评价。但决策者往往希望生态学家能够构建出一个单一指标,而不是给出一系列指标让决策者自己判断,这就要求构建一个综合性指标^[17]。综合性指标构建方法一般有:(1)价值化:采用重置成本法、影子

工程法、条件价值法等方法,将非市场化的生态效益指标换算成价值量,然后得出总的生态效益价值;(2)平均法:采用简单算术平均或加权平均法,将反映生态系统不同方面的多个生态效益指标整合成一个单一综合指标;(3)多元统计分析法:多数情况下,得到单一综合指标是比较困难的。所以通常采用的一种化繁为简的办法,就是将所有多个指标的信息进行数学变换,利用不同多元数据统计方法,得到较少的几个相互独立的综合指标。通过比较生态系统在这几个指标构成的空间中的变化,就可以确定生态效益的相对值。

总之,根据以上的生态效益筛选原则和筛选方法,就可以将最重要的生态效益指标筛选出来,通过较低的成本达到科学评价生态效益的目的,为决策者提供尽可能多的决策依据信息。

3 生态效益评价指标检验

生态效益指标反映了人类从生态系统获得好处的信息。这些信息应该很容易被社会或决策者感知或理解。对于筛选出的各种生态效益评价指标,既要能够体现生态系统复杂性,也要能够简单测量和使用^[18],因此,需要对筛选出的生态效益指标优劣进行检验^[19],首先要检查是否符合以下3条标准:

(1)可量化:生态效益指标需要能够被定量,具有衡量单位。最好能够采用较简单的方法就能够测量出指标明显的变化。实际上,生态效益指标,可能只有少数可以直接监测获得,如土壤养分、水质、生产力等,大部分都需要模型计算获得。即使能够直接监测的指标,往往也只能得出指标的一个样点或局地的值,对于大范围的区域生态效益,还需要通过模型方法外推。有时,可能需要将指标的物质量转化成价值量,更便于决策者感知到生态效益的价值或重要性。

(2)专一化:大部分情况下,生态效益是被用来评价某些实际发生的或拟计划的人类活动可能产生的生态后果。因此筛选出的生态效益评价指标应该与被考察的人类活动有密切的关系,并且该指标的变化只是被考察的人类活动引起的,自然波动比较小,具有响应的专一性。尽量避免不具有专一性的指标,以免误导决策者。

(3)震撼性:筛选出的生态效益指标应该是社会和决策者高度关心的指标。当社会或决策者看到这些指标的变化时,就能够清楚地认识到其重要程度。指标不一定多,但一定要选用能够引起社会或决策者理解和感兴趣的指标。

这只是3条对所有生态效益评价指标选取都必须考虑的标准。但由于生态效益形成的复杂性及人类活动和生态系统多样性,生态效益评价指标检验需要充分考虑评价目的、尺度和区域等来确定。为了满足不同项目或区域生态效益评价结果进行比较的需要,生态效益评价指标的一致性也非常重要的。

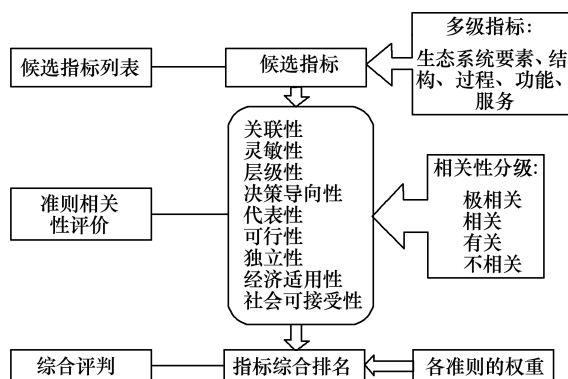


图2 生态效益指标筛选的多准则综合法

Fig.2 Multi-criteria synthesis method for selecting ecological benefit indicators

4 结论

构建生态效益指标体系无疑是生态效益评价的最关键工作之一,在分析过去实践经验的基础上,本文提出了生态效益评价框架以及评价指标的筛选和检验原则。作为一个初步的理论分析成果,可以对生态效益指标体系的构建提供一些重要参考。但由于生态系统复杂性和多样性以及对于生态效益形成机制认识的局限性,仍然有大量的研究工作急需开展。首先需要加强人类活动对生态系统结构、过程和功能的影响机理研究,特别是需要一些长期的观测和模拟实验,建立人类活动影响强度与生态系统指标间的剂量响应关系,为生态效益指标的筛选和优化提供实验基础。其次,要研究生态系统变化与人类获益间的关系,人类活动可以引起生态系统要素、结构、过程和功能的多重变化,各种变化对人类社会经济的贡献是有差别的,并且人类需求是多方面的,各方面需求的重要性也不同。可以说,生态系统变化和人类获益间会构成一个复杂的网状关系,这将是生态学研究面临的重大挑战之一。总之,人类活动-生态系统变化-生态效益间是一个复杂的多因子、多过程和多响应的关系,构建生态效益指标,就是要将这种复杂关系简单化,凝练出关键性指标,以科学评价人类活动对生态环境的改善作用,为指导决策者制定和完善生态环境保护和修复政策与措施提供科学依据。

致谢:参与该项目讨论的还有以下专家,特此予以感谢:北京大学沈泽昊,北京林业大学王轶夫,贵州师范大学安裕伦、杨广斌,国家林业局西北林业调查规划设计院王伟,环保部南京环境科学研究所张慧、裴文明,上海市园林科学规划研究院李跃忠、郑思俊,中国科学院成都山地灾害与环境研究所傅斌,中国科学院生态环境研究中心逯非,中国科学院遥感与数字地球研究所王黎明,中国科学院植物研究所李彩虹等。

参考文献 (References):

- [1] 朱济凡. 论我国林业发展的新战略. 南京林业大学学报(自然科学版), 1982, (3): 1-4.
- [2] 雷孝章, 王金锡, 彭沛好, 陈国先, 唐云锦. 中国生态林业工程效益评价指标体系. 自然资源学报, 1999, 14(2): 175-182.
- [3] 国家林业局. 退耕还林工程生态效益监测国家报告. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [4] 朱教君. 三北防护林工程生态环境效应遥感监测与评估研究//三北防护林体系工程建设 30 年(1978-2008). 北京: 科学出版社, 2016.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Washing DC: Island Press, 2005.
- [6] United Nations. Integrated environmental and economic accounting. Journal of Government Information, 2003, 22(3): 598.
- [7] Potschin M B, Hainesyoung R H. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. Progress in Physical Geography, 2011, 35(5): 575-594.
- [8] Groot R S D, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemsen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity, 2010, 7(3): 260-272.
- [9] La N A, D'Amato D, Mäkinen H, Paracchini M L, Liqueste C, Egoh B, Geneletti D, Crossman N D. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. Ecological Indicators, 2017, 74(4): 392-402.
- [10] Yu D, Lu N, Fu B. Establishment of a comprehensive indicator system for the assessment of biodiversity and ecosystem services. Landscape Ecology, 2017, 32(8): 1-17.
- [11] Rapport D J, Friend A M. Towards a comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach. Statistics Canada Catalogue. 1979.
- [12] 李锋, 刘旭升, 胡聘. 城市可持续发展评价方法及其应用. 生态学报, 2007, 27(11): 4793-4802.
- [13] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. 生态学报, 2001, 1(11): 1885-1892.
- [14] Feld C K, Sousa J P, da Silva P M, Dawson T P. Indicators for biodiversity and ecosystem services: towards an improved framework for ecosystems assessment. Biodiversity and Conservation, 2010, 19(10): 2895-2919.
- [15] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. 生态学报, 2017, 37(2): 341-348.
- [16] Andreasen J K, O'Neill R V, Noss R, Noss R, Slosser N C. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. Ecological Indicators, 2002, 1(1): 21-35.
- [17] Müller F, Burkhard B. The indicator side of ecosystem services. Ecosystem Services, 2012, 1(1): 26-30.
- [18] Dale V H, Beyeler S C. Challenges in the development and use of ecological indicators. Ecological Indicators, 2002, 1(1): 3-10.
- [19] Griffith J A. Connecting Ecological Monitoring and Ecological Indicators: A Review of The Literature. Journal of Environmental Systems, 1997, 26(4): 1-1.