

文章编号:1001-1498(2005)04-0490-07

# 荒漠化监测与评价指标体系框架

吴波<sup>1</sup>, 苏志珠<sup>1</sup>, 杨晓晖<sup>1</sup>, 刘文<sup>2</sup>, 鞠洪波<sup>3</sup>, 刘燕<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室 北京 100091;  
2. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 3. 中国林业科学研究院资源信息技术研究所, 北京 100091)

**摘要:**根据荒漠化的定义以及荒漠化的特点,荒漠化监测与评价指标体系由4个部分组成,即压力指标、状态指标、影响指标和防治指标。压力指标描述的是对自然资源的状态带来影响并导致荒漠化发生的自然和人为驱动因素,用来对荒漠化发展趋势进行评估并进行荒漠化早期预警;状态指标描述的是土地生态系统的状态和特性,可以分为物理指标、化学指标和生物指标,它们分别描述土地生态系统的物理、化学和生物特性;影响指标用来评价荒漠化对人类及其环境带来的影响;防治指标用来评价防治荒漠化采取的行动和措施以及采取这些行动和措施带来的社会经济和自然条件的改善。

**关键词:**荒漠化;监测与评价;指标体系;基准

**中图分类号:**P931.3 **文献标识码:**A

## A Framework of Indicator System for Desertification Monitoring and Evaluation

WU Bo<sup>1</sup>, SU Zhi-zhu<sup>1</sup>, YANG Xiao-hui<sup>1</sup>, LIU Wen<sup>2</sup>, JU Hong-bo<sup>3</sup>, LIU Yan<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091;  
2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;  
3. Research Institute of Forest Resources Information Techniques, CAF, Beijing 100091)

**Abstract:** According to characteristics of desertification, the development and control processes of desertification consist of four parts: driving forces, desertified land, impact by desertification and desertification control. Therefore, indicator system for desertification monitoring and assessment includes four aspects: pressure, state, desertification impact and implementation. Pressure indicators characterize driving forces both natural and man-made, affecting the status of natural resources and leading to desertification. Pressure indicators are used to assess desertification trends and make an early warning for desertification. Natural indicators describe natural factors, mainly climatic conditions, natural disasters, which promote the occurrence and development of desertification. Non-natural indicators describe the pressure on land/ecosystems leading to land degradation from human activities. State indicators characterize the status of natural resources including land. The physical and biological features of desertified land ecosystem are the main factors to be considered. Physical indicators describe the land characteristics, physical and chemical properties of soil and hydrologic features of the land ecosystem. Biological indicators are used to describe biological characteristics of the land ecosystem. Desertification impact indicators are used to evaluate the effects of desertification on human beings and environment. Implementation indicators are used to assess the actions taken for combating desertification and to assess its impacts on natural resources and human beings. Such impacts refer to improvements of socio-economic and natural conditions. The framework of the state indicator system is based on three aspects, namely agro climatic region, land use and degradation process. For the pressure,

收稿日期: 2004-11-30

基金项目: “十五”国家科技攻关项目“防沙治沙综合技术体系研究”(2002BA517A-09)、国家自然科学基金项目(30100145)和国家基础研究发展规划项目(G2000048705)

作者简介: 吴波(1968—),男,吉林抚松县人,博士,研究员,主要从事景观生态学与荒漠化过程研究。

desertification impact and implementation indicators ,the framework of the proposed indicator system is in reference to agro climatic regions.

**Key works** :desertification ;monitoring and evaluation ;indicator system ;benchmark

荒漠化是全球广泛关注的重大环境问题之一。我国是世界上受荒漠化危害最严重的国家之一,根据最新荒漠化监测结果<sup>[1]</sup>,我国现有荒漠化土地总面积  $267.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 27.9%, 风蚀荒漠化土地以  $3\,436 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$  的速度扩展,荒漠化具有广泛的危害性,对生态环境、土地资源和交通、水利等生产基础设施等造成严重破坏,给区域经济发展和人们的生产、生活带来严重影响<sup>[2]</sup>。为了阐明荒漠化土地退化状况及危害程度,并对其进行早期预警,必须建立科学的荒漠化监测与评价指标体系,它是荒漠化研究的重要组成部分,并且越来越受到国内外学者和政府部门的广泛重视。本文在国内外研究的基础上,提出了荒漠化监测与评价指标体系框架,并对与此有关的问题进行了讨论。

## 1 国内外荒漠化监测与评价指标体系研究回顾

1949年法国科学家 Aubreville 在他的《非洲热带的气候、森林和荒漠化》一书中首次引入“荒漠化(Desertification)”一词,但直到 1968—1973年非洲萨赫勒地区的严重干旱及其造成的巨大灾难使得荒漠化开始受到重视。随后,许多国际组织和学术机构组织了各种研讨会,对荒漠化概念和内涵进行了深入讨论。联合国于 1977年在内罗毕召开了来自 94个国家、地区和国际组织的 500多名代表出席的联合国荒漠化大会(UNCOD),首次对荒漠化进行了全面、科学的分析与总结,并提出了由联合国粮农组织、联合国教科文组织、世界气象组织和联合国发展署共同编制的 1 2 500 万世界荒漠化图,对全国荒漠化状况进行了评估<sup>[1]</sup>。这次会议被誉为荒漠化研究史上的一个重要里程碑。

为了荒漠化制图和对全球荒漠化状况进行评估,许多学者和国际组织开始关注荒漠化监测与评估指标体系。具有代表性的有:Berry 和 Ford 基于气候、土壤、植物、动物和人类影响等因子,提出了一套用于全球、区域、国家和地方尺度的 4 级指标体系<sup>[3]</sup>。Reining 从自然的、生物的和社会的 3 个方面对荒漠化指标做了进一步归纳,使之有了较具体的标准<sup>[4]</sup>。联合国粮农组织 (FAO) 和联合国环境署

(UNEP) 在《荒漠化评价和制图的暂行方法》中将荒漠化划分为植被覆盖的退化、风蚀、水蚀、盐碱化、土壤板结、土壤有机质减少和土壤中有毒物质的过量积累 7 种类型,并从现状、速度和危险性 3 个方面对每一种类型制定了具体的评价指标<sup>[5]</sup>。国际土壤咨询和信息中心与 UNEP 在进行全球土壤退化评价时,将人为引起的土地退化分为风蚀、水蚀、物理退化和化学退化 4 种类型,并将退化程度分为轻度、中度、重度和极重度 4 级<sup>[6]</sup>。Mabutt 将荒漠化评价指标分为直接指标和间接指标,直接指标用于对发生退化的土地生态系统进行诊断,而间接指标反映的是与发生退化的土地生态系统相关的系统内因荒漠化而产生的各种相互作用,但没有解释怎样使用这些指标<sup>[7]</sup>。Hunsaker 和 Carpenter 在美国环保局的环境监测与评估项目 (Environmental Monitoring and Assessment Program, EMAP) 中提出了压迫-反应指标体系<sup>[8]</sup>,近年来被很多研究者采用并得到进一步完善与发展,如 Imeson<sup>[9]</sup> 使用 Kosmas 等<sup>[10]</sup> 提出的“关键指标”的概念,采用 3 类关键功能响应指标来评价土地退化,即水调节功能丧失指标、生态系统(生产力)恢复功能丧失指标和水土保持功能丧失指标。通常在不同尺度上可挑选很多指标,但仅有少数指标被真正用于荒漠化监测与评估。Hammond 等<sup>[11~13]</sup> 认为,对于环境评价,决策者和公众只需要少数综合性指标,而且这些指标应该易于测量、对外来干扰非常敏感、测量成本较低,例如,植被指数 (NDVI) 及其变化被认为是比较理想的适用于荒漠化动态评估的大尺度的宏观指标<sup>[14~16]</sup>。

由风蚀引起的荒漠化(即沙质荒漠化,下同)在我国分布广泛、影响和危害严重,我国学者和政府部门对此高度重视;但在联合国防治荒漠化《公约》<sup>[17]</sup> 签定以前,我国荒漠化研究主要集中于沙漠化。朱震达<sup>[18]</sup> 首先提出一套荒漠化评价指标,由沙漠化土地年扩大率大小、流沙面积占土地面积的百分比、沙漠化土地景观的形态组合特征 3 个指标和植被覆盖度、土地滋生力、农田系统的能量产投比、生物生产量 4 个辅助指标构成,并将沙漠化程度划分为潜在、正在发展中、强烈发展和严重 4 级。而后,吴正<sup>[19]</sup>、陈渭南<sup>[20]</sup>、胡孟春<sup>[21]</sup> 和中国科学院黄土高原综合科学考察队<sup>[22]</sup> 也

分别提出了一些类似指标;但限于当时研究的局限性,在荒漠化监测与评价研究中,只关注沙质荒漠化,仅对荒漠化程度进行评价,没有考虑荒漠化监测与评价的基准问题,研究多从案例入手,提出的一些评价指标不够全面、系统,没有真正提出构建荒漠化监测与评价的指标体系。

20世纪90年代以来,为了全国荒漠化监测的需要和履行联合国防治荒漠化《公约》,国内的荒漠化研究包括了各种类型的荒漠化土地,荒漠化监测与评价研究得到学术界和政府部门的广泛关注。慈龙骏等<sup>[23]</sup>根据联合国防治荒漠化《公约》对荒漠化的定义,采用 Thornthwaite 计算可能蒸散量的方法初步确定了中国荒漠化潜在发生范围,该结果一直被作为全国荒漠化监测的范围。然后,在全国沙漠、戈壁和沙化土地普查以及土壤侵蚀、草地资源和土地资源调查的基础上,编制了全国荒漠化土地分布图<sup>[24]</sup>。1999年进行了第一次全国荒漠化监测,国家林业局<sup>[25]</sup>编制了《荒漠化监测评价指标和技术规范》。技术规范的基本框架是:1)按照湿润指数将荒漠化发生地区划分为3种气候类型区:干旱区、半干旱区、亚湿润干旱区;2)按照土地利用方式将荒漠化土地划分为6种土地利用类型:耕地、林地、草地、居民、工矿、交通用地、水域、未利用地;3)按照造成荒漠化的主导自然因素将荒漠化土地划分为4种类型:风蚀、水蚀、盐渍化、冻融。对不同类型的土地选取3~4个指标,以打分的方式确定荒漠化土地的退化程度。这套指标体系主要用于荒漠化程度的监测和评价,从结构上看,比较系统,并在实践中得到应用。存在的主要问题是,除了耕地评价指标作物产量下降率外,其它指标都没有考虑荒漠化评价基准,使得不同自然条件下的荒漠化土地处于同一起跑线上被评价,导致在评价过程中过分夸大了处于比较严酷自然条件下的未退化土地或轻度退化土地的荒漠化程度,在一定程度上,可能是造成中国极重度和重度荒漠化土地面积所占比重远远高于全球平均水平的主要原因<sup>[1]</sup>。另外,评价指标的选取和不同退化程度阈值的确定主观性较大。

一些学者对荒漠化或沙漠化监测与评价指标体系进行了探讨。董玉祥等<sup>[27,28]</sup>认为,荒漠化监测指标体系包括3个部分:1)沙漠化危险性指标;2)沙漠化状态指标,包括沙漠化状况指标和沙漠化速率指标;3)沙漠化危害指标,包括生态危害指标和经济危害指标。刘玉平<sup>[29]</sup>认为,荒漠化评价指标包括3个

方面:荒漠化现状评价,即荒漠化程度评价、荒漠化发展速度评价和荒漠化综合评价。荒漠化综合评价指在荒漠化现状和发展速率基础上考虑自然条件的脆弱性和人类带来的环境压力等,相当于荒漠化危险性评价。按照土地利用类型可划分为3种荒漠化类型:草场荒漠化、灌溉耕地荒漠化和雨养耕地荒漠化。

孙武等<sup>[30]</sup>对监测和评价荒漠化程度的指标体系进行了比较深入的探讨,认为指标体系的建立必须遵循地带性原则,即不同生物气候带的指标体系是有差异的。

李锋和高尚武等在评价方法方面进行了非常有益的探索。李锋<sup>[31]</sup>提出荒漠化监测的生态环境与社会经济评价指标体系,给出每个指标的上限值和下限值(相当于基准),然后以评价价值占上限值与下限值之间差值的百分比来表示单个指标的评价结果,最后用欧氏距离评价模型来计算综合评价结果。高尚武等<sup>[32]</sup>赋予不同指标权重,再将各个指标的等级量化,通过建立荒漠化现状综合评价模型来计算荒漠化程度得分,采用得分为荒漠化土地进行评价,并可使不同类型之间荒漠化程度进行比较。

此外,还有很多学者也对荒漠化监测评价指标体系的原则、尺度、构建方法以及荒漠化监测手段等进行了探讨<sup>[33~36]</sup>。

近10年来,随着荒漠化研究的不断深入,荒漠化监测与评价研究也取得了显著进展,荒漠化监测与评价指标体系已具雏形,其中包含不同荒漠化类型,并与国际接轨;但理论探讨较多,基础研究不够,指标的选取和阈值的确定多凭主观判断,缺乏科学性和可信性,迄今尚未建立逻辑关系清晰、结构合理的荒漠化监测与评价指标体系,其研究仍有待继续深入。

## 2 荒漠化监测与评价指标体系的结构与组成

根据联合国防治荒漠化《公约》的定义,“荒漠化”是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。“土地退化”是指由于使用土地或由于一种营力或多种营力结合致使干旱、半干旱和亚湿润干旱地区雨浇地、水浇地或草原、牧场、森林和林地的生物或经济生产力和复杂性下降或丧失,其中包括风蚀和水蚀造成的土壤物质流失;土壤的物理、化学和生物特

性或经济特性退化以及自然植被长期丧失<sup>[17]</sup>。

荒漠化是一个非常复杂的过程,涉及自然和社会经济的许多方面。从荒漠化的定义以及荒漠化的特点出发,可以将荒漠化发生和防治分为 4 部分,即驱动力、荒漠化土地、荒漠化影响和荒漠化防治。驱动力包括自然因素和人为因素,自然因素主要是气候,如干旱;而人为因素主要是人类的各种社会经济活动,如过度放牧、过度开垦草原、过度开采地下水以及滥樵采等。荒漠化本质上就是在自然和人为驱动力作用下干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的农田、草场、林地等各种土地利用类型发生退化的过程,其中包括物理过程(如土壤风蚀、水蚀等)、化学过程(如土壤盐渍化等)和生物过程(如生物生产力下降、生物多样性降低等)。荒漠化发生后,对生态环境和社会经济都带来影响或危害,如土地沙化使扬沙和浮尘天气增多、空气质量下降,绿洲外围天然植被退化使流沙前移、埋压农田和房屋,流沙埋压道路、阻断交通等。防治荒漠化是指通过人工措施防止荒漠

化发生、治理荒漠化土地和减轻荒漠化危害及影响,因此防治荒漠化包括 3 方面的内容:一是消除促使荒漠化发生的人为驱动力,降低自然驱动力对荒漠化的作用,如通过政策调整和完善法律法规制止过度放牧、过度开垦草原、过度开采地下水以及滥樵采等现象;二是通过工程和技术措施治理荒漠化土地,恢复植被,改良土壤;三是采取工程和技术措施降低荒漠化对生态环境和社会经济的影响,减轻荒漠化的危害,如完善防护林体系。

由于荒漠化具有广泛的危害性,因此需要对荒漠化进行监测和评价,以及时了解荒漠化的有关信息,为防治荒漠化决策提供依据。荒漠化监测与评价指标体系是由一系列指标构成的指标系统,用于对荒漠化的状态、发展趋势及其造成的影响与危害和荒漠化防治的监测与评价。对应于荒漠化过程的 4 个组成部分,荒漠化监测与评价指标体系也由 4 类指标组成,即压力指标、状态指标、影响指标和防治指标(图 1)。

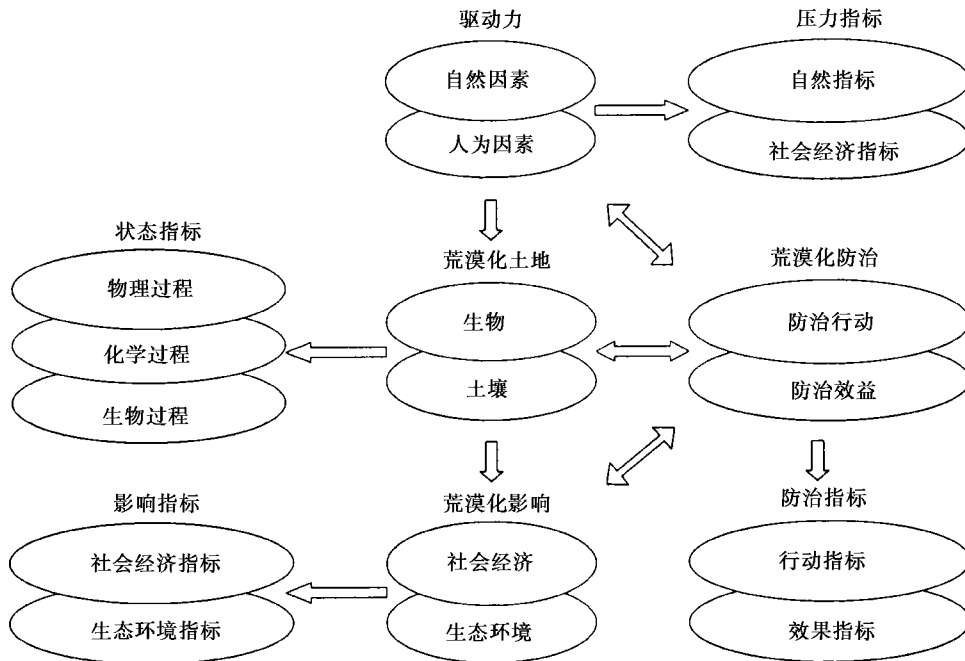


图 1 荒漠化监测与评价指标体系结构示意图

压力指标描述的是对自然资源的状态带来影响并导致荒漠化发生的自然和人为驱动因素,用于对荒漠化发展趋势进行评估并进行荒漠化的早期预警,包括自然指标和人为指标。自然指标描述的主要是促使荒漠化发生和发展的自然要素,如气候要素、地貌条件和自然灾害等;人为指标描述的主要是

由人类活动带来的导致土地发生退化的人为压力。压力指标有时又称为危险性指标。

状态指标描述的是土地的状态和特性,即土地退化的程度,可分为物理指标、化学指标和生物指标,它们分别描述土地的物理、化学和生物特性。状态指标是荒漠化监测与评价的关键指标,也是荒漠

化评价中讨论最多的指标。

影响指标用于揭示荒漠化对人类及其生存环境所造成的影响和危害进行评价。荒漠化的发生会对人类赖以生存的社会经济环境和生态环境带来一定影响和危害,甚至在有些地区会威胁人类的生存,有学者也将其称之为危害指标。

防治指标是对防治荒漠化采取的行动和措施以及采取这些行动和措施后带来的社会经济和自然条件改善的评价。

气候是荒漠化最重要的影响因素之一,在不同

气候区荒漠化表现出不同的特点,因此指标体系结构的第一个层次是气候区,根据荒漠化定义分为干旱区、半干旱区和亚湿润干旱区。状态指标除受气候区影响外,土地利用和退化过程也是2个重要的影响因素(表1),共分4个层次。在同一气候区之下区分不同的土地利用类型,针对相同土地利用类型区分不同的退化过程,然后确定指标。压力指标、影响指标和防治指标只考虑气候区的差异(表2),只包含2个层次。

表1 荒漠化状态指标的结构

指标类型	气候区	土地利用	退化过程	指标
状态指标	干旱区 半干旱区 亚湿润干旱区	耕地 草场 林地 等	物理过程:	物理过程指标:
			风蚀,水蚀,冻融,积水,土壤板结,滑坡,泥石流,人类扰动(如采矿、采石、烧砖瓦),等等	土壤侵蚀状况(包括风蚀和水蚀),沙丘活动状况,土壤物理性质(水分、质地、结构),土壤板结,土壤积水状况,地表岩石、裸地、砾石分布,地表水和地下水状况,土壤冻融状况,等等
			化学过程:	化学过程指标:
			土壤有机质丧失,土壤盐渍化,等等	土壤盐化、碱化状况,土壤有机质,土壤污染状况,等等
			生物过程:	生物过程指标:
			植被退化,生物多样性丧失,等等	植被类型,植物群落物种组成,植被生产状况和植被覆盖,植被生物量和生产力,农作物面积和产量,动物物种组成(包括土壤微生物),等等

表2 荒漠化压力指标、影响指标和防治指标的结构

指标类型	气候区	指标
压力指标	干旱区	自然指标:降水,气温,风,湿度,潜在蒸散,太阳辐射,地表反射率,干旱,地貌条件,沙尘暴,洪水和积水,自然植被火烧状况,滑坡和泥石流,虫害和鼠害,等等
	半干旱区	
	亚湿润干旱区	
影响指标	干旱区	社会经济指标:土地利用结构,土地生产力,收入,移民情况,死亡率,健康状况,失业率,文盲率,粮食安全与营养不良状况,基础设施安全,居民生活质量,等等
	半干旱区	
	亚湿润干旱区	
防治指标	干旱区	行动指标:防治荒漠化的经济投入,防治荒漠化行动计划的编制和执行情况,与防治荒漠化的有关的立法及法律、法规执行情况,能力建设,机构支持,部门之间的协调与合作机制,激励机制,居民和社区参与情况,非政府组织参与情况,等等
	半干旱区	
	亚湿润干旱区	

### 3 荒漠化基准

基准是荒漠化监测与评价的核心问题之一。联合国防治荒漠化《公约》政府间谈判委员会第10次全体会议上曾明确指出<sup>[37]</sup>，“基准用来确定不同参数之间的相关性,并提供在地方、国家和区域尺长上监测的基线”。基准作为荒漠化评价和监测的起点,

为确定土地是否发生退化或恢复提供了参考点,同时也为处于不同退化程度的荒漠化土地提供了比较基础。

部分学者对基准进行了初步探讨。刘玉平<sup>[29]</sup>认为,荒漠化基准即未退化状态是一定气候条件下生态系统所能达到的最大潜在状态,或者天然植被演替所能达到的最终稳定状态,可以在目前植被中

寻找。孙武等<sup>[30]</sup>认为,荒漠化基准存在地带性差异,在中国可尝试取20世纪50年代或70年代的现实景观为相对基准。衡量是否发生荒漠化主要依据同基准比较的土地生产力是否发生退化,以此为标准,极旱荒漠地区各类荒漠生产力已处于最低水平,不应属于荒漠化土地。陈杰等<sup>[37]</sup>认为,确定基准,一是利用历史资料弄清特定地区草场的未退化状态,二是利用相同自然条件和利用管理方式下未退化草场的现状作为评价的参照基线。

作者认为:1)基准应当是一套指标,它可以描述某种土地类型的未退化状态。基准可以通过处于相同气候区和相同自然条件下未发生退化土地的典型区来确定。对于很难找到未发生退化区域的某些土地类型,可以根据已有的研究成果、历史数据和调查资料等来确定其基准。2)不同气候区、不同土地利用类型应该具有不同的基准。例如,分布于半干旱区的毛乌素沙地的以木氏针茅为建群种的典型草原和以油蒿为建群种的沙生植被具有不同的基准,同是位于半干旱区的草地和农田也具有不同的基准;同样,分布于干旱区和半干旱区的农田也应当具有不同的基准。3)在荒漠化监测与评价中状态指标的基准是最主要的,因为土地退化程度的评价是荒漠化评价的核心,并且也是最难确定的。压力指标、影响指标和执行指标也需要基准来确定评价的起点,这三者都涉及社会经济指标,如果社会经济条件不同,基准也将存在差异。

## 4 结语

荒漠化监测与评价是荒漠化研究领域的重要内容,它通常由4个步骤组成:1)制定荒漠化监测与评价指标体系,确定基准和阈值。根据监测地区的荒漠化特点,选取能够客观反映荒漠化现状的指标;确定不同荒漠化类型的基准;确定各指标的阈值。2)采集数据,获取每一个指标的数值。3)处理数据,根据基准和阈值得到监测与评价结果。4)荒漠化监测与评价结果的发布和信息反馈。将荒漠化监测与评价结果向社会发布,开展荒漠化监测与评价指标体系的实证研究,对其检验并补充、完善,使之成为具有可操作性的指标体系。

对一个国家或区域而言,首先应该在宏观层次上建立荒漠化监测与评价指标体系框架,对荒漠化监测与评价的内容、结构、组成和基准的确定等做出规定;在此基础上,针对不同地区的具体情况建立可

操作的荒漠化监测与评价指标体系;然后根据指标体系采集相关数据,进行荒漠化监测与评价。荒漠化监测与评价指标体系框架应该涵盖所有的荒漠化发生区域和该区域内出现的各种荒漠化类型,所列指标应尽可能全面,但不必深入细节。某个特定地区的荒漠化监测与评价指标体系是在区域荒漠化监测与评价指标体系框架的基础上制定的,根据本地区荒漠化特点以及将要采用的监测技术和手段来选取合适的指标,并对不同荒漠化类型的基准和各指标的阈值做出具体规定。采用一定的监测方法采集数据后,根据监测目的对荒漠化的相关方面进行评价。指标的选取有时受监测手段和技术水平制约,如采用遥感技术(使用陆地卫星影像)对某一地区荒漠化发展情况进行监测与评价,可以采用的指标有植被指数(NDVI)、植被覆盖度等;而如果采用地面调查方法,则可以采用的指标有植物群落盖度、生物量、土壤有机质含量、土壤质地等。反之,科学和技术的进步可能会使得某些过去无法获取的数据的采集成为可能,如多光谱成像遥感技术的发展使得土壤的某些理化性质信息的提取成为可能,有可能使人们在采用遥感技术进行荒漠化监测时增加土壤理化性质方面的指标,从而提高荒漠化监测的准确性和时效性。因此,指标也不是一成不变的,将随着科学的发展而不断变化。

## 参考文献:

- [1] 卢琦,杨有林,贾敬敦,等.中国沙情[M].北京:开明出版社,2000:21~28
- [2] 董光荣,吴波,慈龙骏,等.我国荒漠化现状、成因与防治对策[J].中国沙漠,1999,19(4):318~332
- [3] Berry L, Ford R B. Recommendations for a system to monitor critical indicators in areas prone to desertification[A]. In: Worcester M. Program for International Development[C]. Clark: Clark University, 1997
- [4] Reining P. Handbook on Desertification Indicators[M]. Washington: AAAS Publication No. 78-7, 1978
- [5] FAO/UNEP. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification[R]. Rome: FAO, 1984
- [6] Oldeman L R. Guidelines for General Assessment of the Status of Humankind-induced Soil Degradation[M]. Wageningen: ISRIC, 1988
- [7] Mabutt J A. Desertification indicators[J]. Climatic Change, 1986, 9: 113~122
- [8] Hunsaker C T, Carpenter D E. Ecological indicators for the environmental monitoring and assessment program[R]. U. S. EPA. Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC. EPA 600/3-90/060. 1990
- [9] Ineson A C. Indicators of land degradation in the Mediterranean[A]. In: Enne G, Zanolla C, Peter D. Desertification in Europe, Mitigation Strategies, Land Use and Planning[C]. EUR 19390. 2000: 47~58

- [10] Kósmas C, Kirkby M, Geeson N. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification[R]. In: European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development[C]. EUR 18882, 1999:87
- [11] Hammond A, Adriaanse A, Rodenbury E, et al. Environmental Indicators[M]. Washington: World Resources Institute, 1995
- [12] Rubio J L, Bochet E. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe[J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39:113 ~ 120
- [13] Dregne H E. Desertification assessment and control[A]. In: The United Nations University. New Technologies to Combat Desertification, Proceedings of the International Symposium in Iran in 1998[C]. 1999:95 ~ 102
- [14] Thcker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and Contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990[J]. Science, 1991, 253:299 ~ 301
- [15] Mbat D, Lancaster J, Wade T, et al. Desertification evaluated using an integrated environmental assessment model[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 1997, 48:139 ~ 156
- [16] Weiss E, Marsh S E, Pirman E S. Application of NOAA-AVHRR NDVI time-series data to assess changes in Saudi Arabia's rangelands[J]. Int. J. Remote Sensing, 2001, 22:1005 ~ 1027
- [17] 中华人民共和国林业部防治沙漠化办公室. 联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约[M]. 北京:中国林业出版社, 1996:2
- [18] 朱震达, 刘恕. 关于沙漠化概念及其发展程度的判断[J]. 中国沙漠, 1984, 4(3):2 ~ 8
- [19] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京:科学出版社, 1987:1 ~ 66
- [20] 陈渭南. 神府东胜煤田地区的沙漠化问题—沙漠化现状、演变历史及发展趋势预测[D]. 北京:中国科学院, 1989
- [21] 湖孟春. 科尔沁土地沙漠化分类定量指标初步研究[J]. 中国沙漠, 1991, 11(3):57 ~ 60
- [22] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区北部风沙区土地沙漠化问题综合治理[M]. 北京:科学出版社, 1991
- [24] 慈龙骏, 吴波. 中国荒漠化气候类型划分与潜在发生范围的确定[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2):107 ~ 111
- [25] 林进, 周卫东. 中国荒漠化监测综述[J]. 世界林业研究, 1998, 11(5):58 ~ 63
- [27] 董玉祥, 刘毅华. 土地沙漠化监测指标体系的探讨[J]. 干旱环境监测, 1992, 6(3):179 ~ 182
- [28] 董玉祥, 刘玉璋, 刘毅华. 沙漠化若干问题研究[M]. 西安:西安地图出版社, 1995:194 ~ 211
- [29] 刘玉平. 荒漠化评价的理论框架[J]. 干旱区资源与环境, 1998, 12(3):74 ~ 82
- [30] 孙武, 南忠仁, 李保生, 等. 荒漠化指标体系设计原则的研究[J]. 自然资源学报, 2000, 15(2):160 ~ 163
- [31] 李锋. 荒漠化监测中生态环境与社会经济评价指标体系及评价方法的研究[J]. 干旱环境监测, 1997, 11(1):1 ~ 5
- [32] 高尚武, 王葆芳, 朱灵益, 等. 中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J]. 林业科学, 1998, 34(2):1 ~ 10
- [33] 丁国栋. 荒漠化评价指标体系的研究—以毛乌素沙区为例[D]. 北京:北京林业大学, 1998
- [34] 杨晓晖. 半干旱农牧交错区土地荒漠化成因与荒漠化状况评价—以内蒙古伊金霍洛旗为例[D]. 北京:北京林业大学, 2000
- [35] 贾宝全, 慈龙骏, 高志海, 等. 绿洲荒漠化及其评价指标体系问题的初步探讨[J]. 干旱区研究, 2001, 18(2):18 ~ 24
- [36] 蔡体久. 基于遥感和GIS的荒漠化程度定量评价研究[D]. 北京:北京林业大学, 2003
- [37] 陈杰, 龚子同, 高尚玉. 干旱地区草场荒漠化及其评价[J]. 地理科学, 2000, 20(1):176 ~ 181
- [38] The United Nations. Report on Ongoing Work Being Done on Benchmarks And Indicators[R]. Intergovernmental Negotiating Committee for the Elaboration of An International Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa, Tenth Session, New York, 1997