

生物多样性监测指标体系构建研究进展

陈圣宾¹, 蒋高明¹, 高吉喜^{2,*}, 李永庚¹, 苏 德²

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化重点实验室, 北京 100093; 2. 中国环境科学研究院生态环境研究所, 北京 100012)

摘要:生物多样性监测是为确定与预期标准相一致或相背离的程度, 而对生物多样性进行定期或不定期的监视, 目前已成为生物多样性研究和保护的热点问题。生物多样性监测指标则是一些简化的生物或环境特征参数, 说明生物多样性现状和变化趋势, 以及人类活动压力对生物多样性的影响, 以促进科学界、政府和公众间的沟通, 提高生物多样性管理水平。近 10 年来, 国际组织、政府机构和各国学者对生物多样性指标体系的构建进行了大量的探索工作, 取得了许多进展, 其中有些指标已经应用于实际监测项目。本文综述了生物多样性监测指标筛选的一般标准和指标体系构建的主要理论, 梳理目前已提出或应用的主要生物多样性监测指标, 以期为我国构建国家或区域尺度生物多样性监测指标体系提供参考。在此基础上分析提出: 生物多样性概念的泛化、指标含义模糊以及知识和数据的缺乏是构建生物多样性监测指标的主要困难。我国未来的生物多样性监测指标体系构建需要关注以下两个方面: (1) 紧密联系实际, 构建适应性的监测指标体系, 加强对典型生态系统区域的监测; (2) 发展经济社会发展方面的指标, 分析生物多样性变化的驱动力, 为生物多样性保护和区域可持续发展提供科学依据。

关键词:生物多样性监测; 指标; 指标体系

文章编号: 1000-0933(2008)10-5123-10 中图分类号: Q16, X176 文献标识码: A

Review of indicators system developing for biodiversity monitoring

CHEN Sheng-Bin¹, JIANG Gao-Ming¹, GAO Ji-Xi^{2,*}, LI Yong-Geng¹, SU De²

1 Key Laboratory of Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5123 ~ 5132.

Abstract: Biodiversity monitoring is a periodic or aperiodic surveillance of biodiversity to determine to what extent it is coherent or deviated from expected standards. Biodiversity monitoring has become to be the focus of biodiversity research and conservation in recent years. Biodiversity indicators are biotic or environmental attributes whose measurement signals the status and trends of biodiversity and the effects on biodiversity of pressures caused by human activities, which can facilitate communication among academy, government and people and consequently enhance biodiversity management. In the last decade, international organizations, governments and scientists have taken great effort to develop biodiversity indicators system for global, national and regional biodiversity monitoring, and some indicators have been adopted by biodiversity monitoring projects. This paper reviewed general principles for indicator selecting and main theories and models for monitoring system construction and several kinds of indicators which have been advanced by previous authors or applied in biodiversity monitoring projects. This may afford references for our country to develop biodiversity indicators system at

基金项目: UNEP/GEF 长江流域自然保护与洪水控制资助项目; 北京自然科学基金资助项目 (4071002); 国家科技攻关资助项目 (2006BAC01A12; 2008BAD0B05)

收稿日期: 2007-05-24; **修订日期:** 2008-04-22

作者简介: 陈圣宾 (1979 ~), 男, 山东济宁人, 博士生, 主要从事生态系统管理与植物生态学研究. E-mail: chainpin@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaojx@craes.org.cn

Foundation item: The project was financially supported by UNEP/GEF Nature Conservation and Flood Control in the Yangtze River Basin; Beijing Natural Science Foundation (No. 4071002); National Key Technologies R & D Programme of China (No. 2006BAC 01 A 12; 2008BAD0B05)

Received date: 2007-05-24; **Accepted date:** 2008-04-22

Biography: CHEN Sheng-Bin, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecosystem management and plant ecology. E-mail: chainpin@yahoo.com.cn

regional or national scales. Although considerable progress is being made at in agreeing a set of indicators, problems remain. In essence the problems fall into three kinds: (1) Lack of clarity about what is meant by biodiversity and therefore on how best to measure it. The term biodiversity has become so wide in use that all available indices can seem to have drawbacks, (2) Illegibility of the meaning of biodiversity indicators which embarrasses its applicability and (3) Gaps in knowledge and data. In conclusion, we propose that the most urgent matters must be taken into consideration in developing indicators in our country is to: (1) construct adaptive indicators system according to actual conditions to reinforce monitoring of representative ecosystems and areas, (2) develop indicators in relation to social-economic attributes to provide scientific foundation for biodiversity conservation and regional sustainable development.

Key Words: biodiversity monitoring; indicators; indicators system

生物多样性是生物及其与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,是一个内涵十分广泛的重要概念^[1]。然而随着人口的迅速增长人类经济活动的不断加剧,作为人类生存最为重要的基础的生物多样性受到了严重的威胁^[2]。一些国际公约,如《生物多样性公约》和《二十一世纪议程》,都要求缔约国对其生物多样性进行监测^[3]。生物多样性监测是 *Diversitas* 项目的 5 个核心组分之一^[3],是生物多样性资源管理的基本步骤^[4],也是当前生物多样性研究的热点和需要加强的领域^[2, 5, 6]。2002 年,生物多样性公约确定了到 2010 年前显著降低生物多样性损失程度的目标^[7],更凸现了在全球、国家和区域层次上对生物多样性进行监测的重要性和迫切性^[8~10]。

生物多样性监测是为确定与预期标准相一致或相背离的程度,而对生物多样性进行定期或不定期的监视^[11, 12]。从本质看,生物多样性监测是随着时间和空间的变化对生物多样性的反复编目,它所反映的是生物多样性在某一时间段内的变化过程^[13],由此获得的信息可以为区域规划、可持续发展和生物多样性保护等的宏观决策提供科学依据。

生物多样性监测主要在物种、生态系统和景观 3 个水平上进行^[6]: (1) 在物种水平,主要选择濒危物种、经济物种和指示物种等,监测其种群动态和主要影响因素; (2) 在生态系统水平,通过选择重要的生态系统类型并在其典型地段建立一定面积的长期固定监测样地,实现对生态系统组成、结构、功能以及关键物种、濒危物种等的监测; (3) 在景观水平,主要通过遥感手段和地理信息系统对一定的区域的景观格局和过程及其影响因素进行监测。

学者们普遍认为,要建立一个有效的生物多样性监测系统,必须筛选合适的指标,发展数据分析和整合的方法,以阐明生物多样性状况与监测指标间的关系^[14],也就是说构建一套监测指标体系。但如何筛选监测指标和构建指标体系却有很大的争议^[15]。

我国陆地生态系统特别是森林和湿地生态系统定位观测研究起步较晚,但起点较高。目前,中国科学院、国家环保总局和中国林业科学院等已在全国建立了多个监测台站^[16]。但国内却一直缺乏对生物多样性监测指标筛选和指标体系构建的探讨。本文希望通过总结和梳理生物多样性监测指标选择和构建的主要理论和目前已经提出或正在应用的主要生物多样性监测指标,为我国构建国家或区域尺度生物多样性监测指标体系提供参考。

1 生物多样性监测指标的概念和筛选标准

1.1 监测指标的概念

生物多样性监测指标,即一些简化的生物或环境特征参数,可用于提取有关生物多样性现状和变化趋势的信息,以表征人类活动压力对生物多样性的影响^[15, 17],促进科学界、政府和公众间的沟通,提高生物多样性管理水平^[18]。

实际应用中,须注意将生物多样性监测指标与指示物种和常用的生物多样性指数区分开来。英文文献中,“指标”与“指示物种”均可用“indicator”表示,但各自的内涵却有很大差异。一般来说,监测指标包括对指

示物种的应用,但指示物种却非监测指标的全部。传统的生物多样性监测只限于一个或几个指示物种,这种做法已受到广泛批评^[19],如指示物种不能用来监测森林生物多样性的变化^[20]。实际上,用于生物多样性监测的指示物种应包括不同的功能群组成^[21, 22],这些不同功能群对环境变化的响应不同使监测具有更大的可信度、灵敏度和可操作性^[22, 23]。生物多样性指数表达的实际是3个主要空间尺度上的物种多样性,即 α 、 β 和 γ 多样性,但单一的生物多样性指数不能够囊括生物多样性变化的所有方面^[24]。

根据反映对象的不同,生物多样性指标大体可分为生物、环境、压力和管理4种类型^[26]。生物相关指标是指直接表达生物多样性的一些指标,如种群变化趋势、受威胁物种的变化趋势等;环境相关指标是指气候、地形、土壤特性、景观功能特征以及影响物种时空分布和土地利用格局的其他参数;压力相关指标是指表现人类活动对生物多样性胁迫的参数,如人口密度、渔业捕捞、森林采伐等;管理相关指标是能够度量生物多样性保护对策有效性的参数,如受到有效保护的天然生境的面积。

1.2 监测指标的筛选

生物多样性包括了基因、物种、生境和生态系统4种不同的尺度^[25],并且在各层次上又具有各自的结构和功能特征。因此选择的监测指标在理论上应该全面反映这一概念的复杂性,但这在科学上和实践中都是不可能的,所以现实的选择是尽量反映多个层级和侧面。

很多学者从不同的角度针对具体的监测项目提出一定的筛选标准(表1)^[26~30]。这些监测指标选择标准的相对重要性随监测项目的具体背景而不同。对于中国的实际情况而言,须特别考虑经济适用和可操作性、空间尺度和管理应用等标准。

表1 生物多样性监测指标选择标准*

Table 1 Criteria for selection of biodiversity monitoring indicators	
选择标准 Criteria for selecting	选择标准的内涵 connotations of the criteria
与监测目的密切相关 Be closely related to monitoring purpose	清楚监测系统所要回答的问题 be clear on the specific question about biodiversity that the measuring system is designed to answer
代表性 representative	包括所选择类群的全部物种或有代表性的物种 includes all species in a chosen taxon, or representative group.
简化信息以易于理解 Simplifying information to be easily understood	将复杂信息简单表达从而具有明确意义和易于交流,使非专家的政府工作人员和公众也能够把握其核心意思 Complex information must be presented simply to have clear senses and communicate, make non-experts from government and people be able to grasp the core issue.
数量化 Quantitative	能够进行精确度量,表达时间上的变化趋势,度量变化的速率以及速率的变化 accurate measurement shows trends over time, measures a rate of change and changes in rate.
及时性 Timeliness	最好每年有规律的更新,对变化的趋势快速做出判断,以做出预警 information had better be updated yearly, allows rapid identification of trends in order to give early warning
便于分析 Susceptible to analysis	可将数据分解以理解和指出生物多样性组成、结构和功能的变化趋势和根本原因 data can be disaggregated to help understand and represent the trends in biodiversity composition, structure and function, and shed light on the potential causes of trends.
经济适用、便于采集 Economic applicability and easy to collect	选择能够取得的和易于采集的参数,在现有条件下,不需要额外的或不现实的财政资源 quantitative data are available or can be collected readily; Does not require excessive or un realistic financial resources.
指示性和稳定性 Indicative and stability	能够代表生物多样性的一般特征;对不规则的、较大的自然波动有一定的缓冲能力 representing more general components or attributes of biodiversity, buffered from irregular, large natural fluctuations.
与管理相关 Policy relevant	能够直接或经过简单分析后指导生物多样性管理 data can be used to guide biodiversity management directly or after simple analysis
敏感性 Sensitivity	在相对较小的时间尺度内对人类干扰和环境变化敏感 sensitive to anthropogenic disturbance and environmental change over relatively short-time scale.
科学可信性 Scientific credibility	以可预测的方式响应胁迫过程,且具有一定生态学和统计学上的可信度 response to stress process in a predictable way, have ecological and statistical credibility.
时空尺度 Spatial-temporal scale	反映不同空间尺度的生物多样性变化信息,并能进行耦合 representing information on biodiversity changes at different scales, and these information can be integrated.

* 依据文献[26~30]总结整理;排序的先后并不代表其重要性的差异 Summarized from reference [26~30], the order does not mean its relative importance

监测指标需要兼顾生物多样性的不同侧面,从结构、组成和功能等角度全面表现生物多样性的特征^[25]。但在经济条件有限的情况下,人们面临着监测指标数量和类型选择的困难。因此,如何通过选择实用性和可操作性强的监测指标,在优化监测效果的同时降低经济投入是任何监测项目都必须考虑的。

一般生物多样性监测最主要的目的是为管理者和决策者服务^[12, 30]。监测指标能否用于生物多样性监测并非只决定于它本身,还要看指标的类型和数目是否符合监测目的,即为生物多样性管理服务。此处隐含有一个重要信息即密切联系经济社会的发展和需求,反映不同阶层的人们对生物多样性的依赖性。

由于不仅生物多样性的度量本身具有很多不同的时空尺度,而且生物多样性管理决策也是在不同的时空尺度上做出的,所以生物多样性监测数据和指标必须能在不同的时空尺度上进行整合,使这些指标不仅反映局部区域和短时间内的生物多样性变化,也可以提供大尺度上的生物多样性信息^[25]。是否考虑时空尺度也反映了监测项目执行人员对生物多样性概念的理解^[24]。

2 用于生物多样性监测指标体系构建的模型

生物多样性监测必须指出生物多样性变化的因果关系,才能有效地为政府决策提供科学依据。因此为了选择具有现实意义和应用价值的指标并构建一套指标体系,首先需要建立一些理论框架或概念模型。这些模型不仅可以指导监测数据采集、清晰概念,还能帮助辨别所监测现象和指标间的关系,而且可以用适当的统计方法对指标与监测“端点(endpoint)”之间的关系进行分析^[31],指出哪些人类活动和政策导致了生物多样性的变化。目前可以用于生物多样性监测指标体系构建的理论模型主要有 PSR 模型、DPSIR 模型和等级模型等。

2.1 PSR 概念框架

PSR 概念框架 (pressure-state-response framework) 由经济合作与开发组织 (Organization of Economic Cooperation and Development, OECD) 提出^[32],是生物多样性监测指标和其他指标体系构建中最常用的模型。其中压力 (pressure) 指标用以表征造成生物多样性丧失的人类活动、消费模式或经济系统,状态 (state) 指标用以表征生物多样性的状态,响应 (response) 指标用以表征人类为管理和保护生物多样性所采取的对策。建立一套完整的 PSR 模型是一个复杂的工程,原因之一在于可选取的指标众多,一些指标之间存在关联和重叠,而另外一些指标间则有不小的差异,具有一定的独立性。而且指标的单位也有诸多差异,不便统一。总体来说指标的取舍要以系统的完整概括性和直观解释便利为目标,不仅选择时需详加考证,选取指标之后还有很多验证工作要做。PSR 概念框架目前已经得到了生物多样性公约的认可和应^[33]。

在应用过程中,由于该模型无法描述一些复杂的现象而被改进。联合国可持续发展委员会 (UNCSD) 在 PSR 概念框架的基础上提出了 DSR 模型 (driving force-state-response framework),驱动力 (driving force) 包含了正面和负面的影响,用以表征那些造成发展不可持续的人类活动和消费模式或经济系统的一些因素;而在 PSR 框架中,压力只表达了负面的影响。将 PSR 模型和 DSR 模型结合起来,区分开状态和影响 (impact) 变量,就得出了 DPSIR 模型。

2.2 DPSIR 概念模型

DPSIR 概念模型 (driving force-Pressure-State-Impact-Response Model) 同样是由 OECD 提出^[32],是 PSR 模型的扩展。在 DPSIR 概念模型中,驱动力 (driving force) 是指造成环境变化的潜在原因;压力 (pressure) 是指人类活动对自然环境的影响,是环境的直接压力因子;状态 (state) 是指环境在上述压力下所处的状况;影响 (impact) 是指环境所处的状态对人类健康和社会经济的影响;响应 (response) 过程表示人类在促进可持续发展进程中所采取的积极对策和政策。

DPSIR 模型认识到环境变化的根源是经济社会驱动力,这些活动的集合效应与气候变化和其他因子一起对环境系统形成压力,导致环境状态包括生物多样性的变化。这些变化反过来对人类福利造成正面或负面的影响,促使政府制定法律或管理上的制度以试图控制这些驱动力,其结果是具有反馈环的动态循环 (图 2)^[34]。DPSIR 模型强调经济运作及其对环境的影响之间的联系,具有综合性、系统性、整体性、灵活性等特

点,能揭示环境与经济的因果关系并有效整合资源、发展、环境与人类健康等方面。

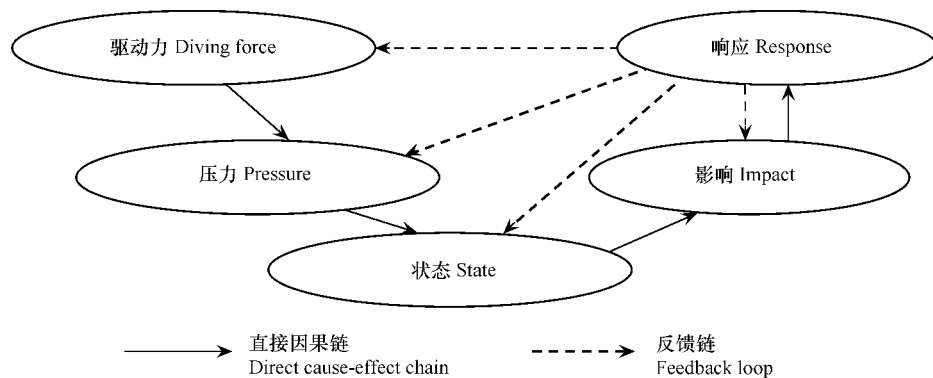


图1 DPSIR 模型^[34]

Fig. 1 DPSIR model^[34]

3 生物多样性监测指标体系的应用

目前已经实施或正在实施的生物多样性监测项目数量众多,应用的监测指标也互不相同,各具特色。从尺度上看,主要有全球尺度和国家(地区)尺度;从监测的生态系统类型看,主要有森林和草地。

3.1 全球生物多样性监测指标

虽然国际上在生物多样性指标体系的构建上进行了大量努力,但迄今为止,表征大尺度上生物多样性变化趋势的指标还很少^[35]。虽然一些学者试图确定一些通用的生物多样性指标,但更多的是提出原则或模型^[36]。目前受到广泛关注的主要有生物多样性公约(CBD)的生物多样性监测指标、世界自然基金会(WWF)的生命行星指数、世界自然保护联盟(IUCN)红色名录指数。

3.1.1 生物多样性公约的监测指标

2004年初,CBD提出了一个评价生物多样性保护2010目标的框架(表2)^[15]。同年7月,英国皇家学会邀请了60多位专家对这些参数进行评价后认为,CBD提出的18个指标可以提供有用的生物多样性信息,但也存在一些不足,因此提出一些附加指标(表2)^[15]。在它的引导下,欧洲、拉丁美洲和环北极地区都在努力发展本地区的生物多样性监测指标体系;同时,生物多样性公约也在敦促各缔约国政府确定适当的生物多样性指标,用于国家和地区尺度上的生物多样性监测,如澳大利亚正积极通过多学科合作,发展一个能更好地监测生物多样性变化与土地利用和全球变化间关系的指标体系^[37, 38]。而英国野生鸟类指数(UK wild bird index)已被英国政府采纳,用来指示环境质量和环境政策执行状况^[15]。

3.1.2 生命行星指数

生命行星指数(living planet index, LPI)是WWF于1997年提出的一个监测全球生物多样性状况的指标^[39],主要利用时间序列数据计算生活在陆地、淡水和海洋生态系统中脊椎动物种群数量的平均变化速率。第一份报告发布于1998年,最近,Loh等利用生命行星指数对全球1100个物种的3000个种群的时间动态进行了分析,发现1970~2000年间,陆地、淡水和海洋中的脊椎动物种群数量减少了40%,尤以淡水脊椎动物种群减少为甚,达50%,陆地动物相对较低,平均下降25%^[40]。这一指标的缺陷在于仅仅反映脊椎动物的变化趋势,还不能用于其他生物类群,而且数据的采集需要大量人力和物力,限制了它的应用。

3.1.3 红色名录指数

红色名录指数(red list indices, RLIs)通过比较一定时期特定生物类群在IUCN红色名录中的物种数量,衡量这些生物类群灭绝风险的变化趋势。红色名录指数显示,自1988年对鸟类进行首次全面评估以来,其生存状态持续恶化,而濒危的两栖类动物恶化趋势则更为严重。红色名录指数的缺点是保护地位的确定相对粗糙且落后于物种监测的变化,如濒危物种加入和去除可能不是由于物种状态的变化,而是来自对物种状态的

了解增加、评价程序的变化和分类的细化^[36]。而且由于数据的限制,目前这一指标仅能够用于鸟类和两栖类动物^[41]。

3.2 国家(地区)尺度上的生物多样性监测指标体系

欧盟在 1997 年提出了欧洲自然保护区生物多样性监测的指标^[42],主要分物种和环境两个水平。物种水平的指标有:受威胁物种占全部物种的比例、特有物种与外来物种的比例和生殖个体与死亡个体的比例等;环境水平的指标包括植被类型的分布、生境类型分布、景观破碎化、线性自然和半自然实体的长度以及自然保护区的数量和大小等。另外还采用了欧洲野生鸟类指数(european wild bird index,EWBI),对欧洲各地鸟类监测数据进行整合,说明其种群变化状况及其与土地利用之间的关系。

表 2 生物多样性公约提出检验和发展的 18 个生物多样性监测指标和英国皇家学会推荐增加的指标^[15]

Table 2 The 18 indicators for biodiversity monitoring already identified for immediate testing and future development plus indicators suggested by the Royal Society^[15]

CBD 确定的指标 indicators identified by CBD	英国皇家学会提议增加的指标 indicators proposed by the Royal Society
生物多样性组分 Components of biological diversity	
1. 森林面积 Forest area	A. 森林的状况 Condition of forests
2. 被监测物种丰富度和分布范围的变化趋势 Trends in abundance and distribution of selected species	B. 灌丛、草原和沙漠的范围与状况 Extent and condition of shrublands, grasslands, and deserts
3. 受保护区域的覆盖范围 Coverage of protected areas	C. 湿地和大型水体的范围 Extent of wetlands and large water bodies
4. 受胁迫物种状况的变化 Change in status of threatened species	D. 集水区状况-水生植被的范围 Catchment condition-extent of riparian vegetation
5. 驯化动植物的遗传多样性变化趋势 Trends in genetic diversity of domesticated plant and animals	E. 活珊瑚的比例 Percent live coral cover
	F. 河口状况与范围 Extent and condition of estuaries
	G. 红树林、海草和大型藻类的范围与分布位置 Extent and location of mangroves and seagrass and macroalgal beds
	H. 受保护区域的管理成效 Management effectiveness of protected areas
	I. 对受保护区域的投资 Investment in protected areas
可持续利用 Sustainable use	
6. 处于可持续管理下的森林、农业、水产业面积 Area of forest, agriculture, and aquaculture under sustainable management	
7. 从可持续资源获得的产品的比例 Proportion of products derived from sustainable sources	
对生物多样性的威胁 Threats to biodiversity	
8. 氮沉降 Nitrogen deposition	J. 海洋捕鱼投入 Marine fishing effort
9. 未来入侵物种的数目和经济损失 Number and cost of alien invasions	K. 未筑路的面积 Road-free area
	L. 野生物种的流行病爆发 Epidemic outbreaks among wild species
生态系统完整性、生态系统产品和服务 Ecosystem integrity, goods, and services	
10. 海洋营养指数 Marine trophic index	M. 大坝的数目 Number of dams
11. 内陆水质 Water quality in inland waters	N. 河流中的沉积负荷 Sediment load in rivers
12. 淡水营养指数 Freshwater trophic index	O. 缺乏饮用水的人口比例 Percent population without potable water
13. 生态系统连接性和片断化 Connectivity and fragmentation of ecosystems	P. 生态系统碳储量 Carbon storage in ecosystems
14. 人类导致生态系统失灵的次数 Incidence of human-induced ecosystem failure	Q. 基于自然环境的旅游业市场份额 Market share of nature-based tourism
15. 依赖生物多样性的人群的健康和福利 Health and well-being of people in biodiversity-dependent communities	R. 生物多样性相关网站的点击率 Hit rate for biodiversity-related website
16. 在食物和医药中运用的生物多样性 Biodiversity use in food and medicine	S. 单位农作物收获量的杀虫剂使用量 Pesticide use per unit agricultural harvest
	T. 单位消耗的农业收成 Agricultural harvest per unit effort
	U. 单位消耗的渔业收成 Fish harvest per unit effort
	V. 单位消耗的木料和碳薪收成 Timber and fuelwood harvest per unit effort
传统知识、发明和实践 Traditional knowledge, innovations, and practices	
17. 语言多样性和讲方言人口比例的现状和发展趋势 Status and trends of linguistic diversity and numbers of speakers of indigenous languages	
资源传输 Resource transfers	
18. 支持生物多样性公约的官方发展协助 Official development assistance in support of CBD	

瑞士政府启动的生物多样性监测项目,目的是提供全国的生物多样性动态信息供政府部门决策参考。他们认为,由于人类活动对生物多样性的影响在不同的尺度上发生,因此需要三个尺度(即局域尺度、景观尺度和区域尺度)上监测生物多样性时间动态。为简化起见,3个尺度分别采用10m、1km和区域尺度上的物种数作为生物多样性指标^[29]。

南非提出生物多样性完整性指数(biodiversity intactness index, BII)用于生物多样性监测^[43]。BII是一个描述一个地区生物多样性状况的综合性指标,结合了土地利用、生态系统范围、物种丰富度和种群丰度的各种数据,主要描述地理尺度上各大生物类群相对参照种群的平均丰度,也可以用于特定的物种和不同的空间尺度。它对生物多样性变化及其驱动力都比较敏感。其计算公式为:

$$BII = (\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk} I_{ijk}) / (\sum_i \sum_j \sum_k R_{ij} A_{jk})$$

式中, I_{ijk} 是类群 i 在土地利用类型 k 和生态系统类型 j 中受到的影响,一般在 0 ~ 100% 之间取值,由专家打分获得; R_{ij} 是类群 i 在生态系统 j 中的物种丰富度, A_{jk} 是土地利用类型 k 在生态系统 j 中的面积。Scholes & Biggs 计算了南非的 5 个生物类群的 BII 指数,其中哺乳动物的 BII 为 71%,即 29% 的生物多样性已丧失,受到的影响最大^[43]。

3.3 森林生态系统生物多样性监测

森林生物多样性监测指标可以概括为:组成(物种、种群)、结构(森林立地的地貌和相关生境特征)、功能(生态系统过程,如养分循环)等 3 类^[44]。目前采用的指标多为与结构和组成相关的,因为它们更易于测量;当然这两类指标也能够一定程度上代替功能指标,如枯死木是一个结构指标,但也能一定程度上说明生态系统的降解功能。目前,美国、芬兰在森林生物多样性监测方面积累了大量经验^[45, 46],对其监测指标进行了总结(表 3)。

表 3 美国和芬兰采用的森林生物多样性监测指标

Table 3 Biodiversity monitoring indicators for forest applied in USA and Finland

参量 Parameters	美国 USA ^[46]	芬兰 Finland ^[45]
组成 Composition	1. 树种的基因多样性 Genetic diversity of tree species 2. 植被与生境类型 Vegetation and habitat types 3. 敏感物种与特有物种 Sensitive and endemic species 4. 群落多样性 Community diversity 5. 物种多样性 Species diversity	1. 保护基因资源的受管理林地 Stands managed for conservation of genetic resources 2. 树种组成(优势种、外来物种、物种数、关键物种) Tree species composition (dominant species, exotics, number of species, key species) 3. 高价值群落生境保护(如老龄林、未排干的沼泽) Protection of valuable biotopes (e.g. 'old-growth' stands; undrained mires) 4. 受威胁物种数目和比例的变化 Changes in number and percentage of threatened species
结构 Structure	6. 林地结构 Stand structure 7. 斑块大小、形状、生境边缘 Patch size, shape, habitat edge 8. 片断化 Fragmentation 9. 生境的连接 Habitat linkages	5. 林地的发育等级 Development classes of forest stands 6. 自然更新占年度全部更新面积的比例 Proportion of natural regeneration in relation to total are regenerated annually 7. 单位面积上枯死、濒死、倒木和古树的数目和材积 Number and volume of dead/decaying and ancient trees standing/fallen per unit area 8. 轮伐中未砍树木的数量 Number of trees left uncut through the production rotation
功能 Function	10. 生境周转速率 Habitat turnover rates 11. 养分循环与土壤生产力 Nutrient cycling and soil productivity 12. 鱼类生境适宜性 Fish habitat suitability 13. 土地利用趋势 Human land-use trends 14. 自然生态系统功能 Natural ecosystem function	9. 遭受火灾和有意焚烧的林地面积和及其变化 Area, and change in area subject to forest fires and prescribed burning 10. 遭受水土流失、施肥和除草剂喷洒的林地面积 Area of forest land subject to erosion, fertilizer, herbicide use

组成多样性可以通过一定面积内的植物和动物种数、不同区域间的物种流、相对丰富度和均匀度等进行度量。但由于不可能对所有的物种进行监测,且不同物种的监测指标也存在一些差异,因此最好针对关键种和优势种进行监测,因为它们在森林生态系统中具有重要功能,与其他物种有着大量直接或间接的联系。结构多样性可以通过林地生境异质性、复杂性和尺度相关的指标进行度量,如生境斑块特征、连接性和林地片断

化等。

3.4 草原生态系统生物多样性监测

澳大利亚的草原生物多样性监测是目前世界上最成熟的,主要监测 11 个核心指标(表 4)^[26]。就植物而言,这些指标可划分为两类:(1)压力指标,包括被清除本土植被、外来入侵种变化趋势等;(2)响应指标,如本土多年生草本/地表植被盖度、对火敏感的植物种类和群落、刈割敏感植物、受威胁物种分布和多度等^[17]。

表 4 澳大利亚草地生物多样性监测的核心指标^[17]

Table 4 Core biodiversity monitoring indicators of rangeland in Australia^[17]

指标 Indicators	指标内涵 Connotations of indicators
指标 1	达到全面、足够和代表性保护区系统的过程 Progress towards a comprehensive, adequate and representative reserve system
指标 2	清除本土植被的趋势 Trends in the extent of clearing native vegetation
指标 3	本土多年生草本/地表植被盖度变化趋势 Trends in the cover of native perennial grass/native perennial ground-layer vegetation
指标 4	景观功能格局 Landscape function metrics
指标 5	外来入侵植物分布与多度的变化趋势 Trends in the distribution and abundance of exotic plant species
指标 6	对火敏感的植物种类和群落的分布、多度和立地状况变化趋势 Trends in the distribution, abundance and condition of fire-sensitive plant species and communities
指标 7	刈割敏感植物的分布和多度变化趋势 Trends in the distribution and abundance of grazing-sensitive plants
指标 8	敏感的哺乳动物分布范围与多度变化趋势 Trends in the distribution and abundance of susceptible mammals
指标 9	敏感的鸟类分布范围与多度变化趋势 Trends in the distribution and abundance of susceptible birds
指标 10	已列出的受威胁物种的分布和多度以及受威胁群落的分布和立地状况变化趋势 Trends in the distribution and abundance of listed threatened species and the distribution and condition of listed threatened communities
指标 11	土地利用强度变化趋势 Trends in the intensity of land use

5 结语

虽然政府部门和学者对生物多样性监测的重要性已经达成共识,也在生物多样性指标的构建上进行了大量努力,但仍然存在很多问题,难以达成一致意见,原因何在?

首先,生物多样性监测提出了许多技术和哲学问题,面临着用一些简单指标说明生命系统复杂性的挑战,因为不仅生物多样性本身是一个具有多重内涵的概念,而且对它的度量也有很多不同途径,监测指标的选择则是这些问题的集中体现^[14, 24]。

其次,不少指标的科学含义模糊,对生物多样性管理工作帮助甚少,因而不为公众认同。我们认为必须进行学科交叉,以加强对生物多样性指标的理解和应用,增加它们的科学可靠性和与政府决策的相关性,广泛宣传以普及公众对它们的认识。希望在不远的将来,总结出像经济学领域的 GDP 那样为人熟知的生物多样性指标。

再者,知识和数据的不足也限制了生物多样性指标的发展。实际上对某些物种或生物群落的了解还很肤浅,即使提出了很好的指标,在实际应用中也缺乏数据支持。

中国是世界上少数几个“生物多样性特别丰富的国家(Mega-diversity country)”之一,生物多样性监测对资源保护和可持续发展意义重大。应加强以下两方面工作:(1)紧密联系实际构建适应性的监测指标体系,加强对典型生态系统区域的监测,(2)发展经济社会发展方面的指标,为生物多样性保护和区域可持续发展提供科学依据。

构建适应性(adaptive)生物多样性监测指标体系,加强对典型生态区生物多样性的监测和数据整合,以达到对全国生物多样性的有效监测。其渠道有三:一是我国已建立的中国生态系统研究网络(CERN),其功能发挥还有很大的空间。二是中国森林生物多样性监测网络,已于 2003 年开始组建成立,该研究网络计划由 9 个森林生态系统定位样地组成。目前,已建成其中的 5 个^[48]。三是急需为我国自然保护区生物多样性监测建立一套合适的指标体系,以期提高保护区的保护和管理水平。通过对自建的全国自然保护区数据库进行统

计,至2007年初,经国务院批准的国家级自然保护区已达284个,总面积9269.7万 hm^2 ,约占中国陆地国土面积的9.7%。为了评价保护区的效力,必须建立完善的监测项目,对不同的生态系统和物种进行监测^[22]。而且提高自然保护区生物多样性监测与研究水平,形成国家级自然保护区监测体系也是《全国生态保护“十一五”规划》所要求的。

生物多样性指标体系构建必须重视经济社会发展的因素。一方面,鉴于我国经济社会发展水平有限,只能根据生物多样性监测的目的,在保证科学性的前提下,更多的考虑经济因素和生物多样性管理因素。但目前少有研究考虑监测指标的经济可行性和在局域尺度上的应用性^[49]。因此,监测项目应该设置一些状态参数,便于在与管理目标进行比较时能够指导管理行为^[49]。另一方面,经济社会的发展已成为生物多样性丧失的主要原因,因此今后必须设计能够反应经济社会特征的指标,使生物多样性监测不仅能说明生物多样性变化的趋势,还能说明其变化的人为原因,为生物多样性保护和管理指明正确的方向。

References:

- [1] Ma K P. Discuss the concept of biodiversity. *Chinese Biodiversity*, 1993, 1(1): 20—22.
- [2] Ma K P, Qian Y Q. Biodiversity conservation and its research progress. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 1998, 4(1): 95—99.
- [3] Chen L Z. Some viewpoints on biodiversity research. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(4): 308—311.
- [4] Li Y H, Chen L D, Fu B J. Biodiversity resources: utilization, conservation and management. *Biodiversity Science*, 2001, 9(4): 422—429.
- [5] Xue D Y, Bao H S. Progress and prospect of researches on biodiversity conservation in China. *Advance in Earth Sciences*, 1997, 12(3): 224—229.
- [6] Heywood V H. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge: Cambridge University, 1995.
- [7] UNEP. Report of the sixth meeting of the conference of the parties to the Convention on Biological Diversity (UNEP/CBD/COP/6/20). Decision VI/26, UNEP, 2002.
- [8] Rodrigues A S L, Akçakaya H R, Andelman S J, *et al.* Global gap analysis: priority regions for expanding the global protected-area network. *Bioscience*, 2004, 54: 1092—1100.
- [9] Dobson A. Monitoring global rates of biodiversity change: challenges that arise in meeting the Convention on Biological Diversity (CBD) 2010 goals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2005, 360: 229—241.
- [10] Nichols J D, Williams B K. Monitoring for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, 21: 668—673.
- [11] Goldsmith F B. *Monitoring for Conservation and Ecology*. London: Chapman and Hall, 1991.
- [12] Cao Z P, Zhong X D. Global biodiversity monitoring and its progress. *Chinese Biodiversity*, 1997, 5(2): 157—159.
- [13] He J S, Ma K P. Progresses in biodiversity inventory and monitoring. In Xu Z H ed. *China's biodiversity conservation toward the 21st century: Proceedings of the third national symposium on the conservation and sustainable use of biological diversity*. Beijing: China Forestry Press, 2000.
- [14] Wallace J F, Caccetta P A, Kiiveri H T. Recent developments in analysis of spatial and temporal data for landscape qualities and monitoring. *Austral Ecology*, 2004, 29: 100—107.
- [15] Balmford A, Bennun L, ten Brink B, *et al.* The Convention on Biological Diversity's 2010 Target. *Science*, 2005, 307: 212—213.
- [16] Editorial committee of state report on biodiversity of China committee. *State report on biodiversity of China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [17] Landsberg J, Crowley G. Monitoring rangeland biodiversity: plants as indicators. *Austral Ecology*, 2004, 29: 59—77.
- [18] Danielsen F, Balette D S, Poulsen M K, *et al.* A simple system for monitoring biodiversity in protected areas of a developing country. *Biodiversity and Conservation*, 2000, 9: 1671—1705.
- [19] Landres P B, Verner J, Thomas J W. Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology*, 1988, 2: 316—327.
- [20] Rolstad J, Gjerde I, Gundersen V S, S tersdal M. Use of indicator species to assess forest continuity: a critique. *Conservation Biology*, 2000, 16: 253—257.
- [21] di Castri F, Vernhes J R, Younes T. A proposal for an international network on inventorying and monitoring of biodiversity. *Biology International*, 1992, 27: 1—27.
- [22] Kremen C, Merenlender A M, Murphy D D. Ecological Monitoring: a vital need for integrated conservation and development programs in the tropics. *Conservation Biology*, 1994, 8: 388—397.
- [23] Karr J R. Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Application*, 1991, 1: 66—84.
- [24] Buckland S T, Magurran A E, Green R E, *et al.* Monitoring change in biodiversity through composite indices. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2005, 360: 243—254.

- [25] Noss R F. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 1990, 4: 355—364.
- [26] Smyth A K, James C D. Characteristics of Australia's rangeland and the key design issues for monitoring biodiversity. *Astral Ecology*, 2004, 29: 3—15.
- [27] Caughlan L, Oakley K L. Cost considerations for long-term ecological monitoring. *Ecological Indicators*, 2001, 1: 123—34.
- [28] Dale V H, Beyeler S C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 2001, 1: 3—10.
- [29] Weber D, Hintermann U, Zangger A. Scale and trends in species richness: considerations for monitoring biological diversity for political purposes. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13: 97—104.
- [30] Gregory R D, van Strien A, Vorisek P, *et al.* Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2005, 360: 229—241.
- [31] Hyman J B, Leibowitz S G. JSEM: a framework for identifying and evaluating indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2001, 66: 207—232.
- [32] Organization of Economic Cooperation and Development. OECD Core set of Indicators for environmental performance review. *Environmental Monograph No. 83*, Paris: OECD, 1993.
- [33] Convention on Biological Diversity. Recommendations for a core set of indicators of biological diversity. UNEP/CBD/SBSTTA/3/Inf. 13. Montreal: CBD Secretariat, 1997.
- [34] Turner R K, Lorenzoni I, Beaumont N, *et al.* Coastal management for sustainable development: analyzing environmental and socio-economic changes on the UK coast. *The Geographical Journal*, 1998, 164: 269—281.
- [35] Bakkes J A, van den Born G J, Helder J C, *et al.* An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives. UNEP/EATR. 94 01, RIVM/402001001. Environmental Assessment Sub-Program, Nairobi: United Nations Environment Programme, 1994.
- [36] Quayle J E, Ramsay L R. Conservation status as a biodiversity trend indicator: recommendations from a decade of listing species at risk in British Columbia. *Conservation Biology*, 2005, 19(4): 1306—1311.
- [37] Convention on Biological Diversity. Global biodiversity outlook. Montreal: CBD Secretariat, 2001.
- [38] <http://www.twentyten.net/>
- [39] Loh, J, Randers J, MacGillivray A, *et al.* Living Planet Report 1998. Switzerland: World Wild Fund for Nature International (WWF), 1998.
- [40] Loh J, Green R E, Ricketts T, *et al.* The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2005. 360: 289—295.
- [41] Butchart S H M, Stattersfield A J, Bennun L A, *et al.* Measuring global trends in the status of biodiversity: red list in dices for birds. *Plos Biology*, 2004, 2(12): 2294—2304.
- [42] Shaw P, Wind P. Monitoring the condition and biodiversity status of European conservation sites. Paris: European Topic Centre on Nature Conservation, 1997.
- [43] Scholes R J & Biggs R. A biodiversity intactness index. *Nature*, 2005, 434: 45—49.
- [44] Ferris R, Humphrey J W. A review of potential biodiversity indicators for application in British forests. *Forestry*, 1999, 72: 313—328.
- [45] Ministry of Agriculture and Forestry, Finland. Criteria and indicators for sustainable forest management in Finland. Helsinki: Ministry of Agriculture and Forestry, 1997.
- [46] Williams B L, Marcot B G. Use of biodiversity indicators for analyzing and managing forest landscapes. *Transactions of the 56th north American wildlife and natural resources conference*, 1991, 56: 613—627.
- [47] <http://www.gefyangtze.cn/>
- [48] <http://www.cfbiodiv.org/>
- [49] Gerber L R, Beger M, McCarthy M A. A theory for optimal monitoring of marine reserves. *Ecology Letters*, 2005, 8: 829—837.

参考文献:

- [1] 马克平. 试论生物多样性的概念. *生物多样性*, 1993, 1(1): 20~22.
- [2] 马克平, 钱迎倩. 生物多样性保护及其研究进展. *应用与环境生物学报*, 1998, 4(1): 95~99.
- [3] 陈灵芝. 对生物多样性研究的几个观点. *生物多样性*, 1999, 7(4): 308~311.
- [4] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 生物多样性资源: 利用、保护与管理. *生物多样性*, 2001, 9(4): 422~429.
- [5] 薛达元, 包浩生. 我国生物多样性保护研究的若干进展与今后发展领域. *地球科学进展*, 1997, 12(3): 224~229.
- [12] 曹志平, 钟晓东. 全球生物多样性监测及其进展. *生物多样性*, 1997, 5(2): 157~159.
- [13] 贺金生, 马克平. 生物多样性编目和监测的进展. 见: 许智宏主编. 面向 21 世纪的中国生物多样性保护: 第三届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [16] 中国生物多样性国情研究报告编写组编. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.