

大尺度生物多样性评价

赵海军 纪力强*

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要: 如何在减小采样付出和获取真实信息之间取得平衡,是大尺度生物多样性评价的一个主要问题。本文首先给出了大尺度评价的定义,然后回顾其历史并指出了其中存在的问题。接着从采样空间策略、代理物种、评价指标、快速评价技术、遥感技术 5 个方面对评价设计方法学作了总结,最后引入了多尺度生物多样性评价体系,作为解决问题的思路。该体系要求在一系列空间尺度上对生物多样性的特征值进行采样和计算,其核心是中间尺度的构建,可以采用自底向上和自顶向下两种思路构建中间尺度。对于多样性的保育来说,中间尺度至关重要,生物多样性的评价、管理规划和实践的整合需要在中间尺度上进行。大尺度生物多样性变化可以作为整合的背景,而小尺度是保育管理行动的合适尺度。

关键词: 评价设计,方法学,编目和监测,多尺度,中间尺度

中图分类号: Q16 Q-3 Q-9 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2003)01-0078-08

Biodiversity assessment at broad scale

ZHAO Hai-Jun, JI Li-Qiang*

Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract: How to make a balance between reducing sampling efforts and gaining accurate information is a central problem in broad-scale biodiversity assessment. This article tries to address this question by introducing multiscale methodology. We first provide a definition of broad-scale assessment, then highlight this problem after reviewing the history of global assessments. In the third part, we summarize the methodology of assessment design from five aspects: sampling strategy, surrogate species, rapid assessment technique, indicators and remote sensing techniques. Finally, a hierarchical multiscale method is described that provides a better balance. In a typical multiscale assessment, biodiversity is characterized at a series of spatial scales, thus it is different from the traditional sampling design. Correspondingly, multi-scale planning can be simply divided into two categories: one comprises sampling designs with loosely-defined scales, and the other comprises those with strictly-defined scales. The former has the advantage of synthesizing information more easily among multiple scales. In our view, the essence of this method is construction of a middle-scale, which can be realized by “top-down” and “bottom-up” approaches. The ideal method for biodiversity conservation based on this multiscale methodology is to plan in the broad-scale context, to integrate at the middle scale and to act at the local, manageable scale.

Key words: assessment design, methodology, inventorying and monitoring, multiscale, middle scale

1 概念

经过数百万年的进化,人类逐渐成为地球上最显著的生命,与此同时,地球上其他种类的生物却在急剧地衰退。为了寻找生物多样性丧失的原因,生

物学工作者很早就做了大量的努力,对生物多样性的起源、形成机制、变化进行探讨,但多数研究限于人类所能触及的范围,几十平方公里或更小。可是事实上,生物多样性的丧失并不限于这样一个小尺度,而是一个全球性的事件(林光辉,1995;Primack

基金项目:国家自然科学基金重大项目(No. 39893360)

收稿日期:2002-05-21;接受日期:2002-11-12

作者简介:赵海军,男,1978年出生,在读硕士研究生,研究方向为生物多样性信息学。

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: ji@panda.ioz.ac.cn

& 季维智,2000;宋延龄,1998)。在这个尺度上,人类对生物多样性的了解非常贫乏,甚至难以确定地球上物种的数量级(马克平等,1994)。因此,如何在较大尺度上建立对生物多样性的基本认识,成为研究生物多样性及其保育管理和决策的最紧迫的问题(马克平等,1994;Stork & Samways,1995)。

尽管时间尺度对于该问题的解决非常重要,但由于篇幅限制,此文主要讨论大的空间尺度,文中的尺度一般指空间尺度。同时,我们借用 Turner & Gardner(1991)总结的景观生态学中的尺度概念,即对象或过程的空间大小(spatial dimension),或者说待评价地区的面积和采样分辨率,以避免概念上的混淆。

讨论这个问题时的困难之一是大尺度(broad scale)的定义。评价者经常根据评价对象和目的的不同,使用个体、群落、生态系统和局部地区(local)、国家(national)、区域(regional)、全球(global)等概念来表示空间尺度的大小;然而由于概念本身的模糊,这样的划分常常是随意的。肖笃宁等(1997)将大尺度定义为 $10^4 \sim 10^6 \text{ km}^2$,并定义了超大尺度($10^6 \sim 10^{14} \text{ km}^2$)。结合生物多样性评价的特点和本文所讨论的问题,我们简单地将大尺度定义为数千平方公里至全球范围。

于是,结合评价的定义(Heywood & Baste, 1995),可以将大尺度生物多样性评价定义为:在较大尺度上,收集和评价关于生物多样性和生物资源、法律、政策、组织、项目、预算和人类负担的状态和趋势的信息。本文主要讨论生物多样性本身的问题(物种、基因、生境、生态系统),如分布、丰度、多度、景观格局等,而非上述的全面评价。简单地说,主要是生物多样性的编目和监测以及与之相关的分析和评估。由于生物多样性评价对象的复杂性,尺度对评价方法的影响并不是绝对的,这也是下文中作者从大尺度角度讨论评价方法学的局限性所在。

2 历史和问题

最初,驱使人类对生物进行编目的动力不是出于多样性保育的考虑,而是对世界的好奇(Jermy *et al.*, 1995)。探险家、博物学家的一个主要的兴趣是收集各种各样的动植物标本,寻找新种。至今世界各国都有相当数量的标本馆、自然历史博物馆,保存着数以亿计的标本,但这远远不够。人类目前记

录的物种小于地球上可能存在物种的15%(Heywood & Baste, 1995)。值得注意的是,对生物多样性尤其是濒危性、稀有性的判断,往往需要建立在全球尺度上,一个国家的濒危物种在其他地方可能是常见种。例如,蟋蟀(*Gryllus campestris*)在大不列颠岛上濒危动物,而在相邻的欧洲大陆上则很常见(Stork & Samways, 1995)。除了对本国的多样性进行编目和监测外,很多国家和组织付出了大量努力来建立对整个生物圈的基本认识,表1列出了全球主要的评价项目。

表中所列的一些项目并不是单纯的多样性评价(如IBP, MAB, LTER),事实上早期的评价往往是研究实践的附属物,后来的专门评价也往往带有明确的研究目的。无论如何,这些评价为生物多样性保育提供了必要的科学依据,但是很多评价是对现有文献和数据的综合,无法做到对生物多样性信息的及时更新。因此,除了传统的系统学努力之外,还需要建立定期监测的评价机制(Stork & Samways, 1995)。与气候监测不同的是,生物多样性的变化很难用简单的指标来衡量,往往需要深入的野外工作。在这种情况下,进行大尺度评价的一个主要障碍是地理范围过于广大。在短时间内完成大范围的生物多样性编目、监测和评价的全过程,对于管理者和科学家来说是一个很大的挑战。因此,如何在尽量保证信息的真实性、减少信息损失的前提下减少采样的付出,成为大尺度评价设计的一个主要问题(Stork & Samways, 1995)。

3 评价设计的方法学

3.1 采样的空间策略

解决问题的基本思路是有选择地对某些地区进行采样,而不是在整个地区。这些区域通常是在保育方面有重要性或代表性的区域,如关键区(critical area)或重点地区(key area)例如《中国生物多样性国情研究报告》中确定的17个关键区域)以及生态系统长期定位站等(如美国的LTER, DIVERSITAS中的山地监测站)。对整个地区的评价如生物多样性热点地区(Myers, 1988; Myers *et al.*, 2000)及北美生态区评价(Ricketts *et al.*, 1999),往往因为数据的缺乏和耗资的巨大而限制了其实施和应用。选择性采样减小了数据收集的困难,但如何选择特定区域是一个更棘手的问题。如果忽视选取原则和

表 1 全球范围内主要的大尺度生物多样性评价项目
Table 1 Main broad-scale biodiversity assessment programs globally

名称 Name	开始时间 Starting time	范围 Extent	特点 Feature	来源 Sources
国际生物学计划(IBP) International Biological Programme	1964	国际 International	生态系统的综合性研究 Integrated researches on ecosystems	Stork & Samways , 1995
北美繁殖鸟类调查(BBS) North American Breeding Bird Survey	1966	National	多个地点的年度监测 Annual monitoring at multiple sites	Kerry , 2000
人与生物圈(MAB) Man and Biosphere	1972	Global	确定全球优先的保护区 To establish global conservation priority	Stork & Samways , 1995
濒危物种红皮书 Red Data Books and Red Lists	1978	Global	濒危物种和生态系统名录 Lists of endangered species and ecosystems	Stork & Samways , 1995
长期生态学研究(LTER) Long-term Ecological Research	1980s	International	生态系统的网络监测 Network monitoring of global ecosystems	Burke & Lauenroth , 1993
环境信息合作(CORINE) Coordination of Information on the Environment	1985	Regional	群落水平的保育评价 Conservation assessment at community level	Stork & Samways , 1995
大不列颠监测计划 British Isles Monitoring Scheme	1987	National	按照网格编目植物物种 Inventorying plants based on grids	Primack , 1998
空隙分析计划(GAP) Gap Analysis Programme	1987	National	使用遥感影像识别保育的空缺 To identify gaps with remote sensing images	Jennings , 2000
热点地区 Hotspots	1988	Global	全球范围内的生物多样性数据综合 Global biodiversity data synthesis	Myers , 1998 ; Myers <i>et al.</i> , 2000
国家生物多样性研究所(INBIO) The National Biodiversity Institute	1989	National	在哥斯达黎加的全类群编目 All-taxon inventorying in Costa Rica	Stork & Samways , 1995
生态区保育 Ecoregion Conservation	1990s	Regional	用生态区概念确定保护优先 To prioritize regions based on ecoregion concept	Ricketts <i>et al.</i> , 1999
植物多样性中心计划(CPD) Centres for Plant Diversity Project	1990s	Global	植物高特有性、高丰富度的中心 Centers of high plant endemism and richness	Davis & Heywood , 1997
快速评估计划(RAP) Rapid Assessment Programme	1990	Global	快速编目 , 包括陆地淡水和海洋 Including Terrestrial , Aqua and Marine RAP	Stork & Samways , 1995
森林资源评估(FRA) Forest Resources Assessment	1990	Global	地面和遥感影像结合的资源评估 Resources evaluation with field and image data	Stork & Samways , 1995
生物多样性计划 Diversitas(其中包含的评价子项目)	1991	Global	在生物多样性多个层次上的评价 Assessment at multiple biodiversity levels	Jermy <i>et al.</i> , 1995
土地利用和土地覆盖变化(LULC) Land-use and Land-cover Change	1992	Global	大量利用遥感影像进行景观的监测 Landscape monitoring with remote sensing images	Stork & Samways , 1995
全球陆地观察系统(GTOS) Global Terrestrial Observing System	1997	Global	结合原有的台站网络监测 Network monitoring	Stork & Samways , 1995
千年生态系统评估(MEA) Millennium Ecosystem Assessment	1999	Global	综合性、多尺度评价 Integrated multiscale assessment	Kaiser , 2000

注 :由于内容和方法学上的考虑 ,制定了 3 个选取原则 (1)主要是对陆地生态系统的评价 (2)较少涉及方法学上缺少代表性、常规性的生物多样性的编目和监测 (3)涉及野外调查的评价优先于其他类型的评价
Note : There are three criteria for making the list in respect of assessment methodology and content of the article : (1) the article is focusing on terrestrial ecosystem ; (2) routine inventory and monitoring of biodiversity which are not typical in assessment design are not included , and (3) assessments with field data have priority on other types.

方法常常会导致评价的结果缺乏可用性。因此 ,结合生物、气候、地质等多种因素 ,构建统一的生物多样性大尺度分类系统并据此进行评价设计非常重要。初步的区域选择对于某些评价来说尺度仍然太大 ,接下来的问题是确定区域内采样的空间格局 ,许

多评价缺少有效的空间采样策略(Yoccoz *et al.*, 2001)。由于生物多样性保育所关注的物种的稀有性以及生态系统的复杂性,所以简单地假定待采样地区内的同质性是很大的冒险。

与一般的采样设计不同,适应性采样设计(adaptive sampling design)利用初步调查得到的数据来决定样本的选择,比较适合对稀有物种的采样(Krebs, 1999),因而受到了设计者的重视(Yoccoz *et al.*, 2001)。Thompson *et al.*(1996)详细地介绍了这种方法,另外本文第4、第5部分中关于采样设计的讨论可能有助于这个问题的解决。

3.2 代理种(surrogate species)

减少编目和监测的类群数也是有效的解决办法。一个国家或地区全类群的编目至少要包括当地一半以上的物种(Stork & Samways, 1995),因此许多评价工作利用代理物种作为多样性监测评价的目标,以减少采样的付出。环境敏感物种如蕨类(Lwanga *et al.*, 1998)、地衣(Helen & Per, 2000)、节肢动物(Kremen *et al.*, 1993; Kitching *et al.*, 2001)等被用来指示环境因子如污染物和生态系统的变化;关键种、外来种等在生态系统中起关键作用的物种被用来监测生态系统的变化;旗舰种、伞护种、焦点物种(Lambeck, 1997)、受威胁物种则作为受关注的物种而在评价中得到重视;另外一些对人类有价值的物种或是代表性物种也被作为多样性评价的目标物种。在这种思路下,明确的评价目的和对物种生物学特性的了解是必须的,因为单个物种或几个物种与整个地区多样性的关系始终是值得研究和怀疑的,Lawton *et al.*(1998)给出了证据。Caro & O'Doherty(1999)将代理种归纳为指示种、伞护种和旗舰种3个类型并进行了详细的讨论;李晓文等(2002)也作了文献的综述。代理种的使用减少了编目的类群,但其代价是忽视了生态系统中其他物种,这阻碍了保育管理者对所评价地区生物多样性的完整认识。

3.3 评价指标(测度)

指标的选择与评价设计和采样策略有着直接的关系。尽管生物多样性概念包括了遗传、物种、生态系统、景观4个层次,然而在大尺度评价中能够涉及的往往只是与物种、景观相关的测度,且往往只作为环境评价的附属部分(Yoccoz *et al.*, 2001)。物种多样性最基本的特征是丰富度和均匀度(Purvis &

Hector, 2000),围绕这两个特性,研究者构造了许多复杂的多样性指数来描述和研究多样性,Magurran(1988, 1996)作了全面的总结,Pisces Conservation据此开发了一些易用的软件(<http://www.irchouse.demon.co.uk/>)。

出于成本的考虑,管理者倾向于用简单的指标进行评价(Dale & Beyeler, 2001)。调查物种的“存在/缺失”数据要比种群统计简单得多,进行大尺度评价时利用植被来代替生境看来是一个可取的选择(Trivedi, 2000),并且许多评价使用物种的丰度而不是多度数据(Trivedi, 2000; Ricketts *et al.*, 1999; Myers *et al.*, 2000)。然而简化的代价是信息的损失,这可能导致错误的保育决策。因此重要的是要根据评价目的确定合适的评价指标。多数理论认为生物多样性的丧失是生物对外部事件的因果反应(Solé, 1999),因而更多科学家的共识是要对生态系统进行综合性的、多指标的评价而不是关于物种的简单评价(Ayensu *et al.*, 1999)。Ecological Indicators杂志的创刊(2001),就是对评价指标的讨论的反映。

3.4 快速评价技术

采用适当的快速评价技术是解决问题的另外一种思路(Rapid Assessment Technique, RAT)。有别于通常的采集标本、分类、鉴定的程序,快速评价试图根据评价的目的简化这个过程,更好地利用专家或当地人的知识和经验。

设计良好的问卷调查可以在很短时间内对待评价地区的生物多样性状况有一个很好的了解,许多评价中采用了定性的问卷调查和定量调查相结合的办法。最近的例子如WWF的保护区快速评价(<http://www.panda.org/about-wwf/what-we-do/forests/what-we-do/protection/park-assessment/index.htm>)、美国环保署湿地编目中的威斯康星快速评价法(<http://www.ies.wisc.edu/research/wrm98/pubs.html>)等。对物种的快速编目经常采用目视法(visual encounter survey),Crump & Scott(1994)给出了详细的叙述,这种方法适于易观测的大型动物却忽视了可能更具多样性的小型生物,并且不能给出密度、数量的准确估计;同时由于方法学的缺陷,它不能对所有的生物类型和微生境进行平等的采样(Stork & Samways, 1995)。Oliver & Beattie(1993)使用可识别分类单元(Recognizable Taxonomic Units, RTU)(Rees,

1983)记录了蜘蛛(spiders)、蚂蚁(ants)、多毛纲(polychaetes)、藓类(mosses)4个类群的分类单元数,探讨了这种快速评价方法的效果。Cannon(1997)、Hyde(1997)、Hyde & Hawksworth(1997)对该方法在真菌评价中的作用作了乐观的估计。由于快速评估结果的主观性,因此经常被作为初步调查的手段。

3.5 遥感技术

遥感技术无疑是一个有效的快速评价手段。技术的飞速发展改变了评价的面貌,景观多样性越来越受到重视。邬建国(2000)介绍了景观生态的基本概念,Innes & Koch(1998)详细地叙述了森林生物多样性的遥感方法,Gustafson(1998)叙述了景观格局分析的技术发展。

4 多尺度方法

如前文所述,大尺度评价设计最基本的思路是建立合适的采样空间格局,多尺度方法是解决这个问题一个较好的思路。

简单地说,多尺度方法事实上就是中间尺度的引入,它要求在一系列不同的空间尺度上对生物多样性的特征值进行采样和计算。这种方法看上去背离了减小采样成本的方向,但考虑到空间异质性和复杂性以及生态系统的动态非平衡性质,多尺度是一个更合逻辑的选择(Wu *et al.*, 2000)。与单一尺度评价不同的是,其采样设计不再基于同质环境的简单统计假设,而是基于特定尺度等级的假设。

不但如此,对生物多样性格局和过程的评价(Palma *et al.*, 1999; Wu *et al.*, 2000)、不同尺度多样性信息的演绎(邬建国, 2000)以及多样性保育管理的实践(Bunnell & Huggard, 1999; Hann *et al.*, 2001; Noss, 1998),都暗示着多尺度方法的应用前景。

严格地说,多尺度方法作为一个概念似乎更合适,当我们按照行政区划的界限——全球、洲、国家、局部地区的梯度对多样性进行评价时,就已经包含了多尺度的意味。显然,上述的尺度定义相对松散,没有采用定义严格的度量单位。如果采用严格的度量单位,如1 km²、10 km²、100 km²等,则变成了另一类多尺度概念,直接的例子如利用遥感影像评价和网格法评价。

4.1 严格尺度定义的采样设计

按照这种方式设计的多尺度评价,其优点是明

显的,因为在一定条件下不同尺度的规则采样单元可以使用相同的定量分析手段。

1987~1988年的大不列颠岛监测计划(Primack, 1998)记录了格子大小为10 km²面积上的植物、鸟类、蕨类的物种数据的有无。在100 km × 100 km尺度下与1930~1960年的物种数据进行了比较,发现在某种引入草增加的同时,许多物种的出现频率下降了。Johnson *et al.* (1998)利用格子大小为24 km²的美国Pennsylvania州鸟类图集和格子大小为635 km²的鸟类丰度图,用“阶梯方法”(echelon approach)评价了宾州鸟类的高丰富度地区。

遥感影像具有天然的多尺度特征,并且可以覆盖很大的区域。利用大小不同的采样单元作多尺度的分析,对于生物多样性格局的评价尤其是景观多样性是非常重要的。Skole & Tucker(1993)利用TM影像,将整个亚马逊河流域的热带雨林划分为16 km × 16 km的方块进行分析,得出了森林覆盖的现状和减少速度的较精确的估计。Nagendra *et al.* (1999)利用归一化差分植被指数(NDVI),结合地面采样,将印度西海岸1.7 × 10¹¹ m²区域分为生态区(ecoregion)、生态镶嵌区(ecomosaic)、生境(ecotope)3个尺度,评价了植被多样性的结构格局。

尽管有些评价没有事先进行多尺度设计,但高的分辨率使得多尺度的数据综合和分析可以很容易地进行。

4.2 松散尺度定义的采样设计

按照上述的规则格子进行采样经常面临数据缺乏的问题,即使有遥感影像的帮助,对大范围地区的采样仍然很困难。相比之下,采用松散定义的多尺度设计减少了采样的成本。

传统上,管理者按照全球、洲、国家等的政区体系进行评价,这是一个松散的多尺度采样设计。它的优点是边界明确,便于数据收集和管理,许多评价项目就是按照这种方式实施的。然而生物多样性分布并不完全按照国家的界限,而是按照生物本身的特点,因此科学家倾向于按生物地理边界进行划分。生物区评价(bioregional assessment)以及世界自然基金会(WWF)的生态区评价(ecoregion assessment)都是以此来划分的。内哥伦比亚盆地生态系统管理项目(Interior Columbia Basin Ecosystem Management Project, ICBEMP)将整个哥伦比亚河盆地定义为亚盆地(subbasin)、流域(watershed)、亚流域(subwa-

tershed)等大、中、小 3 个尺度,在不同尺度进行恢复管理前的多样性评价(Hann *et al.* , 2001)。千年生态系统评估根据评价的目的,除了定义全球、亚全球尺度,还在区域尺度(region)定义了亚区(subregion)、局部地区(local)等更小的采样尺度(Kaiser , 2000)。于是,大尺度的全面采样转变为相互关联的更小尺度采样的集合,相对于规则格网法虽然减小了采样的工作量,但同时也对设计者提出了更高的要求。

4.3 小结

多尺度方法与传统设计思想的一个重要区别是对空间异质性的承认和重视,可是看起来却离减小采样成本的目标更远了;规则格子的采样设计,有利于结果的定量化,但由于需要有庞大的数据支持,往往不容易实现;松散定义的多尺度设计则弥补了这个缺陷,它可以在很大的区域上定义多个尺度并且实现不同尺度多样性的比较分析,但它需要在评价的设计上付出更多努力,同时结果不容易定量化。

多尺度方法能够更好地揭示生物多样性格局,同时实现不同尺度信息的传递,即尺度转换(scaling)。已经有一些生态学模型和方法来完成尺度转换(吕一河,傅伯杰,2001)。如果按照可能的限制因子的梯度进行尺度和样点的选择,则有助于实现尺度转换(Thrush *et al.* , 2000)。

5 讨论

5.1 采样的时空策略

在测度研究中,我们无法不涉及时间,生物多样性的变化是如此剧烈,按照现在的编目速度,列出全球的物种名录至少还要几千年(Oliver & Beattie , 1993)。编目的难度和高昂的成本,决定了人类只能部分地、间断地了解生物多样性。对哪些地区采样?用多长的时间间隔?怎样做到有代表性?这些都需要一个自上而下的整体的时空策略。编目每一种生物、保护每一个物种似乎只能是一个幻想,更现实的做法是把注意力集中在生境(环境)而非单纯的物种。从这个角度来看,现有的保护区作为一种评价、监测、保育的体系,发挥了怎样的作用?物种水平的编目、监测在这个框架下应该处于怎样的地位?这些都值得决策者深思。

5.2 中间尺度的构建

中间尺度(middle scale)的构建,对于多尺度方

法的实现至关重要。景观作为概念上和空间上的中间尺度,在现代生态学发展中的作用不言而喻。对于一次评价来说,中间尺度往往不是唯一的,而且可能其本身就是大尺度。

可以从两个方向来构建中间尺度:一是自底向上(bottom-up)综合;二是自顶向下(top-down)对大尺度进行划分。

数据分析的过程比评价设计更需要综合,如对高分辨率遥感影像的处理,可以把小的采样单元合并为大的采样单元。在对美国 Minnesota 州森林的保育管理中,土地的所有权是一个障碍,小尺度的行为往往与大尺度的保育规划不能协调。于是森林资源委员会通过合并,建立了跨所有权的中间尺度的管理区来进行多样性的评价和管理(Powers & Powers , 2001)。

对大尺度的划分有多种方式。如前文所述,可以用规则网格或按照行政边界,或按照生物地理边界,还可以利用遥感影像进行人工辅助的划区和分类。可用的标准很多,但由于生态系统的复杂性,目前还缺少全球范围的统一划分系统。

5.3 管理的启示

每种生物生活在自己的尺度中,而且这个尺度不是唯一的,因此“思考在多尺度,行动在多尺度”(Noss , 1998)对于大尺度生物多样性评价具有指导意义。同时,生物多样性保育是科学和管理相结合的学科,应该按照“政策—研究—政策”的思路,以管理为中心,强调明确的保育目的。尽管研究涉及的尺度可以很大,管理行动却只能在小尺度上进行,因而整合规划、评价、监测、管理的尺度应该是一个中间尺度,如景观(Noss , 1998),而更大尺度的多样性信息作为背景似乎更为合适。因此,理想的保育方案似乎应该是基于大尺度多样性变化的背景,在中间尺度整合监测、评价、管理规划,并在小尺度实施具体的管理。

6 结论

- 1) 在减少采样成本和获取真实信息中取得平衡是大尺度评价设计中的一个主要问题;
- 2) 应用等级思想的多尺度方法是寻找更好的平衡的一种新尝试;
- 3) 大尺度评价需要合适的采样空间策略;
- 4) 多尺度设计方法可以简单地分为两类:严格

尺度定义的方法和松散尺度定义的方法；

5) 中间尺度的构建是多尺度方法的核心, 可以通过自底向上或自顶向下实现；

6) 生物多样性评价、监测、保育管理整合的尺度应该是中间尺度。

参考文献

- Ayensu E, D V R Claasen, M Collins, A Dearing, L Fresco, M Gadgil, H Gitay, G Glaser, C Juma, J Krebs, R Lenton, J Lubchenco, J A McNeely, H A Mooney, P Andersen, M Ramos, P Raven, W V Reid, C Samper, R T Watson, G H Xu and A H Zakri, 1999. International ecosystem assessment. *Science*, **286**: 685 ~ 686
- Bunnell F L and D J Huggard, 1999. Biodiversity across spatial and temporal scales: problems and opportunities. *Forest Ecology and Management*, **115**: 113 ~ 126
- Burke I C and W K Lauenroth, 1993. What do LTER results mean? Extrapolating from site to region and decade to century. *Ecological Modeling*, **67**(1): 19 ~ 35
- Cannon P F, 1997. Strategies for rapid assessment of fungal diversity. *Biodiversity and Conservation*, **6**: 669 ~ 680
- Caro T M and G O'Docherty, 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology*, **13** (4): 805 ~ 814
- Crump M L and N J Scott Jr, 1994. Visual encounter surveys. In: W R Heyer (ed.), *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, 84 ~ 92
- Dale V H and S C Beyeler, 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, **1**: 3 ~ 10
- Davis S D and V H Heywood, 1997. *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for Their Conservation* (Vol. 3). Island Press, Washington DC
- Gustafson E, 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state-of-the-art? *Ecosystems*, **1**: 143 ~ 156.
- Hann W J, M A Hemstrom, R W Haynes, J L Clifford and R A Gravenmier, 2001. Costs and effectiveness of multi-scale integrated management. *Forest Ecology and Management*, **153**: 127 ~ 145
- Helen U and A Per, 2000. Assessing conservation values of forest stands based on specialized lichens and birds. *Biological Conservation*, **95**: 343 ~ 351
- Heywood V H and I Baste, 1995. Introduction. In: V H Heywood and R T Watson (eds.), *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, London, UK, 1 ~ 20
- Hyde K D, 1997. Can we rapidly measure fungal diversity? *Mycologist*, **11**: 176 ~ 178
- Hyde K D and D L Hawksworth, 1997. Measuring and monitoring the biodiversity of microfungi. In: K D Hyde (ed.), *Biodiversity of Tropical Microfungi*. Hong Kong University Press, Hong Kong, 11 ~ 28
- Innes J L and B Koch, 1998. Forest biodiversity and its assessment by remote sensing. *Global Ecology and Biogeography Letters*, **7** (6): 397 ~ 419
- Jennings M D, 2000. Gap analysis: concepts, methods and recent results. *Landscape Ecology*, **15**: 5 ~ 20
- Jermey A C, D Long, M J S Sands, N E Stork and S Winsor (eds.), 1995. *Biodiversity Assessment: A Guide to Good Practice*. Department of the Environment/HMSO, London
- Johnson G, W Myers, G Ganapati and D Walrath, 1998. Multi-scale analysis of the spatial distribution of breeding bird species richness using the echelon approach. In: P Bachmann, M köhl and R Päivinen (eds.), *Assessment of Biodiversity for Improved Forest Planning*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 135 ~ 150
- Kaiser J, 2000. Ecosystem assessment: new survey to collect global news you can use. *Science*, **289**: 1676 ~ 1677
- Kerry B, 2000. Approaches to broad scale monitoring of biological diversity—a brief review of international experience. In: Tropical Savannas CRC (eds.), *Developing An Analytical Framework for Monitoring Biodiversity in Australian Rangelands* (<http://audit.ea.gov.au/ANRA/rangelands/docs/change/bp04.pdf>)
- Kitching R L, D Li and N E Stork, 2001. Assessing biodiversity “sampling packages”: how similar are arthropod assemblages in different tropical rainforests? *Biodiversity and Conservation*, **10**(5): 793 ~ 813
- Krebs C J, 1999. *Ecological Methodology* (2nd edn.). Addison-Welsey Educational Publishers, Menlo Park, CA, 261 ~ 303
- Kremen C, R K Colwell, T L Erwin, D D Murphy, R F Noss and M A Sanjayan, 1993. Terrestrial arthropod assemblages: their uses in conservation planning. *Conservation Biology*, **7**(4): 796 ~ 808
- Lambeck R J, 1997. Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conservation Biology*, **11**(4): 849 ~ 856
- Lawton J H, D E Bignell, B Bolton, G F Bloemers, P Eggleston, P M Hammond, M Hodda, R D Holt, T B Larsen, N A Mawdsley, N E Stork, D S Srivastava and A D Watt, 1998. Biodiversity inventories, indicator taxa and effects of habitat modification in tropical forest. *Nature*, **391**: 72 ~ 76
- Lin G H (林光辉), 1995. Advances and new directions in global change research. In: B Li (李博) (ed.), *Modern Ecology Series*. Science Press, Beijing, 142 ~ 160 (in Chinese)
- Lu Y H (吕一河) and B J Fu (傅伯杰), 2001. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21** (12): 2096 ~ 2105 (in Chinese)
- Lwanga J S, A Balmford and R Badaza, 1998. Assessing fern diversity: relative species richness and its environmental correlates in Uganda. *Biodiversity and Conservation*, **7** (11): 1387 ~ 1398
- Ma K P (马克平), Y Q Qian (钱迎倩) and C Wang (王晨), 1994. Trends in biodiversity studies. In: Y Q Qian (钱迎

- 倩) and K P Ma (马克平) (eds.), *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies*. Chinese Science and Technology Press, Beijing, 1 ~ 13 (in Chinese)
- Magurran, A E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton New Jersey
- Magurran, A E. 1996. *Ecological Diversity and Its Measurement* (2nd edn.). Chapman & Hall, UK
- Myers N. 1988. Threatened biotas: "hotspots" in tropical forests. *Environmentalist*, **10**: 187 ~ 208
- Myers N, R A Mittermeier, C G Mittermeier, G A B da Fonseca and J Kent, 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, **403**: 853 ~ 858
- Nagendra H and M Gadgil, 1999. Biodiversity assessment at multiple scales: linking remotely sensed data with field information. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **96**: 9154 ~ 9158
- Noss R F, 1998. At what scale should we manage biodiversity? In: F L Bunnell and J F Johnson (eds.), *Policy and Practices for Biodiversity in Managed Forests: the Living Dance*. UBC Press, Vancouver, USA, 96 ~ 116
- Oliver I and A J Beattie, 1993. A possible method for the rapid assessment of biodiversity. *Conservation Biology*, **7** (3): 562 ~ 568
- Palma A T, R S Steneck and C J Wilson, 1999. Settlement-driven multiscale demographic patterns of large benthic decapods in the Gulf of Maine. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **241**: 107 ~ 136
- Powers J W and K Powers, 2001. Finding the appropriate scale for forest management coordination across multiple ownerships to achieve landscape scale goals: a starting point discussion. *Minnesota Forest Resources Council Report # LP-0601* (<http://www.frc.state.mn.us/Info/MFRCdocs/lp0601.pdf>.)
- Primack R B, 1998. *Essentials of Conservation Biology* (2nd edn.). Sinauer Associates, Sunderland, MA, 317 ~ 323
- Primack R B and W Z Ji (季维智) (eds.), 2000. *A Primer of Conservation Biology*. China Forestry Publishing House, Beijing, 47 ~ 94 (in Chinese)
- Purvis A and A Hector, 2000. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, **405**: 212 ~ 219
- Rees C J C, 1983. Microclimate and the flying Hemiptera fauna of a primary lowland rainforest in Sulawesi. In: S L Sutton, T C Whitmore and A C Chadwick (eds.), *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England, 121 ~ 136
- Ricketts T H, E Dinerstein, D M Olson, C J Loucks, W Eichbaum, D DellaSala, K Kavanagh, P Hedao, P T Hurley, K M Carney, R Abell and S Walters, 1999. *Terrestrial Ecoregions of North America: A Conservation Assessment*. Island Press, Washington D C
- Skole D and C Tucker, 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. *Science*, **260**: 1905 ~ 1909
- Solé R V, 1999. Criticality and scaling in evolutionary ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, **14**(4): 156 ~ 159
- Song Y L (宋延龄), 1998. Introduction. In: Y L Song (宋延龄), Q E Yang (杨亲二) and Y Q Huang (黄永青) (eds.), *Research and Conservation of Species Diversity*. Zhejiang Science and Technology Press, Hangzhou, 1 ~ 4 (in Chinese)
- Stork N E and M J Samways, 1995. Inventorying and monitoring of biodiversity. In: V H Heywood and R T Watson (eds.), *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, UK, 453 ~ 545
- Thompson S K and G A F Seber, 1996. *Adaptive Sampling* (2nd edn.). John Wiley & Sons, Inc., New York
- Thrush S F, J E Hewitt, V J Cummings, M O Green, G A Funnell and M R Wilkinson, 2000. The generality of field experiments: interactions between local and broad-scale processes. *Ecology*, **81**(2): 399 ~ 415
- Trivedi P R (ed.), 2000. *Global Biodiversity*. Authors Press, Delhi, India, 41 ~ 49
- Turner M G and R H Gardner, 1991. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York, USA, 3 ~ 14
- Wu J, D E Jelinski, M Luck and P T Tueller, 2000. Multi-scale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. *Geographic Information Sciences*, **6** (1): 6 ~ 19
- Wu J G (邬建国), 2000. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy*. Higher Education Press, Beijing, 95 ~ 207 (in Chinese)
- Xiao D N (肖笃宁), R C Bu (布仁仓), X Z Li (李秀珍), 1997. Spatial ecology and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **17**(5): 453 ~ 461 (in Chinese)
- Yoccoz N G, J D Nichols and T Boulinier, 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, **16**(8): 446 ~ 453

(责任编辑:孙大川)