

# 生物多样性评估方法的综述与评价\*

栗忠飞<sup>1,2</sup>, 高吉喜<sup>2</sup>

(1.西南林业大学生态与水土保持学院,云南昆明 650224;2.环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042)

**摘要:**有效评估生物多样性状态、变化是实现其保护的基础,而迄今仍缺乏一个被广泛接受的生物多样性评估方法。该文综述了国内外生物多样性的测度及评估方法,以及各方法在应用中存在的局限性。源于基础生态学研究的生物多样性评估方法主要集中在物种、群落水平上,并以 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 等多样性指数进行测度,强调的是物种丰富度及多样性指数的计算等。当面向保护和管理需求时,一些基于单一研究目标如栖息地导向、GAP分析、热点地区划分、代理指标等评估方法得到应用,同时通过遥感、模型模拟等技术手段加以开展。这类评估强调的是生物多样性的一个侧面,难以全面反映生物多样性状态、变化、威胁及其政策决策系统的响应等综合因素的影响。目前,基于DSPIR概念框架的综合评估方法在国际上得到广泛应用,而在中国正面临评价指标构建及其赋权的复杂性等困难,因此亟需一套适合国情的综合评估方法体系,同时对国外一些适用的快速评估方法应予以借鉴。

**关键词:**生物多样性;评估方法;综合评估

**中图分类号:**Q16;X176 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-2404(2018)85-0001-13

栖息地丧失、生物入侵、气候变化等诸多因素对生物多样性产生严重威胁,生物多样性的丧失已经成为一个全球性的事件。评估生物多样性现状,识别其受威胁因素是有效保护的基础,可为保护管理与政府决策提供科学依据。生物多样性公约(Convention on Biological Diversity, CBD)制定了明确的生物多样性保护目标,但要评估是否实现保护目标,所面临的最基本问题是如何评估生物多样性的状态、变化等。

一般意义上,生物多样性表征的是可在基因、物种、种群、生态系统(栖息地)、景观等水平上得以观测的多样性,包括数量、丰富度等,而CBD提出更为综合的生物多样性概念“地球上(包括陆地、海洋、其他水域、冰雪区等生态系统)所有生命有机体的变异性及它们包含的生态复杂性,包括物种内部、种间及生态系统间的多样性”。因此,生物多样性评估是系统收集生物多样性状态、压力、驱动力、影响与响应等方面的信息,通过分析做出有关生物多样性状态、变化的定量或定性判断,为保护提供决策过。生物多样性的评估也可以是对某一专项(方

面)进行专门评估,在空间尺度上,可以是全球的、区域的、国家的、保护区的等,也可以是多时间序列状态下的趋势变化等。

目前已有众多方法应用到生物多样性的评估中,包括基于生态学的测度方法和面向决策领域的综合评估方法。然而,生物多样性受到不同政体水平下各种行动策略的影响(诸如世界的、欧盟的、国家的、市政的等等),其评估仍然是一个异常复杂而困难的问题,迄今为止仍缺乏一个被广泛接受的生物多样性评估框架。本文对当前国际上存在的众多生物多样性测度、评估方法进行了综述,对各类评估方法的应用范围及优缺点进行了探讨,以期能及时、准确的中国国家生物多样性评估提供方法论的科学参考。

## 1 传统的指标测度

传统的生物多样性指数都是在物种、群落调查的基础上产生的。1943年,Williams在研究昆虫多度关系时提出了多样性指数(Index of Diversity)的概念。1934年Fisher研究群落物种-多度关系时应用了多样性指数,算是最早的生物多样性定量评估指数。传统的生物多样性主要侧重于群落多样性研究,Whittaker提出了生物群落多样性的3个空间尺度,即 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 多样性。Wiegleb将这些传统的生物多样性测度方法总结为两种定量评估生物多样性的途径,即生命体本身的多样性及其之间的差异性,前者

收稿日期:2018-03-28

作者简介:栗忠飞,副教授,博士,主要从事环境生态学研究;高吉喜,教授,博士生导师,主要从事区域生态学研究。

E-mail: gjx@nies.org

\* 基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAC01B00);国家自然科学基金项目(31360122)

包括物种丰富度、均匀度等,如 $\alpha$ 多样性,后者包括差异性、空间异质性等,如 $\beta$ 和 $\gamma$ 多样性。此外,这些指数多来源于基础的生态学研究,强调物种丰富度统计、多样性指数的计算等。

$\alpha$ 多样性表征物种丰富度、相对多度、均匀度等特征,因此也包含了最基本的多样性指数即物种数量及物种丰富度指数。 $\alpha$ 多样性关注的是群落内部的特征,也被称之为生境内的多样性(*Within-Habitat Diversity*),而 $\beta$ 多样性强调沿生境梯度的物种组成的异质性,也称之为生境间的多样性(*Between-Habitat Diversity*), $\gamma$ 多样性关注的是区域或大陆尺度的物种数量,也称为区域多样性(*Regional Diversity*)。

$\alpha$ 多样性关注的是群落内部的特征,其物种丰富度指数是最古老的物种多样性测度指数,当应用到特定野外样地调查的群落水平的评估时较为适宜,但会忽视群落中常见种和稀有种的贡献。而物种相对多度模型弥补了这一不足,物种相对多度模型通过建立“种-多度曲线”,能更好地反映群落中从常见物种到罕见物种对多样性的贡献,但这样的方法也只适用于某些特定的群落类型。也有将物种丰富度和相对多度进行综合的指数。 $\beta$ 多样性是反映生境梯度变化下物种替代程度的生物多样性指数,体现群落组成的变异程度,指示生境被物种分隔的程度。 $\beta$ 多样性包括属性数据指标和数量数据指标,属性数据指标可以用来测度不同地段的生境差异性。属性数据能较为真实地表征群落更替程度,但存在过高估计稀有种的作用,而数量指标更为客观。高贤明等对高山草甸的研究中也验证了这一结论。 $\beta$ 多样性受到群落间土壤、地貌及干扰等生态因子的控制,多强调生态系统的相似性及物种间的差异,但其没有对空间显式的景观异质性加以反映,而 $\gamma$ 弥补了这一空缺。 $\gamma$ 多样性强调景观水平的多样性,受到区域范围的水热、气候、物种演化等生态过程的控制, $\gamma$ 多样性高的生境一般是地理上相互隔离但又相邻的地区。

与上述 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 多样性相对应的一些传统的生物多样性测度指数主要表征物种丰富度、变化度、均匀度、优势度、多度等特征,但依靠统计学中的理论分布参数去测度群落物种多样性存在很大的局限性,因此,产生了一些与物种多度分布格局独立的多样性指数,应用较为广泛的有 *Simpson*、*Shannon -*

*Wiener* 指数以及 *Pielou* 均匀度指数等。*Simpson* 多样性指数也称优势度指数,对群落中常见物种的评价较为准确,但对稀有物种的贡献较小,*Shannon - Wiener* 指数与 *Simpson* 多样性指数正好相反,对常见物种的测度并不敏感。当然在实际应用中,应选择最具针对性的测度方法。例如,洪伟和吴承祯运用分形理论对 *Shannon - Wiener* 指数进行了改进,并应用到中国武夷山保护区的生物多样性评价中。

## 2 几种新近的生物多样性评估方法

上述传统的生物多样性测度指数基于科学的假设检验为基础,主要应用于样地、站点、斑块等尺度上的生物多样性测度,而实践中,没有这样的指标能阐明生物多样性保护和管理目的,因此在保护、管理的决策领域,生物多样性评估不得不考虑更多的因素,采取一些能适应国家等更大尺度上评估的方法。

### 2.1 基于保护目标的生物多样性评估方法

#### 2.1.1 以栖息地为导向的评估方法

生物多样性评估中,由于受直接测度数据的限制,多数环境政策依靠评估物种和栖息地的关系进而评估保护状态,因此,以栖息地为导向的评估方法受到广泛应用。欧洲栖息地指令,就是基于物种和栖息地监测的生物多样性变化评估的典型事例。

以栖息地为导向的评估中,生境是重要的因素之一。美国大自然保护协会(*The Nature Conservancy, TNC*)也强调生物多样性评估中生境的重要性。当前,对生境的评价主要是依据受保护物种评价生境的敏感性,诸如以国家保护的动、植物为指标,分析各种生境中物种丰富度及其重要性,即根据评价区内国家级保护物种对象的分布情况进行评估。另一方面,生境的同质化(与表征生境异质性的 $\beta$ 多样性指数相对应)是生物多样性的一个主要威胁,因而也可以作为生物多样性损失的预警信号。*Tjørve* 提出 *MHM* 模型(*Multi-Habitat Models, MHM*),用以评估多栖息地类型景观下的物种丰富度,该模型受到广泛应用。这一模型充分考虑了栖息地的属性特征,但忽视了物种对不同栖息地的响应。*Pereira* 和 *Daily* 提出的乡村模型(*Countryside Model*)考虑了不同物种类群对人类或自然干扰下的不同栖息地的利用差异,因而物种对栖息地变化的响应得到更加精细的分析。

国际上还有利用一个简明的复合指数 *NCI* (*Natural Capital Index, NCI*), 对自然栖息地的数量及质量数据进行综合分析。这一指数认为, 生物多样性损失包含栖息地或生态系统数量损失, 以及因气候变化、破碎化、污染等导致的栖息地质量下降, 这一方法已经应用到北欧如芬兰、瑞典等国家。国内, 依据国家重点保护动物名录和国家重点保护野生植物名录, 确定不同评价区域内分布的国家保护动、植物的数量和等级, 然后计算不同评价区域的生境敏感性指数与敏感性指数密度, 也是栖息地为导向的评估方法的应用。吴鹏飞等运用这一方法计算了生境敏感性指数密度, 评价了重庆生物多样性生境敏感性。然而, 这一方法存在的缺点是敏感性指数仅能反映出物种的丰富度与重要性, 不能反映某一区域内物种的集中程度。

### 2.1.2 生物多样性热点地区为目标的评估方法

*Myers* 在分析热带雨林受威胁程度的研究中, 提出了热点地区 (*hotspots*) 的概念, 受到保护国际 (*Conservation International*) 在生物多样性保护中的倡导, 并在国际上形成较大影响。

在热点地区评估时, 众多研究将物种的特有性作为关键或重要的依据。*Myers* 和保护国际 (*CI*) 依据物种特有性程度和受威胁程度 2 个指标确定了全球 25 个热点地区。*Mackinnon* 等在《*A Biodiversity review of China*》中, 为评估每个生物地理单元和省份, 把生物资源特有性作为主要量纲指标, 并提出“生物多样性重要分值”概念, 研究依据物种的特有性确定单元格网的特有性指数。*Welze* 等也利用这一方法确定了泰国四个植被地理分布区, 预测了 2050 年气候变化情景下植被分布的变化。*Raes* 等利用荷兰国家标本馆记录的 44 106 个标本, 通过物种分布模型模拟, 定量评价了赤道附近区域、 $10 \times 10 \text{ km}$  空间分辨率下的物种丰富度及特有性, 然后利用物种出现的空间格网数量, 进行特有性指数赋值, 确定特有性热点地区。这一方法可以应用于任何具有丰富物种分布记录的地区。也有研究根据种-面积和特有性区域 (*Endemics - Area*) 的关系进行确定生物多样性热点地区, 通常是依据总的物种数目和特有种或受威胁物种数目来确定。但是, 用特有或受威胁物种代替总体物种的生物多样性状况这一方法目前受到质疑。另外, *Veech* 指出, 用种-面积关系定义生物多样性热点地区的方法应用到热带

地区时, 不能保证总的物种多样性受到保护。

事实上, 在评估生物多样性热点地区的时候, 其依据或指标不一而足。有学者就强调物种丰富度、稀有性和物种分布格局及其形成机制等因素也应以重视。世界自然基金会 (*WWF*) 以重要生态区为基础确定了全球 200 个重要生态区 (*Global Eco-region 200*)。显然, 热点地区也可利用区域内物种丰富度、相对多度进行确定 (诸如 *Simpson* 和 *Shannon* 指数等)。倪健等基于多元统计的方法开展了中国生物多样性的生态地理区划, 确定出 18 个生物多样性中心区域。李智琦等对生物多样性热带地区的概念与优先保护区进行了辨析, 研究认为物种丰富度是生物多样性评价的依据, 是确定热点地区的关键。然而, 这些方法均存在不同程度的局限性。因为, 多度会随时间而变化, 而丰富度指数不能反映物种的濒危程度及物种的特有性。美国大自然保护协会 (*The Nature Conservancy, TNC*) 提出了更加全面的以生境为主的生物多样性优先重点区域。

*陈灵芝* 提出生物多样性关键地区确定的条件, 确定了中国 14 个具有国际意义的陆地生物多样性关键地区。*蒋志刚* 等提出丰富性、特殊性、受威胁程度和经济价值作为生物多样性关键地区的划分原则。在《中国生物多样性国情研究报告》中, 根据物种丰富度和特有种的数量确定出中国 17 个有全球意义的生物多样性重要关键区域。*刘广超* 和 *陈建伟* 构建了生物特有种的种数、国家各级重点保护物种数等 7 个指标, 运用综合指数法, 评价生物多样性热点地区, 但其所采用指标未能兼顾到各气候区的巨大差异, 难以体现国家层面上需重点保护的生物多样性区域。

热点地区的评估方法主要用于大尺度上, 另一方面, 大尺度的数据资源的精确度难以保证, 而且有些干脆是来源于专家估计。再次, 多数研究依据物种的特有性作为确定热点地区的关键指标存在一定的风险, 因为特有性与物种丰富度并不一定相关, 因此, 不同尺度上的植物区系、生境、生态过程也应得到考虑。

### 2.1.3 基于 GAP 分析的评估方法

在生物多样性上具有独一无二的地位、未受保护的区域被称之为 *GAP*。*GAP* 分析最早作为一种有效的手段应用于评估保护区系统内陆地生物多样性的代表性, 但其寻找保护区系统没有被代表的物种

及生境类型(*Gaps*)、并确定其所在区域加以保护的  
分析过程,正适应了评估未来濒危物种对象的需求,  
可以快速评价不同尺度上生物多样性要素分布及保  
护状态。

*GAP*分析无疑是一种区域生态尺度上生物多样性  
快速有效评估方法。基于区域内植被状况、物种  
分布及其丰富度等信息,*GAP*分析能评估当地动植  
物受保护程度。北美森林生物多样性评估采用*GAP*  
分析方法,评估受保护森林类型的代表性水平,因此  
也成为美国评价整个国家生物多样性所有成分所处  
保护地位的关键途径。*GAP*分析的方法除美国广泛  
应用以外,欧洲、非洲、亚洲等地区的众多国家均有  
开展,而且也被广泛应用到保护风险评估中。国内  
李迪强等及田自强等应用该方法对青海湖及神农架  
地区生物多样性进行了评价。

在*GAP*分析中,土地受保护状态的划分依据是  
维持生物多样性的功能而不是特有的土地利用类型  
或生态性,运用*GAP*分析的方法,能够找出受保护的  
、未被保护的、需恢复的、健康的等各种类型。  
*GAP*分析评估方法的优点在于数据需求相对直接,  
尤其是与其他生态指标相比,能够利用物种和植被  
分布变化对管理状况进行快速评估,而主要的缺点  
在于土地状态是潜在土地利用活动及区域内生物响  
应的粗略概括,且与群落中的许多物种的脆弱性关  
系只是一个微弱的关联,难以反应生境的质量。

## 2.2 基于代理指标的评估方法

当前生物多样性评估极大地依赖于数据的可获  
取性,受直接测定的限制,许多情况下不得不依赖于  
代理指标的方法进行评估,诸如基于栖息地、物种替  
代等方法。此外,许多非直接的测定诸如保护区面  
积、自然性程度、生态区结构、栖息地特征等均可  
被作为代理指标加以应用。

代理指标运用的是一类与生物多样性及其时空  
分布具有统计相关性的特殊生物类群或环境因子,  
其中生物类群包括多样性指示类群如鸟类、昆虫等,  
以及生物多样性功能类群如旗舰种、顶级捕食者,还  
有一类是珍稀濒危物种。较为典型的案例是欧洲生  
物多样性评估,将鸟类和蝴蝶作为代理指标,代理指  
标还常被应用到管理计划中,例如用旗舰物种来反  
映生态系统的健康性。类似的还有英国政府采用的  
英国野生鸟类指数(*UK Wild Bird Index*),用来指示  
环境质量和环境政策执行状况的变化,依此来评估

生物多样性状态、变化等。

近年来,基于生物多样性短期变化监测的生物  
多样性快速评估(*Rapid Biodiversity Assessments*,  
*RBAS*)受到关注。这种方法能够提供生物多样性  
在迅速的动态过程中物种变化信息,从而为物种保  
护提供了有效的数据支持。生物多样性代理指标的  
运用是实现生物多样性快速评价的重要途径,国际  
社会正积极寻求使用指示物种等来表示生物多样  
性的方法,国内在该领域的相关研究还较少。

代理指标的方法为一些无法获取详细数据区域  
的生物多样性评估提供了一种可行而有效的途径,  
然而在实际应用中也会受到一定程度的质疑。*Mar*  
等就认为生物多样性评估中,将顶级捕食者作为代  
理指标其应用价值并不显著。还有研究将受威胁物  
种潜在的影响作为评估重点,但受威胁的物种对干  
扰的响应很难作为生物多样性总体变化的代表。

## 2.3 基于遥感技术的评估方法

近年来,遥感数据已经广泛应用于生物多样性  
评估中。遥感影像实现了生态系统多样性及系统内  
结构要素的评估,提供了多源数据支持下的跨越时  
空尺度的评估。遥感评估可以从单个物种到全球尺  
度,全面覆盖了宏观尺度上的结构数据。

### 2.3.1 基于土地利用变化的生物多样性评估

基于遥感数据的生物多样性评估可以在不同尺  
度上开展。全球尺度上,利用卫星影像判读影响物  
种丰富区分布的因素。在区域或国家尺度上生物多  
样性评估,*GAP*分析是较为典型的应用。在景观尺  
度上,基于中尺度物种丰富度与景观异质性相关的  
观点,利用遥感图像计算景观指数,如破碎度指数  
(85)、完整性指数、香浓多样性指数,进而评估物  
种组成的丰富度,是一种简洁而有效的评估方法。  
*Telleria*等利用这一方法研究发现土地利用变化形  
成的森林破碎化使欧洲鸟类丰富度呈显著下降趋  
势。物种或斑块尺度上,应用较多的是直接利用遥  
感数据对单个种或生境制图,或以生境为基础绘制  
物种分布图,从而预测物种分布。*Scolozzi*和  
*Geneletti*利用所选择物种的生态特性、植被分类图、  
土地覆盖图等,划定最小斑块及景观单元,以此为栖  
息地,评估栖息地适应性等级,进而通过物种繁殖、  
幸存等斑块确定栖息地潜在性,进行土地利用情景  
下栖息地损失分析和评估,这一评估方法能生成每  
个物种的分布图,尤其是对特有物种更具意义。

上述方法实质上是基于土地利用变化的生物多样性评估,但主要依据的结构参数,内在成分包含了很大程度的预测因素,评估结果也侧重于生物多样性的变化趋势、驱动力分析等。利用土地覆盖信息进行物种丰富度评价的实例还很多,但精度难以保证。一方面由于单纯使用景观指数,忽略了环境因子和干扰因素的耦合影响;另一方面,这种方法受遥感数据的空间分辨率影响较大。因为这一方法要求土地覆盖分类结果具有较高的精度;然而,基于矢量数据的景观结构并不包含斑块内部的质量信息,是导致其研究精度偏低的重要原因。再次,土地利用格局发生变化后会引起 $\alpha$ 多样性的改变,而生物多样性保护的目的是维持一个生态系统总的丰富度或者 $\gamma$ 多样性,但 $\gamma$ 多样性不是一个对土地变化干扰非常敏感的指数,因此评估结果也会受到影响。

### 2.3.2 基于象元尺度的生物多样性评估

遥感影像提供了大尺度评估生物多样性的途径,如栖息地状态、变化趋势等,也为大尺度上辨识群落结构(如格局、扩展)、动态及物种提供了可能,但因上述各种原因,这样的评估方法仍存在较大的不确定性。

若基于遥感影像进行生境制图,结合 *NDVI* 等象元尺度上的、详细的斑块内部信息,进而解释生境与生物多样性的关系,可以得到更为精确的在象元上进行的生物多样性评估结果。*Krishnaswamy* 等利用 *NDVI* 数据,进行生物多样性定量分析及制图,并被应用到生物多样性评估的生物物种分区上,这对于一些位置信息缺失的区域尤为实用。*Dogan* 和 *Dogan* 研究位于土耳其安卡拉省的 *Nallihan* 城市,农业和城镇化对主要分布的森林产生的影响。研究基于 *FAO* 的土地分类图、*NDVI*、生态属性参量、野外样方调查数据、气候数据,基于统计学模型,在 *GIS* 和 *RS* 工具下绘制了香浓-维纳、辛普森、香浓维纳-辛普森等指数以及物种数量的生物多样性图。*Oindo* 利用多年 *NDVI* 数据解译的景观多样性与物种丰富度呈负相关的关系,用遥感数据制作了鸟类分布图。生产力与生物多样性存在相关性是不争的事实,通过生产力可以很好的预测物种丰富度,因此,利用 *NDVI* 与 *NPP* 的关联性,进一步建立 *NDVI* 与物种多样性的关系也已经得到许多应用。

不同物种具有不同的光谱特征,运用遥感影像的光谱变异性直接评价植物物种多样性,即光谱变

异假说(*SVH*),实质上也是基于植被光谱信息的评价,此类方法已经得到了广泛的应用。另外,*Gregory* 和 *Roberta* 还将植被化学计量特征与遥感光谱结合,提供了高精度的生物多样性制图。

国内,倪健等采用多元分析与 *GIS* 等手段,选择生态地理因子,将全国生物多样性生态地理区划为 5 个生物大区、7 个生物亚区和 18 个生物群区。方彬等利用遥感图像的植被指数,计算生物多样性值,进行空间生物多样性分布格局绘图。此外,通过遥感影像,与土壤、植被图层叠加,可以在像元上进行生境状况分析。*Zhang* 等依据 *ETM* 影像与野外观测数据,建立乔木层物种多样性模型,分析辽东山区森林乔木层物种多样性分布格局。宋晓龙等人基于 *GIS* 和 *RS* 数据,运用 *Marxan* 空间优化模型,划分不同保护水平的空间区域。

在象元尺度上,除基于光学技术的遥感影像以为,激光和雷达数据以其更为精确的特性,可以提供森林林分内部的结构信息或植被层信息,但目前激光数据仍有待发展,而雷达数据极大地受限于实验中的重复性。

基于遥感影像象元尺度上的生物多样性评估,其优势在于避免了土地利用分类导致的误差,但在大尺度上因植被结构差异占据显著地位,而树种间的差异在遥感影像上难以体现,因此在大尺度上的应用也受到评估精度的限制。

### 2.4 模型模拟的评估方法

前面述及的各种传统生物多样性测度指数实质上也属生物多样性模型范畴,表征的是群落水平的多样性或丰富度。*Aspinall* 和 *Birnie* 概况了 3 类基于景观及以上尺度的生物多样性模型:分析关系的统计模型;测定环境条件的类型、空间组成和定位的地理学模型,以及注重过程的生态学模型。

经典的生物多样性评估统计模型是种-面积曲线模型,也是一种基于现象的经验模型。生态学中,种-面积曲线的方法一方面可以测定群落的物种丰富度,另一方面可以外推群落物种数目。在生物多样性评估中,种-面积关系模型(*Species - Area Relationship, SAR*)可被用作评估栖息地丧失对生物多样性的影响,但在研究土地利用变化对生物多样性影响时,最常用的种面积曲线模型,即指数模型,并不能反映出生物多样性的变化,仅适合于单一栖息地类型下的评估。此外,利用遥感影像提取的生

态地理参数与生物多样性之间的回归关系,也是一类较为典型的统计模型。例如,加拿大西部森林生物多样性评估是利用野外调查数据以及遥感获得的树冠面积建立多元回归模型,由模型求得的物种丰富度,从而在 *Landsat TM* 影像上确定每个像元的丰富度指标。统计模型中还有一类是基于标本记录的物种分布模型,能应用到大尺度的评估,但需要遴选受评估区域的目标生物类群。

基于环境条件的地理学模型如 *BIOCLIM*、*GARP*、*MAXENT* 等应用都较为广泛,如李双成和高江波的研究。此类模型有时也被称作为生态位模型,目前已经得到了快速的发展。此类模型可预测物种的地理分布及潜在分布范围,进而生成物种分布图,在组成层次上也属于物种分布模型。此类模型进行生物多样性评估时,多利用温度及降水数据刻画物种的分布规律。1947年 *Holdridg* 建立的生命地带 (*Holdridge life zone*) 模型依据年平均生物温度、年降水量降水、潜在蒸散率指标对植被类型进行模拟。*BioClim* 模型也是利用温度与降雨数据来模拟物种的分布,但实际上生物与生态因子如捕食与竞争也影响物种分布,若仅由温度、降雨数据并不能准确估计种的出现,在许多情况下可能会高估物种分布及丰富度。

在生物多样性模型模拟评估中,还有一类注重生态过程的生态学模型。*BIOMAPPER*、*HSI*、*LARCH*、*METAPHOR*、*RAMAS* 等模型主要是预测物种对生境的适应、空间格局等,得出生境适宜性定量评价结果,即生境适宜性分布图,如王志强等人的研究。*Jiguet* 等对繁殖鸟类调查,运用捕获-再捕获模型 (*Capture - Recapture Models*) 模拟物种丰富度的空间趋势,进而预测物种丰富区域,这一方法可以推广到其他生物类群的热点地区的确定与保护应用中。

在预测生物多样性未来丧失程度时,必须对物种风险水平进行评估并模拟风险如何导致灭绝。除种-面积曲线模型以外,其他能表达栖息地损失、破碎化、物种入侵等导致的生物多样性风险的模型如:1) 入侵物种模型 (*Invasive Species Models*), 通过入侵物种对经济社会环境等潜在的影响进行评估,以及物种成为入侵种的可能性(路径、建立、种群增长、扩散等),这些均基于物种分布数据进行;2) 种群生殖力分析模型 (*Population Viability Analysis*),

可以评估生物多样性可承受的风险。

在生物多样性模型模拟的评估中,面临最大的问题是空间尺度的推演问题。空间尺度是影响多样性模拟结果的重要因素,而大多数生物多样性模型均忽略了这一问题。

### 3 综合的生物多样性评估方法

基于样地调查的传统的生物多样性测度指数局限于物种水平上的评估,很难提供生物多样性空间模式及时间变化趋势,无法满足当前生物多样性的综合评估需求;基于单指标的多样性评估方法也仅考虑了生物多样性的一个侧面,不能全面反映生物多样性状况,况且许多区域仍然缺乏物种丰富度的信息,此外,包含群落水平多样性的生物群区法 (*Biotope Method*) 也得到尝试,但这些方法也难以区分栖息地内不同管理体制的影响。

生物多样性评估涉及状态、变化、威胁、影响及其决策系统的响应等方面因素。当前的生物多样性综合分析评估更加重视环境变化对生物多样性的持续影响,这依赖于多学科的数据交叉,尤其是生物多样性状态和人类活动压力之间关联的相关信息,从而构建多指标体系框架以开展综合评估。

1970年由加拿大统计学家 *Anthony Friend* 在提出的 *PSR* (*Pressures - State - Responses*) 模型,经 *OECD* 在环境系统分析与评价领域发展后,获得了广泛的应用,成为生物多样性综合评估最常用的概念模型框架。*IUCN* 构建了 *PSR* 模型生物多样性综合评估指标体系,*PSR* 概念模型的评估方法得到了生物多样性公约的认可和应用。*PSR* 模型对一些复杂现象的描述有所欠缺,在 *PSR* 模型之后,*UNCSD* 提出了“驱动力-状态-响应 (*DSR*)”模型,将生物多样性变化的驱动力考虑在内,而驱动力包含了正面和负面的影响,而 *PSR* 模型中驱动力只强调负面影响。此后,*PSR* 与 *DSR* 的结合,对状态和影响变量进行区分,从而产生了 *DSPIR* (*Driving - Force - Pressure - State - Impact - Response*) 模型。

在综合指标评估方法中,*DSPIR* 模型法是一类具有重要影响及广泛采用的方法。*DSPIR* 模型强调环境变化的社会经济驱动力,具有综合性、系统性、整体性的特点,可依据植被条件、景观复杂性、优势物种保护意义等综合得出生物多样性分值进行判断,更能揭示环境与经济的因果关系,有效整合资

源、发展、环境与人类健康等方面。目前 CBD、欧盟等均依据 *DSPIR* 模型建立了相应的生物多样性综合评估框架,内容包括生物多样性的组成状况、变化趋势、可持续利用、威胁、生态系统完整性、服务、传统知识保护、遗传资源利益的获取与分享、资金与技术投入以及国际间协作等因素。

1995 年荷兰发展组织(*Netherlands Development Organisation, SNV*) 建立的战略环境分析方法也是较早、较成功的综合评价方法体系之一。多准则决策分析方法(*Multi - Criteria Analysis, MCA*) 也得到较多的应用。多标准框架综合了社会、经济、自然数据。在多准则分析中,生态脆弱性、威胁、物种和栖息地是最重要的准则。国内李金良用目标法与专家咨询法相结合的方法,创建了一套森林生态系统多样性和物种多样性的指标体系评价方法。此外,南非通过一个名为生物多样性完整性指数(*Biodiversity Intactness Index, BII*) 的指标对一个地区生物多样性状况进行综合评估,这一方法结合了生态系统、物种丰富度、土地利用等各类数据,综合评估地理尺度上各大生物类群的平均丰度,这一方法对生物多样性变化及其驱动力较为敏感。这些国际上生物多样性综合评估的典型案列,实质上均是在 *DSPIR* 综合评估概念模型的框架下开展的。

当前国内开展的生物多样性评估方法也多采用 *DSPIR* 的综合评分法,通过指标值量化、数值标准化、权重设置(层次分析、德尔菲法) 等步骤得到综合分值。杨宇明用 *PSR* 模型,建立云南生物多样性的测评指标体系,并计算出云南生物多样性与生态环境综合指标值。郝云庆等也构建评价指标,通过赋权计算生物多样性综合指数值进行若尔盖湿地生物多样性评价。也有对物种濒危状况的评估,通过各指标的分级、量化、赋分,计算濒危系数。

#### 4 结束语

*DPSIR* 概念模型方法是当前生物多样性综合评估使用的主要框架,基于这一方法,中国的生物多样性评估仍存在较大差距,所需要的指标体系仍不完善,已选的指标在实际评估应用中,权重赋值的主观性较强,对生物多样性功能评价有所忽视,体现功能的指标也有所缺乏,评估中也没有统一的方法。一些国际上已经广为重视的指标诸如生命星球指数(*Living Planet Index, LPI*)、红色名录指数(*Red List*

*Index, RLI*)、海洋营养指数(*Marine Trophic Index, MTI*)、全球野生鸟类指数(*Global Wild Bird Index, GWBI*)、生态系统完整性指数(*Ecosystem Integrity Index, EII*) 以及野生商品指数(*Wild Commodities Index, WCI*) 等还没有受到足够的重视,甚至还没有启用。因此,中国亟需借鉴国际上受到广泛使用的概念框架集方法体系,建立一套适合中国国情的综合评估方法体系。

近年来国际上的生物多样性评估侧重于生物多样性的风险评估和快速评估,所使用的方法多利用“红绿灯”法、趋势法等。此类方法的技术关键是确定指标参比的基准值/标准值,并获得一定时期内连续的监测数据。基于指标值与基准值/标准值之间的定量比较,判断指标状态在一定时期内发生的变化。欧盟成员国的建设项目环境影响评价(*EIA*) 和战略环境影响评价(*SEA*) 在涉及生物多样性影响评价时也多采用此类方法。这一方法的最大优点是可以开展生物多样性的快速评估,而省去了获取定量监测数据的巨大投入,值得国内借鉴。

(致谢:本文修改过程中,环境保护部南京环境科学研究所武建勇副教授予以了许多建设性意见和建议,在此致以感谢。)

#### 参考文献

- [1] WILCOVE D S, ROTHSTEIN D, DUBOW J, et al. Quantifying threats to imperiled species in the United States [J]. *BioScience*, 1998, 48(8):607-615.
- [2] CHAPIN III F S, ZAVALA E S, EVINER V T, et al. Consequences of changing biodiversity[J]. *Nature*, 2000, 405(6783):234-242.
- [3] PIMM S, RUSSELL G, GITTLEMAN J, et al. The future of biodiversity[J]. *Science*, 1995, 269, 347-350.
- [4] HOOPER D U, CHAPIN F S, EWEL J J, et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge[J]. *Ecological Monographs*, 2005, 75(1):3-35.
- [5] UNEP. Report of the sixth meeting of the conference of the parties to the convention on biological diversity[R]. Annex I, decision VI/26. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2002.
- [6] NORMANDER B, LEVIN G, AUVINEN A P, et al. Indicator framework for measuring quantity and quality of

- biodiversity—Exemplified in the Nordic countries[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 13(1):104–16.
- [7] BRÖRING U, WIEGLEB G. Assessing biodiversity in SEA[A]. In: Schmidt M, João E, Albrecht E. Implementing strategic environmental assessment[C]. Berlin–Heidelberg: Berlin, 2005:523–538.
- [8] 丁辉, 秦卫华. 生物多样性评估指标及其案例研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009:5–30.
- [9] TRENT D P, LAW B S, XIMENES F. A proposal for accounting for biodiversity in life cycle assessment[J]. *Biodiversity Conservation*, 2010, 19:3245–3254.
- [10] BYRON H J, TREWEEK J R, SHEATE W R, et al. Road developments in the UK: an analysis of ecological assessment in environmental impact statements produced between 1993 and 1997[J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2000, 43(1):71–77.
- [11] SCHOLLES F, v HAAREN C, MYRZIK A, et al. Strategische umweltprüfung und landschaftsplanung (SEA and landscape planning)[R]. UVP-report, 2003, 17:76–82.
- [12] WIEGLEB G. What should we know about biodiversity? Aspects of an applied biodiversity research [A]. In: Weimann J, Hoffmann A, Hoffmann S (eds) *Messung und bewertung von biodiversität: mission impossible?* [C]. Metropolis, Marburg, 2003:151–178.
- [13] WILLIAMS P H. Key sites for conservation: area-selection methods for biodiversity[C]. In MACE G M, BALMFORD A, GINSBERG J R. (Eds). *Conservation in a changing world*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1998:211–249.
- [14] FISHE R A, CORBET S A, WILLIAMS C B. The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population[J]. *The Journal of Animal Ecology*, 1943, 12(1):42–58.
- [15] OLIVER I, PARKES D. A prototype toolkit for scoring the biodiversity benefits of land use change[M]. Australia: Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources, Sydney, 2003.
- [16] PARKES D, NEWELL G, CHEAL D. Assessing the quality of native vegetation: the ‘habitat hectares’ approach[J]. *Ecological Management and Restoration*, 2003, 4(s1):S29–S38.
- [17] MAGURRAN A. *Measuring biological diversity* [M]. Blackwell, Oxford, 2004:1–285.
- [18] ABBOTT I, MELLICAN A, CRAIG M D, et al. Short-term logging and burning impacts on species richness, abundance and community structure of birds in open eucalypt forest in Western Australia[J]. *Wildlife Research*, 2003, 30(4):321–329.
- [19] DORAZIO R M, ROYLE J A, SÖDERSTRÖM B, et al. Estimating species richness and accumulation by modeling species occurrence and detect ability[J]. *Ecology*, 2006, 87(4):842–854.
- [20] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I:  $\alpha$  多样性的测度方法(下)[J]. *生物多样性*, 1994, 2(4):231–239.
- [21] LEYNAUD G C, BUCHER E H. Restoration of degraded chaco woodlands: effects on reptile assemblages[J]. *Forest Ecology Management*, 2005, 213(1–3):384–390.
- [22] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. *Taxom*, 1972, 21(2–3):213–251.
- [23] WALLA T R, ENGEN S, ENGEN S, et al. Modeling vertical beta-diversity in tropical butterfly communities[J]. *Oikos*, 2004, 107(3):610–618.
- [24] BECK J A N, VUN KHEN C. Beta-diversity of geometrid moths from northern Borneo: effects of habitat, time and space[J]. *The Journal Animal Ecology*, 2007, 76(2):230–237.
- [25] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II:  $\beta$  多样性的测度方法[J]. *生物多样性*, 1995, 3(1):38–43.
- [26] Wilson M V, Sehnfida A. Measuring beta diversity with presence-absence data[J]. *Journal of Ecology*, 1984, 72(3):1055–1064.
- [27] 高贤明, 马克平, 黄建辉, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 XI: 山地草甸  $\beta$  多样性[J]. *生态学报*, 1998, 18(1):24–32.
- [28] GASTON K J. *Biodiversity: a biology of numbers and difference* [M]. Blackwell, Oxford, 1996:1–396.
- [29] 谢晋阳, 陈灵芝. 中国暖温带若干灌丛群落多样性问题的研究[J]. *植物生态学报*, 1997, 21(3):197–207.
- [30] Hurlbert S H. The non-concept of species diversity: critique and alternative parameters[J]. *Ecology*, 1971, 52(4):577–586.
- [31] SIMPSON E H. Measurement of diversity[J]. *Nature*, 1949, 163:688.
- [32] PIELOU E C. *Mathematical ecology* [M]. New York: Wiley-Interscience, 1985, 205–223.
- [33] Pielou E C. 卢泽愚译. *数学生态学引论* [M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [34] 洪伟, 吴承祯. Shannon–Wiener 指数的改进[J]. *热带亚热带植物报*, 1999, 7(2):120–124.
- [35] DURKA W, ALTMOSS M, HENLE K. *Naturschutz in*



- Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzession (Nature conservation in former brown coal mining areas south of Leipzig with special reference to spontaneous succession)[R].UFZ-Bericht, 1997, 22:1-209.
- [36] COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (1992) EC HABITATS DIRECTIVE. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora[R].Official Journal of the European Communities, Series L, 206:750. <http://circa.europa.eu/Public/irc/env/monnat/library>.
- [37] Tjørve E. Habitat size and number in multi-habitat landscapes: a model approach based on species-area curves[J].Ecography, 2002, 25(1):17-24.
- [38] Triantis K A, Mylonas M, Liika K, et al. A model for the species-area-habitat relationship[J].Journal of Biogeography, 2003, 30(1):19-27.
- [39] Koh L P, Ghazoul J. A matrix-calibrated species-area model for predicting biodiversity losses due to land-use change[J].Conservation Biology, 2010, 24(4):994-1001.
- [40] Pereira H M, Daily G C. Modeling biodiversity dynamics in countryside landscapes[J].Ecology, 2006, 87(8):1877-1885.
- [41] ten Brink B. Biodiversity Indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy[R].National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), The Netherlands, 2000:1-52.
- [42] ten Brink B J E, van Hinsberg A, de Heer M, et al. Technical design natural capital index framework and implementation for the nature outlook 2[R].National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), The Netherlands, 2002:1-189.
- [43] 吴鹏飞,朱波.重庆市生物多样性与生境敏感性评价[J].西南农业学报,2008,21(2):301-304.
- [44] Myers N. Threatened biotas: "Hot spots" in tropical forests[J].The Environmentalist, 1988, 8(3):187-208.
- [45] Myers N. The biodiversity challenge: Expanded hot spots analysis[J].The Environmentalist, 1990, 10(4):243-256.
- [46] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities[J].Nature, 2000, 403(6772):853-858.
- [47] Mackinnon J, Sha M, Cheung C, et al. A Biodiversity review of China[M].Hong Kong: WWF International, 1996:1-529.
- [48] van Welzen P C, Madern A, Raes N, et al. The current and future status of floristic provinces in Thailand [M].Land Use, Climate Change and Biodiversity Modelling: Perspectives and Applications Chapter: 11. IGI Global, 2011:219-247.
- [49] Raes N, Roos M C, Slik J W F, et al. Botanical richness and endemism patterns of Borneo derived from species distribution models[J].Ecography, 2009, 32(1):180-192.
- [50] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology [J]. Ecological Modelling, 2000, 135(2-3):147-186.
- [51] Yahara T, Akasaka M, Hirayama H, et al. Strategies to observe and assess changes of terrestrial biodiversity in the Asia-Pacific regions [A].In: Nakano S, Yahara T, Nakashizuka T. The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region [C]. Springer Japan, 2012:3-19.
- [52] Bonn A, Rodrigues A S L, Gaston K J. Threatened and endemic species: are they good indicators of patterns of biodiversity on a national scale? [J].Ecology Letter, 2002, 5(6):733-741.
- [53] Veech J A. Choice of species-area function affects identification of hotspots[J].Conservation Biology, 2000, 14(1):140-147.
- [54] Reid W V. Biodiversity hotspots[J].Trends In Ecology and Evolution, 1998,13(7):275-280.
- [55] 倪健,陈仲新,董鸣,等.中国生物多样性的生态地理区划[J].植物学报,1998,40(4):370-382.
- [56] 李智琦,欧阳志云,曾慧卿.基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法[J].生态学报,2010,30(6):1586-1593.
- [57] Pimm S L, Lawton J. Planning for biodiversity[J].Science, 1998, 279(5359):2068-2069.
- [58] 陈灵芝.中国的生物多样性现状及其保护对策[M].北京:科学出版社,1993:1-243.
- [59] 蒋志刚,马克平,韩兴国.保护生物学[M].杭州:浙江科学技术出版社,1997:1-311.
- [60] 中国生物多样性国情研究报告编写组.中国生物多样性国情研究报告[R].北京:中国环境科学出版社,1998:191-210.
- [61] 刘广超,陈建伟.我国西部地区生物多样性热点地区的评定与划分[J].西部林业科学,2004,33(3):18-25.
- [62] 李迪强,宋延龄.热点地区与 GAP 分析研究进展[J].生物多样性,2000,8(2):208-214.

- [63] POWELL G V N, BARBORAK J, RODRIGUEZ S M. Assessing representativeness of protected natural areas in Costa Rica for conserving biodiversity: a preliminary gap analysis[J]. *Biological Conservation*, 2000, 93(1):35-41.
- [64] DAVIS D, STOMS M, ESTES J E, et al. An information systems approach to the preservation of biological diversity [J]. *International Journal of Geographic Information Systems*, 1990, 4(1):55-78.
- [65] SCOTT J M, DAVIS F, CSUTI B, et al. Gap analysis: a geographic approach to protection of biological Diversity [J]. *Wildlife Monographs*, 1993, 123:3-41.
- [66] Scott J M, Csuti B, Estes J E. Species richness: a geographic approach to protecting future biological diversity [J]. *Bioscience*, 1987, 37(11):782-788.
- [67] NOSS R F. Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators [J]. *Forest Ecology and Management*, 1999, 115(2-3):135-146.
- [68] Jennings M D. Gap analysis: concepts, methods, and recent results [J]. *Landscape Ecology*, 2000, 15(1):5-20.
- [69] JENNINGS M D. Gap analysis: concepts, methods, and recent results [J]. *Landscape Ecology*, 2000, 15(1):5-20.
- [70] JELASKA S, NIKOLIĆ T, ŠERIĆ JELASKA L, et al. Terrestrial biodiversity analyses in Dalmatia (Croatia): a complementary approach using diversity and rarity [J]. *Environmental Management*, 2010, 45(3):616-625.
- [71] 李迪强, 蒋志刚, 王祖望. 青海湖地区生物多样性的空间特征与 GAP 分析 [J]. *自然资源学报*, 1999, 14(1):47-54.
- [72] 田自强, 陈玥, 陈伟烈. 神农架龙门河地区基于植被的 GAP 分析 [J]. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊):40-45.
- [73] BEARDSLEY K, STOMS D M. Compiling a digital map of areas managed for biodiversity in California [J]. *Natural Areas Journal*, 1993, 13(3):177-190.
- [74] Jenfings M D. A confluence of biology, ecology, and geography for the man agement of biological resources [J]. *The Wildlife Scocioty Bulletin*, 1995, 23(4):658-662.
- [75] 李昊民, 罗咏梅, 王四海, 等. 替代指标在生物多样性快速评价中的应用 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(6):1270-1278.
- [76] Balmford A, Bennun L, ten Brink B, et al. The Convention on Biological Diversitys 2010 Target. *Science*, 2005, 307:212-213.
- [77] BEATTIE A J, OLIVER I. Taxonomic minimalism. *Trends in Ecology and Evolution*, 1994, 9(12):488-490.
- [78] STORK N E, SAMWAYS M J. Inventorying and monitoring of biodiversity [A]. In: Heywood V H (ed) *Global Biodiversity Assessment* [C]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1995:453-544.
- [79] Mar C, Anni A, Astrid VT. Top predators: hot or not? A call for systematic assessment of biodiversity surrogates [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(3):976-980.
- [80] COWELL S J. Environmental life cycle assessment of agricultural systems: integration into decision making [M]. Univeristy of Surrey, Guildford, UK, 1998.
- [81] INNES J L, KOCH B. Forest biodiversity and its assessment by remote sensing [J]. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 1998, 7(6):397-419.
- [82] 郭中伟, 李典漠, 甘雅玲. 森林生态系统生物多样性的遥感评估 [J]. *生态学报*, 2001, 21(8):1369-1380.
- [83] GOULD W A, WALKER M D. Landscape-scale patterns in plant species richness along an arctic river [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1997, 75(10):1748-765.
- [84] LUNG T, SCHAAB G. Assessing fragmentation and disturbance of west Kenyan rainforests by means of remotely sensed time series data and landscape metrics [J]. *African Journal of Ecology*, 2006, 44(4):491-506.
- [85] ROUGET M, COWLING R, VLOK J, et al. Getting the biodiversity intactness index right: The importance of habitat degradation data [J]. *Global Change Biology*, 2006, 12(11):2032-2036.
- [86] OINDO B O, SKIDMORE A K, de SALVO P. Mapping habitat and biological diversity in the Maasai Mara ecosystem [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5):1053-1069.
- [87] TELLERIA J L, BAQUERO R, SANTOS T. Effects of forest fragmentation on European birds: implications of regional differences in species richness [J]. *Journal of Biogeography*, 2003, 30(4):621-628.
- [88] NAGENDRA H. Review article: Using remote sensing to assess biodiversity [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(12):2377-2400.
- [89] 徐文婷, 吴炳方. 遥感用于森林生物多样性监测的进展 [J]. *生态学报*, 2005, 25(5):1199-1204.
- [90] SCOLOZZI R, GENELETTI D. Spatial rule-based assessment of habitat potential to predict impact of land use changes on biodiversity at municipal scale [J]. *Environmental Management*, 2011, 47(3):368-383.
- [91] WU J, DAVID J L. A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory

- and applications[J]. *Ecological Modelling*, 2002, 153(1-2):7-26.
- [92] KERR J T, SOUTHWOOD T R E, CIHLAR J. Remotely sensed habitat diversity predicts butterfly species richness and community similarity in Canada [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 2001, 98(20):11365-11370.
- [93] GOTTSCHALK T K, HUETTMANN F, EHLERS M. Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationships using satellite imagery data: a review [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2005, 26(12):2631-2656.
- [94] GRIFFITHS G, LEE J. Landscape pattern and species richness: Regional scale analysis from remote sensing [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(13):2685-2704.
- [95] SAURA S. Effects of remote sensor spatial resolution and data aggregation on selected fragmentation indices [J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(2):197-209.
- [96] LANGFORD W T, GERGEL S E, DIETTERICH T G, et al. Map misclassification can cause large errors in landscape pattern indices: Examples from habitat fragmentation [J]. *Ecosystems*, 2006, 9(3):474-488.
- [97] GILLESPIE T W. Predicting woody-plant species richness in tropical dry forests: A case study from South Florida, USA [J]. *Ecological Applications*, 2005, 15(1):27-37.
- [98] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. *Taxom*, 1972, 21(2-3):213-251.
- [99] GEYER R, LINDNER J P, STOMS D M, et al. Coupling GIS and LCA for biodiversity assessments of land use. *International Journal of Life Cycle Assessment* [J]. *International Journal of Life Cycle Assess*, 2010, 15(7):692-703.
- [100] LUND H G, EVANS D L AND LIND E D S. Scanned, zapped, timed, and digitized! Advanced technologies for measuring and monitoring vegetation diversity [A]. In: BOYLE T J B, BOONTAWEE B, ed. *Measuring and monitoring biodiversity in tropical and temperate forests* [C]. Centre for International Forestry Research, Bogor, 1995:365-382.
- [101] WOODCOCK C E, STRAHLER A H. The factor scale in remote sensing [J]. *Remote Sensing of Environment*. 1987, 21(3):311-332.
- [102] LAURA M B, ANNA M P, VOLKER C R, et al. Modeling habitat suitability for greater rheas based on satellite image texture [J]. *Ecological Applications*, 2008, 18(8):1956-1966.
- [103] ROBIN M F, BERNARD J D, SIMON G, et al. Indices of bird-habitat preference from field surveys of birds and remote sensing of land cover: a study of south-eastern England with wider implications for conservation and biodiversity assessment [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, 14(3):223-239.
- [104] KRISHNASWAMY J, BAWA K S, GANESHIAH K N, et al. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahalanobis distance surrogate [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(4):857-867.
- [105] GRANT M H, CLINTON N J, STUART L P. Refining biodiversity conservation priorities [J]. *Conservation Biology*, 2005, 19(6):1957-1968.
- [106] DOGAN H M, DOGAN M. A new approach to diversity indices-modeling and mapping plant biodiversity of Nallihan (A3-Ankara/Turkey) forest ecosystem in frame of geographic information Systems [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15(3):855-878.
- [107] FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). *Guidelines for soil description* [R]. Rome, Italy, 1990:1-97.
- [108] UNESCO. *International classification and mapping of vegetation* [R]. Paris: Ecology and Conservation, Publication No.6, Unesco, 1973:1-93.
- [109] Hawkins B A, Field R, Comell H V, et al. Energy, water and broad-scale geographic patterns of species richness [J]. *Ecology*, 2003, 84(12):3105-3117.
- [110] Leyequien E, Verelst J, Slot M, et al. Capturing the fugitive: Applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity [J]. *International Journal of Applied Each Observation and Geoinformation*, 2007, 9(1):1-20.
- [111] Palmer M W, Earls P G, Hoagland B W, et al. Quantitative tools for perfecting species lists [J]. *Environmetrics*, 2002, 13(2):121-137.
- [112] Foody G M, Cutler M E J. Mapping the species richness and composition of tropical forests from remotely sensed data with neural networks [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 195(1/2):37-52.
- [113] GREGORY P A, ROBERTA E M. Airborne spectranomics: mapping canopy chemical and taxonomic diversity in tropical forest [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(5):269-276.

- [114] 方彬,陈波,张元.生物多样性遥感监测尺度选择及制图研究[J].地理与地理信息科学,2007,23(6):78-81.
- [115] ZHANG C H, LI W Y, HU Z B, et al. Distribution pattern of tree layers species diversity based on RS and GIS: A case study of water conservation forests in montane regions of eastern Liaoning Province of China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9):1749-1755.
- [116] 宋晓龙,李晓文,张明祥,等.黄淮海地区湿地系统生物多样性保护格局构建[J].生态学报,2010,30(15):3593-3565.
- [117] Aspinall R, Birnie D. Principles related to the extraction of ecologically-significant measures from satellite imagery [R]. Remote Sensing in Landscape Ecological Mapping, 1994. Report EUR 16265 EN. European Commission, Brussels, 1994. 41-50.
- [118] 刘灿然,马克平,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究 IV 样本大小对多样性测度的影响[J].生态学报,1997,17(6):585-592.
- [119] MALCOLM J R, LIU C, NEILSON R P, et al. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots[J]. Conservation Biology, 2006, 20(2):538-548.
- [120] ARRHENIUS O. Species and area[J]. Journal of Ecology, 1921, 9(1):95-99.
- [121] GONTIE M. Biodiversity in environmental assessment: tools for impact prediction[J]. KTH Land and Water Resources Engineering, 2005, 35(3):13-15.
- [122] 李双成,高江波.基于 GARP 模型的紫茎泽兰空间分布预测—以云南纵岭谷为例[J].生态学杂志,2008,27(9):1531-1536.
- [123] 王利松,陈彬,纪力强,等.生物多样性信息学研究进展[J].生物多样性,2010,18(5):429-443.
- [124] Holdridge L R. Determination of world plant formations from simple climate data [J]. Science, 1947, 105(2727):367-368.
- [125] Airrola D A. Guide to the California wildlife habitat relationships system[M]. Sacramento: California department of fish and game, 1988.
- [126] 王志强,陈志超,郝成元.基于 HIS 模型的扎龙国家级自然保护区丹顶鹤繁殖生境适宜性评价[J].湿地科学,2009,7(3):197-201.
- [127] JIGUET F, JULLIARD R, COUVET D, et al. Modeling spatial trends in estimated species richness using breeding bird survey data: a valuable tool in biodiversity assessment[J]. Biodiversity Conservation, 2005, 14(13):3305-3324.
- [128] INGRAM T, STEEL M. Modelling the unpredictability of future biodiversity in ecological networks[J]. Journal of Theoretical Biology, 2010, 264(3):1047-1056.
- [129] 马胜男,岳天祥.中国西部地区遥感数据生态多样性多尺度模拟[J].地球信息科学学报,2006,8(1):97-102,142,143.
- [130] KYLAKORPI K, RYDGREN B, ELLEGÅRD A, et al. The Biotope Method 2005: a method to assess the impact of land use on biodiversity[M]. Vattenfall, Sweden P B, 2005:1-32.
- [131] MICHELSEN O. Assessment of Land Use Impact on Biodiversity: Proposal of a new methodology exemplified with forestry operations in Norway[J]. International Journal of Life Cycle Assess, 2007, 13(1):22-31.
- [132] BACH K, SCHÄFER D, ENKE N, et al. A comparative evaluation of technical solutions for long-term data repositories in integrative biodiversity research[J]. Ecological Informatics, 2012, 11, 16-24.
- [133] BAILLIE J E M, COLLEN B, AMIN R, et al. Towards monitoring global biodiversity. Conservation Letters, 2008, 1(1):18-26.
- [134] OECD (Organization of Economic Cooperation and Development). OECD Core set of Indicators for environmental performance review. Environmental Monograph No. 83, Paris: OECD, 1993.
- [135] HOLDGATE M. From care to action: making a sustainable world [M]. London: IUCN/Earthscan, OECD, Earthscan, 1996:1-346.
- [136] CBD (Convention on Biological Diversity). Recommendations for a core set of indicators of biological diversity [R]. UNEP/CBD/SBSTTA/3/Inf. 13. Montreal: CBD Secretariat, 1997.
- [137] OECD. Saving Biological Diversity—Economic Incentives [M]. Paris: OECD, 1996:1-148.
- [138] TURNER R K, LORENZONI I, BEAUMONT N, et al. Coastal management for sustainable development: analyzing environmental and socio-economic changes on the UK coast[J]. The Geographical Journal, 1998, 164(3):269-281.
- [139] MARIA R P. Elements of an SEA framework—improving the added-value of SEA[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 20(6):647-663.
- [140] 李金良,郑小贤.东北过伐林区林业局级森林生物多样性指标体系研究[J].北京林业大学学报,2003,25(1):48-32.
- [141] Scholes R J, Biggs R. A biodiversity intactness index.

- Nature, 2005, 434:45-49.
- [142] 李果,吴晓菁,罗遵兰,等.构建我国生物多样性评价的指标体系[J].生物多样性,2011,19(5):497-504.
- [143] 杨宇明,王娟,田昆,等.云南生物多样性评估方法与测评指标体系研究[A].马克平.中国生物多样性保护与研究进展VI-第六届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集[C].北京:气象出版社,2004,41-48.
- [144] 郝云庆,王新,刘少英,等.若尔盖湿地保护区生物多样性评价[J].中国水土保持科学,2008,6(增刊):35-40.
- [145] 许再富,陶国达.地区性的植物受威胁及优先保护综合评价方法讨论[J].云南植物研究,1987(2):193-202.
- [146] 薛达元,蒋明康,李正方,等.苏浙皖地区珍稀濒危植物分级指标的研究[J].中国环境科学,1991,1(3):161-166.
- [147] DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS. Biodiversity indicators in your pocket 2007: measuring progress towards halting biodiversity loss [R].London, UK, <http://jncc.defra.gov.uk/pdf/2010-BIYP2007.pdf> (Accessed 2010-03-24)
- [148] BIP (BIODIVERSITY INDICATORS PARTNERSHIP). Biodiversity indicators and the 2010 target: experiences and lessons learnt from the 2010 biodiversity partnership. Technical Series No. 53. Secretariat of the Convention on Biodiversity Diversity [R].Montréal, Canada. 2010. <http://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-53-en.pdf>. (Accessed 2011-01-01)

## A Review on Assessment Methods of Biodiversity

LI Zhongfei<sup>1,2</sup>, GAO Jixi<sup>2</sup>

(1.College of Ecology and Soil & Water Conservation, Southwest Forest University, Kunming Yunnan Province650224, China;

2.Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing Jiangsu Province210042, China)

**Abstract:** Effective evaluating state, changes, etc. of biodiversity is the foundation of implementing biodiversity conservation. But so far, a widely accepted framework and method for biodiversity assessment still lacks. A review about method of estimating or assessing biodiversity at home and abroad is developed in this paper, and limitations of each method in practical application are evaluated. Biodiversity assessments based on the classic ecology research are focused on the scales or level of species and community, and the measuring index includes  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  diversity index, which emphasizes the species richness and calculation of diversity index. When facing the demand of protection and management biodiversity, some of assessment methods which are basis of a single study goal such as habitat oriented, analysis of GAP, division of hot spots, proxy indicator, and so on, are applied. Meanwhile, technical means such as remote sensing, model simulation, etc. are employed. Such assessment methods emphasize a profile of biodiversity, which is difficult to synthetically reflect the state, change, threats, impact, and the response of the policy decision system of biodiversity. At present, a comprehensive assessment method based on DSPIR index framework has been widely used in the world. However, the evaluators are facing difficulties about how to build a set of suitable index system and weight in China. Therefore, it is in urgent need of a set of comprehensive evaluation method suited to national situation of China. At the same time, some rapid assessment methods on biodiversity applied by other countries should be referenced for China.

**Key words:** biodiversity; assessment method; comprehensive assessment