

区域生态系统健康评价
——研究方法与发展

彭 建^{1 2} ,王仰麟² ,吴健生^{1 2} ,张玉清¹

(1. 北京大学深圳研究生院 城市人居环境科学与技术重点实验室 深圳 518055 2. 北京大学城市与环境学院 北京 100871)

摘要 生态系统健康评价是当前宏观生态学与生态系统管理研究的热点问题之一 ,区域尺度的生态系统健康评价则是生态系统健康评价研究的一个重要发展方向。在探讨生态系统健康时空尺度特征的基础上 ,明确界定了区域生态系统健康及其评价等相关概念 ,结合目前区域尺度生态系统健康评价的相关研究进展 ,从评价的区域类型、目标单元、模型方法、指标选取及其阈值、权重设定等方面探讨了区域生态系统健康评价的基本原理与方法 ,并展望了进一步研究的重点方向 ,即评价结果的多尺度综合与尺度转换、景观生态学理论与方法的应用、3S 技术的综合应用等理论与技术问题。

关键词 区域生态系统健康评价 ;空间尺度 ;评价理论与方法 ;研究进展

文章编号 :1000-0933 (2007)11-4877-09 中图分类号 :X171 文献标识码 :A

Evaluation for regional ecosystem health : methodology and research progress

PENG Jian^{1 2} , WANG Yang-Lin² , WU Jian-Sheng^{1 2} , ZHANG Yu-Qing¹

1 The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences , Shenzhen Graduate School , Peking University , Shenzhen 518055 , China

2 College of Urban and Environmental Sciences , Peking University , Beijing 100871 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11) 4877 ~ 4885.

Abstract : The evaluation for ecosystem health is one of the hotspots within the fields of macro ecology and ecosystem management. Conducting analysis at the regional scale is an important direction for evaluating ecosystem health. Changing the spatial scale from the local to the regional level leads to great differences in the targets and methodologies for evaluating ecosystem health and creates a new direction for regional ecosystem health research. Compared to ecosystem health at the local scale , which refers to a single ecosystem type , regional ecosystem health focuses on the health conditions and spatial patterns of different ecosystem types. However , there is little attention to this very research. Based on the progress on ecosystem health research at the regional scale , the study reported in this paper aims to discuss the implications of the concept of regional ecosystem health and to put forward a methodology for evaluating regional ecosystem health. The main results are as follows : (1) there is a significant scaling effect on the ecosystem health analysis and the regional level is the key scale used to focus on the correlation between spatially neighboring ecosystems in terms of ecosystem health ; (2) regional ecosystem health can be defined through these four aspects , i. e. vigor , organization , resilience , and ecosystem service function ; (3) the basic object of the evaluation for regional ecosystem health is spatial entity , which is the matrix of different ecosystem types ; (4) the index system method is the only approach for evaluating regional ecosystem health ; (5) the absolute thresholds of the evaluation indices for regional ecosystem health do not exist ; the aim of the evaluation is to discuss the temporal change and spatial differences of health conditions and not to ascertain whether a region is healthy or

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目 (40635028) ;国家自然科学基金资助项目 (40471002)

收稿日期 2007-05-15 ;修订日期 2007-09-28

作者简介 彭建 (1976 ~) ,男 ,四川成都人 ,博士 ,主要从事景观生态与土地利用研究. E-mail : jianpeng@ hotmail. com

Foundation item : The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40635028 , 40471002)

Received date 2007-05-15 ; **Accepted date** 2007-09-28

Biography PENG Jian , Ph. D. , mainly engaged in landscape ecology and land use. E-mail : jianpeng@ hotmail. com

not in the view of ecological sustainability ;and (6) the integration of results from the evaluation at multi-spatial scales ,the application of this methodology to landscape ecology ,and the utilization of geographic information systems (GIS) ,remote sensing (RS) ,and Global Positioning Systems (GPS) technologies are the main directions for further research.

Key Words : evaluation for regional ecosystem health ; spatial scale ; evaluation methodology ; research progress

自然生态系统提供了人类赖以生存和发展的物质基础与生态服务 ,维持健康的生态系统是实现人类社会经济可持续发展的根本保证^[1]。而作为环境管理的目的与基础 ,生态系统健康则为环境管理提供了新思路和新方法^[2,3]。因此 ,由于健康概念对可持续的人类未来的本质刻画^[4] ,在全球社会经济高速发展导致自然生态系统健康状况日益恶化的严峻形势下 ,生态系统健康及其评价研究不仅具有重要的应用价值 ,而且丰富了现代生态学的研究内容^[5] ,已成为当前生态系统管理的重要问题^[6] ,生态系统综合评估的核心内容^[7] ,和宏观生态研究的热点领域之一^[8]。

作为宏观生态学的重要研究对象 ,生态系统健康具有显著的时空尺度特征^[9]。区域作为宏观生态系统管理研究与实践的最适宜空间尺度 ,是进行生态系统健康及其评价研究的关键尺度 ,区域生态系统健康评价则逐步成为生态系统健康评价研究的重要方向之一^[10]。而研究尺度的放大 ,必然导致区域生态系统健康不同于生态系统健康的内在特质 ,相应评价原理与方法亦有不同。因此 ,本研究结合目前区域尺度生态系统健康评价的相关研究进展 ,探讨区域生态系统健康评价的基本原理与方法 ,进而展望下一步的研究重点与方向。

1 从生态系统健康到区域生态系统健康

1.1 生态系统健康

生态系统健康指结合人类健康 ,在生态学框架下对生态系统状态特征的一种系统诊断方式。目前关于这一概念的确切定义 ,国内外学者仍未达成共识^[2,11]。众多学者分别从不同的学科视角和研究个案出发对其进行界定 ,而依据是否考虑生态系统对人类社会的服务功能 ,可以简单的划分为生物生态学定义和生态经济学定义两类 ,其中 ,前者主要提出于 20 世纪 90 年代早期 ,以 Costanza^[2]的定义为代表 ,但多局限于生物物理范畴 ,倾向于强调生态系统的自然生态方面 ,而忽视社会经济与人类健康因素 ;后者则多于 20 世纪 90 年代晚期提出 ,以 Rapport 等^[8]的界定最为典型 ,将人类视为生态系统的组成部分 ,同时考虑生态系统自身的健康状况及其满足人类需求和愿望的程度 ,即生态系统服务功能。综合来看 ,生态经济学定义代表了生态系统健康概念研究的最新进展 ,得到了多数学者的认同。

1.2 生态系统健康的时空尺度特征

尺度问题是当前生态学研究的核心问题之一^[12] ,格局、功能与过程研究都必须考虑尺度效应。生态系统健康属于宏观生态功能范畴 ,其实现与维持同样存在尺度依赖性。当选取的尺度不一时 ,评估结果往往差异显著^[9]。生态系统健康研究涉及生物细胞、组织、个体、种群、群落、生态系统、景观/区域、陆地/海洋与全球等不同尺度上的对象 ,但具有宏观生态学意义的主要包括生态系统、区域/景观和全球三大层次。生态系统健康研究重点也因时空尺度的变化而异 ,其中 ,生态系统是生态系统健康研究的基本尺度 ,研究主要着眼于生产者、消费者、分解者与非生物环境等生态系统组成要素的动态特征 ,强调生态系统对外部环境的影响与响应 ,及其与人类健康的相互关联 ;区域/景观是生态系统健康研究的核心尺度 ,研究主要着眼于景观空间格局对生态过程的影响 ,和生态系统服务功能的动态维持 ,强调空间邻接关系对相邻生态系统的作用 ,全球是生态系统健康研究的目标尺度 ,研究主要着眼于生物多样性、生物地球化学循环和能量转化效率 ,强调生态系统服务功能与人类需求的动态平衡。

生态科学研究中尺度的一大特性是它的不可推绎性 ,尽管不同尺度之间的空间镶嵌包容性决定了不同尺度下生态系统健康的相互关联性 ,但特定尺度上的生态系统健康并不能线性地还原到更小的尺度上去 ,反之 ,大尺度上的生态系统健康也不是单个小尺度上生态系统健康的简单累加。因此 ,选取一个合适的空间尺度以正

确反映生态系统健康的状态 ,至关重要^[3]。全球尺度的研究 ,有利于从总体上了解全球生态系统健康态势 ,并可加深公众对生态系统健康问题的认识 ,但却失去了决策者们制定政策所必须的地方性特点^[7] ,当今世界社会经济、文化传统与生态环境的巨大差异 ,决定了全球不是一个探讨生态系统健康可操作的空间途径 ;尽管生态系统尺度的健康研究是宏观生态系统管理的基本依据 ,有助于解析大尺度生态系统健康的成因机理 ,但生态系统更多的属于类型研究范畴 ,难以反映地域空间的整体健康状况 ,也非可操作的空间单元 ,而中尺度的区域/景观 ,作为一个不同生态系统空间镶嵌而成的地域单元 ,是全球尺度研究的重要基础 ,既能将宏观 (全球)与微观 (生态系统)尺度的健康问题紧密联系起来 ,又能使生态系统健康状态与社会经济影响相互关联 ,是进行生态系统健康研究的关键尺度 ,尽管国内外生态系统健康及其评价研究的空间尺度一直主要集中在森林、草地、河流、海洋、湿地、沙漠和农田、城市等单一的自然、人工生态系统尺度 ,直到近年才开始应用到区域/景观水平^[7,8]。

1.3 区域生态系统健康及其评价

区域生态系统健康 ,指一定时空范围内 ,不同类型生态系统空间镶嵌而成的地域综合体在维持各生态系统自身健康的前提下 ,提供丰富的生态系统服务功能的稳定性和可持续性 ,即在时间上具有维持其空间结构与生态过程、自我调节与更新能力和对胁迫的恢复能力 ,并能保障生态系统服务功能的持续、良好供给。因此 ,区域生态系统健康包括活力、组织力、恢复力与生态系统服务功能等 4 方面特征。其中 ,活力揭示了区域/景观生态系统的功能 ,一般用新陈代谢能力或初级生产力等来测度 ;组织力可根据区域/景观结构的整体稳定性及各组分间的相互连通性来评价 ;恢复力指景观镶嵌体在胁迫下维持其原状结构与功能的能力 ;生态系统服务功能则需考虑不同生态系统空间邻接关系对其服务功能的影响。

区域生态系统健康评价与生态系统健康评价具有紧密联系和显著差异。一方面 ,生态系统尺度的健康评价 ,是对某一特定生态系统类型的健康评价 ,更多的是为生态系统诊断疾病 ,本质上属于类型质量评价的范畴 ;另一方面 ,区域生态系统健康评价在生态系统健康评价的基础上 ,以生态系统服务功能为核心 ,更关注健康的空间维度 ,强调不同类型生态系统的空间镶嵌格局 ,尤其是空间邻接关系对这种类型健康的影响 ,是对类型质量评价、数量结构评价与空间格局评价的综合。

2 区域生态系统健康评价原理与方法

与国外生态系统健康研究具有较长的历史渊源不同 ,我国的生态系统健康及其评价研究起步较晚 ,据正式发表文献的不完全统计 ,最早始于 1994 年 ,此后一直到 2004 年左右都侧重于生态系统健康相关概念及其评价理论方法的概况介绍与研究综述 ,从 2002 年开始出现有关生态系统健康评价的个案分析 ,但多为湖泊、森林等自然生态系统的类型健康评价 ,同年 ,区域尺度生态系统健康评价开始涌现 ,并逐步成为当前我国生态系统健康评价的重要研究领域。总体而言 ,我国 (区域)生态系统健康及其评价研究目前相对较为薄弱 ,仍处于起步阶段 ,在评价理论与方法上缺乏创新 ,以跟踪国际前沿为主 ,但研究重点正逐步从相关概念和理论方法的概述和研究综述向评价指标体系转移。

2.1 评价的区域类型

目前 ,我国区域尺度的生态系统健康评价研究主要针对以下类型区域展开 :湿地^[14-16]、草地^[17]、农田^[18]、黄土丘陵区^[19]、城市^[20-23]、行政区^[10,24,25]。其中 ,关于城市生态系统的健康评价历史最长 ,持续时间最久 ,个案研究最丰富 ,这可能与近十余年来我国城市化快速发展过程中相关生态环境问题突出 ,宏观生态学研究对此较多关注有所关系 ,湿地也以其重要的生态系统服务功能价值而引起了学者们的高度重视 ,相对而言 ,草地、农业、黄土丘陵区等近自然地域的生态系统健康评价相对关注较少 ,这与近年来国际上强调人类管理景观的生态系统健康评价的趋势^[26] ,是基本一致的 ,而针对行政区域的生态系统健康评价则相对较少 ,刚刚起步。但行政区作为人类社会经济活动的基本空间单元 ,相对自然区域而言 ,其健康评价结果更为公众感知 ,同时 ,对生态系统健康构成压力的社会经济指标都是依据行政单元统计的 ,宏观生态系统管理也往往采用行政单元 ,因此 ,行政区是区域尺度生态系统健康评价一种重要的区域类型 ,有望成为下一步的研究热点。

此外,其它类型区域,如山区、海岸带、农牧交错带等的生态系统健康评价,也有待补充,以完善区域案例。

2.2 评价的目标单元

由于区域的根本特性在于空间异质性,即不同类型生态系统在地域单元上的空间镶嵌,依据生态整体性整体大于部分之和的基本原理,严格的说,区域生态系统健康评价应是对地域空间内多种生态系统组成的空间镶嵌体的健康状态的综合评价,而非对各类生态系统健康状态单一评价结果的简单加和,其评价结果不仅能揭示区域整体的健康状况,而且往往以区域内部不同空间单元生态系统健康状态的空间差异为重要表征。因此,区域生态系统健康评价应以区域整体或其内部细分的空间单元为基本评价单元,这些评价单元均是不同类型生态系统的空间镶嵌体,而生态系统健康评价,则以特定类型的生态系统为评价单元,可以是对一个生态系统的健康评价,如对池塘生态系统健康的评价,也可以是对地域空间内所有生态系统(类型相同或不同)的健康评价,如对全国森林生态系统的健康评价,尤其是对后一种情况,尽管评价工作是在区域尺度上开展的,但评价的基本单元却是生态系统,评价的基本原理、方法均属于生态系统的类型健康评价范畴,区域生态系统健康评价,作为一个有着鲜明生态学意义的生态系统健康研究专用术语,与区域尺度的生态系统健康评价有着本质的区别,就概念的外延而言,区域生态系统健康评价一定是区域尺度的生态系统健康评价,但区域尺度的生态系统健康评价却不完全都属于区域生态系统健康评价的范畴。

依照上述对区域生态系统健康评价的界定,与行政区生态系统健康评价相比,其它特定生态系统类型区域的生态系统健康评价,不少研究都或多或少的有着生态系统类型健康评价的内容,而非严格意义上的强调空间的区域生态系统健康评价,即使在已有的行政区生态系统健康评价中,也有部分研究^[24-25]未能考虑空间格局的对生态系统类型健康的作用,本质上是对不同类型生态系统的健康评价,属于区域尺度的生态系统类型健康评价范畴。

2.3 评价的模型方法

生态系统健康评价一般包括指示物种法和指标体系法两种方法^[1]。其中,指示物种法简便易行,主要依据生态系统的键种、特有种、指示种、濒危种等的数量、生产力、结构功能指标等来描述生态系统的健康状况,但由于指示物种的筛选标准及其对生态系统健康指示作用的强弱不明确^[1],且未考虑社会经济和人类健康因素,难以全面反映生态系统的健康状况^[9],该方法存在严重的不足,尤其不适用于人类活动主导的复杂生态系统的健康评价,指标体系法则根据生态系统的特征及其服务功能建立指标体系进行定量评价,选取的指标既包括生态系统的结构、功能和过程指标,也可以是社会经济和景观格局、土地利用指标^[1],该方法以其提供信息的全面性和综合性而被广泛应用于生态系统健康评价中^[21]。区域作为多种生态系统的地域空间镶嵌体,显然很难找到恰当的指示物种(群)对其健康状况进行监测,因此,指标体系法是区域生态系统健康评价的唯一方法,国内目前已有的相关研究也均采用该方法。

而在建立指标体系后,目前生态系统健康评价采用的具体模型方法则包括综合指标法和模糊综合评价法两类。其中,综合评价法一般通过层次分析法确定指标权重,构建综合指数对系统健康状况进行综合定量评判,模糊综合评价法认为生态系统健康与否完全取决于标准值,但由于难以合理界定这些标准值,健康是一个相对概念,因而,可以作为一个模糊问题来处理^[23],该方法一般根据多个因素对评价对象本身存在的性态或隶属上的亦此亦彼性,从数量上对其所属成分给以刻划和描述。两种方法比较而言,综合指标法的优点在于能较好的体现生态系统健康评价的综合性、整体性和层次性,评价过程简单明了,评价结果明确,易于公众感知,而模糊综合评价法则能避免主观判断生态系统健康标准的不确定性^[21],但考虑到综合评价法也可以通过时间序列、空间序列的纵向、横向比较来探讨生态系统健康程度的高低变化,从而也可以避免人为确定生态系统健康标准的不确定性,因此,基于层次分析法的综合评价方法在已有的生态系统健康评价中得到了更广泛的应用,模糊综合评价法的应用相对较少,且集中在城市 and 湿地生态系统健康评价中^[14,16,21,23]。此外,随着生态系统健康评价的进一步深入,当前在宏观生态系统综合评价中应用较多的人工神经网络、物元分析等评价方法也必将被引入,上述方法各有优缺点和适应范围,在分析生态系统健康问题时宜根据实际情况确定采用

何种方法。

2.4 评价指标的选取

指标体系的建立是区域生态系统健康评价的核心,由于在生态系统健康及其评价相关概念理解上的不一,以及评价的具体生态系统类型及区域生态环境特征的差异,针对区域生态系统健康目标提出了多种指标体系分解方案,如“生态特征-功能整合性-社会环境”^[14]、“结构功能-可持续利用能力-动态变化”^[23]、“资源环境支持-社会经济人文影响-生态综合功能”^[19]、“生态特征-人类扰动”^[16]等,尽管如此,以“活力-组织力-恢复力”分解框架为基础的评价指标体系仍得到了广泛认可^[10,15,18,20]。

而在具体评价指标的选取上,部分指标体系的合理性仍有待商榷:①指标体系过于庞杂,社会、经济、生态、资源、环境与人类健康等因素无所不包^[19,23],就选取的指标而言,与可持续发展评价指标体系类似,难以体现生态系统健康的本质内涵;②将压力、状态、响应指标同时纳入评价指标体系,表征区域生态系统的健康状况^[10,16,17],而事实上,生态系统健康属于状态量的范畴,压力与响应指标只能表征生态系统健康可能的变化趋势,而对系统当前的健康状态没有指示意义。合理的“压力-状态-响应”评价,应该是以状态指标度量生态系统健康状况,以压力和响应指标反映生态系统健康的主要影响因素及其结果^[15];③将研究区域分解为自然-社会-经济等子系统,分别构建指标体系评价各子系统的健康状况,并在此基础上进行综合评价^[22],其实质是对区域复合系统的健康评价,而非以自然生态系统为核心的健康评价,在相当程度上远离了区域生态系统健康评价的“生态”主旨。

生态系统健康具有双重含义,其一是生态系统自身的健康,即生态系统能否维持自身结构、功能与过程的完整;其二是生态系统对于评价者而言是否健康,即生态系统服务功能能否满足人类需求,这是人类关注生态系统健康的实质^[27]。因此,生态系统健康以人为主观评价者,不可能存在于人类的价值判断之外^[28],自然生态系统健康的核心在于通过生态系统结构与功能的完整性保障生态系统服务功能的持续供给以满足人类需求,生态系统服务功能的维持也是评价生态系统健康的一个重要原则^[19,20]。但遗憾的是,已有的区域生态系统健康评价,大都未能考虑生态系统服务功能指标,仅郭秀锐等^[20]、蒋卫国等^[15]将其纳入评价指标体系。

此外,由于区域是由多种生态系统在地域空间上镶嵌而成的,区域生态系统健康评价的对象是这种由多个生态系统构成的景观镶嵌体,而非单一的生态系统,区域生态系统服务功能依靠景观结构(包括要素结构与空间格局)与功能的动态维持,而且,这种空间镶嵌关系决定了生态系统之间不同的空间邻接关系必然对其服务功能的发挥造成影响。例如,对于森林生态系统而言,湖泊生态系统的邻接将增加其服务功能,而若邻接的是荒漠生态系统,则会降低其服务功能。因此,景观格局对于生态系统健康具有重要意义^[29],基于空间邻接关系的景观格局指数也是区域生态系统健康评价的适宜指标^[1],但目前已有的区域生态系统健康评价基本上均忽略了这种空间格局对健康状况的影响。而近期北京大学环境学院景观生态与土地利用实验室的研究团队提出“基于土地利用空间格局的县域生态系统健康评价”的科学命题,并以云南省丽江县为例,系统分析了全县24个乡镇近20a来生态系统健康状况的时空动态特征^①,可见景观空间格局已成为区域生态系统健康评价的一个新切入点。

2.5 评价指标的阈值

确立健康生态系统的标准,即评价指标的阈值,不仅对健康研究本身极其重要,而且对于生态系统健康研究方法和途径均有很大帮助,是区域生态系统健康评价的关键。尽管国外有不少学者提出以未经过人类干扰的生态系统的原始状态、演替的顶级状态,或生命诞生前的热力学平衡态等作为自然生态系统的健康状态,但上述将某一特定生态系统状态作为健康标准的看法均缺乏理论依据,遭到了大部分学者的质疑与反对^[11]。而国内部分学者,尤其是在城市生态系统健康评价中,往往采用生态城市、园林城市、环保模范城市目标值或规划值、国际发达城市建设标准值、全国最高、最低或现状值作为相关指标的健康标准^[20,22,23],而这些标准值

① 彭健. 基于景观格局的区域生态持续性评价——以云南省丽江县为例. 北京: 北京大学博士论文, 2007

本身就是经验确定的,对健康的指示意义不明确,缺乏对其与生态系统健康目标的“剂量-效应关系”验证,都难以称得上是有效的指标阈值。

而事实上,生态系统健康评价的目的并不是为生态系统诊断疾病,而是在一个生态学框架下,结合人类健康观点对生态系统特征进行描述,即定义人类所期望的生态系统状态^[30]。因此,生态系统健康标准是一个人类标准^[31],评判某个状态是否健康在很大程度上决定于社会利益^[32]。并且,由于人类的主观期望是动态变化的,健康是一种相对概念,绝对健康的生态系统是不存在的。同一生态系统,面对不同的人类期望,评估结果迥然不同。正如 Rapport 所言,“我们不能比较哪一种类型的生态系统比另一种更健康,而只能比较同一类型生态系统的健康程度”^[32]。所以,绝对的健康标准是不存在的,区域生态系统健康评价,更多的应着力于探讨区域生态系统健康的时间动态与空间差异,而非人为判定某时某地生态系统的健康与否,从而保障研究的客观性。

2.6 评价指标的权重

应用综合指数法评价生态系统健康,指标权重对评价结果具有显著影响。权重用来表示各指标变量或要素对于上一层次等级要素的相对重要程度的信息,通常根据原始数据的来源可以将指标权重确定方法分为主观赋权法与客观赋权法两类。其中,主观赋权法主要依据专家经验人为主观确定指标权重,具体包括古林法、Delphi 法、AHP 法等,目前在生态系统健康评价中应用较广泛,但客观性较差,客观赋权法则根据原始数据运用统计方法计算而得,由于不依赖于人的主观判断,客观性强,目前在区域生态系统健康评价中具体应用的有熵权法、因子分析法、均方差法等^[19, 21, 23]。

相对而言,客观赋权法虽然在确定权重的过程中较为客观,但所确定的权重都受各评价指标具体数值的影响,不能反映专家的知识经验,难以真实表征评价指标的相对重要性,有时得到的权重可能与实际重要程度完全不相符,而主观赋权法,虽然权重确定的过程较为主观,但一般都能基本反映评价指标间的相对重要性差异。因此,考虑到生态系统健康评价本身就是一种人为的主观判断,主观赋权法有其科学合理性,其实用性要强于客观赋权法。

3 区域生态系统健康评价研究展望

生态系统健康及其评价是一门正在发展和“进化”着的领域,应“运”而生、应“用”而生,是以新的视角将生态学和社会经济价值相结合的新领域^[33]。尽管近年来在宏观生态系统综合研究领域发展迅速,引起了学术界和公众的广泛关注,其理论和技术方法尚不成熟,许多问题有待进一步深入研究与解决。其中,下述问题将是整体深化区域生态系统健康评价理论与方法研究的有效途径与重点方向:

3.1 评价结果的多尺度综合与尺度转换

生态系统健康评价首先涉及生态系统、区域与全球三大核心尺度,而在区域这一尺度内,则至少包括了县域、市域、省域、国家和大洲等差异明显的空间尺度,尽管这些不同空间尺度上的生态系统健康评价结果具有密切的内在联系,但尺度的不可推绎性决定了大尺度上的生态系统健康既不能线性还原到小尺度上,也不是小尺度上生态系统健康的简单累加。因此,生态系统健康评价应在多尺度上展开^[34]。同时,虽然不同尺度下生态系统健康的研究对象各有侧重,但彼此并非完全分割开的,还存在密切的联系,综合研究多尺度下生态系统健康的相互协调性及其有机整合,以及不同尺度之间的相互转换途径与方法,即评价结果的多尺度综合与尺度转换,则是(区域)生态系统健康综合研究的核心。

3.2 景观生态学理论与方法的应用

从区域尺度的生态系统健康评价到区域生态系统健康评价,不仅意味着研究对象范围的扩展,而且相应伴随着评价目标理念与技术方法的变革,因而区域生态系统健康及其评价理论方法的系统探讨,将是下一阶段的研究热点之一。同时,由于在从生态系统健康评价到区域生态系统健康评价的转变中,最核心的变化就是由生态系统结构与功能的研究转变为不同生态系统所构成的地域空间镶嵌体——景观的结构与功能研究,而这正是以格局与功能的相互关联为理论核心的景观生态学的主要研究内容。并且作为区域生态系统健康

的主要影响因素,土地利用/土地覆被变化也以景观空间格局分析为基本研究方法。因此,作为宏观尺度的生态空间研究,景观生态学的理论与方法是中尺度的区域生态系统健康评价的重要依据,具有广阔的发展前景。而近年来逐步兴起的景观健康评价^[35~39],正是景观生态学与区域生态系统健康评价相结合的最佳注解。

3.3 3S 技术的综合应用

随着从生态系统健康评价到区域生态系统健康评价的转变,研究所需要的基础数据来源也由传统的物种、种群、群落或生态系统采样,转换为以大中尺度上的宏观生态环境质量监测为主。遥感与全球定位系统技术相结合,能够快速提供不同空间分辨率的各类资源环境动态数据,而地理信息系统则以其强大的数据管理与空间分析功能保障了海量遥感数据的运算、管理。因此,综合应用 RS、GIS 和 GPS 等 3S 技术,以快速获取、分析研究基础数据,从而动态监测宏观生态系统健康状况^[37~40],成为区域生态系统健康定量评价的客观要求。

References :

[1] Ma K M , Kong H M , Guan W B , *et al.* Ecosystem health assessment : methods and directions. *Acta Ecologica Sinica* , 2001 , 21 (12) : 2106 — 2116.

[2] Costanza R. Toward an operational definition of ecosystem health. In : Costanza R. , Norton B. G. , Haskell B. D. , eds. *Ecosystem health : New goals for environmental management*. Washington DC : Island Press , 1992. 239 — 256.

[3] Gallopin G C. Perspective on the health of urban ecosystem. *Ecosystem Health* , 1995 , 1 : 129 — 141.

[4] Patten B C , Costanza R. Logical Interrelations between four sustainability parameters : Stability , continuation , longevity , and health. *Ecosystem Health* , 1997 , 3 (3) : 136 — 142.

[5] Yuan X Z , Liu H , Lu J J. Assessment of ecosystem health-concept framework and indicator selection. *Chinese Journal of Applied Ecology* , 2001 , 12 (4) : 627 — 629.

[6] Wang R S. Integrative eco-management for resource , environment and industrial transformation. *Systematic Engineering Theory and Application* , 2003 (2) : 125 — 132.

[7] Fu B J , Liu S L , Ma K M. The contents and methods of integrated ecosystem assessment (IEA). *Acta Ecologica Sinica* , 2001 , 21 (11) : 1885 — 1892.

[8] Rapport D J , Costanza R , McMichael A J. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution* , 1998 , 13 : 397 — 402.

[9] Ren H , Wu J G , Peng S L. Evaluation and monitoring of ecosystem health. *Tropical Geography* , 2000 , 20 (4) : 310 — 316.

[10] Liu M H , Dong G H. Ecosystem health assessment and driving force analysis in Qinhuangdao area based on RS & GIS. *Geographical Research* , 2006 , 25 (5) : 930 — 938.

[11] Zhang Z C , Niu H S , Ouyang H. Ecosystem health : concept analysis. *Resources Science* , 2005 , 27 (1) : 136 — 145.

[12] Lv Y H , Fu B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica* , 2001 , 21 (12) : 2096 — 2105.

[13] Haila Y. Assessing ecosystem health across spatial scales. In : Rapport D. J. , Costanza R. , Epstein P. R. , *et al.* eds. *Ecosystem health*. Malden , Massachusetts : Blackwell Science Inc. , 1998. 81 — 102

[14] Cui B S , Yang Z F. Establishing and indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands II. An application. *Acta Ecologica Sinica* , 2002 , 22 (8) : 1231 — 1239.

[15] Jiang W G , Li J , Li J H , *et al.* Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe river delta. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 , 25 (3) : 408 — 414.

[16] Chen M , Zhang S Q , Wang Z Q , *et al.* The assessment of ecosystem health of wetland of Jialiu river based on GIS. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture* , 2006 , 22 (3) : 165 — 168.

[17] Chen Z H , Wang J. Establishing a ecosystem health model in arid and semi-arid area by using remote sensing data. *Remote Sensing Technology and Application* , 2005 , 20 (6) : 558 — 562.

[18] Xie H L , Li B , Wang C S , *et al.* Agroecosystem health assessment in western China. *Acta Ecologica Sinica* , 2005 , 25 (11) : 3028 — 3036.

[19] Dai Q H , Liu G B , Tian J L , *et al.* Health diagnoses of eco-economy system in Zhifanggou small watershed on typical erosion environment. *Acta*

Ecologica Sinica ,2006 ,26 (7) :2219 — 2228.

[20] Guo X R , Yang J R , Mao X Q. Primary studies on urban ecosystem health assessment. China Environmental Science ,2002 ,22 (6) :525 — 529.

[21] Zhou W H , Wang R S. An entropy weight approach on the fuzzy synthetic assessment of Beijing urban ecosystem health , China. Acta Ecologica Sinica ,2005 ,25 (12) :3244 — 3251.

[22] Sang Y H , Chen X G , Wu R H , *et al.* Comprehensive assessment of urban ecosystem health. Chinese Journal of Applied Ecology ,2006 ,17 (7) :1280 — 1285.

[23] Guan D J , Su W C. Study on evaluation method for urban ecosystem health and its application. Acta Scientiae Circumstantiae ,2006 ,26 (10) :1716 — 1722.

[24] Liu H Q , Xu J W , Wu X Q. Health assessment of ecosystem in Nedong County of Tibet. Scientia Geographica Sinica ,2003 ,23 (3) :366 — 371.

[25] Song L L , Lu G H , Liu L , *et al.* Evaluation indicators system for regional ecosystem health. Advances in Water Science ,2006 ,17 (1) :116 — 121.

[26] Liu H. Assessing ecosystem health in governed landscape. Environmental Protection of Xinjiang ,2000 ,22 (4) :236 — 239.

[27] Rapport D J. Ecosystem services and management options as blanket indicators of ecosystem health. Journal of Aquatic Ecosystem Health ,1995 ,4 (2) :97 — 105.

[28] Rapport D J. Evaluating landscape health : Integrating social goals and biophysical process. Journal of Environmental Management ,1998 ,53 :1 — 15.

[29] O’Laughlin J , Livingston R L , Their R , *et al.* Defining and measuring forest health. In : Sampson R. N. , eds. Assessing forest ecosystem health in the inland west. New York : Food Products Press ,1993 ,65 — 86.

[30] Munawar M , Munawar I F , Weisse T , *et al.* The significance and future potential of using microbes for assessing ecosystem health : The Great Lakes example. Journal of Aquatic Ecosystem Health ,1994 ,3 (4) :295 — 310.

[31] Ryder R A. Ecosystem health , a human perception : Definition , detection and the dichotomous key. Journal of Great Lakes Research ,1990 ,16 (4) :619 — 624.

[32] Rapport D J. Answering the critics. In : Rapport D. J. , Costanza R. , Epstein P. R. , *et al.* , eds. Ecosystem health. Malden , Massachusetts : Blackwell Science Inc. ,1998 ,41 — 50.

[33] Rapport D J , Bohm G , Buckingham D , *et al.* Ecosystem health : the concept , the ISEH , and the important tasks ahead. Ecosystem Health ,1999 ,5 :82 — 90.

[34] Kong H M , Zhao J Z , Ji L Z , *et al.* Assessment method of ecosystem health. Chinese Journal of Applied Ecology ,2002 ,13 (4) :486 — 490.

[35] Ferguson B L. The concept of landscape health. Journal of Environmental Management ,1994 ,40 :129 — 137.

[36] Rapport D J , Gaudet C , Karr J R , *et al.* Evaluating landscape health : Integrating societal goals and biophysical process. Journal of Environmental Management ,1998 ,53 :1 — 15.

[37] Patil G P , Myers W L. Environmental and ecological health assessment of landscapes and watersheds with remote sensing data. Ecosystem Health ,1999 ,5 :221 — 224.

[38] Bertollo P. Assessing landscape health : A case study from Northeastern Italy. Environmental Management ,2001 ,27 (3) :349 — 365.

[39] Cao Y , Ouyang H , Xiao D N. Landscape health assessment on Ejin natural oasis. Chinese Journal of Applied Ecology ,2005 ,16 (6) :1117 — 1121.

[40] Rapport D J. Gaining respectability : Development of quantitative methods in ecosystem health. Ecosystem Health ,1999 ,5 :1 — 2.

参考文献：

[1] 马克明 , 孔红梅 , 关文彬 , 等. 生态系统健康评价 : 方法与方向. 生态学报 2001 21 (12) 2106 ~ 2116.

[5] 袁兴中 , 刘红 , 陆健健. 生态系统健康评价——概念构架与指标选择. 应用生态学报 2001 ,12 (4) 627 ~ 629.

[6] 王如松. 资源、环境与产业转型的复合生态管理. 系统工程理论与实践 2003 (2) :125 ~ 132.

[7] 傅伯杰 , 刘世梁 , 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. 生态学报 2001 21 (11) :1885 ~ 1892.

[9] 任海 , 鄯建国 , 彭少麟. 生态系统健康的评估. 热带地理 2000 20 (4) 310 ~ 316.

[10] 刘明华,董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价. 地理研究 2006 25 (5) 930 ~ 938.

[11] 张志诚,牛海山,欧阳华. “生态系统健康”内涵探讨. 资源科学 2005 27 (1) 136 ~ 145.

[12] 吕一河,傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. 生态学报 2001 21 (12) 2096 ~ 2105.

[14] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例. 生态学报 2002 22 (8) 1231 ~ 1239.

[15] 蒋卫国,李京,李加洪,等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. 生态学报 2005 25 (3) 408 ~ 414.

[16] 陈铭,张树清,王志强,等. 基于 GIS 的蛟流河流域湿地生态系统健康评价. 农业系统科学与综合研究 2006 22 (3) 165 ~ 168.

[17] 陈正华,王建. 利用遥感技术建立干旱半干旱地区草地生态健康模型. 遥感技术与应用 2005 20 (6) 558 ~ 562.

[18] 谢花林,李波,王传胜,等. 西部地区农业生态系统健康评价. 生态学报 2005 25 (11) 3028 ~ 3036.

[19] 戴全厚,刘国彬,田均良,等. 侵蚀环境小流域生态经济系统健康定量评价. 生态学报 2006 26 (7) 2219 ~ 2228.

[20] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态系统健康评价初探. 中国环境科学 2002 22 (6) 525 ~ 529.

[21] 周文华,王如松. 基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价. 生态学报 2005 25 (12) 3244 ~ 3251.

[22] 桑燕鸿,陈新庚,吴仁海,等. 城市生态系统健康综合评价. 应用生态学报 2006 17 (7) 1280 ~ 1285.

[23] 官冬杰,苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究. 环境科学学报 2006 26 (10) 1716 ~ 1722.

[24] 刘惠清,许嘉巍,吴秀芹. 西藏自治区乃东县生态系统的健康性评价. 地理科学 2003 23 (3) 366 ~ 371.

[25] 宋兰兰,陆桂华,刘凌,等. 区域生态系统健康评价指标体系构架——以广东省生态系统健康评价为例. 水科学进展 2006 17 (1) 116 ~ 121.

[26] 刘红. 管理景观中的生态系统健康评价. 新疆环境保护 2000 22 (4) 236 ~ 239.

[34] 孔红梅,赵景柱,姬兰柱,等. 生态系统健康评价方法初探. 应用生态学报 2002 13 (4) 486 ~ 490.

[39] 曹宇,欧阳华,肖笃宁. 额济纳天然绿洲景观健康评价. 应用生态学报 2005 16 (6) 1117 ~ 1121.