

生态系统健康及其评价研究进展

蔡 燕 王会肖

(北京师范大学水科学研究院水沙科学教育部重点实验室 北京 100875)

摘 要 介绍了当前生态系统健康及其评价的研究进展,包括生态系统健康的概念、评价方法及指标等,并以农业生态系统健康为例进行了特别论述。最后指出目前研究中存在的主要问题和今后生态系统健康评价的研究方向。

关键词 生态系统健康 评价 指标 农业生态系统

Research progresses of ecosystem health and its assessment. CAI Yan, WANG Hui-Xiao (Key Lab for Water and Sediment Sciences, College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China), *CJEA*, 2007, 15(2): 184~187

Abstract The research progresses on ecosystem health and its assessments were mainly introduced in this paper, including the concept of ecosystem health, the assessment methods and indexes, etc. As a case study, agroecosystem was specially discussed. Finally, the main problems and the research directions were pointed out for the future study.

Key words Ecosystem health, Assessment, Index, Agri-ecosystem

(Received Sept. 12, 2005; revised Dec. 29, 2005)

生态系统具有为人类提供自然资源和生存环境的服务功能,是人类生存和发展的基础。但由于社会经济的发展,人类的诸多行为致使生态系统的结构和功能恶化,出现不健康的状态,并且威胁到人类的生存和发展。因而有必要综合自然、社会、经济和文化各方面因素确定生态系统的健康状态和致病机理,即进行生态系统健康评价研究,为科学管理生态系统提供理论依据。

1 生态系统健康的概念

生态系统健康研究是 20 世纪 90 年代出现的一个崭新的研究领域。生态系统健康概念的提出可追溯到 20 世纪 40 年代,美国著名生态学家、土地学家 Aldo Leopold^[7]于 1941 年提出了“土地健康(Land health)”的概念,他认为土地健康是指被人类占领而没有使其功能受到破坏的状况。之后,许多学者都提出了生态系统健康的定义,但迄今尚无统一的观点。Rapport^[8]首次论述了生态系统健康的内涵,认为生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力。Karr J. R. 等^[9]认为如果一个生态系统的潜能能够得到实现且条件稳定,受干扰时具有自我修复能力,则该生态系统是健康的。Schaeffer D. J. 等^[10]认为当生态系统功能未超过阈限时则该生态系统是健康的。这里的阈限定义为“当超过后可使危及生态系统持续发展的不利因素增加的任何条件,包括内部的和外部的”。Haworth L. 等^[11]认为生态系统健康可从系统功能和系统目标两方面理解,系统功能是指生态系统的完整性、弹性、有效性以及使生境群落保持活力的必要性。Mageau^[12]提出健康的生态系统应生机勃勃,充满活力;受到干扰有良好的恢复能力;有一个良好的有机组织。Costanza^[13]认为生态系统健康的定义可归纳如下:健康是生态内稳定现象,健康是没有疾病,健康是多样性或复杂性,健康是稳定性或可恢复性,健康是有活力或增长的空间,健康是系统要素间的平衡。他认为生态系统健康的定义应当将以上 6 个方面结合起来。也就是说,健康生态系统的组成一是活力,包括初级生产力、养分循环等生态系统基本功能的正常维持;二是组织性,包括 R 选择种和 K 选择种比率,长命物种和短命物种比率,外来物种和本地物种比率,互利程度,本地物种存在状况及生物多样性等;三是反作用力,即生态系统的“弹性”,可保持系统的内稳定性能力。生态系统越健康,其从干扰中的恢复能力也就越大。国内的学者也提出了一些有关生态系统健康的观点,王小艺等^[1]提出生态系统健康一般包含了如下几个方面的含义:一是健康的系统必须是稳定、有弹性、可持续的;二是生态系统健康受尺度限制;三是应用

生态系统健康概念的目标是管理资源;四是一个生态系统健康的标准状态必须包括人类作为生活系统的一部分,并认识到人口统计学的影响;五是生态系统功能的保持;六是生态系统的可持续性必须考虑到区域或空间分配等。

对于农业生态系统健康,Smit B.^[14]认为是指农业生态系统免受发生“失调综合症”(生态系统失调综合症是指系统被破坏后导致其在正常生命期限提前终结的不可逆过程)、处理胁迫的状态和满足持续生产农产品的能力。王小艺等^[1]指出,健康的农业生态系统主要是指那种能够满足人类需要而又不破坏甚至能够改善自然资源的农业生态系统,其目标是高产出、低投入、合理的耕作方式、有效的作物结合、农业与社会的相互适应、良好的环境保护与丰富的物种多样性等。

2 生态系统健康评价

2.1 评价方法

生态系统健康评价是将功能完好与病态的生态系统区分开并对系统进行分析,从而诊断产生病态的原因,制定预防及恢复生态系统的方法^[1]。目前,生态系统的健康评价主要集中在生态系统活力、组织结构和恢复力的研究上^[2]。Costanza^[13]总结了大量生态系统健康的定义,提出了系统健康指数模型:

$$HI = V \times O \times R \quad (1)$$

式中, HI 为系统健康指数,是可持续性的一个关键指标; V 是系统活力,是测量系统活动、新陈代谢或初级生产力的一项重要指标,可通过系统生物量、生物流(产量)等表达; O 是系统组织指数,系统组织的相对程度用0~100%的数值表示,它包括组织多样性和连接性; R 是恢复力指标,系统恢复力可通过综合各种灾害等级等经过专家权衡相对程度(0~100%)度量。Ulanowicz^[15]和 Rapport^[16]等发展了活力、组织结构和恢复力的测量及预测公式,通过网络分析法公式可评价生态系统的健康程度。系统活力可用网络分析法直接获得,Ulanowicz^[15]提出计算生态系统的总产量(TST),即将单位时间内系统物质交换网络中各转移物质相加,得到系统活力。组织结构也利用网络分析法得出,通过建立系统各组间的能量和物质交换矩阵,计算系统中物质和能量转移总量代入平均共同信息方程,确定生态系统物质和能流结构水平。恢复力可从恢复时间(胁迫状态恢复到稳定状态的时间)与生态系统能够承受的最大胁迫(生态系统从一种状态到另一状态的临界值)的比率中求出。生态系统越健康,受干扰后系统恢复力则越强。国内的一些学者总结了国内外生态系统健康评价方法,并提出了不同的看法,见表1。

表1 生态系统健康评价方法分类

Tab.1 Classification of methods of ecosystem health assessment

评价方法分类 Classification of methods	特 点 Characteristics	研究者 Researchers
指示物种法	依据关键种、特有种、濒危和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构、功能等描述健康状况,适用于自然生态系统	孔红梅 ^[3] ,2002
结构功能指标法	考虑物种类群的组织水平、尺度、指示物种间的相互作用等,并借鉴一些常规的化学、湖沼学、生理学、生态学和毒理学手段	
生态系统失调综合症诊断	主要表现为生物多样性下降、外来物种和R对策物种优势度增加、种群振幅增大、污染物或有毒物质在生态系统中积累等	沈文君 ^[4] ,2004
生态风险评估	评价危害生态系统健康的不良事件发生概率以及不同概率下不良事件所造成后果的严重性,评估着眼于风险决策管理	
抵抗力和恢复力评估评价模型	系统受胁迫的历史,包括胁迫类型、强度、存在时间、系统响应时间等是建立模型的关键因素	张志诚 ^[5] ,2004

生态系统健康评价应在特定生态系统中,根据生态系统本身的结构和功能,区分特定生态系统的胁迫状况,辨识出危险组分和应重视的问题。例如对于农业生态系统健康评价,Conway^[17]曾提出采用综合指数分析法把农业生态系统不同层次的生产力、稳定性、持续性和公平性进行有机结合。Mukhebi^[18]也提出通过权重法将农业生态系统健康的各项指标转变成为一个综合指数,指标的权重系数根据每个指标重要性的真实程度确定。常用的方法还有前面提到的生态系统失调综合症的诊断、抵抗力和恢复力的评估和生态风险评估等。

2.2 评价指标

定量评价生态系统健康需要选用能够表征生态系统主要特征的特征参数或指标,但是由于不同生态系统所

处的自然、社会和经济状态不同,同一生态系统发展的不同阶段所具有的特点也不同,监测的指标也各不相同,并且评价过程中还涉及到评价尺度和生态系统的进化进程等,这使得一致性指标体系难以确定^[1]。目前国内外学者指出了多种生态系统健康评价指标体系分类方法,如表 2 所示。

表 2 生态系统健康评价指标体系分类

Tab. 2 Classification of ecosystem health assessment indexes

生态系统健康指标分类	子指标	具体指标	研究者
Classification of ecosystem health assessment indexes	Sub indexes	Particular indexes	Researchers
活力	新陈代谢、初级生产力		Costanza ^[13] , 1992
组织结构	结构层次、结构多样性		
恢复力	自救能力、负荷能力		
物理化学指标	水分	水资源总量、降水量、水污染程度等	Cairns ^[19] , 1993
	大气污染	大气组分、大气污染程度等	
	土壤理化性质	物理性质、化学性质和土壤污染程度等	
生态学指标	陆地生态系统	动植物区系特征、生物多样性、种群、群落结构和分布	
	水生态系统	动植物区系特征、水生生境类型和面积、生产力	
社会经济指标	人口动态	密度、分布、变化趋势	
	人类健康	死亡率、主要疾病发生程度、文化水平	
	区域经济发展	主要经济活动、技术发展水平	
	人类活动的影响	土地利用和分布、土地退化、公众环境意识、法制完善程度	
生态系统内部指标	生态毒理学、流行病学、生态系统医学		马克明 ^[6] , 2001
生态系统外部指标	社会经济指标、结构功能指标		
生态系统分类	陆地生态系统	森林、江河湖泊、草原、荒漠、城市和农田生态系统	沈文君 ^[4] , 2004
	海洋生态系统		
影响生态系统健康的因素	自然生态系统健康	人口增量、沙漠化、水土流失、森林破坏率、全球气温变化和空气污染等	
	经济生态系统	地区发展、资源占有不平等以及世界经济一体化指数	
	社会生态系统	地区健康、文化素质、科技水平和社会意识形态等 ^[6]	

对于农业生态系统健康评价, Swanton 等^[20]认为生物多样性是农业生态系统健康指标特征之一,并指出通过化学除草剂大面积管理杂草不利于生物多样性的保持和农业生态系统的健康。Dumanski^[21]则提出因土地是农业生产的最基本要素,应以土壤质量作为农业生态系统健康评价的指标,而 Berka 却认为任何生物学现象和人类活动都依赖于水,土地的使用方式也直接影响到水的质量,所以应该用水(质)作为生态系统健康的一个综合环境指标。Yiridoe 等^[22]分析了经济指标应用于农业生态系统健康评价的重要性,并提出了生物环境指标与经济指标结合的概念框架,为农业生态系统健康评价提供了较为系统的认识。Xu^[23]从农业生态系统的结构、功能、组织和动态 4 个方面对农业生态系统健康的评价指标进行了解释和说明,其中包含了社会经济与生物环境指标。王兆骞^[8]认为持久性是农业生态系统重要评估指标之一。沈文君^[4]从生态系统分类角度提出农田生态系统健康评价指标包括土地生产力、土壤结构指数、土壤侵蚀指数、盐碱化指数、土地肥力指数、防护林效益指数、病虫害危害指数、农产品质量指数和农民健康指数等。

3 存在的问题与展望

随着人类对生态系统的影响日益加大,生态系统健康的研究受到更多的关注,目前已建立了一系列评价指标体系和评价方法。但生态系统健康研究仍处在理论探索和试验积累阶段。首先生态系统具有复杂性和不确定性,并始终处于动态的演替过程,判断系统的症状是干扰或不健康的症状还是演替过程的一个阶段有一定难度。因而需要准确地定义生态系统健康,确定健康的标准和背景值;积累长时间的试验数据以确定生态系统的演替过程及过程中的平衡点,明确健康生态系统的背景值;综合考虑生态、社会经济和人的因素,确定生态系统的特征,选择适宜的健康评价指标。确定当前特定生态系统所受胁迫状况、最危险的组分和最应该受到重视的问题^[3],以及引发问题的关键因素。再者,目前评价方法的可操作性较差,在实际中难以应用。所以将确立的指标体系量化是生态系统健康评价需要完善的内容,以期获得对尚不明确的

生态系统恢复健康状态的综合评价。

参 考 文 献

- 1 王小艺,沈佐锐. 农业生态系统健康评估方法研究概况. 中国农业大学学报,2001,6(1):84~90
- 2 肖风劲,欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法. 自然资源学报,2002,17(2):203~209
- 3 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
- 4 沈文君,沈佐锐,王小艺. 生态系统健康理论与评价方法探析. 中国生态农业学报,2004,12(1):159~162
- 5 张志诚,欧阳华,肖风劲,等. 生态系统健康研究现状及其定量化研究初探. 中国生态农业学报,2004,12(3):184~187
- 6 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
- 7 Leopole A. Wilderness as a land laboratory. Living Wilderness, 1941, 6(2):3
- 8 Rapport D. J. What constitute ecosystem health? Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33:120~132
- 9 Karr J. R., Fausch K. D., Angermeier P. L., *et al.* Assessing biological integrity in running waters;a method and its rationale. Champaign:Illinois Natural History Survey. Illinois;Special Publication, 1986
- 10 Schaeffer D. J., Cox D. K. Establishing ecosystem threshold criteria. Ecosystem Health—New Goods for Environmental Management. Washington DC;Island Press, 1992
- 11 Haworth L., Brunk C., Jennex D., *et al.* A dual-perspective model of agroecosystem health:system functions and system goals. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 1997, 10(2):127~152
- 12 Mageau M. T., Costanza R., Ulanowicz R. E. The development and initial testing of quantitative assessment of ecosystem health. Ecosystem Health, 1995, 1:201~213
- 13 Costanza R., Norton B. G. Ecosystem Health;New Goal for Environmental Management. Washington DC;Island Press, 1992. 23~41
- 14 Smit B., Waltner Toews D., Rapport D., *et al.* Agroecosystem Health;Analysis and Assessment. Guelph, Ontario;University of Guelph, 1998. 1~14
- 15 Ulanowicz R. E. Growth and Development;Ecosystems Phenomenology. New York;Springer-Verlay, 1986
- 16 Rapport D. J., Regier H. A., Hutichinson T. C. Ecosystem behavior under stress. American Naturalist, 1985, 125:617~640
- 17 Conway G. R. The properties of agroecosystems. Agricultural Systems, 1987, 24(2):95~117
- 18 Mukhebi A. W. Views on agroecosystem health. Agroecosystem Health. Proceedings of an International Work Shop. Canada;University of Guelph, 1994
- 19 Cairns J., McCormick P. V., Niederlenher B. R. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. Hydrobiologia, 1993, 263:1~44
- 20 Swanton C. J., Murphy S. D. Weed science beyond the weeds:the role of integrated weed management(IWM)in agroecosystem health. Weed Science, 1996, 44(2):437~445
- 21 Dumanski J. Criteria and indicators for land quality and sustainable. ITC, 1997,3/4:216~223
- 22 Yiridoe E. K., Weersink A. A review and evaluation of agroecosystem health analysis;the role of economics. Agricultural Systems, 1997, 55(4):601~626
- 23 Xu W., Mage J. A. A review of concepts and criteria for assessing agroecosystem health including a preliminary case study of southern Ontario. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, 83(3):215~233