

生态系统健康研究述评^{*}

叶立国¹, 李笑春²

(1. 中国海洋大学 社科系, 山东 青岛 266003; 2. 内蒙古大学 哲学系, 呼和浩特 010021)

摘 要:自 1941 年 Leopold 提出土地健康以来, 有关生态系统健康的研究逐渐引起学界重视。何谓生态系统健康争论颇多, 论文在对其发展历程进行梳理的基础上对当前生态系统健康的概念进行系统总结, 以供学界研究, 得出了一些研究启示。
关键词:生态系统; 土地健康; 生态系统健康
中图分类号: X22; X171. 1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005 3409(2008) 05-0186-05

Review on Ecosystem Health

YE Li guo¹, LI Xiaochun²

(1. Department of Social Science Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266003, China; 2. Department of Philosophy, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China)

Abstract: The research on ecosystem health has been emphasizing since Leopold put forward the concept of ‘land health’ in 1941. We summed up almost all the concepts of ‘ecosystem health’ in academic circle to bring up helps for other researchers. In addition, some thoughts from the former research are advanced in this paper.
Key words: ecosystem; land health; ecosystem health

关于生态系统健康的相关思想最早产生于 18 世纪, 但直到 20 世纪 70、80 年代才有学者真正提出这一思想, 到了 90 年代之后相关研究逐渐多了起来。国内是在 20 世纪 90 年代末 21 本世纪初才把这一思想介绍进来, 随之进行初步的、有针对性的研究和实践, 但研究人员和研究规模较小, 研究的对象和成果也不多, 相对处于初级阶段。何谓生态系统健康, 学界众说纷纭, 本文作为生态系统健康研究的基础, 对生态系统健康研究历程, 内涵进行系统综述, 并对生态系统健康研究的相关问题进行一定的评析。

1 生态系统健康研究历程

1788 年苏格兰医学家和地理学家 Hutton 首先提出健康与生态系统的关系, 认为地球是一个可以自我维系的超级有机体^[1]。虽然这一思想产生在欧洲机械论盛行的时代, 带有比较强烈的机械论倾向, 但毕竟第一次把生态系统的健康问题提了出来。

1941 年美国著名生态学家、土地伦理学家 Leopold 首先定义了土地健康(Land health) 的概念, 认为健康的土地是指被人类占领而没有使其功能受到破坏的状况。并使用了“土地疾病”(Land sickness) 这一术语来描绘土地功能紊乱

(dysfunction)。他是第一个确定“土地疾病”症状并对之进行区分的人之一, 他把“土地有机体健康”作为内部的自我更新能力, 认为考虑“土地有机体健康”应当与人们考虑个人有机体的健康一样, 他认为这些症状包括侵蚀、肥力丧失、水文反常、某些物种非经常性的数量爆发或莫名其妙的局域性灭绝、农林产品质量的退化等等^[2]。

虽然 Leopold 早在 1941 年提出了“土地健康”的概念, 但实际上并未引起足够的重视^[3]。随后, 科学家们一直对是否发展生态系统健康学说应用于生态系统评价和管理存在争论。在 E. P. Odum 倡导下, 20 世纪 70 年代兴起了生态系统生态学, 这一学说继承了 Clements 的演替观, 把生态系统看作一个有机体(生物), 具备自我调节和反馈的功能, 在一定胁迫下可自主恢复, 从而忽视了生态系统在外界胁迫下产生的种种不健康症状^[4]。与此同时, Woodwell (1970) 和 Barrett (1976) 极力提倡胁迫生态学(Stress ecology)。

进入 20 世纪 80 年代, Rapport 等(1985) 系统研究了胁迫下生态系统的行为, 并在随后提出不能把生态系统作为一个生物对待, 它在逆境下的反应不具自主性。以 Costanza 和 Rapport 为代表的生态学家极力主张现在世界上的生态系统在胁迫下发生问题, 已不能像过去一样为人类服务, 并

^{*} 收稿日期: 2007 11 28
基金项目: 国家自然科学基金项目(70263004); 国家社会科学基金项目(02BZX068); 国家社会科学基金项目(07BZX026); 内蒙古自治区哲学社会科学项目(06B002); 青岛市社科规划项目(QDSKL080107)
作者简介: 叶立国(1978-), 博士, 讲师, 研究方向: 系统科学, 可持续发展理论与实践。E-mail: yelg780115@163.com
通讯作者: 李笑春(1965-), 教授, 博士生导师, 研究方向: 生态哲学, 可持续发展理论与实践。E-mail: philli1965@163.com

对人类产生了潜在威胁。他们认为生态系统健康的概念可引起公众对环境退化等问题的关注。然而,以 Policansky 和 Sutre 为代表的科学家极力反对生态系统健康的提法。他们认为生态系统健康只是一种价值判断,没有明确的可操作的定义,会阻碍详细的科学分析进程^[5]。1992 年杂志“Journal of Aquatic Ecosystem Health”诞生,3 年之后,“Ecosystem Health”和“Journal for ecosystem health and medicine”创刊,这 3 份杂志已成为国际生态系统健康学会会员发表论点的重要刊物。1992 年,美国国会通过了“森林生态系统健康和恢复法”,其农业部组织专家对美国东、西部的森林、湿地等进行了评价,并于 1993 年后出版了一系列的评估报告(USDA,1993,1995)。1994 年来自 31 个国家的 900 名科学家聚集在加拿大的渥太华召开了全球生态系统健康的国际研讨会,会议集中在评价生态系统健康,检验人与生态系统相互作用,提出基于生态系统健康的政策等 3 个方面,并希望组织区域、国家和全球水平的管理、评价和恢复生态系统健康的研究^[6]。20 世纪 90 年代西方国家出版的关于生态系统健康的专著仅仅有 6 本,其中比较著名的有:Costanza《Ecosystem Health: new goals for environmental management》(Island Press,1992),Rapport《Ecosystem Health》(Blackwell Science, Inc, 1998),Rapport《Evaluating and monitoring the health of large scale ecosystem》(Springer Verlag, 1995)。这几本书基本反映了生态系统健康作为一生态学分支的基本理论与方法,并有一些实例研究。

2 生态系统健康概念及内涵

生态系统健康(Ecosystem health)是生态系统的综合特性,它具有活力、稳定和自调节的能力。即一个生态系统的生物群落在结构、功能与理论上所描述的相似或相近,那么它就是健康的,否则就是不健康的。一个病态的生态系统往往是处于趋向于衰退和不可逆的瓦解和崩溃过程。

对生态系统健康的描述主要是源于人类对生态系统的影响和破坏日益严重这一事实,特别是人们对生态系统的系统性和整体功能的认识不断加深和提高之后,即生态系统的健康对人类的生存和社会发展的多方面、多角度的影响。这些描述主要有以下:

健康的生态系统具有弹性(Resilience),保持着内稳定性(Homeostasis)。系统发生变化就可能意味着健康状况的下降。如果系统中任何一种指示者的变化超过正常的幅度,系统的健康就受到了损害。当然,并不是所有的变化都是有害的,这种变化与系统的多样性是相关联的。我们说,生态系统是一个开放的系统,这种开放性就是要与外界环境进行包括物质、能量和信息的交换,同时也表现为外界对生态系统的各种干扰、影响和胁迫。但事实上,一个健康的生态系统可能更多地表现于系统创造性地利用胁迫的能力,而不是完全抵制胁迫的能力。即健康的生态系统对于外界环境的干扰具有弹性,自身有能力治愈各种疾病。弹性是系统的固有属性,也是系统适应能力的量度,对于弹性来说,我们应该去认识它、顺应它,而不是摆脱它。

虽然对于生态系统健康学界还没有一个普遍公认的定义,但众多涉足这一领域的学者都提出了各自的观点。

Costanza 是较早对生态系统健康(Ecosystem health)进行深入研究的生态学家之一。他是从生态系统自身出发定义生态系统健康的典型代表^[7]。他于 1992 年提出生态系统健康是新兴的生态系统管理学概念,是新的环境管理和生态系统管理目标,并给这个概念下了一个简明定义:如果生态系统是稳定的和可持续性的,即它是活跃的并且随着时间的推移能够维持其自身组织,对外力胁迫具有抵抗力,并能够在一段时间后自动从胁迫状态恢复过来。那么,这样的系统就是健康的。它应该由“活力(Vigor)”、“组织(Organization)”和“恢复力(Resilience)”3 个方面构成。随后他对这个概念作了进一步的归纳:①健康是生态内稳定现象;②健康是没有疾病;③健康是多样性或复杂性;④健康是稳定性或可恢复性;⑤健康是有活力或增长的空间;⑥健康是系统要素间的平衡。他强调生态系统健康恰当的定义应当是上面 6 个概念结合起来^[8]。也就是说,测定生态健康应该包括系统恢复力、平衡能力、组织(多样性)和活力(新陈代谢)。从这一定义看出,一个健康的生态系统必须保持新陈代谢活动能力,保持内部结构和组织,对外界的压力必须有恢复力^[7]。

Rapport 也是在国外对生态系统健康进行了深入研究的著名生态学家之一。他们最早提出了“生态系统医学(Ecosystem medicine)”的概念,旨在将生态系统作为一个整体进行评估。随后,逐步发展形成了“生态系统健康”概念及其评价^[9]。进入 20 世纪 80 年代,Report 等研究了生态系统在胁迫状态下的行为,认为它在逆境下的反应不具有自主性^[10]。在 1985 年 Rapport 等提出以“生态系统危险症状(Ecosystem distress syndrome, EDS)”作为生态系统非健康状态的指标,包括:系统营养库(System nutrient pool)、初级生产力(Primary productivity)、生物体型分布(Size distribution)、物种多样性(Species diversity)等方面的下降,因而出现了系统退化(System retrogression)。具体表现为:生物贫乏,生产力受损,生物组成趋向于机会种,恢复力下降,疾病流行增加,经济机会减少,对人类和动物健康产生威胁等^[10]。在 1989 年,他首次论述了生态系统健康的内涵。他认为生态系统健康的定义可以根据人类健康的定义类推而来;他曾经用以下术语来强调生态健康与人类医学的相似性:为自然号脉,监测自然疾病,临床生态学^[11]。他指出,一个健康的生态系统表现出某些复杂自组织系统的基本特征,包括 Bertalanffy(1950)提出的 4 个复杂生态系统进化的主要特征:一体化、分异、机械化和集中化。进而提出生态系统健康(Ecosystem health)是指一个生态系统所具有的稳定性 and 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^[11]。他把生态系统健康的概念进一步总结为“以符合适宜的目标为标准来定义的一个生态系统的状态、条件或表现”。即生态系统健康应该包含两方面内涵:满足人类社会合理要求的能力和生态系统本身自我维持与更新的能力^[12]。

Schaeffer 等在 1988 年首次探讨了生态系统健康的度量

问题,他将生态系统健康定义为“没有疾病(Absence of disease)”,并提出了进行评价的原则及方法^[13]。在 1992 年他们进一步提出当生态系统的功能阈限没有超过时,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”^[14]。

Karr 等认为健康的生态系统有能力供养并维持一个平衡、完整、适应的生物群落。此群落由若干物种组成并且构成一个有功能的组织^[15]。在 1984 年他们建议用生物区的分布大小来评价生态系统健康,优势种数量的减少是生态系统受到干扰的一个标志^[16]。他在 1986 年指出无论是个体生物系统或是整个生态系统,它能实现内在潜力,状态稳定,受到干扰时仍具有自我修复能力,管理它也只需要最小的外界支持,这样的生态系统被认为是健康的^[15]。在 1993 年他进一步认为由于人类的过度干扰造成了生态系统的退化,生态系统健康就是生态完整性(Ecological integrity),并率先在对河流的评价中建立和使用“生物完整性指标(Index of biotic integrity, IBI)”。这种思想尤其在水生生态系统健康评价实践中得到了广泛应用^[17]。

Haworth 等认为生态系统健康可以从系统功能和系统目标 2 个方面来理解: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^[18]。Mageau 认为一个健康的生态系统包括以下特征:生长能力,恢复能力和结构,就人类社区的利益而言,一个健康的生态系统是能为人类社区提供生态系统服务支持,例如食物、纤维、吸收和再循环垃圾的能力、饮用水、清洁空气等等^[19]。Woodley 从生态系统所处的状态提出:“生态系统健康是生态系统发展的一种状态,在此状态中,地理位置、光照水平、可利用的水分、营养及再生资源量都处在适宜或十分乐观的水平,或者说,处在可维持该生态系统生存的水平”^[20]。Holling 认为一个系统在面对干扰时,有保持其结构和功能的能力。恢复能力越大,系统越健康^[21]。Haskell 等认为生态系统健康和生态系统不受疾病困扰的条件是,生态系统是稳定的和可持续发展的,或者说生态系统是活跃的,能保持自身的组织和自主性,对压力具有恢复力^[22]。Page 认为健康是机体各个部分、机体与外界之间的和谐关系;在医学院体内平衡是标准化的概念,它与生态系统稳定的概念是类似的^[23]。

Ulanowicz 提出健康的生态系统向顶点运行的轨迹相对没有受到阻碍,当受到外界影响可能导致生态系统返回到以前的演替状态时,结构能保持原状稳定^[24]。Valbeasley 和 Bruce Wilcox 认为一个健康的生态系统是能不断地提供现有利益,并且也能维持未来的需要。换句话说,它必须面对压力维持系统结构和功能。这个概念是恢复力概念的具体化,它是生态系统可持续的基础^[25]。Joanna Burger 认为从生态系统的角度看,生态健康是指生态系统靠什么结构和功能特征来维持的。广义的生态健康可扩展为包括人的健康和福利等许多方面^[26]。

Clements 提出群落演替概念和顶极群落论断,认为生态系统是一个生命个体,有健康和不健康的属性^[27]。国际恢

复生态学会提出,生态系统健康是指一个生态系统的状况或状态,一个生态系统是健康的就是指与它的生态发展阶段相对应的动力学特性处在正常的活动范围之内^[28]。

国际生态系统健康学会将生态系统健康学定义为,研究生态系统管理的预防性的、诊断性的和预兆的特征,以及生态系统健康与人类健康之间关系的一门科学^[29]。

O'Laughlin 等认为“健康是一种状态。在此状态中,生态系统为人类提供需求的同时,维持着系统本身的复杂性特征”^[21]。Bormann 等认为“生态系统健康是一种程度,是生态可能性与当代人需要之间的重叠程度”^[21]。Kristin 等人提出生态系统健康(学)是一门研究人类活动、社会组织、自然系统及人类健康的整合性科学,而生态系统健康是指生态系统没有病痛反应、稳定且可持续发展,即生态系统随着时间的进程有活力并且能维持其组织及自主性,在外界胁迫下容易恢复^[5]。美国国家研究委员会 1994 年提出“如果一个生态系统有能力满足我们的需求并且在可持续方式下,产生所需要的产品,这个系统就是健康的”^[30]。

对于生态系统健康的定义,学界虽然没有公认的观点,但可以看出生态系统健康是与人类的生存和社会发展的需求密切相关的。Constanza 和 Rapport 等科学家认为,现在世界上的生态系统在胁迫下发生问题,不能像过去一样为人类服务,并对人类产生了潜在威胁。他们认为,生态系统健康的概念可引起公众对环境退化问题的关注^[3,5]。另外,这一概念从提出到逐步完善都蕴涵着两层目的:一是生态系统本身健康可持续的发展演化,不危及人类的生存和发展;二是使健康的生态系统更好的发挥生态系统服务功能,促进人类的生存与可持续发展。因此,对于该概念的认识,我们认为不应该过多地着眼于它们之间的分歧,而是应该深入的思考其中的哪些内容能更好地促进全人类的生存和可持续发展,更好地为人类服务。

生态系统健康与系统受到干扰及其生态系统的稳定性具有非常密切的关系。干扰(Disturbance)指导致一个群落或生态系统特征(诸如种类多样性、营养输出、生物量、垂直与水平结构等)超出其波动的正常范围的因子,干扰体系包括干扰的类型、频率、强度及时间等(Mooney, 1983)。生态系统稳定性(Ecosystem stability)是指生态系统保持正常动态的能力,主要包括恢复力(Resilience),干扰后回到先前状态的速度和抵抗力(Resistance, 系统被取代的能力)。MacArthur (1955) 和 Elton (1958) 等提出群落复杂性导致稳定性,但 May (1972) 通过数学模型模拟表明,随着复杂性的增加生态系统趋于降低稳定性。目前,关于生态系统稳定性与复杂性及其关系如何尚有争论。一般而言,稳定的生态系统是健康的,但健康的生态系统不一定是稳定的。即对于生态系统而言,稳定和健康是两个既相互影响、又相互区别的观念,而导致生态系统稳定性与健康的是来自外界的干扰。干扰作用于稳定的生态系统或健康的生态系统,会导致生态系统的不稳定或不健康,在一定的强度范围内,干扰对于生态系统会导致其 3 种可能性的出现,一是生态系统不健康,但却是稳定的(生态系统的动态平衡和自我调节功能的正常发

挥);二是生态系统健康,但却是不稳定的(生态系统的动态平衡被打破,但对于人类生存而言影响不大);三是生态系统既不健康,又不稳定(生态系统的动态平衡被大规模地破坏,而这一恶果对于人类生存而言影响巨大)。可见,生态系统稳定性的两个重要指标是包含在生态系统健康的标准之中的,而且干扰与这两个指标密切相关。虽然生态系统对于人类目前的研究来说,还不是一个完全的“白箱”系统,即生态系统的复杂性、生态系统的稳定性和健康性之间的关系还很难确定,但有一点是显而易见的:生态系统的复杂性和稳定性是生态系统本身的指标体系,而在此基础之上的健康性是建立在人类的功利和价值观基础之上的。

3 生态系统健康相关研究启示

3.1 关于生态系统健康的研究

(1) 生态系统健康源于医学,由主要用于人体发展到用于动植物,先后出现公众健康、环境健康、环境医学及至发展为生态系统健康,可充分利用现代医学科技理论成果作为生态系统健康的理论基础,进而实现人类医学理论被生态系统健康所用。

(2) 鉴于生态系统中各成员相互作用,相互影响,且生态系统健康又与人类健康、经济机会和公众政策间存在高度复杂的联系。故生态系统健康问题需用系统分析方法整体综合考虑生态系统的结构与功能,系统分析影响生态系统健康的各关键变化因子,同时考虑生态系统健康的改变与人类健康、社会反映之间的关系。因此,生态系统健康的研究是以系统方法指导研究工作,分析系统的结构、功能以及环境对系统的影响,它以整体为研究对象,注重各部分之间关系和相互作用,并将各部分综合,用低层次现象解释高层次规律。

(3) 在对生态系统健康进行研究的过程中,注重对生态系统的管理,且这种管理的出发点和立足点是可持续发展的观点和思想。

(4) 对生态系统健康的研究旨在强调自然科学、社会科学和健康学的多学科的交叉与融合以及传统科学的转向。

3.2 生态系统健康理论与实践研究存在问题

在国内外真正对生态系统健康的研究和探讨只是近10a的事,并且由于自然生态系统和人类社会系统本身的复杂性,必然还存在众多问题有待解决,主要表现在:

(1) 生态系统健康本身的不确定性。虽然生态系统健康的标准已提出不少,但对于生态系统健康状态的确定仍有许多不确定性,甚至是不可操作性,特别是生态系统在什么状态下才是没有受到干扰,才是健康的?生态系统在什么样的干扰下,仍然是健康的?稳定的生态系统是否就一定是健康的?这可能要从各种生物如何面对不可确定性的反应中去寻找答案,其中尤其是人类。

(2) 健康问题的提出,不仅针对生态系统本身而言,同时也要针对人类。因此,在研究和探讨生态系统健康的过程中,不仅要关注自然生态系统中生态因子的构成及其相互作用,同时还要综合地考虑生态、经济和社会因子之间的相互作用及其关联,这种作用及其关联还要受到时间、空间和自

然生态系统异质性的影响,特别是人类影响与自然干扰对生态系统的影响有何不同,难以确定;生态系统改变到什么程度,对人类服务的功能仍能维持,甚至是正常发挥。

(3) 鉴于生态系统本身的复杂性,生态系统健康简单地找到并概括出一些既容易测定又具有可操作性的具体指标,且还很难找到一个令人信服的并被人们所公认的评价和评估的方法。这样,生态学家就很难评估生态系统健康受损的程度,就更难为决策者提供真实的佐证。

(4) 鉴于生态系统的不透明性(灰箱系统)和动态性,很难准确地把握生态系统的变化中哪些是外界干扰或不健康的症状?哪些是生态系统正常演替的结果?人类把带有强烈功利色彩的价值观强加在自然生态系统身上是否是正确?

(5) 鉴于生态系统具有自我调节能力以及这种能力的有限性,健康的生态系统具有调节、吸收、化解和反馈的本领和能力,但这种能力人们又是很难测定的。

(6) 就如人体健康一样,生态系统的健康同样可以健康和亚健康来表述。这样,就必然会引出生态系统的健康可以维持多长时间,健康和亚健康之间的区别和界线如何确定?

(7) 生态系统保持健康的动力和策略是什么?

因此,虽然生态系统健康概念的提出并以此为理念的多学科交叉与融合,以及传统科学的转向,为我们解决复杂的环境问题提供了一种全新的概念框架和一系列研究方法和手段,但不可否认,所有这些问题都有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 张志诚,欧阳华,肖风劲.生态系统健康研究现状及其实证研究初探[J].中国生态农业学报,2004,12(3):184-187.
- [2] Leopold A. Wilderness as a land laboratory[J]. Living Wilderness, 1941, 7: 3.
- [3] Rapport D J. Ecosystem health[M]. Oxford: Blackwell Science, Inc, 1998: 1-356.
- [4] Odum E P. Perturbation theory and the subsidy-stress gradient[J]. Biosciences, 1979, 29(6): 349-352.
- [5] Kristin S. Ecosystem health: a new paradigm for ecological assessment[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1994, 9: 456-457.
- [6] Under D G. The USDA forest service perspective on ecosystem eastern Area Association of States Government Printing Office[Z]. 1994: 22-26.
- [7] Robert C. Predictors of ecosystem health[M]//Rapport D J R. Ecosystem health. Malden and Oxford: Blackwell Science, 1998: 240-250.
- [8] Robert C. Toward an operational definition of ecosystem health[M]//Ecosystem health. New goals for environmental management. Washington D C: Island Press, 1992: 239-256.
- [9] Rapport David J, Thorpe C, Regier H. A. Ecosystem medicine[J]. Bulletin of the Ecological Society of A-

- merican, 1979, 60: 180-182.
- [10] Rapport D J, Regier H A, Hutchison T C. Ecosystem behavior under stress [J]. *Am. Naturalist*, 1985, 125: 617-640.
- [11] Rapport D J. What constitutes ecosystem health[J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 1989, 33: 120-132.
- [12] Rapport, D J, Bohm G, Buckingham D, et al. Ecosystem health: the concept, the ISEH, and the important tasks ahead[J]. *Ecosystem Health*, 1999, 5: 82-90.
- [13] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem health: Measuring ecosystem health [J]. *Environmental Management*, 1988, 12: 445-455.
- [14] Schaeffer D J, Cos D K. Establishing ecosystem threshold criteria [C]//Costanza R, Norton B, Haskell B. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Island Press, 1992.
- [15] Karr J R, Fausch K D, Angermeier P L, et al. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale [M]. *Champaigne: Illinois Natural History Survey, Illinois, Special Publication 5*: 1986.
- [16] Kerr S R, Dickie K M. Measuring the health of aquatic ecosystem[C]//Levin S A, et al. *Ecotoxicology: Problems and Approaches*. New York: Springer verlag, 1984.
- [17] Karr J R. Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, 12: 1521-1531.
- [18] Haworth L, Brunk C, Jennex D, et al. A dual perspective model of agroecosystem health: system functions and goals [J]. *Journal of Agroecosystem and Environmental Ethics*, 1997, 10(2): 127-152.
- [19] Mageau M T, Robert C, Robert E U. The development and initial testing of quantitative assessment of ecosystem health[J]. *Ecosystem Health*, 1995, 1: 201-213.
- [20] 张宏锋, 李卫红, 陈亚鹏. 生态系统健康评价研究方法
- 与进展[J]. *干旱区研究*, 2003, 20(4): 330-335.
- [21] 刘建军, 王文杰, 李春来. 生态系统健康研究进展[J]. *环境科学研究*, 2002, 15(1): 41-44.
- [22] Haskell B D, Norton B G, Robert C. What is ecosystem health and why should we worry about it [C]//Costanza R, Norton B, Haskell B. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Island Press, 1992: 3-20.
- [23] Page Talbot. Environmental existentialism [C]//Costanza R, Norton B, Haskell B. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Island Press, 1992: 97-123.
- [24] Ulanowicz R E. Ecosystem health and tropic flow networks[C]//Costanza R, Norton B G, Haskell B D. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Island Press, 1992: 190-206.
- [25] World Resources Institute. Stresses on ecosystem health: Chemical pollution [EB/OL]. Washington D C. 1995. <http://www.wri.org/health/ecohealth.html>.
- [26] Burger O. Biomonitoring and bioindicators for human and ecological health [EB/OL]. 2000. <http://www.cresp.org/dcwekshp/posters/biomont2.html>.
- [27] Clements F E, Weaver J E, Hanson H C. Plant competition: An analysis of community functions [M]. *Carnegie Institute of Washington: Washington D C*, 1929.
- [28] 国际恢复生态学学会官方主页: <http://www.ser.org>.
- [29] Johnson M, Bolin B, Costanza R. Globalization and sustainability of human health: an ecological perspective [J]. *Bioscience*, 1999, 49: 205-210.
- [30] Kristin S. Ecosystem health: a new paradigm for ecological assessment [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1994, 9: 456-457.
- [31] 沃科特 K P, 戈尔登 J C, 瓦尔格 J P, 等. 生态系统: 平衡与管理的科学 [M]. 欧阳华, 王政权, 等译. 北京: 科学出版社, 2002.