

生态系统退化程度诊断:生态恢复的基础与前提

杜晓军 高贤明 马克平*

(中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室,北京 100093)

摘要 生态系统退化程度诊断是进行生态恢复与重建的基础和前提。然而目前的生态系统退化程度诊断大多停留在定性的水平,如何对退化生态系统的退化程度进行定量的诊断就成为恢复生态学与生态恢复实践所面临的一个迫切且十分关键的问题。在综述前人研究的基础上,比较系统地论述了生态系统退化程度诊断的一系列问题:绘制了描述生态系统退化程度的概念模型;认为在实践中退化程度诊断的参照系统可以选择相应的受人类或自然干扰程度比较轻的“自然生态系统”;归纳了生态系统退化程度诊断的生物途径、生境途径、生态过程途径、生态系统功能/服务途径、景观途径;把诊断方法分为单途径单因子诊断法、单途径多因子诊断法、多途径综合诊断法;分析了生态系统退化程度诊断的可能指标(体系);给出了生态系统退化程度诊断的策略与流程,并对生态系统退化程度诊断及生态恢复过程中应注意的事项进行了讨论。建议我国加强典型生态系统退化程度的综合诊断研究。

关键词 退化生态系统 退化程度 退化程度诊断 恢复生态学 生态恢复

DIAGNOSIS OF THE DEGREE OF DEGRADATION OF AN ECOSYSTEM: THE BASIS AND PRECONDITION OF ECOLOGICAL RESTORATION

DU Xiao-Jun GAO Xian-Ming and MA Ke-Ping*

(Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract Diagnosis of degradation degree of ecosystems is the basis and the precondition of ecological restoration. Currently, the diagnosis of degradation degree of ecosystems is at the qualitative level. It is an urgent and key issue in the field of restoration ecology theory and ecological restoration practice to diagnose the degradation degree of ecosystems quantitatively.

A series of questions about diagnosis of degradation degree of ecosystems was discussed systematically in this paper by summarizing former studies, and a conceptual model of the degradation degree of ecosystems was pictured. The conceptual model is the basis of diagnosis of degradation degree of the ecosystem and upholds the viewpoint that many thresholds determined by the comprehensive effects of different factors may be involved in the process of ecosystem degradation. To certain extent, the scale of understanding of the process of ecosystem degradation with this model is less than that with previous models. “Natural ecosystem” characterized by little disturbance from human beings or nature was suggested to be a reference ecosystem of diagnosis of the degradation degree of the ecosystem; we provided a transformation model of ecosystem structure and function followed over time, modified from Bradshaw (1997).

The ways of expression of degradation degree of ecosystems were classified into three types, the third type of expression was encouraged in the relative study and practice because the third bridges the relationship between the degradation degree of ecosystem and ecosystem succession. Diagnostic approaches were presented as follows: biological approach, habitat approach, eco-process approach, ecosystem function/service approach, landscape approach. Diagnostic methods were classified into single approach and single factor diagnostic methods, single approach and multi-factorial diagnostic methods, and multi-approach comprehensive diagnostic methods. The possible indices (system) about diagnosis on degradation degree of ecosystem were analyzed. The strategies and steps for diagnosis of degradation degree of an ecosystem were provided by a case analysis. Some critical points during diagnosis of the degradation degree of an ecosystem and ecological restoration were discussed. We suggest that the study of comprehensive diagnosis of degradation degree of ecosystems should be strengthened.

Key words Degraded ecosystem, Degradation degree, Diagnosis of degradation degree, Restoration ecology, Ecological restoration

收稿日期: 2002-07-01 接受日期: 2002-10-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB111505, G2000046802)和中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-07-01-02)

感谢陈灵芝研究员对论文初稿提出的意见和建议

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: makp@brim.ac.cn

在恢复生态学研究的众多焦点问题中,有关生态系统退化的研究倍受关注,而退化程度的确定是一个基本问题,也是进行退化生态系统恢复与重建的基础和前提。然而目前仍缺乏定量科学的确定方法,这不仅影响着生态恢复的效果,而且也在一定程度上影响着恢复生态学的发展。本文将对生态系统退化程度的诊断思路与途径、诊断指标与方法、诊断策略进行分析和讨论,提出作者对解决这一问题的看法与思路。并呼吁我国尽快加强该领域的深入研究,期望该问题能引起更广泛的关注和研究。

1 生态系统退化程度诊断的研究进展

生态系统退化程度诊断对于生态恢复实践的重要性,已被国内外很多学者所重视。如 Platt(1977)把 1975 年在美国召开的“受损生态系统的恢复”国际研讨会的关键问题(Key elements)总结成一个小模型(图 1),该模型的基础是把退化的生态系统按退化程度分为两类:超负荷受害的(Overstressed)/不可逆的(Irreversible)和不超负荷受害的(Understressed)/可逆的(Reversible);康乐(1990)把退化的生态系统分为受害轻微的生态系统(可逆的)和受害严重的生态系统(不可逆的);包维楷等(1995)将环境退化和生物多样性丧失程度分为轻、中等和严重 3 种;余作岳等(1996)在热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究把退化生态系统划分为极度退化生态系统、次生林地生态系统等;Hobbs 和 Norton(1996)提出了一种临界阈值理论,该理论假设生态系统有 4 种可选择稳定状态,状态 1 是未退化的,状态 2 和 3 是部分退化的,状态 4 是高度退化的,该临界阈值理论和生态系统的不同退化程度密切相关,也充分肯定了对生态系统退化程度的诊断是开展生态恢复的前提和基础;李博(1997)根据植物种类组成、地上生物量与盖度、地被物与地表状况、土壤状况、系统结构等将草地退化程度分为 4 级:即轻度退化、中度退化、重度退化与极度退化;陈灵芝(1999)强调为了

恢复和重建生物多样性,必须了解生态系统退化程度,特别是其所在地生境特点,研究结构和组成种类是为了了解物种对被破坏生境适应程度,为恢复措施和物种选择提供理论依据;Whisenant(1999)与 Hobbs 和 Harris(2001)认为生态系统的退化存在两个阈限:分别是由生物因子的相互作用(Biotic interaction)和非生物因子的限制作用(Abiotic limitation)控制的。Hobbs 和 Harris(2001)认为景观水平的退化也存在两个阈限,分别由生物联结作用(Biotic connectivity)的丧失和物理景观功能(Physical landscape function)的丧失所控制;McIntyre 和 Hobbs(1999)探索了如何根据生境破坏与修复的程度来划分景观类型;杜晓军等(2001)在对辽宁西部低山丘陵区生态系统退化程度的研究中,尝试引入了数量分类方法,并通过生境退化的程度定量刻划了生态系统的退化程度等。

纵观国内外的研究可以发现,当前生态系统退化程度诊断的研究大多仍停留在定性阶段,这在一定程度上制约着生态恢复实践和恢复生态学的发展,故亟需开展退化生态系统退化程度诊断的深入研究。如何精确地确定退化生态系统的退化程度将是亟待加强的研究方向,也是该领域今后发展的方向和趋势。

2 生态系统退化程度诊断的几个问题

由上述分析可知生态系统退化程度诊断在恢复生态学发展及生态恢复实践中的重要性,现今最迫切的问题是如何进行退化程度的诊断。我们认为进行生态系统退化程度诊断需要解决以下几个问题:生态系统退化程度的概念模型如何描述?诊断的参照系统是什么?如何来表达生态系统退化程度?诊断的途径有哪些?对于特定的生态系统哪些诊断指标和诊断方法可以选择?生态系统退化程度诊断策略与步骤?

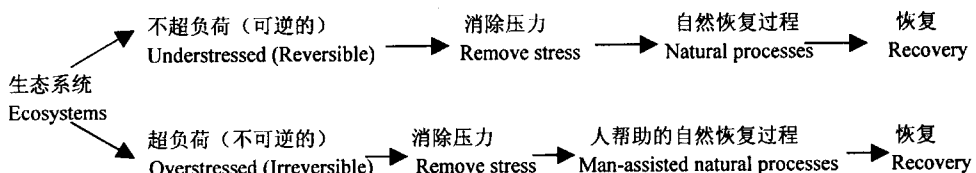


图 1 受害生态系统恢复的两种模式(Platt, 1977)

Fig. 1 Two models on recovery of damaged ecosystems(Platt, 1977)

2.1 生态系统退化程度的概念模型

为了进一步深入探讨生态系统退化程度诊断问题,我们在分析前人研究的基础上,并结合我们的研究与积累,绘制了生态系统退化程度的概念模型(图2)。我们认为生态系统退化或恢复过程中要经历多个过渡阶段,过渡阶段的多少与生态系统的退化程度有关,每个过渡阶段都可认为是一个生态恢复的临界阈限。一般情况下,每个临界阈限的(主

要)决定因子是不同的,图2中每个过渡阶段的细斜线的长短和斜率可以不同,即生态系统退化过程中每个过渡阶段发生的生态过程、所用的时间是不同的,生态恢复过程中每个过渡阶段所采取的措施和所用的时间长短也是不同的。本文认为生态系统退化可以存在多个阈限,分别由不同因子的综合作用所决定。

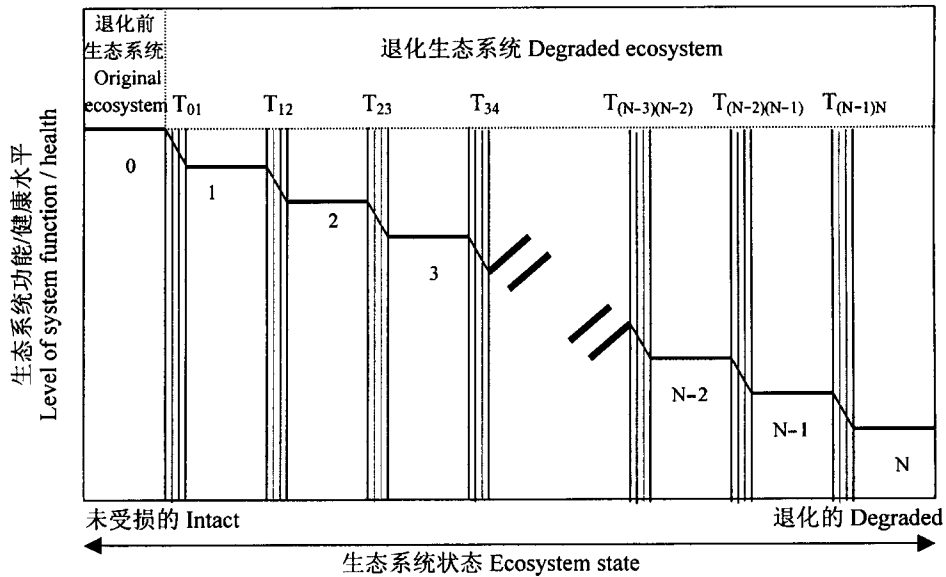


图2 生态系统退化程度的概念模型

Fig. 2 Conceptual model on degradation degree of ecosystem

0: 退化前生态系统 Original ecosystem 1, 2, 3, ..., N-2, N-1, N: 生态系统退化程度或演替阶段 Degradation degree or succession stage of ecosystem, $N \geq 1$ $T_{i(i+1)}$: 生态系统的第 i 阶段向下一阶段 $(i+1)$ 过渡阶段 Transition stage from No. i to $(i+1)$ stage of ecosystem, $0 \leq i \leq N-1$ 粗斜线表示省略 Wide bias shows omit

2.2 生态系统退化程度诊断的参照系统

在恢复生态学的研究中,人们对生态恢复的目标讨论和关注比较多(Hobbs & Norton, 1996; Bradshaw, 1997; Bakker *et al.*, 2000; Ehrenfeld, 2000; Diggelen *et al.*, 2001; Hobbs & Harris, 2001),然而必须指出的是:恢复的目标不一定等于退化程度诊断的参照系统。

退化生态系统是指生态系统在自然或人为干扰下形成的偏离自然状态的系统(任海等, 2001)。与自然系统相比,一般地,退化的生态系统种类组成、群落或系统结构改变,生物多样性减少,生物生产力降低,土壤和微环境恶化,生物间相互关系改变(Daily, 1995; 陈灵芝等, 1995; 任海等, 2001)。退化生态系统是相对未退化或退化前的原生态系统的(Hobbs & Norton, 1996)。陈灵芝等(1995)认为退化生态系统是与顶极生态系统(群落)相对而言,所

谓顶极生态系统是指在没有人为干扰时,主要受气候条件的制约而形成的。陈伟烈(1995)认为退化生态系统实际上是生态系统演替的一个类型,所谓“退化”其意思是指它的组成、结构、功能、动态及其对环境改善的效能都与自然的生态系统有着明显的不同,在大多数情况下,均比不上自然生态系统。可见,退化,往往是针对初始生态系统(Original ecosystem)(退化前)的状态而言的,一般也应以退化前的生态系统作为参照系统。然而由于种种原因(如缺乏对生态系统的长期定位跟踪监测研究),人们往往对退化前生态系统整体状态的各项参数(如组成、结构、功能、动态等)缺乏足够的了解(Hobbs & Norton, 1996)。因而在现今的生态恢复实践中,要以原来生态系统(退化前生态系统)作为参照系统有一定的现实困难;人们可以在本区域或邻近区域内选择未受破坏或破坏程度很轻的“自然生态系统”作为相应参

照系统(当今世界,完全未受干扰的纯自然系统几乎是不存在的),这是个权宜之策,当然若有退化前生态系统的各项指标数值最为理想。这也从一个侧面反映了开展和坚持长期的生态系统定位研究的重要性。

深入理解生态系统结构与功能随时间变化的关系有助于对该问题的分析与认识。在 Bradshaw (1997)研究的基础上,我们把生态系统结构与功能随时间的变化模式总结如图3所示,该图的时间轴可以给人以直观的时间概念,即相当于在认识生态系统结构与功能关系上(半)定量化了“退化所需要

的时间”和“不同方式的恢复所需要的时间”。因而图3除了可以用于分析退化程度诊断的参照系统外,还显示了一个关于生态退化与恢复的相对时间概念:即生态退化可以在非常短的时间内(相对生态恢复)发生和完成($T_1 - T_0 \ll T_2 - T_1, T_1 - T_0 \ll T_3 - T_1$),而生态恢复却要花非常长的时间(相对生态退化)才能达到预期目标($T_2 - T_1 \gg T_1 - T_0, T_3 - T_1 \gg T_1 - T_0$),同时告诫人们一定要保护好现有的健康生态系统;人工促进生态恢复可以大大缩短(相对自然恢复)生态恢复的时间($T_2 - T_1 \ll T_3 - T_1$)。

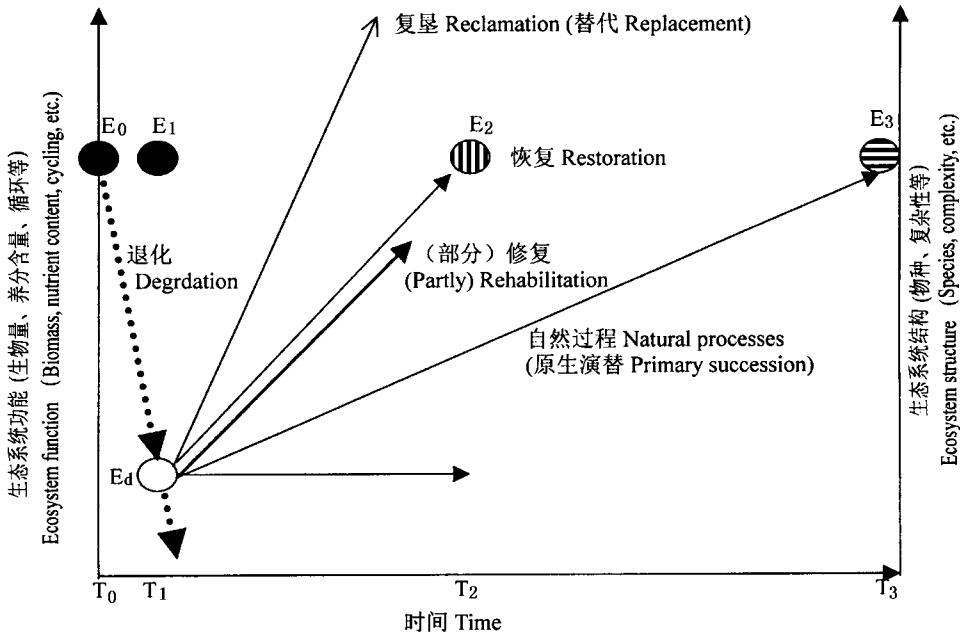


图3 生态系统结构与功能随时间的变化模式(根据 Bradshaw (1997)改绘)

Fig.3 Transformation model on ecosystem structure and function follow by time (Edited from Bradshaw(1997))

时间轴(横轴)表示了相对的时间长短 Horizontal axis shows relative time T_0 : 生态系统退化前的时间 Time of original ecosystem T_1 : 当前 At present T_2, T_3 : 将来的时间 The future time E_0 : T_0 时的原生态系统或自然生态系统 Original ecosystem or natural ecosystem at T_0 E_1, E_2, E_3 : 分别对应于 T_1, T_2, T_3 的自然生态系统,在实践中可以(权宜地)认为现存的自然生态系统为 E_1 ,此处“现存的自然生态系统”是指干扰的影响相对最小的“自然生态系统” Natural ecosystem at T_1, T_2, T_3 . In practices, E_1 can be considered as the existent natural ecosystem by a temporary expedient, and “the existent natural ecosystem” means “natural ecosystem” disturbed less than other ecosystems in this paper E_d : 退化的生态系统 Degraded ecosystem E_d 还有可能会在很长时间内维持当前的状态,或者继续退化 E_d may maintain the present state for a long time or continue degradation

2.3 生态系统退化程度的表达方式

目前对生态系统退化程度的表达方式可以归结为3种:第一种,以轻度、中度、重度、极度或一、二、三……等级来表示(包维楷等,1995;李博,1997);第二种,使用“可自然恢复”(即解除干扰后可在自然状态下恢复),人工促进恢复(即在人类导入一定的因子如水、肥料、种子等状态下可以恢复)和重建恢复的几种退化程度等(Platt,1977;赵晓英等,2001);第三种,把退化程度和生态系统演替阶段相联系来确

定(杜晓军等,2001)。可以看出,前两种表达方式仅能反映出相对退化程度的信息;第三种方式把生态系统退化程度诊断的研究与生态系统演替相联系,这样不但能更精确地表示出生态系统退化的程度,而且还能能为生态恢复提供更多有意义的信息,因而应提倡。

2.4 生态系统退化程度的诊断途径与可能指标(体系)

理论上讲,生态系统发生了退化,将会在该生态

系统的组成、结构、功能与服务等方面有所表现。因而诊断途径有生物途径、生境途径、生态系统功能/服务途径、景观途径、生态过程途径等。生态系统退化程度的诊断途径与可能指标(体系)如下:

2.4.1 生物途径

生物途径的指标一般比较直观并且较易获得,因而是一类主要的诊断途径。土壤生物部分(土壤微生物、土壤动物、土壤中高等植物的根)(熊顺贵, 2001)越来越受到更高的重视。

生物组成与结构:如植物、动物、微生物、生物多样性(指数)、盖度、密度、分布格局、年龄结构等。

生物数量:如生物(占据)面积、总生物数量、各种生物的数量等。

生物生产能力:如净初级生产力、生物量等。

2.4.2 生境途径

生境往往是指气候条件和土壤条件,气候因子的变化一般不大,土壤因子的变化往往较大甚至很大,土壤是植物生长繁育和生物生产的基地(熊顺贵, 2001),因而在生境诊断途径中更应重视土壤因子的变化。在气候条件的研究中,应重视小气候(如森林小气候、地形小气候等)(贺庆棠, 1991)的作用。

气候条件:如降水量、气温、光照、空气湿度、风等级等。

土壤理化性质:如土层厚度、土壤母质与成土矿物、土壤质地、土壤有机质、土壤的孔性与结构性、土壤水分、土壤空气和热量状况、土壤胶体及其对离子的吸附交换作用、土壤的化学性质和过程(土壤离子交换作用、土壤酸碱性、土壤的氧化还原作用、土壤缓冲性)、土壤养分(土壤中的氮素、磷素、钾素、硫、钙、镁、微量元素,土壤养分平衡及有效性)等。

2.4.3 生态系统功能/服务途径

生态系统发生退化的最终表现往往是生态系统功能与服务。随着对生态系统服务价值评估研究的深入,生态系统退化程度诊断的生态系统功能/服务途径将更具应用前景。

Costanza 等(1997)把生态系统服务(生态系统功能)分为 17 个项目:气体调节(大气化学成分调节)、气候调节(全球温度、降水及其它以生物为媒介的全球及地区性气候调节)、干扰调节(生态系统对环境波动的容量、衰减和综合反映)、水调节(水文流动调节)、水供应(水的贮存和保持)、控制侵蚀和保持沉积物(生态系统内的土壤保持)、土壤形成(土壤形成过程)、养分循环(养分的贮存、内循环和获取)、废物处理(易流失养分的再获取,过多或外来养分、化合

物的去除或降解)、传粉(有花植物配子的运动)、生物防治(生物种群的营养动力学控制)、避难所(为常居和迁徙种群提供生境)、食物生产(总初级生产中可用作食物的部分)、原材料(总初级生产中可用作原材料的部分)、基因资源(独一无二的生物材料和产品的来源)、休闲娱乐(提供休闲旅游活动机会)、文化(提供非商业性用途的机会)。

蔡晓明(2000)把生态系统功能分为生态系统的物种流动、生态系统的能量流动、生态系统的物质循环、生态系统的信息流动、生态系统的价值流、生态系统的生物生产、生态系统中资源的分解作用等,把生态系统服务分为生态系统的生产、生物多样性的维护、传粉、传播种子、生物防治、保护和改善环境质量、土壤形成及其改良、减缓干旱和洪涝灾害、净化空气和调节气候、休闲、娱乐、文化艺术素养——生态美的感受等。

2.4.4 景观途径

生态系统发生退化一般会在更大的尺度上即景观尺度上有所表现。生态系统退化的景观诊断是应加强的基础理论研究(章家恩等, 1999a)。

景观组成:如嵌块体(大小、形状、个数和构型)、廊道(结构、类型)、基质与网络等(Forman & Gordon, 1986)。

景观结构:如异质性,嵌块体、廊道和基质的构型,景观对比度等(Forman & Gordon, 1986)。

2.4.5 生态过程途径

生态系统发生了退化,其生态过程特别是关键的生态过程必然有所变化,这就为生态过程途径的诊断奠定了基础。生态过程可以发生在不同的尺度水平上。生态学过程一般包括种群动态、种子或生物体的传播、捕食者和猎物的相互作用、群落演替、干扰扩散、养分循环等(李博, 2000);生物的生理生化反应过程(如光合作用、呼吸作用等)的一些指标也可对生态系统退化程度诊断提供信息。

2.4.6 诊断途径之间的相互关系及诊断指标(体系)确定的原则

上述诊断途径之间既相互独立又相互联系、相互补充,也相互交叉,因而上述诊断途径的划分也不是绝对的,比如在研究一个生态系统中某一特定物种(如建群种)的生态学问题时,常会把该特定物种以外的其它物种以及非生命因子均作为生境因子来考虑。一些学者对退化生态系统评价指标所遵循的原则进行了概括与总结(章家恩等, 1999b; 赵晓英等, 2001):生态系统整体性原则、地带性或区域性原

则、指标概括性原则、主要关系原则、动态性原则、定性指标与定量指标结合原则、评价指标体系的层次性原则。我们认为诊断指标(体系)的选择应遵循的核心原则是:代表性原则(代表生态系统的特征)和实用性原则(选择的指标是为了便于在生产实践中应用,应具备应用的前景)。

2.5 生态系统退化程度诊断方法

表 1 生态系统退化程度诊断途径与诊断方法
Table 1 Diagnosis approaches and methods on degradation degree of ecosystem

| 诊断途径 Diagnosis approaches | 诊断方法 Diagnosis methods | | |
|---|--|--|---|
| | 单途径 Single approach | | 多途径 Multi-approach |
| | 单途径单因子诊断法 Diagnosis method of single approach and single factor | 单途径多因子诊断法 Diagnosis method of single approach and multi-factors | 多途径综合诊断法 Multi-approach comprehensive diagnosis method |
| 生物途径 Biological approach | ✓ | ✓ | ✓ |
| 生境途径 Habitat approach | ✓ | ✓ | ✓ |
| 生态系统功能/服务途径 Ecosystem function/service approach | ✓ | ✓ | ✓ |
| 景观途径 Landscape approach | ✓ | ✓ | ✓ |
| 生态过程途径 Eco-process approach | ✓ | ✓ | ✓ |
| | 单因子 Single factor | 多因子 Multi-factors | |
| | 诊断方法 Diagnosis methods | | |

2.5.1 单途径单因子诊断法

选用一个诊断途径的一个指标进行诊断的方法即为单途径单因子诊断法。

对于生物途径来说,就是通过指示生物(植物、动物、微生物)的方法。以往对指示植物关注的比较多(侯学煜,1952;李继侗文集编辑委员会,1986;孔令韶等,1994),但指示植物和群落的指示性有地方性和局限性(李继侗文集编辑委员会,1986)。刘慎谔(1985)认为从演替角度来看,外来种是指示植物,它可以指示群落发展的方向。对于动物的指示作用也在被人们重视,如一些人开展了昆虫和其它节肢动物(Arthropod)对生境监测的指示作用研究(Hopkins & Webb, 1984; Williams, 1997),Majer(1997)注意了无脊椎动物作为恢复的指示作用等。对于土壤微生物特别是菌根真菌、固氮菌在生态恢复中的作用越来越受到重视(Haselwandter, 1997)。关于生物途径,指示功能群的研究是以后发展的一个重要方向。

对于其它途径来说,就是通过有指示意义的指标或因子来进行诊断,如一个生境因子等。

2.5.2 单途径多因子诊断法

选用一个诊断途径的多个指标进行诊断的方法

由于退化生态系统是个相对的概念,因而退化程度诊断从方法论基础上更强调的是比较法。根据诊断时选用的指标数并结合诊断的途径,可把诊断方法分为单途径单因子诊断法、单途径多因子诊断法、多途径综合诊断法,也可分为单因子单途径诊断法、多因子单途径诊断法、多因子多途径诊断法(表 1)。

即为单途径多因子诊断法。

2.5.3 多途径综合诊断法

选用两个或两个以上诊断途径的指标进行诊断的方法即为多途径综合诊断法。

单途径多因子诊断法和多途径综合诊断法都是通过建立指标体系的方法来进行生态系统退化程度诊断的,不同的是前者的指标体系是来自一个途径的,而后者的指标体系是来自多个途径的;这两种方法由于要涉及多个因子,因而诊断过程中往往需要引入数学的分析方法,有时诊断模型的建立也是必要的。

与多因子诊断法(多途径综合诊断法、单途径多因子诊断法)比较,单因子诊断法(单途径单因子诊断法)相对比较简单。在进行生态系统退化程度诊断时,多因子诊断法一般比单因子诊断法的诊断结果更接近实际情况或者说能减小犯错误的比率,在条件允许的情况下建议优先选择多因子诊断法。

2.6 生态系统退化程度诊断策略与流程

生态系统退化程度诊断一般要经过以下环节:诊断对象的选定,诊断参照系统的确定,诊断途径的确定,诊断方法的确定,诊断指标(体系)的确定。其诊断的策略与流程见图 4。

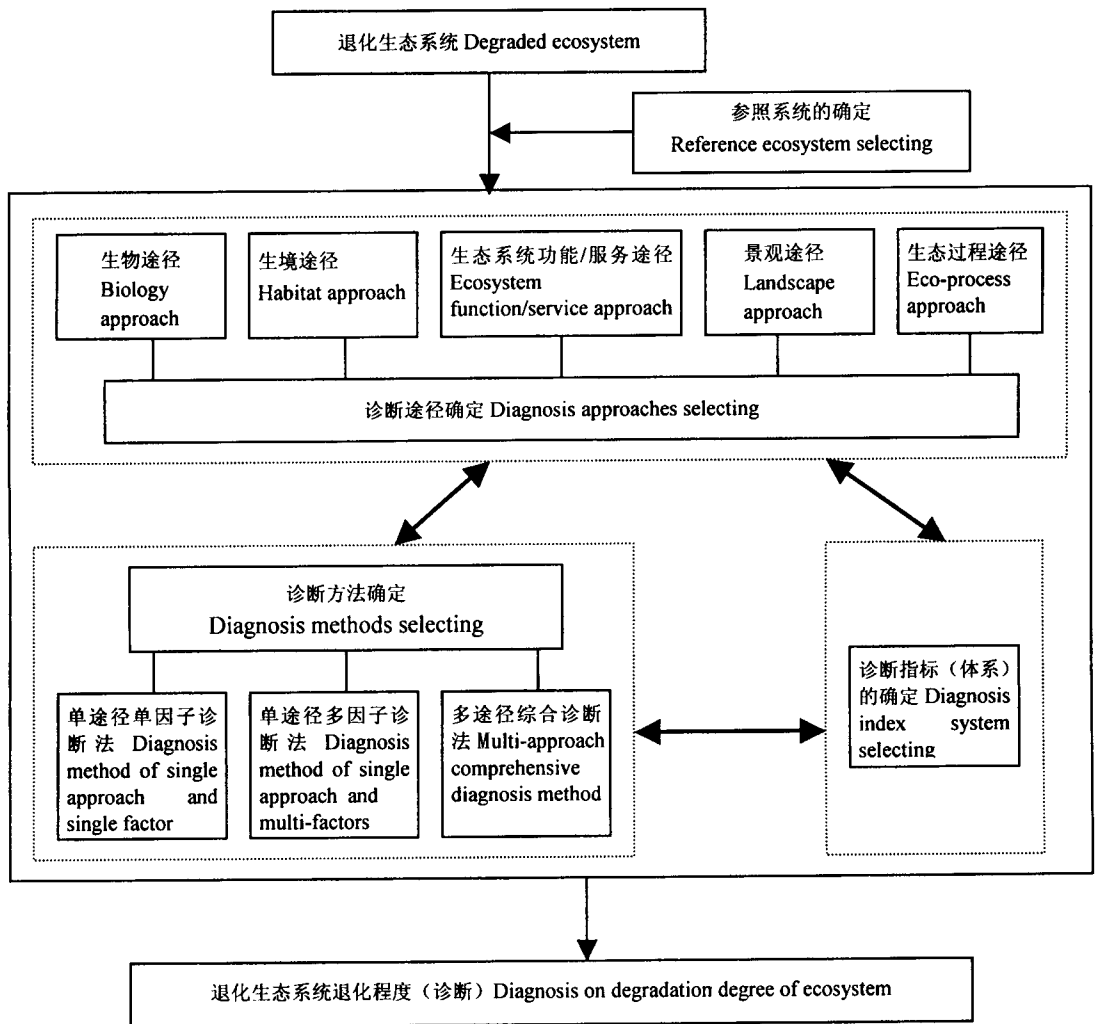


图4 生态系统退化程度诊断图示

Fig.4 Diagnosis on degradation degree of ecosystem

单向箭头示诊断流程方向 Unilateralism arrowhead shows direction of diagnosis flow 双向箭头示相互关系 Double direction arrowhead shows relationship

以辽宁西部低山丘陵区退化生态系统退化程度的定量确定为例(杜晓军,2000;杜晓军等,2001),对如何进行生态系统退化程度诊断作进一步的说明如下:1)确定诊断对象:辽西低山丘陵区退化生态系统;2)确定参照系统:选择相应的受人类或自然干扰程度比较轻的“自然生态系统”——松栎林(*Pinus-Quercus forest*)为参照系统;3)选择诊断途径:生境途径;4)选择诊断方法:单途径多因子诊断法;5)诊断指标(体系)的确定:土层厚度、土壤有机质、土壤全氮、土壤旱季含水率、土壤微生物总数量;6)生态系统退化程度诊断:研究中采用了聚类分析的数学方法。需要说明的是,数学分析方法的选择可依据具体情况而定。

3 讨论与建议

生态恢复的实践需要理论指导,生态系统退化程度的诊断是为退化生态系统的恢复与重建服务的。建议尽快开展我国关键生态系统退化程度诊断的研究,而数量化方法的借鉴与引入有助于对退化程度诊断的深入研究;西部生态环境建设中更应重视并需要加强该领域的研究,比如退耕还林还草工作中出现的最突出问题——退耕后如何进行植被建设?还林还是还草?还什么林?还什么草?采用什么手段还林还草等(沈国舫,2001),这些问题的解答以及解答的好坏一定程度上要依赖于生态系统退化程度诊断的精确与否。我国退化生态系统的类型是多样的(陈灵芝等,1995),这就要求我们要针对不同

退化类型不同退化程度的生态系统采取相应的生态恢复策略,发展相应的生态恢复方法与技术。

健康的生态系统是人类可持续发展的重要前提(曾德慧等,1999)。与健康生态系统相比,退化生态系统是一类“病态”的生态系统(章家恩等,1999b)。可见,生态系统健康(Rapport *et al.*, 1998)与生态系统退化密切相关,生态系统健康诊断与评价等方面的研究成果(Rapport *et al.*, 1998;任海等,2001;赵晓英等,2001)对开展退化生态系统诊断研究有借鉴意义。生态系统是个复杂的系统,生态系统退化程度的诊断和生态恢复是以生态系统的尺度为基础和出发点的,但在生态退化与生态恢复的理论研究和实践中均要注意生态系统等级理论(Hierarchy theory)(邬建国,2000)的运用。

恢复生态学是一门以基础理论和技术为软硬件支撑的多学科交叉、多层次兼顾的综合应用学科(章家恩等,1999a),它与生态学分支(如遗传生态学、生理生态学、种群生态学、群落生态学、生态系统生态学、景观生态学、保护生态学等)、生物学、土壤学、水文学、农学、林学、工程与技术学、环境学、地学、经济学、社会伦理学等学科紧密相连(徐嵩龄,1994;余作岳等,1996;章家恩等,1999a)。恢复生态学是一门综合性很强的学科,也是一项十分复杂的系统工程,在一定意义上是一门生态工程学(Ecological engineering)或是一门在生态系统水平上的生物技术学(Biotechnology)(徐嵩龄,1994)。退化生态系统诊断和生态恢复的研究需要由多学科组成的科研群体进行联合攻关。

参 考 文 献

- Bakker, J. P., A. P. Grootjans, M. Hermy & P. Poschlod. 2000. How to define targets for ecological restoration? — Introduction. *Applied Vegetation Science*, **3**: 3 ~ 6.
- Bao, W. K. (包维楷), Q. H. Chen (陈庆恒) & Z. G. Liu (刘照光). 1995. Restoration and enhancement of biological diversity in degraded mountainous ecosystem. In: Biodiversity Committee, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院生物多样性委员会) & Department for Wildlife and Forest Plants Protection, the Ministry of Forestry (林业部野生动物和森林植物保护司) eds. *Advances in biodiversity research*. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 417 ~ 422. (in Chinese with English abstract)
- Bradshaw, A. D. 1997. What do we mean by restoration. In: Urbanska, K. M., N. R. Webb & P. J. Edwards eds. *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge: Cambridge University Press. 8 ~ 14.
- Cai, X. M. (蔡晓明). 2000. *Ecosystem ecology*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Chen, L. Z. (陈灵芝) & W. L. Chen (陈伟烈). 1995. Studies on degraded ecosystems in China. Beijing: Chinese Science and Technology Press. (in Chinese)
- Chen, L. Z. (陈灵芝). 1999. Some viewpoints on biodiversity research. *Chinese Biodiversity (生物多样性)*, **7**: 308 ~ 311. (in Chinese with English abstract)
- Chen, W. L. (陈伟烈). 1995. The status of ecosystems degradation in China. In: Chen, L. Z. (陈灵芝) & W. L. Chen (陈伟烈) eds. *Studies on degraded ecosystems in China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 16 ~ 23. (in Chinese)
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**: 253 ~ 260.
- Daily, G. C. 1995. Restoring value to the world's degraded lands. *Science*, **269**: 350 ~ 354.
- Diggelen, R., A. P. Grootjans & J. A. Harris. 2001. Ecological restoration: state of the art or state of the science? *Restoration Ecology*, **9**: 115 ~ 118.
- Du, X. J. (杜晓军), F. Q. Jiang (姜凤岐), H. Shen (沈慧), H. M. Lin (林鹤鸣), H. Guo (郭浩) & S. Z. Wang (王世忠). 2001. Quantitative measurement on degradation degree of ecosystem in hilly region of western Liaoning province. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **12**: 156 ~ 158. (in Chinese with English abstract)
- Du, X. J. (杜晓军). 2000. Early diagnosis and sustainable management strategies of Chinese pine low-value forest in western Liaoning. Ph. D. dissertation of Institute of Shenyang Applied Ecology of the Chinese Academy of Sciences. (in Chinese with English summary)
- Ehrenfeld, J. G. 2000. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. *Restoration Ecology*, **8**: 2 ~ 9.
- Forman, R. T. T. & M. Gordon. 1986. *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons.
- Haselwandter, K. 1997. Soil micro-organisms, mycorrhiza, and restoration ecology. In: Urbanska, K. M., N. R. Webb & P. J. Edwards eds. *Restoration ecology and sustainable development*. Cambridge: Cambridge University Press. 65 ~ 80.
- He, Q. T. (贺庆棠). 1991. *Meteorology*. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- Hobbs, R. J. & D. A. Norton. 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, **4**: 93 ~ 110.
- Hobbs, R. J. & J. A. Harris. 2001. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, **9**: 239 ~ 246.
- Hopkins, P. J. & N. R. Webb. 1984. The composition of the beetle and spider faunas on fragmented heathlands. *Journal of Applied Ecology*, **21**: 935 ~ 946.
- Hou, X. Y. (侯学煜). 1952. Indicator plant and agriculture-forestry work. *Chinese Science Bulletin (科学通报)*, **3**: 627 ~ 633. (in Chinese)
- Kang, L. (康乐). 1990. Restoration and reconstruction of ecosystem. In: Ma, S. J. (马世骏) ed. *Perspective of modern ecology*. Beijing: Science Press. 300 ~ 308. (in Chinese)
- Kong, L. S. (孔令韶), T. X. Ren (任天祥) & P. Gao (高平). 1994. The studies on indicator plant for metal ore in China. In: *Vegetation Ecology Study Editorial Committee (植被生态学研究编辑委员会)* ed. *Vegetation ecology study*. Beijing: Science Press. 462 ~ 470. (in Chinese)
- Li Jitong Corpus Committee (李继侗文集编辑委员会). 1986. *Li Jitong Corpus*. Beijing: Science Press. 285 ~ 328. (in Chinese)
- Li, B. (李博). 1997. The rangeland degradation in North China

- and its preventive strategy. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), **30**(6):1~9. (in Chinese with English abstract)
- Li, B. (李博). 2000. *Ecology*. Beijing: China Higher Education Press. (in Chinese)
- Liu, S.E. (刘慎谔). 1985. Dynamic terra botany. In: Liu Shen' e Corpus Committee (刘慎谔文集编辑组) ed. Liu Shen' e corpus. Beijing: Science Press. 179~228. (in Chinese)
- Majer, J.D. 1997. Invertebrates assist the restoration process: an Australian perspective. In: Urbanska, K.M., N.R. Webb & P.J. Edwards eds. Restoration ecology and sustainable development. Cambridge: Cambridge University Press. 212~237.
- McIntyre, S. & R. Hobbs. 1999. A framework for conceptualizing human impacts on landscapes and its relevance to management and research. *Conservation Biology*, **13**:1282~1292.
- Platt, R.B. 1977. Conference summary. In: Carins, Jr. J., K. L. Dickson & E.E. Herricks eds. Recovery and restoration of damaged ecosystems. Charlottesville: University Press of Virginia. 526~531.
- Rapport, D.J., R. Costanza & A.J. McMichael. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution*, **13**:397~402.
- Ren, H. (任海) & S.L. Peng (彭少麟). 2001. Introduction to restoration ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Shen, G.F. (沈国舫). 2001. The eco-environmental construction in the great west development strategy. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **37**(1):1~6. (in Chinese with English abstract)
- Whisenant, S.G. 1999. Repairing damaged wildlands: a process-oriented, landscape-scale approach. Cambridge: Cambridge University Press.
- Williams, K.S. 1997. Terrestrial arthropods as ecological indicators of habitat restoration in southwestern North America. In: Urbanska, K.M., N.R. Webb & P.J. Edwards eds. Restoration ecology and sustainable development. Cambridge: Cambridge University Press. 238~258.
- Wu, J.G. (邬建国). 2000. *Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy*. Beijing: China Higher Education Press. (in Chinese)
- Xiong, S.G. (熊顺贵). 2001. *Basic pedology*. Beijing: China Agriculture University Press. (in Chinese)
- Xu, S.L. (徐嵩龄). 1994. Ecological reconstruction at mines and restoration ecology. *Science and Technology Review* (科技导报), (3):49~51, 16. (in Chinese)
- Yu, Z.Y. (余作岳) & S.L. Peng (彭少麟). 1996. Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degraded ecosystems. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. (in Chinese)
- Zeng, D.H. (曾德慧), F.Q. Jiang (姜凤岐), Z.P. Fan (范志平) & X.J. Du (杜晓军). 1999. Ecosystem health and sustainable development for human. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**:751~756. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, J.E. (章家恩) & Q. Xu (徐琪). 1999a. Major issues in restoration ecology researches. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**:109~113. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, J.E. (章家恩) & Q. Xu (徐琪). 1999b. The diagnostic features of degraded ecosystem and index systems for degradation evaluation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), **8**:215~220. (in Chinese with English abstract)
- Zhao, X.Y. (赵晓英), H.S. Chen (陈怀顺) & C.Q. Sun (孙成权). 2001. *Restoration ecology: principles and approaches of ecological restoration*. Beijing: China Environmental Science Press. (in Chinese)

责任编辑: 彭少麟 责任编辑: 周玉荣