

景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径

关文彬¹, 谢春华¹, 马克明², 牛健植¹, 赵玉涛¹, 汪西林¹

(1. 北京林业大学水土保持部级重点实验室, 北京 100083; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:生态恢复与重建是跨尺度、多等级的问题,其主要表现层次应是生态系统(生物群落)、景观,甚至区域,而不能仅仅局限于生态系统。景观的恢复与重建是针对景观退化而言,景观退化从表现形式上可分为景观结构退化与景观功能退化。景观结构退化即景观破碎化,是指景观中各生态系统之间的各种功能联系断裂或连接度(connectivity)减少的现象;而鲜受重视的景观聚集(aggregation)在很多情况下同样具有造成景观退化的负面效应。景观功能退化是指与前一状态相比,由于景观异质性的改变导致景观的稳定性与服务功能等的衰退现象。

景观恢复是指恢复原生生态系统间被人类活动终止或破坏的相互联系;景观生态建设应以景观单元空间结构的调整和重新构建为基本手段,包括调整原有的景观格局,引进新的景观组分等,以改善受损生态系统的功能,提高其基本生产力和稳定性,将人类活动对于景观演化的影响导入良性循环。二者的综合,统称为景观生态恢复与重建,是构建安全的区域生态格局的关键途径。其目标是建立一种由结构合理、功能高效、关系协调的模式生态系统(model ecosystem)组成的模式景观(model landscape),以实现生态系统健康、生态格局安全和景观服务功能持续,以 3S(RS, GPS, GIS)技术为支撑的 GAP(a geographic approach to protect biological diversity)分析将为大尺度景观恢复的诊断、评价、规划提供重要的手段。

景观中某些关键性点、位置或关系的破坏对整个生态安全具有毁灭性的后果,研究景观层次上的生态恢复模式及恢复技术,选择恢复的关键位置、构筑生态安全格局已成为景观生态学家关注的焦点。

关键词:生态安全格局; 构建途径; 景观恢复与重建

A vital method for constructing regional ecological security pattern: landscape ecological restoration and rehabilitation

GUAN Wen-Bin¹, XIE Chun-Hua¹, MA Ke-Ming², NIU Jian-Zhi¹, ZHAO Yu-Tao¹, WANG Xi-Lin¹ (1. Beijing Forestry University, Beijing 100083 China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 64~73.

Abstract: Ecological restoration and rehabilitation should be a multiple-scale project rather than be limited in a single ecosystem, and should include ecosystem or biota, landscape and even region. Landscape restoration and rehabilitation have become important due to widespread landscape degradation, including

基金项目:国家重点基础研究资助项目(G200046807);国家自然科学基金资助项目(30170180)

收稿日期:2002-02-25; **修订日期:**2002-10-20

作者简介:关文彬(1965~),男,辽宁建平县人,博士,副教授。主要从事植被生态学和生物多样性研究。

Foundation item: National Basic Priorities Programme(G200046807) and National Natural Science Foundation(30170180)

Received date: 2002-02-25; **Accepted date:** 2002-10-20

Biography: Guan Wen-Bin, Doctor, Associate Professor. Main research direction is vegetation ecology and biology diversity.

structure and function degradation. Landscape structure degradation, that is landscape fragmentation, is defined as the phenomenon that functional diversity relationships are ruptured or connectivity is reduced among ecosystems within the landscape. In addition, landscape aggregation, which has long been neglected, has negative effects on the landscape as well. Degradation of function is a loss or the degradation of stability and service functions due to a change in heterogeneity relative to a former state.

Landscape reintegration means to restore contiguous relationships among ecosystems, which have been ruptured or fragmented by human activities. This ecological landscape reconstruction will improve functions of threatened or impacted ecosystems by adjusting and reconstructing landscape units' spatial structures; hence, primary productivity and stability are promoted, and landscape evolution influenced by human activities involves in virtuous circle, such as adjusting original landscape pattern, introducing new landscape elements. These two works are called landscape ecological restoration and rehabilitation, which is a vital method to construct a regional ecological security pattern. Its aim is to rebuild a model landscape consisting of several model ecosystems with reasonable structures, effective functions and harmonized relationships, so as to get healthy ecosystems, secure ecological pattern and sustainable landscape service. The method of GAP (A Geographic Approach to Protect Biological Diversity) supported by 3S (RS, GPS, GIS) technique provides an important tool of diagnosis, assessment and program of landscape restoration at a large scale.

Degradation or destruction of certain strategic portions, positions or relationships among them has destructive consequences to ecological security. In order to establish a landscape restoration model by effective techniques and to build a regional ecological security pattern by means of strategic positions, it is increasingly attractive for ecological research to focus on landscape scale degradation in structure and function originating from human disturbance; this is an issue of great concern. However, how to construct model landscapes effectively and determine the critical position for this end remains a tough question.

Key words: ecological security pattern; constructing method; landscape restoration

文章编号:1000-0933(2003)01-0064-10 中图分类号:Q149.X171.4 文献标识码:A

早在 20 世纪 70 年代,宫胁昭教授就提出了世界公认的“Miyawaki method”,继 20 世纪 80 年代英、美、澳等国家提出矿区复垦之后,基于对生态恢复的不同理解,世界上很多国家针对退化的采矿地^[1,2]、湿地^[3,4]、湖泊^[5~8]、森林^[9]、河岸生态系统^[10~12]等不同生态系统类型展开了各种形式的生态恢复与重建,使生态恢复与重建逐渐成为现代生态领域中引人注目的主题^[13~18]。

有关“生态恢复”的定义,包括 1994 年生态恢复协会(SER)的公开定义,多是定位在生态系统层次之上^[19~21],甚至有的是基于对灭绝或濒危物种及种群的消极(passive)恢复或保护^[22]。然而,如何探求生态系统与周围环境的关系以及生态系统之间的关系与过程恢复,仍是目前生态恢复研究的一大“空白”,这不仅限制了恢复生态学学科的发展,同时也严重制约生态恢复目标的实现,所以,生态恢复必须诉诸于景观途径^[23]。对生态恢复与重建认识不能仅仅局限于生态系统,生态恢复与重建应是跨尺度、多等级的问题,其主要表现层次应是生态系统(生物群落)、景观,甚至区域(如沙化土地、水土流失严重的黄土高原等)。虽然诸如物种的稀有或濒危问题是发生在某一层级(如种群)上,而保护和管理则需要在更高的层次(整个景观上,乃至区域)来进行^[24]。特定地点生态环境退化影响着整个区域性景观的生态过程,生态恢复战略必须从保护目标上升到景观以上尺度。脆弱景观在整个区域的保护中具有战略性意义,其退化将对整个区域产生不可遏制的逆行演替之势,所以生态脆弱景观的恢复与重建,是构建区域生态安全格局的关键途径。

1 景观生态恢复与重建的概念与内涵

1.1 景观退化

景观退化就其表现形式可以分为景观结构退化与景观功能退化两种类型,二者又相互影响。景观的空

间格局是若干生态过程与非生态过程长期作用的产物,景观的空间结构影响着干扰的扩散和能量的转移,尤其是景观中某些具有战略性的结构退化或破坏将对整个景观产生致命的影响。与此同时,通过物种入侵、环境污染等途径增加或减少景观中的熵值,同样会引起景观功能退化,影响景观的稳定性,当超过一定的阈值时,该过程用自然恢复方式甚至是不可逆的。

1.1.1 景观结构退化 (1)景观破碎化(fragmentation) 通常情况下,景观结构退化主要表现为景观破碎化,它是指景观中各生态系统之间的各种功能联系断裂(rupture)或连接性(connectivity)减少的现象^[25]。景观破碎化是一个渐近过程,首先,景观在人为大尺度(coarse scale)干扰下,景观的组成、形状、大小、景观要素的空间分配格局等发生强烈变化,原本利于景观流流动的各种廊道被截断或逐渐成了新格局下的障碍^[26],各斑块间的空间隔离度增加或连接度减小,景观斑块化或片段化,形成复合种群(metapopulation),但景观中各生境斑块仍通过各隔离种群间的物种迁徙而保持联系;随着干扰的继续,各斑块边缘生境增加而内部生境减少,残留生境越来越小,新生境中物种数减少,生物多样性丧失,各生境的生态系统功能下降,复合种群逐渐消失,形成了破碎化景观。

景观破碎化引起斑块数目、形状和内部生境等 3 个方面的影响,它不仅会引起外来种的入侵^[27]、改变生态系统结构^[28, 29]、影响物质循环^[30]、降低生物多样性^[31~34],还会影响景观的稳定性,即景观的干扰阻抗与恢复能力。有时,景观破碎化还会引起人类社会经济结构的变化^[35]。

(2)景观聚集化 景观聚集(Aggregation)与景观破碎化过程相反,但在很多情况下同样具有造成景观退化的负面效应^[3]。它主要发生在干扰引起的景观破碎化之后的植被恢复过程中。这种现象在自然景观中普遍存在,但人们往往却只注意了破碎化引起的景观资源破坏,而事实上,聚集而成的景观中异质性和(区域)多样性都会降低。聚集过程常常可以增加更多的内部生境,而使边缘减少,就这一点而言,只适于那些需要大面积斑块的物种生存^[28]。景观聚集还会引起景观中区域性种群的一致性摆动,从而增加了全球性物种丧失的机率^[36]。目前很少有这方面的研究。

1.1.2 景观功能退化 景观功能退化是因景观异质性的改变而导致景观稳定性和景观服务功能的衰退,如土地荒漠化景观、富营养化湖泊景观等。景观异质性是景观基本特征,是景观规划管理的重要原则之一^[37]。它是指在景观中对一个物种或更高级生物组织的存在起决定性作用的资源(或某种性状)在空间上(时间上)的变异程度(强度)^[38]。景观异质性是地质、地貌、风化、成土、生物、气象以及人类与自然干扰等的综合作用,而从景观退化的角度来看,更强调人为干扰造成的景观异质性改变。研究表明,干扰对景观异质性的改变决定于景观的初始状态,若景观初始状态是异质的,则干扰可降低其异质性;若景观初始状态是同质的,则随干扰的继续,景观异质性变化呈现正态曲线,即先增加后降低^[39]。景观异质性程度变化比较复杂,较高的景观异质性具有较强消化干扰的能力,但景观异质性增加从某种程度上又会成为景观流的障碍。

1.2 景观恢复与重建

生态系统与景观,简单地说是尺度上的差异,景观可以看成是生态系统的集合,景观中的斑块是一个与包围它的生态系统截然不同的生态系统^[10]。恢复生态学家们越来越注意到,景观多样性、异质性过程对生态系统(景观要素)的组织水平、多样性和稳定性的维持及其动态变化、演替规律均有重要影响^[11, 12],仅从生态系统这一尺度上进行生态恢复与重建并不能达到真正意义上恢复与重建的目的。只有考虑了周围景观的影响,采取相应措施来减少周围景观产生的负面效应,否则,局限在小面积内的单一物种保护的生态恢复措施肯定会失败^[13]。

与以往的生态恢复不同,景观恢复(reintegration of landscape)从景观尺度上考虑恢复,以地块为单元,研究景观要素间的物质、能量交换与动态平衡,往往涉及两个或更多相互作用的生态系统和(或)生态交错带,强调对景观中历史、文化和其他非人类因素对景观格局的影响进行量化描述或对比分析,推测景观的演化轨迹(trajec-tory)^[41]。它是指恢复生态系统间被人类活动破坏(disruption)或打破(fragmentation)的自然(contiguous)联系^[25]。这表明,景观生态恢复不是仅局限于某个生态系统,而注重于景观格局及其各要素间的功能联系,合理的景观管理措施可以使生态系统回到以前,或与之相近的状态。我国学者提出了景观生态建设的定义:景观生态建设是构建区域生态安全格局的主要内容,目前公认的理解是指一定地

域、跨生态系统、适用于特定景观类型的生态工程,它以景观单元空间结构的调整和重新构建为基本手段,包括调整原有的景观格局,引进新的景观组分等,以改善受胁或受损生态系统的功能,提高其基本生产力和稳定性,将人类活动对于景观演化的影响导入良性循环^[45]。而这一概念,忽略了对退化景观要素的恢复以及对受胁景观的保护。也有人建议用“景观生态改良(landscape ecological enhancement or enrichment)”^[46]来代替“景观生态恢复”,因为某些干扰破坏了景观演替过程中的不连续性、不可逆性和不平衡性,尤其是那些异质性已被人类活动大大削减的景观,恢复到原来的状态^[47],或“真正恢复(true restoration)”是不可能的^[48];但作者认为,恢复的目的只是实现“功能等同(functionally equivalent)”^[49]。

在2001年2月新西兰惠灵顿维多利亚大学召开的国际岛屿生物区系生态学大会上*,借鉴生物分类模式的思想,提出了模式生态系统(model system),将岛屿生态系统作为生态恢复的模式系统^[50]。将这一思想与参照生态系统(ecosystem of reference)^[51]、参照景观(landscape of reference)^[14]和“建造适于人类生存的可持续利用景观模式”^[45]相结合,景观生态恢复与重建的目标问题则可解决,建立一种由结构合理、功能高效、关系协调的模式生态系统(model ecosystem)组成的模式景观(model landscape),从而,构建区域生态安全格局。在制定景观生态恢复与重建目标时,需要考虑的生态系统特征有^[12]:组分(包括当前物种和它们的相对丰富度)、结构(包括土壤和植物组分的垂直分布)、格局(系统组分的水平配置)、异质性、功能(景观生态过程)、动力学和恢复力(包括景观演替和状态转变过程,干扰恢复能力)。

2 景观生态恢复与重建模式

从景观以上尺度考虑生态恢复与重建问题虽已逐渐引起了恢复生态学家的关注^[52~56],但在这方面开展的有效工作却不多,目前很多有关物种密集区的景观恢复都是围绕野生生物的“迁徙廊道”进行的^[31, 57],但这却只是景观恢复的一小部分^[58]。而且也很少有提出比较具体而实用的方法^[12, 43, 59, 60]。一是源于对景观的模糊认识,它需要科学地处理生态学与人文地理的交叉问题;二是不能清晰界定景观的空间位置及生态地位^[61~64]。景观生态学的迅速发展与不断深入,为景观以上尺度的生态恢复提供了可能。

根据景观退化的过程,景观生态恢复与重建应该包括3个层次的内容:退化景观的恢复与重建,复合种群的管理与景观生态建设;对于不同类型的退化景观,如荒漠草原景观、湿地退化景观、农田退化景观、采矿废弃地景观等,须采用不同的恢复与重建技术,但大致都可以按以下模式进行^[20]:(1)首先要明确被恢复对象,并确定系统边界。景观生态恢复与常规的退化生态系统的恢复最根本的区别在于,景观生态恢复的对象是两个或两个以上的相互作用的生态系统,并且或者包括了彼此之间的生态交错带(也称之为景观界面,landscape boundary)^[65]。另外,景观在生态系统的基础之上还增加了人文要素,人文景观是大多陆地景观的主要组成部分。(2)退化景观的诊断分析,包括景观中物质、能量与信息的流动与转化分析,退化主导因子、退化过程、退化类型、退化阶段与强度的诊断与辨识,如生物聚集的变化(物种消失或减少、入侵等)、景观结构变化、景观流的变化(物种、水分、养分运动等)、美学价值变化(如宜人景观类型的减少等);(3)生态退化的综合评判,以退化前景中的文化与社会经济背景为依据,分析发生问题的原因,选择参考景观^[41],确定恢复目标,但目前对参考景观的建立还不完善;(4)恢复与重建的生态规划与风险评价,建立优化模型,决定在不同的景观类型和条件下行动的优先权、空间明确的解决方案、管理者和土地所有者的可接受程度和所有权、必要时可以对过程进行修正的适宜方法等,提出决策与具体的实施方案并进行自然-经济-社会-技术可行性分析;(5)进行实地恢复与重建的优化模式试验与模拟研究、通过长期定位观测试验,从景观结构与生物组成、景观中各生态系统间功能联系两方面量化评价景观恢复与重建的阶段性成果,获取在理论和实践中具可操作性的恢复重建模式;景观评价要比较灵敏地区别人类或非人类干扰引起的景观退化,并要易于推广到整个景观当中,能揭示跨景观各种生态流运动过程断裂和发生植被演替的初始阈值,并且将人作为一种景观中的主要生态因子,将景观的健康状况与人类管理水平相联系,通过模拟景观结构及其对其中生态系统的影响,来预测在社会经济、气候生理因子以及彼此间相互作用共同耦合

* <http://www.wcc.govt.nz/aboutwcc/documents/archives/otari/>

下,景观与生态系统的演替方向与发展动态^[64, 66]; (6)对一些成功的恢复与重建模式进行示范与推广,同时要加强后续的动态监测与评价。可见,景观生态恢复与重建从最开始景观问题的论断,到恢复与重建决策,乃至最后景观恢复与重建的结果,都贯穿着对景观“状态”和“健康”的评价。

3 景观生态恢复与重建与区域生态安全

景观中某些局部、点及位置对维护和控制某种生态过程有重要意义,由此构成的景观生态安全格局^[67]是现有的或是潜在景观的生态基础设施(ecological infrastructure)。所以,导致生态安全格局部分或全部破坏的景观改变将导致生态过程的急剧恶化,建立安全的生态格局则可以使全局或局部景观中的生态过程在物质、能量上达到高效。从人为干扰下景观空间结构与功能的动态联系^[68, 69]入手,研究恢复退化景观对周围景观及人工恢复对景观结构与功能的影响^[10, 12, 13, 70, 71],成了实现区域生态安全系统^[73]的合理构建与动态监控或提前监控的重要途径。一个典型的生态安全格局包括源(source)、缓冲区(buffer zone)、源间链接(inter-source linkage)、辐射道(radiation routes)与战略点(strategic points)5个部分。构筑安全格局意味着选择、维护和在某些潜在的战略部位引入斑块,使他们成为“跳板”,建立源间联系廊道和辐射道^[67]。

3.1 区域生态安全

生态安全是生态风险的反函数,是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全,组成的一个复合人工生态安全系统。对区域生态安全的分析主要包括:关键生态系统的完整性和稳定性,生态系统健康与服务功能的可持续性,主要生态过程的连续性等。应重点研究关键生态系统的完整性和稳定性,景观斑块动态与景观生态过程的连续性,景观对干扰的阻抗与恢复能力等。其分析步骤一般为:①生态系统功能分析;②生态系统演化状况的监测;③主要胁迫因子分析;④生态平衡期望值的设定;⑤重要阈值的判定(变化的允许范围);⑥对系统演化的预测和预警;⑦调控对策^[71]。

3.2 生态系统健康(ecosystem health)

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^[75]。生态系统健康包括活力(vigor)、组织结构(organization)和恢复力(resilience)3个特征。活力揭示了生态系统的功能,可以用新陈代谢能力或初级生产力等来测度;组织结构可根据生态系统内部各组分间相互作用的多样性及数量、频度来评价;恢复力指生态系统在胁迫下维持其原状结构与功能的能力。生态系统健康评价应该以生态学、经济学和人类健康为基础,将人类的文化价值取向与生物生态学过程相综合^[34],根据人类(最小/最大)期望的生态系统特征确定生态系统破坏的最低和最高阈限,在明确的可持续发展框架下进行^[76]。

3.3 景观服务功能的可持续性

依据可持续发展原理,精确测量景观中各种生态功能流(物质、能量)的输入和输出量,应用市场价值、影子价格、成本算法等方法,将景观的各种功能及其环境效益(正面的或负面的)价值化或“生态资产化”,按照一定的科学规划对其各项功能和效益进行定量的货币折算,制定合理的区域景观生态资产保护、恢复、建设与开发规划,保障区域生态功能稳定与服务功能持续。

3.4 景观生态恢复与重建评价

象造林、改变水流等生态恢复工程,就其本身来说常常可被认为是达到了目的^[77],但如果不对各种实践进行量化评估,恢复生态学将不会进步^[52, 78, 79]。所以“恢复和度量湿地重要功能的能力不如建设植被的能力”的论断引起了广泛重视^[80],要增加成功恢复的可能性,必须要全力以赴地去实践和评价^[81]。然而,过去的恢复与评价研究往往都彼此分离,不论是在理论上、取样设计上或是分析手段上都结合甚少,虽然近几年对环境影响的度量与监测取得了很大进展,但却很少与恢复相结合。在方法上,无论是对物种还是生境恢复的评价常常都只采用物种数、个体丰富度等单一的方法,不能综合度量恢复过程中的时-空耦合作用^[79],而这却正是成功恢复的完整表现。

景观生态恢复与重建的评价指标要求能比较灵敏地识别出人类和非人类干扰造成的景观退化,并且能够方便地应用于整个景观类型之中。能反应出景观中景观流的空间流动过程的中断与产生植被“演替”

(switches)的阈值(previous threshold)^[82,83],有助于处理景观空间上与时间上的复杂性,增强在任何环境中进行景观分析、对比与管理的能力。由于景观健康与否与人们对景观内资源开发利用情况有很大关系,所以理想的评价指标还应该能反应出当地人们管理环境的水平。有人从景观结构与生物组成、景观内生态系统的功能联系、景观破碎化与景观退化的程度、类型和原因 3 个方面构建了评价景观生态恢复的“重要景观属性”(vital landscape attributes, VLAs)^[41],虽然其中忽视了对物种个体和种群有重要影响的生态过程,但尚可以方便迅速地用以评价或判断景观现状与可能的演化趋势,为建立更加量化的、灵敏的、可靠的和通用的景观生态恢复与重建的评价指标提供了宝贵借鉴。

对景观恢复与重建效果的量化评估包括景观结构评价与景观功能与动态评价两个方面。景观结构评价的指标有:①景观中各种斑块的面积(种类面积、景观总面积),不同类型廊道的数量;②斑块密度、边缘密度;③斑块形状指数、斑块分维度;④斑块邻近指数、斑块连接度或隔离度;⑤斑块多样性指数;⑥斑块内部生境(或核心斑块)的面积;⑦景观镶嵌对比度。景观功能与动态评价指标有:①景观中现有生态系统的数目;以前的土地利用方式、利用时间和强度,现在景观中的土地利用方式;③生态交错带的类型与数量;④挑选出的(selected)重要有机群体的多样性;⑤经常穿越生态交错带的有机体的数量与方式;⑥生态系统内(或间)水分、养分和能量交换与传输率;⑦生态系统间水分与养分运动的方式与速度;⑧人类改造景观的水平;⑨干扰的分布,生物入侵的数量及影响;⑩不同退化源的特性与作用强度(包括合法的与不合法的)^[41, 63, 69]。

4 研究展望

4.1 景观恢复与重建的挑战

研究景观层次上的生态恢复模式及恢复技术、选择恢复的关键位置、构筑生态安全格局已经成为关注的焦点^[81~90]。

4.1.1 景观生态恢复的关键位置 景观是一个多重等级组织系统,其中的某些战略性的位置对整个景观的演化方向有重要的决定作用。对于一个退化的景观,应从什么地方着手,抓住对景观内的生态流有控制意义的关键部位或战略性组分,才可以使恢复过程更有效,包括有效地使乡土物种得以维持和繁衍和有效地阻止外来物种的侵入,目前仍是研究的热点与难点。合理选择恢复生境地可以消除生境丧失与破碎化的影响,而随机挑选的生境恢复则存在“恢复滞后”效应^[91];与随机方案相比,增加景观中斑块的比例比恢复目标景观周围生境的效果强两倍,而在恢复初期甚至于可以达到 6 倍^[70]。有人将破碎化指数与发展目标相结合来确定恢复先后位置^[85],强调人为过程却忽略了景观演化过程的内因驱动;或者以最小阻力模型(minimum cumulative resistance, MCR)与景观内的生态阈值作为景观安全格局的重要依据^[92],但在现实景观中却难以应用。如果将恢复过程与空间管理相结合可以大大提高成功的机率^[70]。“3S”技术与空间制图分析的飞速发展将为景观生态恢复与管理提供很大的便利。GPS 与 RS 对自然景观与人类社会经济活动中的主要因子和重点因子予以动态监控、甚至提前监控;GIS 通过空间制图,分析景观异质性与生态空间稳定性,进行区域生态风险综合评价,及时作出预警预报反应,并设计优化景观生态恢复模型,建立区域生态安全格局,在经济上与生态上都是非常有效的。

4.1.2 景观生态恢复与重建的模型 格局与过程之间的影响与反馈关系是景观生态学的研究核心和前言^[71],从格局到过程的推绎是当前景观生态学面临的一大挑战^[92]。在人类活动强烈的地区,景观格局,即使是土地利用单元发生了很大的变化,也很难依据现有的景观格局来推绎景观的演化轨迹。况且,景观的格局与过程之间有没有必然的联系,景观阈值变化有无规律,是否有滞后效应至今仍是疑问。但强调恢复等同的景观功能,建立适于现有景观良性发展的模式景观。模型具有预测、解释和推断功能,在景观生态恢复与区域生态安全格局的构建中不可低估的作用。迄今为止,退化生境的恢复大都采用对有限目标的概念模型^[86, 91]。宏观生态模型由于时空尺度大,涉及因子多,且因子间相互作用复杂,因此对模型的验证很困难。如何转换尺度,提高模型的可信度^[71],构建与推广适合于整个区域的模式景观尚需进行更深入的研究,而这也正是构建区域生态格局的关键。Conservation Gap 的产生引起了对 Restoration Gap 的思考,GAP 分析已在生物多样性保护管理上取得了巨大成绩,但却需要大量的植被类型与样地调查数据^[93],3S 技术

的发展为景观恢复的 GAP 分析提供了强大的动力工具,利于进行大尺度的景观分析、评价、规划。

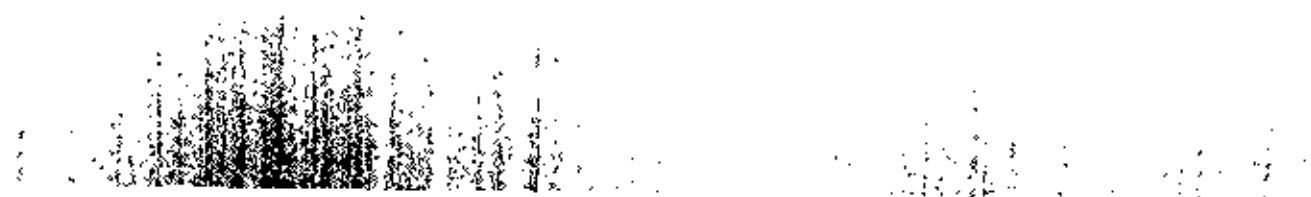
4.2 景观恢复与重建的前景

景观有明显的边界和共同的生态过程,人类的经济活动和开发活动主要是在景观层次上进行的,无论是为了“生态可持续景观(ecologically sustainable landscapes)”^[94],保护生物多样性,还是可持续发展,景观在理论上和实践中都是最理想的尺度^[5]。景观生态建设以景观生态系统承载力^[37]为理论基础,以提高景观生态系统的总体生产力,保护和促进景观多样性,控制和改善生态脆弱区景观的演化,加强区域生态系统的稳定性,建立人文与自然和谐优美的景观为目标。景观生态建设以区域生态安全为基础,遵循①景观结构与功能交互影响与促进;②人类调控与生物共生相协调;③社会-经济-自然复合生态系统有效性与稳定性相统一;④保护和增加景观多样性和异质性;⑤局部控制、整体调节、因地制宜、近远结合等原则^[43, 95]。

景观层次上的恢复与重建过程是对退化景观中的生态过程与空间格局予以协调的过程。通过修复、创建或重组等手段,调整景观基础生态设施,形成更适于景观持续发展的生态势力圈(ecological influence sphere)^[67],构建区域生态安全格局,这对自然生境已越来越被人文景观殖民化的世界无疑是非常重要的。尤其是在我国西北干旱区的脆弱景观,强烈的人类活动已改变了景观中的稳定成分(如植被)与不稳定成分(如土壤),主要表现为土地覆盖景观或土地镶嵌类型的变化^[95]。对这种异质性程度低、格局粗粒化、稳定性差的景观,通过恢复与重建,建立适于人类生存与发展的可持续发展景观模式,可控制和改善生态脆弱区景观的演化,增加景观异质性和稳定性,对区域生态安全格局的构建具有重要的现实意义和生态意义。

References

- [1] Chapman M G. Improving sampling designs for measuring restoration in aquatic habitats. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*, 1999, **6**: 235~251.
- [2] Mohan K W. Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and Soil*, 1999, **213**: 195~220.
- [3] Arosen J, Edouard L F. Vital Landscape Attributes: Missing Tools for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 1996.
- [4] Tsipris J & Meron M. Climatic and hydrological aspects of the Hula restoration project. *Wetlands Ecology and Management*, 1998, **6**: 91~101.
- [5] Erice J, Timothy J C And Frederick W K. Restored riparian buffers as tools for ecosystem restoration in the maia; processes, endpoints, and measures of success for water, soil, flora, and fauna. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, **63**: 199~210.
- [6] Judit P & Colin S R. Selection of phytoplankton associations in Lake Balaton, Hungary, in response to eutrophication and restoration measures, with pecial reference to the cyanoprokaryotes. *Hydrobiologia*, 1998, **384**: 41~53.
- [7] Roger W B, Mark V H & Daniel E C. The restoration of Lake Apopka in relation to alternative stable states. *Hydrobiologia*, 1999, **394**: 219~232.
- [8] Wilfried S. Restoration of the highly eutrophic Lingese Reservoir. *Hydrobiologia*, 1999, **416**: 85~96.
- [9] Stoiculescu D, Ianculescu M, Leandru V, et al. Ecological conservation and reconstruction of forest river meadow ecosystems under human influence. *Revista Padurilor*, 1987, **2**(102): 61~66.
- [10] Earn D J D, Levin S A, Rohani P. Coherence and Conservation. *Science*, 2000, **290** (5495): 1360.
- [11] Joseph W K J, Bradley L J And Arrington D A. Restoration of the kissimmee river, florida; water quality impacts from canal backfilling. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1999, **57**: 85~107.
- [12] Wissmar R C, Beschta R L. Restoration and management of riparian ecosystems; a catchment perspective. Special Issue: Rivers in the landscape; riparian and groundwater ecology. *Freshwater Biology*, 1998, **3**(40): 571~585.
- [13] Bowman J L. An assessment of habitat suitability and human attitudes for black bear restoration in Mississippi. 2000. DAI-B, 61/01: 5.
- [14] Brown S A and A E Lugo. Rehabilitation of tropical lands; a key to sustaining development. *Restoration Ecology*, 1994, **2**: 97~111.
- [15] Cairns J J. The New Frontier ~ Rehabilitating Damaged Ecosystem. *Restoration Ecology*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1988, **1**: 1~11.
- [16] Jordan W J, Gilpin J D, Aber J D, et al. *Restoration Ecology: A synthetic approach to ecological research*. Cambridge Univ. Press, 1987.
- [17] Mooney H A, M. Godron. *Disturbance and ecosystem*. Ecological Studies, Springer Verlag Berlin, 1983.
- [18] Peng S L. Restoration ecology and the restoration of tropics rain forests. *Research and development of world*



- science and technology, 1997, **19**(3): 58~61.
- [19] Xu S L. Ecologic rehabilitation in mineral areas. In: Chen C D, Wang Z W eds. *Restoration ecology, sustainable development and ecology*. Beijing: Science press, 1993. 145~150.
- [20] Zhang J E, Xu Q. The Main contents and frameworks of ecological degradation studies. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1997, **17**(3): 46~53.
- [21] Zhao P, Peng S L, Zhang J W. Restoration ecology — the available ways of biodiversity restoration of degraded ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, **19**(1): 53~58.
- [22] Bergen A, C Alderson, R Bergfors, et al. Restoration of a *Spartina alterniflora* salt marsh following a fuel oil spill, New York City, NY. *Wetlands Ecology and Management*, 2000, **8**: 185~195.
- [23] Chen C D. Landscape ecology and biodiversity conservation. In: Collections of the 2nd landscape ecological workshop. Beijing, 1996.
- [24] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(3): 399~407.
- [25] Hobbs F J, and Saunders D A. Reintegrate fragmented landscapes: towards sustainable production of nature conservation. Springer Verlag, New York, 1992.
- [26] Li H B, Wu Y G. Quantifying methods for landscape ecology. In: Liu J-G eds. *Modern ecology advances*. Beijing: Chinese Science and Technique press, 1992. 209~233.
- [27] Bradshaw A D, Chdwick M J. The restoration of land. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1980.
- [28] Almo F. Landscape ecology in action. Kluwer Academic Publisher, 2000.
- [29] Ma K M, Fu B J. Landscape pattern and fragmentation of Donlingshan Mountain region. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(3): 320~326.
- [30] Roland J. Large-scale forest fragmentation increases the duration of tent caterpillar outbreak. *Oecologia*, 1993, **93**: 25~30.
- [31] Saunders D A, Hobbs R J, Margules C R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 1991, **5**: 18~32.
- [32] Guo Q F. Advances and trends in species diversity studies. In: Li B eds. *Modern ecology lectures*. Beijing: Science press, 1995. 89~107.
- [33] Wu J G. *Nature conservation and natural conservation biology: conceptions and models*. In: Liu J G eds. *Modern ecology advances*. Beijing: Chinese science and Technique press, 1992. 174~186.
- [34] Zhang Z B. Theories of biodiversity conservation. In: Y Q, Ma K P eds. *Principles and methods for biodiversity studies*. Beijing: Chinese Science and Technique press, 1994. 36~54.
- [35] Skole D L, Chomentowski W H, Salas W A, et al. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience*, 1994, **44**(5): 314~322.
- [36] Dominikus N. Restoration of Degraded Images with Maximum Entropy. *Journal of Global Optimization*, 1997, **10**: 91~103.
- [37] Xiao D N. Characteristics and methods of Macro-ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, **5**(1): 95~104.
- [38] Li H B. Landscape ecology — A new conception in ecological research. *Advances of ecology*, 1988, **5**(1): 23~33.
- [39] Almo F. Principles and Methods in Landscape Ecology. Chapman and Hall, 1998.
- [40] Wang Z Q. Geo-statistics and its application in ecology. Beijing: Science press, 1999.
- [41] Noss R F. Landscape connectivity: different functions and different scales. In Hudson W E ed. *Landscape linkages and biodiversity*. Island press, Washington, D.C. USA, 1991. 27~29.
- [42] Taylor P D, et al. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 1993, **68**(3): 571~573.
- [43] Saunders D A, Hobbs R J. Habitat reconstruction: the revegetation imperative. *Conserving biodiversity: threats and solutions*, 1995, 104~112.
- [44] Aroson J, Edouard L F. Vital Landscape Attributes: Missing Tools for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 1996.
- [45] Xiao D N, Li X W. The aim, task and primary principles of landscape program. *Journal of Ecology*, 1998, **17**(3): 46~52.
- [46] Dahm C N, Cummins K W, Valett H M, et al. An ecosystem view of the restoration of the Kissimmee River. *Restoration Ecology*, 1995, **3**: 225~238.
- [47] Kloor K. Returning america's forests to their 'natural' roots. *Science*, 2000, **287**(5453): 573~575.
- [48] Alcoze T A, Covington W W, Peter Z. Fulé. Restoration Ecology. *Science*, 2000, **287**(5461): 2159b.
- [49] Malakoff D. Restored Wetlands Flunk Real-World Test. *Science*, 2000, **280**(17).
- [50] Vitousek P M. Islands as model ecosystem; understanding locally and thinking globally. International Conference on Ecology of Insular Biotas. Wellington, New Zealand, 2001. **2**: 12~16.
- [51] Aroson J, Floret C, Floch E L, et al. Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystems in Arid and Semi-Arid Lands. (1). A View from the South. *Restoration Ecology*, 1993, **8**: 8~17.
- [52] Hobbs R J & D A Norton. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 1996, **4**: 93~110.

- [53] Brothers T S & Spingarn A. Forest fragmentation and alien plant invasion of Central Indiana old-growth Forests. *Conservation Biology*, 1992, **6**: 91~100.
- [54] Cristea V, Hodisan I, Pop I, *et al.* Ecological reconstruction of mining refuse dumps. 1. Development of spontaneous vegetation. *Contributii Botanice Universitatea Cluj Napoca Gradina Botanica*, 1990. 33~37
- [55] Jackson L L, Lopoukhine N, Hillyard D. Commentary Ecological Restoration; A Definition and Comments. *Restoration Ecology*, 1995, **3**(2): 71~75.
- [56] Kondolf G M. Five elements of effective evaluation stream restoration. *Restoration Ecology*, 1995, **3**: 133~136.
- [57] Henein K & Merriam G. The elements of connectivity where corridor quality is variable. *Landscape Ecology*, 1990, **4**(2/3): 157~170.
- [58] Simberloff D, Farr J A, Cox J, *et al.* Movement corridors: conservation bargains or poor investment. *Conservation Biology*, 1992, **6**: 493~504.
- [59] Lapka M. The reconstruction of the landscape is a reconstruction of the relationship of man to nature. *Sociologie Venkova a Zemedelstvi*, 1991, **2**(27): 109~113.
- [60] Reschke K, Tegge H J, Zimmermann F. Ecological reconstruction of damaged rural landscapes ideas for the five new German lander. *Zeitschrift fur Kulturtechnik und Landentwicklung*, 1991, **5**(32): 291~300.
- [61] Hobbs R J. Effects of landscape fragmentation on ecosystem processes in the western Australian wheatbelt. *Biological Conservation*, 1993, **64**: 193~201.
- [62] Orians G G. Ecological and evolutionary approaches to the landscape aesthetic. In: E C P Roswell ed. *Landscape meanings and values*. Allen and Unwin, London, 1986. 3~25.
- [63] Tongway D J. Functional analysis for degraded rangelands as a means of defining appropriate restoration techniques. In: A Gaston, A M Kernick and H N L Houerou ed. *Proceedings of the fourth international rangeland congress*. Vol. 4. Centre International de Recherche Agricole pour le Developpement, Montpellier, France, 1991. 166~168.
- [64] Whisenant S G. Landscape dynamics and arid land restoration. In: Roundy B, McArthur A, Durant E, *et al* ed. *Proceedings of the Wild land Shrub and Arid Land Restoration Symposium*. Geological technical report INT~GTR 315. Ogden, Utah, 1995. 26~34.
- [65] Xiao D N, Li X Z. Advances and trends of modern landscape ecology. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, **17**(4): 356~363.
- [66] Whisenant S G. Direction landscape dynamics; an evolving restoration paradigm (Texas). *Restoration and Management Notes*, 1994, **12**: 221~222.
- [67] Yu K J. Landscape ecological security pattern in biological conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(1): 8~15.
- [68] Forman R T T. Ecologically sustainable landscapes; the role of spatial configurations. In: ZONEVALD I S, Forman R T T ed. *Changing landscape an ecological perspective*. Springer Verlag, New York, 1990. 261~278.
- [69] Xiao D N, Bu R C, Li X Z. Theories of ecologic space and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5): 453~461.
- [70] Forman R T T. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 1995, **10**: 133~142.
- [71] Gary R H, Alan H. Habitat Loss, Fragmentation, and Restoration. *Restoration Ecology*, 2000, **7** (3): 309~315.
- [72] Theodore W, John W. Maryland's green infrastructure— using landscape assessment tools to identify a regional conservation strategy. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, **63**: 265~277.
- [73] Fang C L. Study on structure and function control of ecological security system in northwest arid area of China. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(3): 326~328.
- [74] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(3): 354~358.
- [75] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology & Evolution*, 1998, **13** (10): 397.
- [76] Munawar M, Malley D F. The ecosystem health concept: Progress and future needs. 37th conference of the international association for great lakes research and estuarine research federation; program and abstracts. Iaglr, Buffalo, NY(USA), 166. (Summary only), 1994.
- [77] Race M S. Critique of present wetlands mitigation policies in the United States based on an analysis of past restoration projects in San Francisco Bay. *Environ. Manage.*, 1985, **9**: 71~82.
- [78] Chapman M G & Underwood A J. The need for a practical scientific protocol to measure successful restoration. *Wetlands* (Australia), 1999.
- [79] Chapman M G & Underwood A J. Concepts and issues in restoration of mangrove forests in urban environments. In: Klomp N & Lunt I ed. *Frontiers in Ecology: Building the Links*. Elsevier Science, Oxford, 1997. 103~114.
- [80] Piehler M F, *et al.* Development & N-2~ fixing activity of the benthic microbial community in transplanted *Spartina alterniflora* marshes in North Carolina. *Restoationr. Ecology*, 1998, **6**: 290~296.
- [81] Cairns J J. The status of the theoretical and applied science of restoration ecology. *The Environmental*

- Professional, 1991, 13: 186~194.
- [82] Wilson J B, Agnew A D Q. Positive feedback switches in plant communities. *Advances in Ecological Research*, 1992, 23: 264~336.
- [83] Wilson J B, King W M. Human-mediated vegetation switches as processes in landscape ecology. *Landscape Ecology*, 1995, 10: 191~196.
- [84] Davis M A. "Restoration"—A Misnomer? *Science*, 2000, 287(5456): 1203b.
- [85] James D W, et al. Transitions in forest fragmentation: implications for restoration opportunities at regional scales. *Landscape Ecology*, 1999, 14: 137~145.
- [86] Mark A H, et al. A science-based strategy for ecological restoration in South Florida. *Urban Ecosystems*, 1999, 3: 201~222.
- [87] Patrick L R, et al. Reproductive behavior, captive breeding, and restoration ecology of endangered fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 1999, 55: 31~42.
- [88] Radeloff V C, Mladenoff D J, Boyce M S. A historical perspective and future outlook on landscape scale restoration in the northwest Wisconsin pine barrens. *Restoration Ecology*, 1999, 8 (2): 119~126.
- [89] Shields F D, Knight S S & Cooper C M. Rehabilitation of aquatic habitats in warmwater streams damaged by channel incision in Mississippi. *Hydrobiologia*, 1998, 382: 63~86.
- [90] William D S, et al. Human-environment interactions in South Florida's Everglades region: Systems of ecological degradation and restoration. *Urban Ecosystems*, 1999, 3: 305~343.
- [91] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology*, 1997, 77: 350~363.
- [92] Wu J G. Landscape ecology——Pattern, process, scale and ranks. Beijing: Advance education press, 2000.
- [93] Michael D J. Gap analysis: concepts, methods, and recent results. *Landscape Ecology*, 2000, 15: 5~20.
- [94] Forman R T T, Godron M. *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, 1986.
- [95] Cheng G D, Xiao D N. The characteristics and building of landscape ecology in arid area. *Advance in Earth Sciences*, 1999, 14(1): 11~15.

参考文献

- [19] 徐嵩龄. 采矿地生态重建和恢复生态学. 见: 陈昌笃, 等主编. 持续发展与生态学. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 145~150.
- [20] 章家恩, 徐琪. 生态退化研究的基本内容与框架. 水土保持通报, 1997, 17(3): 46~53.
- [21] 赵平, 彭少麟, 张经纬. 恢复生态学——退化生态系统生物多样性恢复的有效途径. 生态学杂志, 2000, 19(1): 53~58.
- [23] 陈昌笃. 景观生态学和多样性保护. 见: 第二届景观生态会议集. 北京, 1996.
- [24] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. 生态学报, 1999, 19(3).
- [26] 李哈滨, 伍业钢. 景观生态学的数量化方法. 见: 刘建国, 等主编. 现代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209~233.
- [29] 马克明, 傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价. 植物生态学报, 2000, 24(3): 320~326.
- [32] 郭勤峰. 种群多样性研究的进展与趋势. 见: 李博, 等主编. 现代生态学讲座. 北京: 科学出版社, 1995. 89~107.
- [33] 刘建国. 自然保护和生物自然恢复: 概念和模型. 见: 刘建国主编. 现代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 174~186.
- [34] 张知彬. 生物多样性保护理论. 见: 钱迎倩, 马克平主编. 生物多样性研究理论与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 36~54.
- [37] 肖笃宁. 宏观生态学的特征和方法. 生态学报, 1994, 5(1): 95~104.
- [38] 李哈滨. 景观生态学——生态学研究的一种新概念. 生态学进展, 1988, 5(1): 23~33.
- [40] 王政权. 地统计及其在生态中的应用. 北京: 科学出版社, 1999.
- [45] 肖笃宁, 李晓文. 试论景观规划的目标、任务和基本原则. 生态学杂志, 1998, 17(3): 46~52.
- [65] 肖笃宁, 李秀珍. 现代景观生态学的发展及趋势. 地理科学, 1997, 17(4): 356~363.
- [67] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999, 19(1): 8~15.
- [69] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. 生态学报, 1997, 17(5): 453~461.
- [73] 方创琳. 西北干旱区生态安全系统结构与功能的监控思路初论. 中国沙漠, 2000, 20(3): 326~328.
- [74] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354~358.
- [92] 刘建国. 景观生态学——格局、过程、尺度和等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [95] 程国栋, 肖笃宁, 王根绪. 论干旱区景观生态特征与景观生态建设. 地球科学进展, 1999, 14(1): 11~15.