

# 黄土高原生态修复的景观生态学及恢复生态学基础

黄志霖 傅伯杰 陈利顶

**[摘要]** 黄土高原生态系统退化源于严重的水土流失,防止生态系统的退化以及退化生态环境的恢复与重建,是改善区域生态环境并实现可持续发展的保障。本文基于景观生态学和恢复生态学基本理论和方法,对生态修复基本目标、途径、策略、方法及问题进行讨论。

黄土高原位于半干旱地区,侵蚀性降雨集中、强度大,黄土物质极易受到暴雨及径流的侵蚀,这是黄土高原自然地理背景。人类生产活动对径流侵蚀的影响,区域可持续发展面临环境不断恶化的压力,自20世纪50年代,实施系列以恢复植被和工程建设为中心的生态环境治理工程项目,但由于投入成本过高和低的生态环境效应,并没有达到预期的水土保持目标,人们对黄土高原退化生态系统的恢复目标、途径与方法有很大的疑问和争议。

## 1 生态退化与恢复

生态系统退化过程起始于生物种类的组成(结构)的改变,但依然能够保持对重要资源(土壤、水、养分和有机质)的调控能力。严重受损退化生态系统不仅仅失去对重要资源的调控,同时,对所受胁迫或损害具有极小的恢复力,失去了自我修复和防止进一步退化发生的能力,所提供更少的环境服务功能。随着退化进程的发展,并超过自然恢复的阈值。退化一旦开始,是动态的,自身永久存在的过程。由于生物间的相互作用和非生物环境的约束限制,没有管理输入的情况下,退化生态系统并不能自停止退化过程或返回到退化前状态。生态退化包括局部的立地退化到整个景观的功能退化的连续体系。

生态恢复是帮助恢复与管理生态系统整体性的过程。生态整体性包括生物多样性变化的临界范围、生态过程和结构、区域和历史背景以及可持续发展的文化实践等。生态恢复被认为是以人类的干预恢复自然的完整性。明显地,生态恢复包括恢复过程和管理过程,需要人们主动的干预使其进行自然的修复,但它并不能及时地产生直接的修复结果,只是帮助启动生态系统动态的自修复过程。

## 2 生态修复与景观生态学

景观生态学的发展及应用与土地规划、土地管理和恢复、森林管理和自然保护等实际问题密切联系,强调整体论和生物控制论观点,并以人类活动频繁的景观系统为研究对象;其等级理论、尺度观点,强调不同尺度上生态系统的空间格局和相互关系分析,为退化生态功能修复等环境、资源问题提供理论指导和应用。

景观各组分通过各种景观流(物质流、物种流和能流)等形成相互联系、相互作用和相互

---

黄志霖 中国科学院生态环境研究中心系统生态重点实验室,助理研究员,博士研究生,北京,100085

依存的整体。景观的空间镶嵌结构,决定着物种、物质、能量和干扰在景观中的流动。景观的空间结构影响小尺度的源-汇过程,源-汇过程形成资源的再分配。小尺度上的源-汇过程决定了两种景观功能:①稀缺资源的获得和集中(水分、养分);②生物多样性的保护。黄土高原农业景观处于极度的破碎化状态。荒坡开垦及过牧等显然降低了植被斑块的覆盖面积和连接度,从而有利于大尺度上形成宽旷、荒凉的基质(耕地)-斑块(灌草)格局。景观基质的表层土壤直接暴露而为水蚀和风蚀过程提供基本物质来源(源),形成了显著的土壤侵蚀景观,如裸露的土壤斑块、细沟和冲沟。

景观斑块的丧失导致系统截获资源(汇)的功能不断下降。值得注意的是:黄土高原干旱和半干旱区,有限的水和养分资源的获得和保持无疑具有重要作用。小的景观斑块可以组成重要的地表屏障,它将起到截留径流中水分、土壤养分和截留随径流携带的土壤沉积物的功能,促进动植物和微生物的活动。

生态学组织层次(种群、群落、生态系统或景观)及生态系统尺度(景观、坡面、响应单元和斑块)的研究可以监测确定(识别)主要的过程和判别主要的参数的变化。参数随着关心时间尺度的增加而变成可变的,可能会出现新的主导土壤侵蚀的过程。同样地,随着空间尺度的增加,最为重要的侵蚀过程是那些出现在较粗的尺度的。景观生态学研究能够了解不同时间尺度的植被参照体系,为空间尺度的恰当地配置恢复要素提供建议。

黄土高原植被、气候、地形等自然地理环境条件的差异,以及人为因素的影响,形成复杂的景观包含生态系统类型的多样性,通过参照生态系统在景观中的潜在分布区和相对丰富度,把历史的参考生态系统与现有的覆盖结合,确定各参考生态系统的现有丰富度和比例转换成不同的干扰级别指数,确定生态系统优先恢复的方向和次序,基于自然生态环境的生态分区研究也为生态修复提供科学基础。

等级理论的应用可以基于地形、土壤特征和群落异质关系的理解,确定特定景观生态修复的优先度以及恢复目标。景观具有记忆效应,基于土地利用变化的格局动态分析,对于恢复那些由于高强度农业和林业而破坏了的生境非常重要。

黄土高原几乎所有的生态系统都不同程度上受人类干扰,历史背景增加我们对景观的动态格局和过程的理解并提供恢复参考的框架。生态区的景观尺度信息的收集,能够充分描述生态系统正常的变化,区别辨识生态系统变化趋势以及这种变化可以被恢复的程度。

### 3 生态恢复与恢复生态学

恢复生态学是在 1985 年由 Aber 和 Jordan 提出并在以下 4 个方面得到发展:

- (1) 衍生于保护生物学和以单个种的恢复为中心的恢复路线;以种类为中心恢复目标,着重于濒危和稀有物种及群落的识别和保护。
- (2) 基于地理学和景观生态学原理,以整个的景观,经常以流域作为恢复的单元;景观途径与生态系统管理观念结合起来。
- (3) 以恢复生态系统服务为核心,研究经济发展和农业对生态系统功能的影响。
- (4) 试图管理极端干扰的环境资源,重建功能生态系统。

起源于欧美的生态修复着眼于生物多样性保护、自然保护区、栖息地恢复、草场的休牧和耕地的休耕等,条件的多样性决定了它们的多层次的恢复目标:目标种群和群落的结构、生物多样性、生态功能和生态系统的重建。

## 4 黄土高原的生态恢复

在小尺度和较高投入情况下,具备对以前的种群重建、流域治理和生态系统功能的恢复的技术可能性;但在景观尺度上,选择应用适度的中间目标来完成退化生境的修复。特别在高人口密度区域,需要考虑公众对恢复目标的认可程度与需求强度。因此,修复必须是必要的、现实的和适当的。

### 4.1 生态恢复的程序

(1)退化分析。通过区域的比较估评退化程度,认定退化过程、系统特征、景观破碎化和远距离可能的、潜在的水文干扰影响也应该考虑在内。基本生态过程的理解是分析退化过程的关键,退化可能来源于自然过程和人为影响的结合。

(2)恢复策略选择。把要恢复系统的自然特性、退化因子和需要达到不同属性恢复的行动类型考虑在内。在实践中,特别在大尺度景观干扰许多互相影响的土地利用形式,完全消除退化经常是不可能的,缓解是唯一可能的解决办法。当决定恢复策略的选择时,可持续性应该是重要的标准。在高人口密度区域,多目标恢复计划比“精确的”恢复计划经常更具有吸引力而得到公众的支持。另外,避免恢复计划与居民的冲突。恢复策略的选择实际是修复目标、成本、效果和期望的平衡与妥协。

(3)恢复的预测。非生物环境转换和生物种的替换过程的速率经常是很低的,过程经常用以数十年计。群落和景观是经过长期的发育和演变过程形成的,是自然过程和人类活动历史的结果,大多数的景观,完全恢复到以前的状态是不可能的。生态恢复计划的时间的估计经常是太过乐观了。

在景观和区域大尺度上的恢复也要考虑相同的方案。然而,在大尺度,决定什么应该恢复、在那里和如何恢复更加困难。但没有多少框架来设定优先权和目标。迄今为止,研究主要集中在关键景观属性参数。

(4)恢复的评价。评价按照生态组织层次分别进行。系统水平利用 23 个生态系统重要属性指标(VEA)对系统的结构、组成和功能复杂性的数量评价。16 个可数量化的重要景观属性指标评价(VLA)生态恢复和复原的结果。恢复的评价存在修复全部程序之中,是动态的和相对的。

### 4.2 恢复过程的管理

退化的原因清楚后,消除或对这些因子进行管理,恢复到更为理想的状态是必要的。由于主动方法有着固有的成本和风险,但对于高度退化的系统更有效,主动恢复方法经常是必要的。社会最后要决定主动恢复策略成本是否值得,需要预测恢复成功的可能性和风险的程度。黄土高原恢复背景基本是在自然恢复和人工强烈干扰下两个极端中进行的。但恢复的过程、结果和成本具有不同的特征和管理要求。

#### 4.2.1 自然生态恢复管理

植被修复起始于裸地,并在不同人类干扰生境形成多个连续植被演替系列。木本植物倾向于在适中的环境条件下建立和扩展,而在极端生境(干、湿、贫瘠和酸化)发展迟缓。次生演替的建群种都是本地种,一些稀有和濒危种在这个期间出现。除了在极端的情况下,如果被干扰的立地较小,被自然植被环绕,或者立地条件不是主要被干扰所改变,让立地进行自然演替过程来重建植被具有特别有利的生态功能表现。退化草地和坡耕地的长期撂荒

后的植被恢复与演替的研究结果证明:自然地恢复植被立地通常表现较高的自然价值和低的成本。

#### 4.2.2 农业景观生态恢复管理

恢复的目标是可持续土地利用方法的发展与集约耕作条件下的生态系统稳定性之间的平衡。试验表明:小面积的、未被利用缀块和连接它们的条带结构是自然保护的保护概念的重要部分。在景观中,恢复、创建和连接各种较小的生态系统,不仅有益于稳定动植物组合和营养过剩的排除,也将对邻近的集约耕作的景观生态系统功能产生重要的改善。可持续土地利用的不可改变的前提一定是耕作对土地承载容量的调节。

### 4.3 生态恢复策略与措施

#### 4.3.1 生态恢复策略

我国很多学者就黄土高原水土流失治理进行了大量的研究工作。在景观尺度上,首先是消除或控制引起退化的干扰体,强调的是修复破坏的基本过程和启动自修复过程。水文过程(径流和侵蚀)是黄土高原景观生态退化、恢复重要的影响因子。基于景观生态学原理,黄土高原生态修复应该考虑以下策略:

(1)注重生态过程恢复。生态过程不仅是种类的维持和恢复,是生态系统恢复的关键。过程导向这种策略着重考虑基本生态过程(主要的水文和营养循环)的恢复。

黄土高原生态系统的退化削弱了对基本水文和营养循环过程的控制,通过植被恢复与工程措施结合,切断径流及侵蚀进展过程。在坡面进行水平沟、鱼鳞坑和条田等工程措施,坡顶、陡坡处植被以灌木和草本为主,减少径流与侵蚀;缓坡发展经济林及梯田化发展集约农业,沟底修建谷坊、库坝,种植农作物及防护林,有目的影响、控制和削弱水蚀发生。

(2)启动和引导自生的过程。景观的稳定性依赖于稳定的土壤、充分的水文过程功能、营养循环和能量流的整体性。恶劣环境下的植被恢复需要通过人工干预才能实现,区域尺度的生态修复完全依赖人工管理输入是非常困难和需要极高的成本。

通过土壤表面处理来改变植被恢复的生境条件,促进随后的植被自生过程并形成自维持和稳定的景观结构,在生态功能恢复中是有益的,在成本和管理过程是经济的、可行的。在坡面、沟谷等布置的工程措施,使小尺度的源-汇过程形成稀缺资源的富积,既能够中断地表径流和防止土壤侵蚀进一步发生,又能够使水分、养分、土壤和有机物在工程处积聚,加速植被的自恢复过程。

(3)考虑景观的相互作用。黄土高原退化系统具有很小的生物量,其资源流的移动被地形和微地形特征所控制。理解、预测、操纵和引导资源流,是规划和实施生态恢复计划的依据。

#### 4.3.2 生态恢复措施

傅伯杰等研究表明:不同土地利用结构影响土壤水分空间分布。集中侵蚀区的位置是由景观中径流产生区的位置、地的边界位置和耕作模式决定的。近期研究表明,具有不同土地利用类型的地边界对沉淀物的沉积和传输率产生影响。恢复、创建和连接各种类型生态系统,选择与相邻基质不同的景观类型之间建立条带结构,具有缓冲、拦蓄、截流和集中土壤及养分,形成生态系统良好的水分和养分循环,改善集约耕作的景观生态系统功能。

由于恢复措施时效性的差异,在恢复过程中适宜性地选择恢复措施,生物措施(植被恢复)与工程措施综合运用,相辅相成,促进恢复进程和基本生态过程的恢复。

(1)生物措施。以植被的构建来影响坡面和沟谷物流(水、营养、有机质和土壤)产生的过程,植被恢复是增加系统生物多样性、改善土壤结构、增加对流(水、有机质、营养和能量)的捕获、调控能力,防止土壤侵蚀和土地退化的根本性措施。

(2)工程措施。通过改变坡面、沟谷的物理形态结构形成汇而改变系统的输出结果。工程措施(包括等高耕作、水平沟、鱼鳞坑、谷坊等)改变景观中的水、土和营养的分布格局和过程,在适当的部位形成汇,进而影响各级系统(坡面、集水区、小流域和景观)的退化发生的过程,对系统的水沙输出产生影响。

## 5 生态修复存在的问题

(1)目标。实际上,理想的恢复目标和真实性之间存在距离和矛盾。人们应该着重于过程的修复(水文和营养循环)而不是组成的重现(植物种);试图通过单一的、短期的生态工程就可立竿见影地解决环境乃至经济发展问题是不现实的,也是不可能的。实际的恢复目标就是帮助促进植被自然恢复过程的启动,而不是恢复项目本身能够完成恢复过程。

(2)对象。黄土高原的三个基本生物-气候带的存在,决定了植被类型和水分环境的明显地域性差异,分别植被以森林、灌草和草本为主,水分条件由半湿润到干旱。忽视明显的地域差异,对工程的规划和实施要求一刀切,存在很大程度的无序性和盲目性。如:不顾水分条件差异和植物生物学特征,在半干旱区要求乔灌草结合,期望形成良好的结构,只能是愿望而已。考虑景观之间的联系而不是仅仅关注特定的立地类型。

(3)过程。项目的完成仅是自然修复过程的开始而不是恢复过程的结束。主动恢复需要综合多种技术措施和长期的管理投入等人为干预,恢复重建的成本、难度极大,恢复项目具有过程的渐进性、不确定性、潜在干扰、高的风险、高成本与低收益等特征,即便是成功的恢复,其本身的经济与生态效益微弱,也不要寄予过高的期望。忽视投入成本和不顾农民的经济收益要求,人为推动恢复进程,加重了经济与生态双重风险。

(4)策略。可以选择保护、恢复、重建和改造等途径。自然恢复及人工与自然结合等方法对自然资源和地带性生态系统进行保护和恢复。人工促进下的自然恢复,具有低成本、高的自然价值和稳定性;有些极度退化的景观,干旱荒漠草原带失去人工重建的生态条件和经济意义,维持是最好的选择。一概强调采用人工种植乔木、灌木和草,增加工程的投入成本和风险。

由于黄土高原生态受损破坏远高于生态恢复的速度,不仅需要考虑技术上的可行性和正确性,还要考虑社会是否有能力和是否愿意实施恢复计划。技术可行性需要对恢复具备足够的知识,包括基本的过程和实现修复的可靠方法。科学性则要求对于恢复目标具有适宜的时间、空间尺度。根本上,保证恢复工程的目标为社会所共同认同,经过数年、几十年,甚至世纪,受损生态系统的恢复才能成为可持续发展的希望。