

关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径

张新时^{1,2*}

¹中国科学院植物研究所, 北京 100093; ²北京师范大学资源学院, 北京 100875

摘要 Ecological restoration是现代生态学最活跃的关键行动之一, 在我国被译为“生态恢复”。经查验其英语涵义和演变过程, 建议正名为“生态重建”, 指在人为辅助下的生态活动。而“生态恢复”(recovery)在国际文献中指没有人直接干预的自然发生过程, 二者不容混淆。作者强调自然恢复和生态重建的三类时间尺度, 即地质年代尺度(千、万、亿年)自然生态系统世代交替和演替尺度(十、百、千年)和生态建设时间尺度(一、十、百年)。前二者为自然恢复尺度。三者相差2–3个数量级或更多。人类不能超尺度地依赖自然恢复能力, 自然与人为时间尺度的不匹配是自然恢复难以满足人类社会生态需求的根本原因。作者质疑“以自然恢复为主”和“从人工建设转向自然恢复为主的转变”提法。认为把生态重建的责任推诿给自然去旷日持久地恢复, 是不负责任和不作为的逻辑和有悖于“谁破坏, 谁补偿; 谁污染, 谁治理; 谁享用, 谁埋单”的全球环保公理和生态伦理观念。除恢复重建自然的生态系统外, 还要发展人工设计生态方案等未来生态重建途径。

关键词 人工设计生态方案, 生态整体性, 生态重建, 外来种, 历史真实性, 自然恢复, 时间尺度

An intellectual enquiring about ecological restoration and recovery, their scientific implication and approach

ZHANG Xin-Shi^{1,2*}

¹Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; and ²College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract

Aims Ecological restoration is one of the most active and key activities in contemporary ecology. But, it has been translated in Chinese as “ecological recovery”. By means of checking its English meaning and evolved processes, it is suggested that, instead of “recovery”, change it in Chinese as “ecological reestablishment”. Because ecological restoration must involve human intention or agency, it is fundamentally about assisted recovery that works to accelerate natural processes. But, in case where ecological processes have worked unassisted or something that can happen by nature itself without human agency, the term, “recovery” should be used.

Important findings There are at least three time scales for natural recovery and ecological restoration. They are the geologic period scale (10^3 , 10^6 , 10^9 a), ecosystem regeneration and succession scale (10 , 10^2 , 10^3 a), and ecological restoration scale (1 , 10 , 10^2 a). The 1st and 2nd scale are time scales for natural recovery, they are 10 - 10^2 - 10^3 times longer than ecological restoration periods. Humans could not over-scaled depending on the capacity of natural recovery. The incompatibility of natural recovery and restoration in time scales is the basic cause of why natural recovery cannot meet the ecological demands of human society. The author raises doubt to the statement of “put the natural recovery as the major objective”, and “transfer the major objective from the ecological restoration to natural recovery”. The author believes that to shift responsibility of restoration onto nature itself and recovery at long-last recovery is the logic of lazybones and unwilling to be responsible. That is violation of the acknowledged global environmental truth that “who destroys who should compensate; who pollutes who should eliminate; who enjoys, who should pay”. Besides recovery and restoration natural ecosystems, designed ecological solutions will go beyond restoring a past ecosystem, but creat a kind of coupled natural-artificial ecosystems that will be part of a future sustainable world.

Key words designed ecological solutions, ecological integrity, ecological restoration, exotic species, historical fertility, natural recovery, period scale

生态重建(ecological restoration)是自20世纪80年代以来生态学领域最活跃的关键行动之一。尤其是进入21世纪以来,由于国际社会和学界对地球生态与环境退化和健康的关注,使生态重建受到极大的重视,设计生态方案(designed ecological solutions)观念和方法的发展则使生态重建进到更高的层次。我国政府对生态建设有极大的投入,生态建设的学术用语就是生态重建。

本文不仅是关于生态重建的科学定义和特征的一个综述,而且试图对目前我国生态学界和管理部门通行的“生态恢复”理念和发展途径提出质疑。主要讨论3个问题:1)“生态重建(restoration)”和“生态恢复(recovery)”是不是一回事?二者有什么本质区别?2)生态重建是以生态系统的“自然恢复”为主,还是以“人工建设”为主?3)生态重建的未来发展途径是什么?

1 生态重建还是生态恢复?

Ecological restoration在20世纪80年代初引进中国大陆时被译为“生态恢复”,在中国台湾则译作“生态复旧”。后者似不可取,唯“生态恢复”一词先入为主,使用至今,已成为我国生态学界通用的术语。但随着对ecological restoration理解的加深,尤其是一系列与其十分接近的词语的大量出现,造成用法上的混乱和理解上的概念混淆,甚至在生态理念上的歪曲。因此本文试图为ecological restoration正名,并为与其相关的几个词语定名,并理清其科学涵义。

Ecological restoration是一个多种相近词的词汇,这些词大都是以“re”(又、复、再、重新)为前缀,以动词(建、存、植、住……)为词干,以tion(ion)为后缀词尾的词。姑且可称为生态学中的“re”家族,它们的名单如下:

Restoration	重建
Reclamation	复垦
Rehabilitation	复原
Remediation	修复
Revegetation	再植
Reforestation	再造林
Reseeding	再种草
Regeneration	更新
Recovery	恢复

Restoration的英文涵义在《Webster's Third International Dictionary of the English Language》(1976版)的9个释义中的一个如下:“a putting back into an unimpaired or much improved condition.”在其1981版中的一个释义是:“the act of restoring, state or condition of being restored, replacement, renewal, reestablishment”。在《The Oxford English Dictionary》对restoration的动词restore的9个释义中的6个都远不仅限于“回复到原来的状况”,而是要有所改善。并且在所有的解释中都没有用“恢复”(recover或recovery)这个词。根据restoration的英文结构与科学涵义,作者认为译作“重建”较为合理。

Ecological restoration的先驱者是2008年辞世的著名英国生态学家A. D. Bradshaw。他对生态重建的理解是:“生态重建实质上是一种企图要人为地克服那些限制生态系统发展因素的过程”。他指出生态重建的性质:“生态重建在实际操作方面通常是以工程或财力的考虑为主的,但其主要的逻辑(机理)却必须是生态学的。”(Bradshaw, 1987)。北美的学者一般倾向于认为生态重建是将景观回转到其“原生”状态的目标,即重建在人类造成退化之前的状况。多数欧洲学者所研究的景观已有数千年的人居历史,他们质疑前者的提法,认为在世界多数地区“原生”一词已没有多少意义。不论如何,在生态重建的实践和理论中都要涉及到重建结果的生态系统的质量和历史范畴,即生态系统的“整体性”(ecological integrity),包涵一个生态系统的生物多样性特征,如种类组成和群落结构,以及所有维持生态系统正常功能与过程因素的整体性。另一点是生态系统的“历史真实性”(historical fidelity),即要不要回复到“原生”的状态?(Bradshaw & Chadwick, 1980)

对restoration有大量的概念和不同的见解,以及应用上的内在矛盾。国际生态重建学会(Society for Ecological Restoration International, SER)自20世纪90年代以来几乎每两年就有一次关于restoration的“定义之战”。定义restoration的一个主要作用就是要划清界线。一个定义既不可过于狭窄和过于严格而至被排出于生态经营实践之外,又不宜过于宽泛,以免被混淆于一大堆不相干的观念之中。该定义既要显示生态学的实质,又要具有文化意识上的意义(Higgs, 2003)。

Bradshaw于1980年给出了生态重建的第一个定义：“Restoration作为一个总括的术语，用以描述下述所有这些行动：企图提高被损伤土地质量或等级的行动，或恢复被破坏的土地，使其重新有利使用，处于生物潜势被恢复的状态。”(Bradshaw & Chadwick, 1980)。

国际生态重建学会1990年的定义寿命较长，也最有争议：“生态重建是一个有意于改变一个生境而去建立一个定义明确的、本土生长的、有历史的生态系统的过程。这一过程的目的是要仿效一个特定生态系统的结构、功能、多样性和动态。”该定义对什么是restoration缺乏一致的意见，也不明确生态重建者们到底想完成什么任务？对什么是“本土”在美国与欧洲的学者之间有很大分歧，本土的概念是否要追溯到千年以前？(Higgs, 2003)

美国国家研究理事会(National Research Council, NRC)于1992年提出了一个冗长但被广为引用的定义：“Restoration被定义为一个生态系统返回到一个十分近似于受干扰之前的状况。在重建之中，资源的生态损伤得到修理。生态系统的结构与功能都得到恢复。仅仅恢复了外形而不是功能，或者是仅具有一个人工外表的功能而与自然资源很少相似则不能作为重建。重建的目的是要仿效一个自然的、功能性的、自我调节的、并与其在其中出现的生态景观相整合的系统。通常，自然资源的重建要求下列过程之一：先成的自然水文与地貌条件的重构；环境的化学清除或调整；以及生物措施，包括再植和重新引进已不存在或目前不能存活的原生种类。”(National Research Council, 1992)。

John Cairns将科学的与社会的因素考虑融为一体：“生态社会学的restoration乃是重新检视人类社会与自然系统关系的过程，因此修理与破坏可以平衡，或者，重建的实践最终将超过破坏的实践。”(Cairns, 1995)。该定义特别强调了人类社会的作用。

国际生态重建学会(1996)的正式定义：“生态restoration是一个协助生态整体性的恢复与管理的过程，生态整体性包括一个在生物多样性、生态过程和结构，地区与历史范围与可持续化实践等变异性的严格范围”(Higgs, 2003)。

国际生态重建学会(2002)的最新定义：“生态重建是协助一个遭到退化、损伤或破坏的生态系统恢

复的过程(Ecological restoration is the process of assisting the recovery of an ecosystem that has been degraded, damaged, or destroyed)”(Society of Ecological Restoration International Prime, 2002)。该定义简明扼要，得到一致公认，被延用至今。

国际生态重建学会提出重建生态系统的9个特征，可大致归纳如下：

1)重建的生态系统具有适当的群落结构，应尽可能由当地种构成。但在重建的人工生态系统中则容许引入外来的驯化种。应包括对生态系统继续发展和稳定性必需的所有功能群，或有潜力通过自然的途径迁入的种。2)已重建生态系统必须具有正常的自我维持能力，能维持种群的繁育，并在现存环境状况下具有长期坚持的潜力。已重建生态系统在它发展的各个生态阶段都应具备正常功能。3)自然环境应当适合于重建生态系统种群的持续繁衍，是为生态系统稳定性和发展所必需的。已重建生态系统可适宜地整合于一个较大的生态体系或景观之中，与之通过非生物和生物流及交换发生相互作用。4)已重建生态系统具有足够的适应力，耐受当地环境中发生的正常周期性压力事件或因偶然干扰事件而波动。已重建的生态系统可以随着环境状况的变化而进化(Society of Ecological Restoration International Prime, 2002)。

以下探讨一下生态重建的“re”家族中的其他词语的名称和含义：

Reclamation 复垦，类似于重建，意为挽救某种事物于一种不良状态中。复垦的目的通常是改造由于提取资源或不良经营而受到损害的土地使成为有生产力可利用的土地。该词来自18世纪后期的环境专门名词，用于描述使土地适于耕作的过程。亦专用于矿业的土地复垦，如矿坑回填、矿区土地平整、露天矿表土覆盖、种植与植被再植等，以及其他目的的土地再造。复垦的主要目标包括稳定地层，保证公共安全，增强美感，其目的通常是一种使土地恢复到在一定区域范围内被认为是有用的状况(Schwarz *et al.*, 1976)。

Rehabilitation 复原，几乎是复垦的同义词，意为重建或回复到原先的状况，或为在一次干扰后重建一个替代的生态系统，虽不同于原来的，但具有实用价值而不是保育价值(Allen *et al.*, 2000)。复原是一个更灵活的词，可为严格生态目的的重建，或

为建立一种在审美意义上可接受的生态状况, 或者是在复原中历史的真实性较低于重建。“复原”与“重建”共有的一个基本焦点在于以历史的或原有的生态系统作为模式或参照系, 但是这两个活动的区别却在于它们的目的和策略。复原强调生态系统过程、生产力和服务功能的修理, 而重建的目的还包括再建原有生物群落的基于种类组成和群落结构的整体性。即使如此, 作为广义的重建包涵了被认为是复原的大多数工程。

Remediation 修复, 与复垦的意义有密切的关联, 意为修复受损害生态的过程, 这是涵盖在重建内的主要工作。但修复缺乏对历史状况和生态整体性恢复的关注使其与重建相区别。

Revegetation 再植, 是一个普通词, 具多种含义。基本上是指在一个植被被剥光或表现出不能自然再生植被的地面上建立植被覆盖。该过程包括种植和播种, 并不特指要使用原生种类。自然的再植是指没有人类干预而建成一片植被覆盖的生态过程, 此中原生种可有可无。通常, 一片受到干扰的土地上发生的杂草种是主要的先锋植物。再植一般是土地复垦的一个组分, 可以仅仅是建立一个或少数种。具有较强生态性的复垦工程可以作为是复原或甚至是重建。林木的再植是“再造林”(reforestation); 草地的再植是 reseeded (Ford-Robertson, 1971)。

Regeneration 更新, 是一个在营林学中早已惯用的专业词, 是指在林地上林木天然下种或萌芽形成幼树的世代更替过程。天然更新是无人类干预的自然树种世代更替过程, 人工更新则是由人工播种或植苗而进行的。此名词在生态学中不常用。

Recovery 是英文中与汉字“恢复”最确切的对应词。恢复是指自然回复到原来的事物, 即回复到生态系统被干扰之前状态的生物地球化学过程 (Higgs, 2003)。北美东部(New England)的森林在强度的采伐和农耕后不到200年达到巨大的自然恢复(得益于农民放弃东部寒冷和石质的牧场而趋于中西部肥沃的田地), 被称为“绿色爆发”, 是自然恢复的最好例证(Higgs, 2003; Clewell & Aronson, 2007)。恢复并不意味着已恢复的土地必须是在历史真实性意义上的重建。然而, 自然恢复有时很难回到干扰前的正常生态系统。当生态系统被外来种所啃食, 感染持久的毒素, 或自然恢复相继被阻断而难以自

行回到早先的状态时, 就必须有人为的干预。只有生态重建的努力——细心的再植和生态管理(森林经营)才能使之得到回复(Society of Ecological Restoration International Prime, 2002)。

由上述的介绍和讨论可知, “恢复”的发生是没有人直接参与的, “生态重建”却是在人为活动的辅助下实施的, 这就是“恢复”与“重建”的根本区别, 二者不容混淆。“生态重建”不仅英文释义不同于“恢复”, 其科学涵义与技术也要比“生态恢复”丰富得多, 在生态管理中处于更高的层次。这一点也正是作者建议将ecological restoration译作“生态重建”的理由。

2 自然恢复为主, 还是人工重建为主?

近年来生态重建(恢复)在我国社会层面引起关注, 并形成两种对立的观念。

1) 一种流行的传统观点认为: 生态恢复(ecological restoration)要以发挥生态系统的自我恢复能力为主, 要从人工生态建设转向以自然恢复为主。例如, 《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》第二十三章“保护修复自然生态”规定: “生态保护和建设的重点要从事后治理向事前保护转变, 从人工建设为主向自然恢复为主转变, 从源头上扭转生态恶化趋势。在天然林保护区、重要水源涵养区等限制开发区域建立重要生态功能区, 促进自然生态恢复。”

2) 另一观点认为由于人类破坏植被与环境的速度远超过自然恢复的能力, 自然生态恢复的时间尺度与人为活动(利用、需求或破坏)的尺度有数量级上的差异, 因此必须尽可能地人工促进生态重建, 加强生态建设, 不能旷日持久地消极等待自然恢复。

“主要依靠生态系统的自我恢复能力进行生态系统的恢复与重建”, 这是经典或传统生态学的观点。在自然生态系统退化不严重, 基本上保持着原来的系统结构和环境条件的情况下, 这样说在理论上是正确的。但在我国许多地区自然生态系统经过长期强度利用和开发而严重退化, 其结构已遭到破坏, 甚至环境(土壤和局地气候)都发生了很大变化, 原来的自然生态系统基本上已不存在或已丧失了自我恢复能力的情况下, 仍要强调“自然恢复”, 甚至作为国策, 就是不符合实际的教条, 是不作为的

推托和有悖于生态道德伦理、极度不负责任和消极有害的观念;是把人类不合理行为对自然欠下的孽债和应负的责任推诿给自然去成千上万年地慢慢恢复的迂腐决策。

人类的需求和行为与自然进化和发育之间存在着巨大的时间尺度上的差异。这是造成经济发展和生态保育相矛盾或不匹配的重要机制,也是人天不和谐的主要原因。生态重建和恢复应当有时间尺度观念,不可超尺度地依赖生态系统的自我恢复能力。“一万年太久,只争朝夕”。在重建生态学范畴主要考虑3类时间尺度:1)地质年代尺度:千年-万年-亿年(10^3 - 10^6 - 10^9 年),例如生态系统中的土壤亚系统形成和恢复通常需要千年到万年,甚至更长的时间过程;2)生态系统世代交替和演替尺度:十年-百年-千年(10 - 10^2 - 10^3 年),例如北方寒温带针叶林的世代天然更新通常需要400–500年或更多时间;3)生态建设(人类活动)尺度:1年-10年-100年(1 - 10 - 10^2 年),人类的世代更替不过30–50年,社会经济活动则是以5–10年计的。

可见,自然恢复的时间尺度是在百年-千年-万年以上,甚至是数十-百万年的数量级。尤其是要恢复生态系统的整体性:即包括其结构与功能的完全恢复所需时间比仅仅出现一些先锋性的植物要长得多,一旦生态系统的整个结构(包括土壤)遭到破坏,则其自然恢复通常在 10^4 – 10^6 年以上。例如:东北红松林的自然更新至少需要300–400年。北京西山的次生灌丛大致已有2 000年以上的历史,在土壤完全被冲刷流失殆尽,露出基岩的情况下,则永远不能恢复。山东沂蒙山区的花岗岩与石灰岩山地,从春秋战国至今已有2 000余年的破坏史,童山濯濯,裸岩纍纍,其自然恢复遥遥无期。内蒙古草原的恢复:四大沙地在台地上需要>50–100年以上,在流动沙丘情况下,可能要500–1 000年以上,黑钙土草甸草原地带1 m厚黑土层的形成需 10^5 年。极端的情况是岩溶(喀斯特)石灰岩上形成1 cm的残积土层要 10^6 年,20–30 cm要 $(2-3)\times 10^7$ 年。而人口增长,经济发展与工农业开发,如森林采伐、土地开垦和草原过度放牧等人类活动的速度与强度则是以日、月、年计的,其作用过程是快速度、高强度、高频率、短周期和大面积的,与生态系统自我恢复的时空尺度极不相容。一般来说,生态系统自我恢复的速度和规模远不能适应、赶上和满足人类社会的需求和消耗速度,现代人

类先进生产力和发展速度对资源利用(包括破坏)的时空尺度要超过自然恢复能力大致2–3个数量级。这种自然与人类的时空尺度的不匹配和超尺度地依赖生态系统和环境的自然恢复能力,就是自然恢复难以满足当前社会生态需求的根本原因,决定了自然恢复主义者乌托邦的必然幻灭。

例如美国西北的天然红杉(*Sequoia sempervirens*)林和花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)林采伐后,法律规定必须在两年内人工植苗更新,45年后即可成林再伐;如靠天然下种更新,至少需要200–300年以上。北美西部森林自然更新条件十分优越,尚且立法必须人工更新森林。我国大部分天然森林的自然更新和生长条件远不及北美西部,却在政府发展纲要中明令以“自然恢复”取代人工建设!如果我国仍处于经济十分贫困落后、民不聊生的状况下,就只能实行“封山育林”,旷日持久地消极等待自然恢复,是可以理解的无奈之举;但我国目前经济发展已具一定实力;在中央领导决心改变我国自然环境和生态系统严重退化的状态、大力发展生态建设之际,提出如此消极的生态战略,可谓是对生态重建理念的严重缺失。

然而,胡锦涛总书记在党的十七大报告(2007年)中,多次强调生态文明和加强生态建设:“加强水利、林业、草原建设,加强荒漠化石漠化治理,促进生态修复。加强应对气候变化能力建设,为保护全球气候做出新贡献”。温家宝总理在2009年的政府工作报告中,充分具体地落实了国家今后的生态建设任务。这是党中央和政府从科学发展观出发,把生态建设作为建设和谐社会的重要组成部分和核心内容,是对生态重建的肯定和极大重视。从而可以认为“从人工建设为主向自然恢复为主转变”的消极生态战略方针已被否定。

另一方面,按照“谁破坏,谁补偿;谁污染,谁治理;谁享用,谁买单”的全球环保原则,人类社会(或其后代)就应当以相应于经济发展与人口增长的速度、强度与规模投入必需的能量、物质、人力、智力、技术与资金以辅助和加速自然生态系统和环境的恢复重建,弥补对自然的巨大亏欠和时空差距。必要时以工程措施促进生态系统与生物多样性的恢复重建。在自然环境恶劣和生态系统遭到过度破坏的情况下,尤须人工重建。

当然,大面积过牧草原和被破坏的荒漠难以全

用人力重建, 可以一方面通过退牧封禁使天然植被和野生动物群得以休养生息, 但其前提和保证是积极的人工重建: 择地建设高产优质的人工饲草基地, 采用现代化舍饲畜牧业的集约产业化生产方式, 以取代粗放、低生产力和对生态不友好的天然草地放牧生产方式, 而不是毫无作为地坐等自然恢复。我国天然林虽已明令保育禁伐, 但通过封山育林自然恢复的次生林质量甚低, 不论其经济价值和生态功能均远远不及顶极树种的原始林; 且其自然恢复, 因不同情况需要数百年到上千年的时间。因此在有经济和技术能力的情况下, 应通过培育目的树种苗木人工更新的方式辅助和加速天然森林的重建。

3 生态重建的两类发展途径

通常意义的生物多样性保护只是强调对现存物种的保护, 这是远远不够的。在许多地区, 尤其是具有悠久开发历史的我国, 原始状态的生态系统所存无几, 大部分遭到长期人类活动的影响而发生了不同程度的变化、损伤, 甚至毁灭。在这种情况下, 单纯的保护已经不能使这些被损害的生态系统得以恢复, 而需要采取各种生态重建的措施。生态重建有两类不同的发展途径(Todd, 2005)。第一类型的生态重建试图重新建造真正的过去的生态系统, 尤其是那些曾遭到人类改变或滥用而毁灭或变样的生态系统。在重建中强调原有系统结构与种类的重新建造, 其重要价值在于维持当地重要的基因库, 以及对自然进化形成的适应性和生存竞争胜利者的承认和尊重, 同时又是对在人类“征服自然”战争中的失败者和牺牲者的挽救和复生。第二类型的生态重建是对于那些由于人类活动已全然毁灭了的原有生态系统和生境代之以退化的系统。在这里, 生态重建的目的是要建立一个符合于人类经济需要的系统, 重建的生物种类可以是, 也可以不是原来的种类, 往往所采用的植物或动物种不一定很适于环境但具有高的经济价值, 或采用各种先进的工程措施以加速生态系统的恢复。也许, 只有这种把重建自然的需要与人类的经济需要结合起来的途径才是恢复地球陆地植被的唯一有效的方法。

4 生态重建的前景——人工设计的生态方案(designed ecological solutions)

2004年美国生态学会生态远景委员会提出:

“人类赖以生存的自然服务功能将越来越难以维持, 人类未来的环境很大一部分将由不同程度人工影响的生态系统所组成。一个可持续的未来要求科学在设计生态方案方面取得更大的进展, 这种方案不只是通过自然保育和恢复, 更需要通过人类对生态系统有目的地干预而提供积极的服务。从研究现有未被扰动的原生生态系统向以人类为重要组分、聚焦生态系统服务和生态设计的新生态系统的研究转型, 将为维持地球生命的质量和多样性奠定科学基础”。“这种人工设计生态系统并非用来代替自然生态系统, 但它们将成为未来可持续世界的一部分”(Palmer *et al.*, 2004)。人工设计的生态系统已超越了将生态系统修复到过去状态的传统理念, 它要求创造一个功能完善的生物群落, 并与人类耦合成自然-社会复合生态系统, 使其为人类提供最优的生态服务。这种系统可以设计成通过组合各种技术手段, 并搭配以新型的物种组合来减缓不利的生态影响, 并有利于形成特定的生态服务功能。通过丰富人工生态系统的多样性: 合理的、多种类间作、混作、轮作、与多层次(乔、灌、草、水体等)结构配置, 或农、林、牧(草)、副、渔的多种经营组合来达到生物多样性与经济需要相结合的目的构成的“农林牧复合系统(agroforestry)”是十分符合重建生态学与生物多样性原则的, 近年来得到极大重视, 并作为生态农学的一个主流而迅速扩展。我国生态学家所提出的大农业生态学与生态工程在这方面进行了全面的理论阐述、实践经验的总结, 并提出优化模式, 从而奠定了重建人工生态系统的良好基础。这对于我国退化生态系统的恢复重建与优化人工生态系统的构成具有重要意义, 也是对丰富生物多样性的高层次综合措施。一个成功的人工设计生态方案必须通过严格的科学实验和反复的调整组配才能适应于我们这个不断变化的星球。

我国近年提出的区域性“生态-生产范式”就是对于人工设计生态方案的一个尝试(张新时, 2000; 慈龙骏等, 2007; 张新时和唐海萍, 2008)。这个生态方案首先必须基于当地的自然-历史背景, 遵循生态地理(气候、水文、植被、地貌和地质结构等)的地带/非地带性规律, 同时也要符合于当地的发展状况、水平和需求。既要科学地分析当前的客观存在, 又要考虑到历史的传承和文化传统; 更要有前瞻性地预计到未来的科学技术进步和发展的

趋势。要着眼于科学的发展观,而不拘泥于目前的低水平和短视的当前利益。其关键是要以先进生产力和集约的、生态/环境友好的发展方式取代生产力落后、粗放和生态/环境不友好的发展方式。但是,“生态-生产范式”还不是一个完全成熟的科学概念,也不具备完整的结构和内涵,它还有待不断地深入研究和改进,从而使其可能在生态重建中有助于生态方案的设计。

参考文献

- Allen EB, Brown JS, Allen MF (2000). Restoration of plant, animal, and microbial diversity. In: Levin S ed. *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press, San Diego, CA, USA. 185–202.
- Bradshaw AD (1987). Restoration: an acid test for ecology. In: Jordan WR III, Gilpin ME, Aber JD eds. *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Bradshaw AD, Chadwick MJ (1980). *The Restoration of Land: The Ecology and Reclamation of Derelict and Degraded Land*. Blackwell, London.
- Cairns J Jr (1995). Ecosocietal restoration: reestablishing humanity's relationship with natural systems. *Environment*, 37, 4–33.
- Ci LJ (慈龙骏), Yang XH (杨晓晖), Zhang XS (张新时) (2007). The mechanism and function of “3-circles”—an eco-productive paradigm for desertification combating in China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 27, 1450–1460. (in Chinese with English abstract)
- Clewell AF, Aronson J (2007). *Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession*. Island Press, Washington, DC.
- Ford-Robertson (1971). *Terminology of Forest Science, Technology, Practice and Products*. Society of American Foresters, Washington, DC.
- Higgs ES (2003). *Nature by Design: People, Natural Process, and Ecological Restoration*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- National Research Council (1992). *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology and Public Policy/Committee on Aquatic Ecosystems*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Palmer M, Bernhardt E, Chornesky E, Collins S, Dobson A, Duke C, Gold B, Jacobson R, Kingsland S, Kranz R, Mappin M, Martinez ML, Micheli F, Morse J, Pace M, Pascual M, Palumbi S, Reichman OJ, Simons A, Townsend A, Turner M (2004). Ecology for a crowded planet. *Science*, 28, 1251–1252.
- Schwarz CF, Thor EC, Elsner GH (1976). *Wildland Planning Glossary*. USDA Forest Service, Berkeley, Ca.
- Society of Ecological Restoration International (2002). Prime. <http://www.ser.org>.
- Todd NJ (2005). *A safe and Sustainable World: The Promise of Ecological Design*. Island Press, Washington, DC.
- Zhang XS (张新时) (2000). Eco-economic functions of the grassland and its patterns. *Science and Technology Review* (科技导报), 8, 3–7. (in Chinese)
- Zhang XS (张新时), Tang HP (唐海萍) (2008). *A Collection of Optimized Eco-productive Paradigms in the Ecotone of Farming and Pastoral Zones of Northern China* (中国北方农牧交错带优化生态-生产范式集成). Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 傅伯杰 责任编辑: 姜联合