

恢复生态学焦点问题

彭少麟, 陆宏芳

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要: 就恢复生态学的概念、近期的发展趋势与前沿命题、传统生态学理论在生态恢复过程中的应用及恢复生态学的社会性等核心问题展开论述。恢复生态学是一门年轻的学科, 迄今尚无统一的定义。代表性的有 3 方面的学术观点。第 1 种强调受损的生态系统要恢复到理想的状态; 第 2 种强调其应用生态学过程; 第 3 种强调生态整合性恢复。笔者认为, 恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、过程与机理的科学。从近年的国际恢复生态学大会来看, 恢复生态学研究近期主要有 3 个方面的发展趋势。一是强调自然恢复与社会、人文的耦合。认为恢复生态是全球性的, 不只是自然的过程, 应有全社会的支持, 包括政治、经济和人文的介入。二是强调无论是在地域上还是在理论上都要跨越边界。有效的生态恢复实践在地域上要求多地区甚至是多国家的合作, 在理论上要求多学科交叉与耦合。三是强调以生态系统为基点, 在景观尺度表达。随着环境和经济问题的全球化, 生态系统和景观尺度的恢复生态学研究引起了越来越多的关注。2004 年第 15 届国际恢复生态学大会的会议主题已定为: 恢复、景观与设计。在当前研究趋势的基础上, 提出了恢复生态学当前研究的 6 个前沿命题: 恢复生态学的学科理论框架研究、恢复生态系统的功益研究、生物多样性在生态恢复中的作用研究、生态恢复对全球变化的响应研究、生态恢复立法研究和生态恢复与社会、经济的整合性研究。退化生态系统的恢复与重建是一项十分复杂的系统工程, 尤其需要生态学理论的指导。多数生态学理论已被应用于恢复生态学的研究与实践。结合实例, 着重阐述了生态系统演替理论在生态恢复中的应用。恢复生态与全球变化间的相互作用研究越来越多的引起了人们的关注, 但多数研究仍停滞在定性研究阶段。在广东的恢复生态学研究表明, 广东省从 1986 年至 1998 年, 植被覆盖从 26% 到 51%, 新造林绿化的植被每年可吸收、固定广东省年排放 CO₂ 量的一半。人类社会与自然环境的协调可持续发展, 不仅要求实现生态环境的可持续, 同时亦要求实现人类社会与经济的可持续发展。这就要求生态系统的恢复与重建必须同时实现生态、经济与社会效率的三重优化。中国科学院华南植物研究所生态中心在中国热带、南亚热带进行的退化生态系统的恢复与重建研究历时 30 余年, 所产生的显著的经济和社会效益, 在各个实验站点均已有所反映。

关键词: 恢复生态学; 概念; 发展趋势; 演替理论; 社会效益; 可持续发展

Some key points of restoration ecology

PENG Shao-Lin, LU Hong-Fang (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1249~ 1257.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30270282); 广东省基金团队资助项目 (003031); 中国科学院知识创新资助项目 (KZCX2-407); 中国科学院华南植物研究所所长基金资助项目

收稿日期: 2003-03-07; **修订日期:** 2003-05-10

作者简介: 彭少麟 (1956~), 男, 广东潮阳市人, 博士, 研究员, 从事生态学研究。

Foundation item: The Project of the National Natural Science Foundation of China (No. 30270282), Guangdong Group Project (No. 003031), Acknowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-407), and Director Foundation of South China Institute of Botany, CAS

Received date: 2003-03-07; **Accepted date:** 2003-05-10

Biography: PENG Shao-Lin, Ph. D., Professor, main research field: ecology.

Abstract Five key points of restoration ecology was discussed in this paper, which are the concept of restoration ecology, the current trends of restoration ecology, the application of traditional ecology theory in the practice of ecological restoration and the social characteristic of restoration ecology.

Restoration ecology still has no general definition, as a young subject. There are mainly three schools about it. The first school emphasizes that the degraded ecosystem should be restored into ideal state. The second school highlights the process of applied ecology. The third school insists the integrative restoration. The author thinks that restoration ecology is a integrative subject to study the reason and process of the degradation, and the mechanism and technology of restoration.

There are three main trends of restoration ecology study, based on the recently international restoration ecology conferences. Firstly, current restoration ecology study highlights the integration between natural restoration and social culture. Ecological restoration is a global study and practice. It needs the support of not only natural science study but also social, economic and cultural development. Secondly, restoration ecology study emphasizes the integration both in physical area and in theory. The efficient restoration needs the cooperation of several regions, even nations in a region, and the integration of different disciplines in science. Thirdly, the process and result of ecological restoration must be expressed in landscape with ecosystem as a standpoint. More and more emphasis of ecological restoration study was put on ecosystem and landscape scales, with the globalization of environmental and economic problems. The main domain of 15th international restoration ecology conference has been confined as "Restoration, Landscape & Design".

Based on the analysis of current trends, 6 hot topics of restoration ecology were given out: the study of the theory framework of restoration ecology; the assessment study of the ecosystem service of restored ecosystem; the role of biodiversity in restoration; the reaction between restoration and global change; the role of law in restoration and the integration study of restoration, economy and society.

The restoration and reconstruction of an ecosystem is a complex system engineering, especially needing the direction of ecological theory. Most of ecological theories have been widely used in the study and practice of restoration. With a case study, the application of succession theory in ecological restoration was highlighted. More and more emphasis has been put into the integration study between global change and restoration, but most of the studies were qualitative studies. The restoration study in Guangdong province shows that the forest coverage has raised from 26% in 1986 to 51% in 1998. The new developed forest absorbs half of discharged CO₂ in Guangdong Province per year.

The harmonious sustainable development of human society and natural environment requires the realization of both sustainable ecological environment and the development of social economy. Thus, restoration study must focus on the realization of ecological, economic and social effects simultaneously. Significant economic and social effects brought about through restoration and reconstruction of degraded ecosystems have been demonstrated in all of the experimental stations funded by South China Institute of Botany in lower subtropical China.

Key words: restoration ecology; conception; development trend; succession theory; social benefits; sustainable development

文章编号: 1000-0933(2003)07-1249-09 中图分类号: S718 文献标识码: A

恢复生态学是一门关于生态恢复的学科,是应用生态学的一个分支。自Aber和Jordan于1985年提出以来,恢复生态学仅经历了10余年的发展历程,但已成为国际生态、环境学界的重要研究分支之一。本文仅就其定义、当前的主要发展趋势与若干前沿命题、传统生态学理论在生态恢复过程中的应用、全球变化

生态学与恢复生态学的交叉及恢复生态学的社会性等几个焦点问题展开综述。

1 恢复生态学的定义

恢复生态学是一门年轻的学科,迄今尚无统一的定义。代表性的有 3 方面的学术观点。

1.1 强调受损的生态系统要恢复到理想的状态

代表性的有美国自然资源委员会认为使一个生态系统回复到较接近其受干扰前的状态即为生态恢复^[1]。Jordan 认为使生态系统回复到先前或历史上(自然的或非自然的)的状态即为生态恢复^[2]; Cairns 认为生态恢复是使受损生态系统的结构和功能回复到受干扰前状态的过程^[1]; Egan 认为生态恢复是重建某区域历史上有的植物和动物群落,而且保持生态系统和人类的传统文化功能的持续性的过程^[3]。

1.2 强调其应用生态学过程

彭少麟等提出,恢复生态学是研究生态系统退化的原因、退化生态系统恢复与重建的技术与方法、过程与机理的科学^[4,5]。Bradshaw 认为生态恢复是有关理论的一种“酸性试验(acid test 或译为严密验证)”,它研究生态系统自身的性质、受损机理及修复过程^[6]; Diamond 认为生态恢复就是再造一个自然群落,或再造一个自我维持,并保持后代具持续性的群落^[7]; Harper 认为生态恢复是关于组装并试验群落和生态系统如何工作的过程^[8]。

1.3 强调生态整合性恢复

国际恢复生态学会(Society for Ecological Restoration)先后提出 3 个定义:生态恢复是修复被人类损害的原生生态系统的多样性及动态的过程;生态恢复是维持生态系统健康及更新的过程;生态恢复是帮助研究生态整合性的恢复和管理过程的科学,生态整合性包括生物多样性、生态过程和结构、区域及历史情况、可持续的社会实践等广泛的范围。第 3 个定义是该学会的最终定义^[9]。

上述 3 方面的定义虽然有不同,但其共同点均认为恢复生态学是研究退化或受损的生态系统的恢复或重建,是关于生态恢复的一门科学。而其不同点则反映了恢复生态学具有主观特征,由于不同学者的着眼点不同,在恢复生态学研究中的过程和目标也就不同。

与生态恢复(Restoration)相关的概念还有:

重建(Rehabilitation) 去除干扰并使生态系统回复原有的利用方式。

改良(Reclamation) 改良立地的条件以便使原有的生物生存,一般指原有景观彻底破坏后的恢复。

改进(Enhancement) 对原有的受损系统进行改进,提高某方面的结构与功能。

修补(Remedy) 修复部分受损的结构。

更新(Renewal) 指生态系统发育及更新。

再植(Revegetation) 恢复生态系统的部分结构和功能,或先前土地利用方式。

这些概念可看作广义的恢复概念,一般所说的“恢复”实际上包括了这些内容^[10,11]。

2 恢复生态学近期的主要发展趋势与前沿命题

2.1 恢复生态学近期的主要发展趋势

2.1.1 当前的恢复生态学强调自然恢复与社会、人文的耦合 恢复生态是全球性的,不只是自然的过程,应有全社会的支持,包括政治、经济和人文的介入。2000 年在英国召开恢复生态学会国际大会,其主题是以创新理论深入推进恢复生态学的自然与社会实践。恢复生态学的实践依赖于其理论的创新,而理论的创新需要形成学科的交叉才能有效地进行恢复生态学研究。会议特别提出恢复生态学的生态哲学观,强调恢复生态学研究的自然与社会人文交叉,强调科学工作者、政府、民众的充分合作。生态恢复在实施前应进行目标设计,过去的模式不一定是未来所需要的;应该在充分考虑未来生态系统发展的基础上,对恢复量化,再付之实践。生态恢复的价值不仅是局部生态系统结构和功能的恢复,更有全球意义,应进行联网研究,在不同的尺度上研究。生态恢复的有效实施,依赖于政治上的支持、立法的和相关的机构的保证。21 世纪是城市的世纪,城市的未来亦是人类的未来。城市的生态恢复不仅为自然景观问题,还包括人文景观、历史景观、文化与美感等,应特别强调社区艺术。必须开展生态恢复教育,为人类与自然的和谐发展提供机会^[12]。

2.1.2 恢复生态学研究无论是在地域上还是在理论上都要跨越边界 2001 年召开的国际恢复生态学大

会,其科学主题是“跨越边界的生态恢复”,会议的焦点集中在跨越美国和加拿大的世界著名的“大湖(Great Lake)区域的生态恢复。就研究地域而言,生态系统的结构和功能是有自然边界而没有政治边界的,自然地理区域的统一性决定了生态系统恢复行动跨越政治边界的必要性,有效的区域或流域的生态恢复往往需要多个行政区以至多个国家的共同参与。“跨越边界的生态恢复”在学术上包括了更为深刻的内涵。在理论支撑方面,恢复生态学的许多理论、方法来源于生物学、地学、经济学、社会学、数学等自然科学,以及工程学、林学、农学、环境学等应用性科学。生态恢复的过程和机理研究,必须从不同的空间组织层次上来进行。恢复生态学涉及众多学科,需要多学科的理论集成^[13]。

2.1.3 恢复生态学研究以生态系统为基点,在景观尺度上表达 生态系统的研究理论和概念,是支撑生态系统经营和管理的理论核心,也是生态恢复实践的理论基础,对生态系统的完整了解才是生态实践的重要条件。2002年在美国召开的第14届国际恢复生态学大会以“了解和恢复生态系统”为主题,强调生态系统是开展生态学以及其它分支学科研究工作的最基本和完整的单元,只有认识生态系统的结构和功能,才能了解生态系统在各种环境,尤其是在当今全球关心的气候变化条件下的发展趋势。而生态恢复的实践也是以具体的生态系统作为研究的对象^[14]。随着环境问题与社会经济发展的全球化,生态系统乃至景观等大尺度的研究日益成为恢复生态学新的研究热点。2004年第15届国际恢复生态学大会的会议主题已定为:恢复、景观与设计。

2.2 恢复生态学近期研究的若干前沿命题

由以上发展趋势的分析可以得出恢复生态学近期研究的若干前沿命题

2.2.1 恢复生态学的学科理论框架 目前,自我设计与人为设计理论(Self-Design versus Design Theory)是惟一从恢复生态学中产生的理论^[15]。恢复生态学应用了许多学科的理论,但最主要的还是生态学理论。这些理论主要有:限制性因子原理、热力学定律、种群密度制约及分布格局原理、生态适应性理论、生态位原理、演替理论、植物入侵理论、生物多样性原理、缀块-廊道-基底理论等等^[16]。这些理论的进一步整合,以及新理论的引入和提出都是恢复生态学目前和今后的研究热点。

2.2.2 恢复生态系统的功益 生态系统功益(Ecosystem services)是指人类直接或间接从生态系统功能(即生态系统中的生境、生物或系统性质及过程)中获取的利益^[17]。恢复退化生态系统的最终目标是恢复并维持生态系统的服务功能,由于生态系统的服务功能多数不具有直接经济价值而被人类忽略。目前,对生态恢复的功益认识仅仅停留在定性阶段,如何进行定量计算尚未有成熟的方法。近期由于生态经济学理论的引入,已有较好的突破。

2.2.3 生物多样性在生态恢复中的作用 生态恢复中的一个关键成分是生物体,因而生物多样性在生态恢复计划、项目实施和评估过程中具有重要的作用。在生态恢复的计划阶段就要考虑恢复乡土种的生物多样性:在遗传层次上考虑那些温度适应型、土壤适应型和抗干扰适应型的品种;在物种层次上,根据退化程度选择阳生性、中生性或阴生性种类并合理搭配,同时考虑物种与生境的复杂关系,预测自然的变化,种群的遗传特性,影响种群存活、繁殖和更新的因素,种的生态生物学特性,足够的生境大小;在生态系统水平层次上,尽可能恢复生态系统的结构和功能(如植物、动物和微生物及其之间的联系),尤其是其时空变化。在恢复项目的管理过程中首先要考虑生物控制(对极度退化的生态系统,主要是抚育和管理,对控制病虫害的要求不高,而对中度退化的生态系统和部分恢复的生态系统则要加强病虫害控制),然后考虑建立共生关系及生态系统演替过程中物种替代问题。在恢复项目评估过程中,可与自然生态系统相对照,从遗传、物种和生态系统水平进行评估,最好是同时考虑景观层次的问题,以兼顾生境损失、破碎化和退化对生态系统等大尺度的问题^[18]。

外来种(外来种是人类有意或无意引入的、非当地原生的物种)在生态恢复中也具有一定的作用。例如,广东省鹤山市在森林恢复过程中,大量栽种从澳大利亚引种的马占相思、大叶相思等外来种作先锋种,利用它们固氮、耐旱、速生等特点进行植被覆盖,待其3~4a成林后再间种红锥、荷木等乡土种进行林分改造,大大地缩短了恢复时间,并节约了成本^[10]。但应在恢复、管理、评估和监测中注意外来种入侵问题,关注从外地再引入原来在当地生存的乡土种对当地群落的潜在影响^[19]。

总体上说,在生态恢复构建时,如何设计在不同层次和时空尺度上的植物、动物和微生物的协同结构,并利用其功能过程,是一个广泛关注的课题。

2.2.4 生态恢复对全球变化的响应 对于植被的破坏对加剧全球变化的真实性来说,由于很难将全球地史性的变暖与人为过程影响区分出来,尽管已做了大量研究,仍以定性推论为主。

全球 CO₂ 倍增对植被的影响及植被恢复对其的响应已成为国际学术界广泛关注的热点。各界学者在不同尺度上做了大量的试验研究和定性研究,结果各异而未有定论。我国学者郑凤英、彭少麟等将 Meta 分析方法引入生态学研究,对以往的研究进行定量统计分析^[20]。

2.2.5 生态恢复立法 区域性和大尺度的有效的生态恢复,不能只靠学者的研究和民众的热情,必须通过立法成为依据,由司法进行保证。生态恢复的有效实施,要依赖政治上的支持、立法的和相关的机构的保证;应该有政府的规定,并与土地利用规划相结合^[13]。

2.2.6 生态恢复与社会、经济的整合性研究 就恢复生态学研究与实践的本质而言,它是应全球环境危机而生的应用性学科,旨在通过对退化生态系统的恢复与重建缓解人与自然的发展矛盾,改善人类社会、经济发展的自然环境。其应用、实践与评估都要求进行生态、社会和经济三方面的整合。

3 传统生态学理论在生态恢复过程中的应用

退化生态系统的恢复与重建是一项十分复杂的系统工程,尤其需要生态学理论的指导。主导生态因子原理、元素的生理生态原理、种群密度制约原理、种群空间分布格局原理、边缘效应原理、生态位、及演替理论等均在恢复生态学中有重要的应用。

其中,生态系统演替理论是指导退化生态系统重建的重要的基础理论。生态系统的动态发展,在于其结构的演替变化,如物种的组成、各种速率过程、复杂程度和随时间推移而变化的组分的变化。最高效率地重建植被或生态系统的可行性,是直接地依赖于对动态原则理解的程度而转移,必须顺应随时间过程的演替规律,成功的人工植被或生态系统都是在深入认识生态原则和动态原则基础上,模拟自然植被或生态系统的产物。因此,退化生态系统的恢复与重建,最有效的和最省力的方法是顺从生态系统的演替发展规律来进行。

森林演替是一个动态过程,是一些树木取代另一些树木,一个森林群落取代另一个森林群落的过程。自然条件下,森林的演替总是遵循着客观规律,从先锋群落经过一系列演替阶段而达到中生性顶极群落,通过不同的途径向着气候顶极和最优化森林生态系统演变。南亚热带区域,在排除人为干扰的情况下,森林演替的进程以马尾松或其它先锋种群的入侵和定居为起点,它们在荒地上有高生活力并生长很快,但成林后结构简单,盖幕作用小,透光率大,高温低湿,昼夜温差较大。但其生长为阔叶阳性性树种,如椎栗、荷木等提供较好的环境,这些阳性性树种入侵先锋林地并生长良好,林内盖幕作用和阴蔽增加。结果,先锋种群不能自然更新而消亡,但中生性树种,诸如厚壳桂和黄果厚壳桂等却有了合适的生境而发展起来,群落更为复杂,阳性性树种渐渐消亡,群落趋于中生性树种为优势的接近气候顶极的顶极群落^[21](表 1)。

中国热带亚热带地区植被恢复与重建 30 余年的研究表明,该地区森林演替的进展是较迅速的。其演替依次经过先锋针叶林阶段,以针叶树种为主的针阔叶混交林,以阳性阔叶树种为主的针阔叶混交林,以阳生植物为主的常绿阔叶林和以中生植物为主的常绿阔叶林,最终演替为中生性顶极群落。该区域退化生态系统的植被重建,完全可以依据其发展常规,人

表 1 南亚热带群落演替过程林木成分更替表^[21]

Table 1 Replacement of tree species composition in the process of community succession in low subtropics

现在 At present	今后 25 a 25 years later		
	X1	X2	X3
X1	20+ 6	66	8
X2	1	44+ 12	43
X3	0	4	69+ 27

X1: 马尾松等先锋种 *Pinus massoniana* and other pioneering species

X2: 锥树、荷树等阳性常绿阔叶树种 *Castanopsis chinensis*, *Schin a superba*, and other sunny evergreen broad-leaved tree species

X3: 厚壳桂、果果厚壳桂等耐阴性常绿阔叶树 *Cryptocarya chinensis*, *Cryptocarya concinna*, and other mesophytic evergreen broad-leaved tree species

* 主对角线的数据为该种群 25a 后成活百分率加上 25a 间为同类种群所更替的百分率

为地进行种类构建, 加速退化生态系统的植被恢复(表 2)。

表 2 南亚热带森林群落不同演替阶段的时间划分^[22]

Table 2 Time division of different successional periods of forest community in low subtropics

林龄(a) Forest age	0	< 25	25~ 50 (不含 50)	50~ 75 (不含 75)	75~ 150 (不含 150)	150
演替阶段 Successional periods	马尾松等先 锋林群落 Pioneering community with <i>P.</i> <i>massoniana</i> etc	以针叶乔木 为优势的针 阔叶常绿混 交林 Evergreen needle and broad-leaf mixed forest dominated by needle-leaf trees	以锥树、荷树 等阳性阔叶 常绿树为优 势的阔叶常 绿混交林 Evergreen broad-leaf needle and broad-leaf mixed forest dominated by sunny broad- leaved tree species such as <i>Castanopsis</i> <i>chinensis</i> and <i>Schin a</i> <i>superba</i> etc	以锥树、荷树 等阳性树为 优势的常绿 阔叶林 Evergreen broad-leaved forest dominated by sunny tree species such as <i>Castanopsis</i> <i>chinensis</i> and <i>Schin a</i> <i>superba</i> etc	以厚壳桂、黄 果厚壳桂等 中生植物为 优势的常绿 混交林 Evergreen broad-leaved forest dominated by shade- tolerating plants such as <i>Cryp tocaria</i> <i>chinensis</i> and <i>Cryp tocaria</i> <i>concinna</i>	中生性常绿阔叶林 Mesophytic evergreen broad- leaved forest

4 全球变化生态学与恢复生态学的交叉

已有实验证明, 在生态恢复进程中, 生态系统各阶段的优势种对演替起主导性作用。这些优势种在全球变化压力下的响应明显, 进而影响了整个生态恢复演替的进程^[23- 29]。在生态恢复进程对全球变化的反馈方面亦有不少研究^[30, 31]。在广东的恢复生态学研究表明, 广东省从 1986 年至 1998 年, 植被覆盖从 $7.628 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 到 $10.113 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 这新造林绿化的植被 12a 来吸收碳的贮存为 $73.44 \times 10^7 \text{ t}$, 平均每年为 $3.12 \times 10^7 \text{ t}$, 中国每年排放的 CO_2 折合为碳是 $5.7 \times 10^8 \text{ t}$, 广东省的经济总量为全国的 1/10, 可以粗略地估计其碳的排放量也是全国的 1/10, 即 $5.7 \times 10^7 \text{ t}$ 。即由新造林绿化植被能吸收固定广东省每年 CO_2 排放量的一半^[32]。

同时, 植被恢复的固 C 能力与林龄直接相关(图 1), 在植被恢复的初期(< 50a) 土壤有机 C 含量提高迅速, 后期则增长缓慢, 因而在评价某国或某地区植被固 C 能力时不仅要考虑该国或该地区的森林覆盖率, 而且要考虑该国或该地区的植被林龄。

5 恢复生态学的社会性

生态恢复就其内涵而言是一门应用学科, 其社会性表现在两个方面。

其一是人类社会过程中对自然环境造成严重破坏, 进而威胁到了人类自身的可持续发展, 对恢复生态学有极大的社会需求。例如, 人类急需增加作物产量满足人类需求; 人类活动已对地球的大气循环和能量流动产生了严重的影响; 生物多样性依赖于人类保护和恢复生境; 土地退化限制了国民经济的发展。恢复生态学正是为解决这些矛盾, 推动人类社会的可持续发展而生的新兴学科^[34- 38]。退化生态系统的恢复与重建已经成为国际科学界乃至政治界关注的焦点。由于中国存在着大面积的退化生态系统, 生态环境保护与建

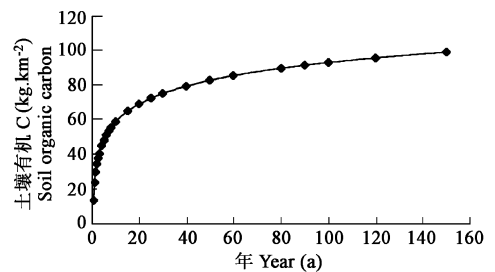


图 1 南亚热带阔叶混交林土壤有机 C 随植被恢复进程的变化曲线^[33]

Fig 1 Soil organic carbon increases with the process of the broad-leaf mixed forest development in low subtropical China

设的现状十分严峻, 能否进行有效的恢复与重建, 是我国经济能否腾飞和可持续发展的关键环节之一^[39]。中国在实施西部大开发和东部沿海率先基本实现社会主义现代化战略中, 生态环境的恢复与重建也无疑具有举足轻重的位置。

其二是恢复生态学的研究成果必须通过社会实践来展示, 社会的需求是生态恢复同时兼有生态、经济与社会效益的三重优化。例如, 中国科学院华南植物研究所生态中心在中国热带、南亚热带进行的退化生态系统的恢复与重建研究历时 30 余年, 所产生的显著生态、经济和社会效益, 在各个实验站点均已有所反映。

中国科学院小良热带人工林生态系统定位研究站, 几十年来在致力退化生态系统的恢复、整治和重建的过程中, 定位站的生产收入逐年增加, 从 1960 年的 1884 元上升到 1987 年的 219.4 万元, 1989 年的固定资产总值为 188 万元, 大大超过历年国家投资总额。此外, 通过小良站为示范样板, 从而使小良站周围 369km² 的水土流失得到根治, 改善了农业生产条件, 使水稻产量由 50~ 100kg/(a · 666.7m²), 提高到 600 kg/(a · 666.7m²)^[22]。最新生态经济评估表明, 小良站植被恢复 43a (1969~ 2002 年) 所创造的生态经济总价值已超过 621 亿人民币。其中, 仅以固定 C、释放 O₂、吸收 SO₂ 和滞尘计的净化环境服务价值就达 577 亿元^[40]。

鹤山开放实验站利用其集水区上、中、下不同的自然环境条件而构建的“林-果-草-鱼”复合农林模式, 及其优化人工林模式均得到当地政府和农民的高度评价, 得以大面积推广^[22]。构建的混交林, 连片推广 1.93 万 hm², 成为广东省最大的连片混交林, 对防治病虫害、改善区域环境、吸引海外投资起到重要作用, 成为广东绿化达标后林地管理和林分改造的示范样板。

References

- [1] Cairns J J. Restoration ecology. *Encyclopedia of Environmental Biology*, 1995, 3: 223~ 235.
- [2] Jordan WR III. "Sunflower Forest": ecological restoration as the basis for a new environmental paradigm. In: Baldwin ADJ, ed *Beyond Preservation: Restoring and Inventing Landscape*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1995. 17~ 34.
- [3] Hobbs R J and Norton D A. Towards a conceptual framework for restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 1996, 4(2): 93~ 110.
- [4] Peng S L. Restoration ecology and restoration of tropical rain forest. *World Science Study and Development*, 1997, 19(3): 216~ 219.
- [5] Peng S L. Restoration of degraded ecosystem and restoration ecology. *Chinese Foundation Sciences*, 2001, (3): 18~ 24.
- [6] Bradshaw AD. Restoration: An acid test for ecology. In: Jordan WR III, Gilpin N and Aber J, eds *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 23~ 29.
- [7] Diamond J. Reflections on goals and on the relationship between theory and practice. In: Jordan WR III, Gilpin N and Aber J, eds *Restoration Ecology: A Synthetic Approach to Ecological Research*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 329~ 336.
- [8] Harper JL. Self-effacing Art: Restoration ecology and invasions. In: Saunders DA, Hobbs and Ehrlich PR, eds *Nature Conservation 3: Reconstruction of Fragmented Ecosystems, Global and Regional Perspectives*. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, New South Wales, Australia, 1987. 127~ 133.
- [9] Jackson L L, Lopoukine D and Hillyard D. Ecological restoration: a definition and comments. *Restoration Ecology*, 1995, 3(2): 71~ 75.
- [10] Yu Z Y, Peng S L. *Ecological study of Vegetation restoration of degraded ecosystem in tropical and subtropical area*. Guangzhou: Guangdong Science Press, 1996. 1~ 33.
- [11] Ren H, Peng S L. *Restoration and sustainable development of degraded ecosystem in low subtropical China*. Symposium of life science-3rd youth academic conference of Chinese Science Society, Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1998. 176~ 179.

- [12] Peng S L, Zhao P. Promote the practice of restoration ecology in nature and society with creative theory. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(5): 799~ 800
- [13] Peng S L, Zhao P. Restoration Across Borders. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2173
- [14] Peng S L, Zhao P, Shen W J. Understanding and restoring ecosystems. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2002, **10**(3): 293~ 294
- [15] Middleton B. *Wetland restoration: Flood pulsing and disturbance dynamics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 1~ 311.
- [16] Foman R T T. *L and Mosaics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 1~ 498
- [17] Dong Q. Eco-service: The biological conditions and ecological supports necessary for the development of human societies. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(2): 233~ 240
- [18] Owles M B & Whelan C J. *Restoration of endangered species: Conceptual issues, planning and implementation*. New York: Cambridge University Press, 1994. 11~ 15
- [19] Handel S N, Robinson G R, Beattie A J. Biodiversity resources for restoration ecology. *Restoration ecology*, 1994, **2**(4): 230~ 241.
- [20] Zheng F Y, Peng S L. Meta analysis of the response of the plant ecophysiological variables to double atmospheric CO₂ concentrations. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(11): 1101~ 1109.
- [21] Peng S L. *Dynamic of forest community in low subtropical area*. Beijing: Science Press, 1996. 29~ 74
- [22] Wang B S, Peng S L. *Vegetation Ecology-Community and ecosystem*. Beijing: Chinese Environment and Science Press, 1997. 308~ 328
- [23] Peng S L. Global change and sustainability development. *Ecologic Science*, 1997, (2): 1~ 8
- [24] Zhao P, Peng S L, Zeng X P. Increased atmospheric CO₂ concentration under global change and the alteration in structure and function of forest community. *Guihaia*, 2001, **21**(4): 287~ 294
- [25] Peng S L, Zhao P, Ren H, Zheng F Y. The possible heat-driven pattern variation of zonal vegetation and agricultural ecosystems along the north-south transect of China under the global change. *Earth Science Frontiers*, 2002, **9**(1): 217~ 226
- [26] Zheng F Y, Peng S L, Li Y L. Effects of enriched CO₂ on underground carbon flow in the plant-soil system. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, **21**(3): 57~ 60
- [27] Zhao P, Peng S L. Increased atmospheric CO₂ concentration and the possible alteration in structure of forest community. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(6): 1090~ 1096
- [28] Hou A M, Peng S L, Zhou G Y. Impact of climate change in the net primary productivity of terrestrial ecosystem. *Advance in Earth Sciences*, 2000, **15**(6): 717~ 722
- [29] Sun G C, Zhao P, Zeng X P, et al. Influence of atmospheric CO₂ concentration on photosynthesis and nitrogen partition in process of photosynthetic carbon cycle in *Musa paradisica*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(3): 429~ 434
- [30] Peng Shaolin. Studies on the process of interaction between major agricultural ecosystems and the global change in eastern China. *Science Foundation in China*, 1999, **7**(1): 18~ 22
- [31] Peng Shaolin. Project on interaction between agro-ecosystems and global change making progress. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 2000, **14**(3): 143~ 145
- [32] Peng S L. *Ecology theory and practice of restoration ecology in tropical and subtropical area*. Beijing: Science Press, 2003
- [33] Shaolin Peng. *Ecological Restoration in South China and its Importance both in Sustainable Development of Society and Economy and in Reducing Impact of Global Change*. The First Korea-China Bilateral Symposium on Recent Advances in Ecological Science in China and Korea. *The Press of Korean Academy of Science and Technology*, 2002, 104~ 114
- [34] Liu L W, Gong Z T. Evaluation of global soil degradation. *Natural Resource*, 1994, (1): 10~ 14
- [35] Ren H, Peng S L. *Restoration Ecology Introduction*. Beijing: Science Press, 2001. 4~ 7.

- [36] Aber J D and Jordan W. Restoration ecology: An environmental middle ground *BioScience*, 1985, **35**(7): 74~82
- [37] Daily G C. Restoring value to the worlds degraded lands *Science*, 1995, **269**: 350~ 354
- [38] Dobson A D, Bradshaw A D and Baker A J M. Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science*, 1997, **277**: 515~ 522
- [39] Peng S L, Zhao P and Zhang J W. Restoration ecology and restoration of degraded ecosystems in Subtropical China *Science Foundation in China*, 2000, **8**(1): 25~ 29.
- [40] Yang L C, Lu H F, Liu X L, *et al*. A assessment on the ecological economic value of vegetation restoration in Xiaoliang *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(7): 1423~ 1429

参考文献

- [1] 彭少麟 恢复生态学与热带雨林的恢复 世界科技研究与发展, 1997, **19**(3): 216~ 219
- [5] 彭少麟 退化生态系统恢复与恢复生态学 中国基础科学, 2001, (3): 18~ 24
- [10] 余作岳, 彭少麟 热带亚热带退化生态系统植被恢复的生态学研究 广州: 广东科技出版社, 1996 1~ 9, 10~ 30, 12~ 33
- [11] 任海, 彭少麟 中国南亚热带退化生态系统恢复及可持续发展 生命科学——中国科协第三届青年学术研讨会论文集(陈竺主编). 北京: 中国科技出版社, 1998 176~ 179
- [12] 彭少麟, 赵平 以创新的理论深入推进恢复生态学的自然与社会实践 应用生态学报, 2000, **11**(5): 799~ 800
- [13] 彭少麟, 赵平 跨越边界的生态恢复 生态学报, 2001, **21**(12): 2173
- [14] 彭少麟, 赵平, 申卫军 了解和恢复生态系统 热带亚热带植物学报, 2002, **10**(3): 293~ 294
- [17] 董全 生态功益: 自然生态过程对人类的贡献 应用生态学报, 1999, **10**(2): 233~ 240
- [20] 郑凤英, 彭少麟 植物生理生态指标对大气 CO₂ 浓度倍增响应的整合分析 植物学报, 2001, **43**(11): 1101~ 1109
- [21] 彭少麟 南亚热带森林群落动态学 北京: 科学出版社, 1996 29~ 30, 73~ 74
- [22] 王伯荪, 彭少麟 植被生态学——群落与生态系统 北京: 中国环境科学出版社, 1997. 308, 312~ 328
- [23] 彭少麟 全球变化现象及其效应 生态科学, 1997, (2): 1~ 8
- [24] 赵平, 彭少麟, 曾小平 全球变化背景下大气 CO₂ 浓度升高与森林群落结构和功能的变化 广西植物, 2001, **21**(4): 287~ 294
- [25] 彭少麟, 赵平, 任海, 等 全球变化压力下的中国东部样带植被与农业生态系统格局的可能性变化 地学前缘, 2002, **9**(1): 217~ 226
- [26] 郑凤英, 彭少麟, 李跃林 CO₂ 广浓度升高对植物-土壤系统地下部分碳流通的影响 生态学杂志, 2002, **21**(3): 57~ 60
- [27] 赵平, 彭少麟 大气 CO₂ 浓度升高与森林群落结构的可能性变化, 生态学报, 2000, **20**(6): 1090~ 1096
- [28] 侯爱敏, 彭少麟, 周国逸 气候变化对陆地生态系统第一性生产力的影响研究综述 地球科学进展, 2000, **15**(6): 717~ 722
- [29] 孙谷畴, 赵平, 曾小平, 等 大气 CO₂ 浓度升高对香蕉光合作用及光合碳循环过程中氮分配的影响 应用生态学报, 2001, **12**(3): 429~ 434
- [32] 彭少麟 热带亚热带恢复生态学理论与实践 北京: 科学出版社, 2003
- [34] 刘良梧, 龚子同 全球土壤退化评价 自然资源 1994, (1): 10~ 14
- [35] 任海, 彭少麟 恢复生态学导论 北京: 科学出版社, 2001, 4~ 7.
- [40] 杨柳春, 陆宏芳, 刘小玲, 等 小良植被生态恢复的生态经济价值评估 生态学报, 2003, **23**(7): 1423~ 1429.