

文章编号:1001-8220(2000)03-0221-07

恢复生态学研究进展及在中国热带亚热带的实践^{*}

中山大学兼职博士生导师 彭少麟 教授

(中国科学院华南植物研究所,广东广州 510650)

摘 要:进行生态恢复是保证经济可持续发展的需要,更是人类生存的需要,作者从恢复生态学的产生及学科发展,退化生态系统的类型,退化生态系统植被恢复与重建技术,热带亚热带恢复生态学研究实践 4 个方面阐述了恢复生态学的研究进展及其在中国热带亚热带的实践问题。

关键词:恢复生态学;退化生态系统;热带;亚热带;生态恢复

中图分类号:Q149 **文献标识码:**A

1 恢复生态学的产生及其学科发展

人类在改造和利用自然的过程中,伴随着对自然环境产生负面的影响,长期的工业污染、大规模的森林砍伐以及将大范围的自然生境逐渐转变成农业和工业景观,由此形成了以生物多样性低、功能下降为特征的各式各样的退化生态系统。进行生态恢复是保证经济可持续发展的需要,更是人类生存的需要。恢复生态学应运而生,并成为生态学界乃至政府部门关注的焦点。

恢复生态学这个科学术语是 Aber 和 Jordan 两位英国学者(1985)提出的。此后国内外有不少学者对恢复生态学进行定义。按照美国生态恢复学会(Society for Ecological Restoration)的详细定义,生态恢复是帮助生态整体(Ecological Integrity)恢复和管理的过程,生态整体包括生物多样性、生态过程和结构、区域和历史的环境、以及可持续的耕作实践等的临界变异范围。国际权威杂志“科学”(Science, vol. 277, 1997)设专栏发表 6 篇有关人类占优势的生态系统的论文,以相当大的篇幅讨论生态恢复在当今生态学研究领域的发展、作用和将来的发展前景,肯定了恢复生态学理论和实践在停止和恢复退化土地的出现而伴随的生物多样性急剧下降的作用,认为生态恢复必将为人们提供认识如何组建生态群落和生态系统功能动态的途径。

美国恢复生态学会于 1998 年 9 月 28~30 日在德克萨斯州的奥斯汀召开年会,其中大会安排了 3 个大会报告:生态恢复的教育、牧场的生态恢复和跨越边界的生态恢复。第一次把生态恢复的教育摆在非常重要的位置,强调在大众中进行恢复生态学的教育的重要性和紧迫性。因为许多从事恢复生态学的研究与实践工作者越来越认识到,恢复生态学的研究工作有助于生态学家认识生态系统的基础结构和功能,能有效地改变普通公民的生态意识和对环境的态度,赢得不同年龄层的关注,人类如何与自然界建立良好的互惠关系,环境生态恢复的实践是教育和学习最有效的工具。

恢复生态学的迅速发展以及该学科具有与人类的经济、社会以及文化活动的密切相关的特点,吸引了越来越多其它学科的学者加入了本领域的研究行列,从而加快推动了本学科的向前发展。以下是恢复生态学在几个层次上目前比较受注意、研究结果比较多的学术问题和方向。

种群层面:建群种群的个体数和遗传变异对聚集、定居、生长和演化潜力的影响;生活史特征和在当地的

* 收稿日期:2000-08-05

作者简介:彭少麟(1956-),男,广东潮州人,中科院广州分院常务副院长,华南植物研究所研究员,中山大学兼职教授,博士生导师,中国生态学会常务理事,广东省生态学会理事长,国家自然科学基金重大项目首席科学家,主要从事生态学方面研究。

适应性在恢复演替过程中的作用;景观要素的空间排列对巨型种群动态和种群多个过程(如迁移和基因流动)的影响;如果种群处于 1 个有限的、常常是加速的恢复演替的时间范围内,遗传漂移、基因流动和选择压力对该种群的存留将产生什么影响;种间的相互关系对种群的定居、聚集、生长和群落发育的影响。

群落层面:群落生态学理论是恢复生态学发展的基础。源于群落内在的巨大变异性,在群落水平上测度生态恢复的端点是很困难的,群落生态学家往往会把注意力放在群落功能的恢复而不是某些特别种的恢复;种类组成和生物多样性作为生态恢复的测度的优点和局限性,若以群落的功能作为生态恢复的端点,特别要关注个别种的生物学特性尤其是在对物质利用过程中(如豆科先锋植物的固 N 效应)的不均衡作用;重视群落演替和分布的经验和理论研究工作对恢复生态学贡献,如果 1 个群落的发育是可预测的,很有可能通过人为的操纵自然演替过程,进而加速恢复的速率。

生态系统:任何一个生态恢复研究计划的开展,首先要明确所要恢复或重新组建的系统的界线,只有明确的界线才能决定物质、能量和物种的进和出,使得观测者方便追踪物质或有机体在系统内的运动。目前与生态恢复相关的生态系统研究问题集中在:跨越界线的随时间的物流和能流是否也会驱动另一个生态系统相应描述因子在时间上的变化;物质循环,生产力,呼吸等系统内的动态是否随演替的时间而变;种群如何影响生态系统的特性,反过来,不同的生态系统特性对物种多样性变化的敏感性又如何;初级生产力的差异如何影响食物链结构和物种多样性;是否存在辩认“拱顶种”(Keystone species)的原理并使其得到发展。

景观:景观生态学所研究的问题是以大的空间尺度为背景,它涵盖了空间的异质性,由多个结构、功能不同的生态系统类型所组成。景观生态学研究能较好的指导生态恢复研究计划选择参考场所和建立项目的目的,并为恰当地配置被恢复的要素提供建议,以便于植物和动物区系的恢复。由此,这个层面上的研究大多是寻找恢复生态学和景观生态学的结合点,探讨尺度转换的机制,探索来自景观生态学的原理如何改善生态恢复的程序和恢复生态学的研究成果如何推动景观生态学的发展。

恢复生态学在不同的生命系统层次上的研究,除发展学科的理论外,其共同的显著的特征是其应用性。退化生态系统的恢复无论对改善区域环境,或是对生态系统生产力的提高均有极其重大的意义。

2 退化生态系统的类型

自然干扰和人类干扰所形成的退化生态系统类型繁多,主要类型是:

2.1 裸地

裸地(barren)或称为光板地,通常具有较为极端的环境条件,或是较为潮湿,或是较为干旱,或是盐渍化程度较深,或是缺乏有机质甚至无有机质,或是基质移动性强等。

裸地可分为原生裸地(primary barren)和次生裸地(secondary barren)两种。原生裸地主要是自然干扰所形成的,而次生裸地则多是人为干扰所造成的。

2.2 森林采伐迹地

森林采伐迹地(logging slash)是人为干扰形成的退化类型,其退化状态随采伐强度和频度而异。世界原始森林已有 2/3 消失。

由世界粮农组织调查 1980~1990 年全球森林以每年 1 100~1 500 万 hm^2 的速度消失。由联合国、欧洲、芬兰有关机构联合调查结果(1999 年 8 月报道),1990~2025 年,全球森林以每年 1 600~2 000 万 hm^2 的速度消失。与最后一季冰川期结束后相比,亚太地区原始森林覆盖面积减少了 88%,欧洲减少了 62%,非洲为 45%,拉丁美洲为 41%,北美为 39%。7 个森林大国中,巴西、中国、印尼和刚果(金)的森林面积每年以 0.1%~1% 的速度递减。俄罗斯、加拿大和美国以每年 0.1%~0.3% 递增。

目前中国有林业用地 2.6 亿 hm^2 ,森林覆盖率为 13.92%。在中国十大自然资源中,森林资源是最为短缺的,人均占有森林面积仅相当于世界平均水平的 11.7%。50 年代初期,海南岛森林面积占 25.7%,现在只有 7.25%;50 年代,热带植物王国西双版纳 55.5% 的土地覆盖着森林,现在只有 28%。中国长江上游生态

林 50 年来已损毁过半。

2.3 弃耕地

弃耕地 (abandoned till, sidcard cultivated) 是人为干扰形成的退化类型,其退化状态随弃耕的时间而异。

2.4 沙漠

沙漠 (desert) 可由自然干扰或人为干扰而形成。目前荒漠化的速度若持续的话,在未来 20 年内全世界有 1/3 的耕地将会消失。

全球荒漠化土地面积达 3 600 万 km^2 , 占全球陆地面积的 1/4, 每年以 15 万 km^2 速度扩展 (比整个美国纽约州还大)。全球 100 多个国家和地区的 12 亿多人受到荒漠化的威胁。36 亿 hm^2 土地受荒漠化的影响, 每年造成直接经济损失 420 亿多美元。

我国已成为世界荒漠化面积最大、分布最广、危害最严重的国家之一。荒漠化土地面积达 10 亿 hm^2 多, 占国土面积近 1/3。据中、加、美国国际合作项目的研究, 1998 年中国荒漠化灾害造成的直接经济损失为约 541 亿人民币。

2.5 采矿废弃地

在社会性干扰压力下, 采矿废弃地 (mine derelit) 是应以特别重视的。矿业废弃地是指为采矿活动所破坏的、非经治理而无法使用的土地。主要可分为 4 类: (1) 由剥离表土、开采的废石及低品位矿石堆积所形成的废石堆废弃地; (2) 随着矿物的开采形成大量的采空区域, 即开采坑废弃地; (3) 利用各种分选方法分选出精矿物后的剩余物排放形成的尾矿废弃地; (4) 开采石料而形成的采石矿废弃地。

根据地矿部门的初步统计, 到 1996 年为止, 我国共有近万多座大中型国营矿山, 30 余万座乡镇经营和个人开采的矿山。总计已形成 200 多万 hm^2 的废弃地, 现每年约以 2.5 万 hm^2 的速度继续扩大。这么大面积的矿山废弃地, 直接毁坏了大片森林草地和农田, 把生产性地变成非生产性地; 同时废弃地还造成水土流失, 又是巨大的污染源。因此, 废弃地的整治在退化生态系统的恢复与重建中具有重要的位置。

2.6 垃圾堆放场

垃圾堆放场 (wastes stack bank) 或堆埋场不人为干扰形成的家庭、城市、工业等堆积废物的地方。

3 退化生态系统植被恢复与重建的技术

植被恢复是重建任何生物群落的第一步。它是人工手段促进植被在短时期内得以恢复。但不同的退化生态系统其技术与步骤是不同的。但都必须遵循生态学原理和演替规律进行。

3.1 极度退化生态系统的恢复

极度退化的生态系统, 其特点是土地的极度贫瘠, 其理化结构也很差。由于这类生态系统总伴随着严重的水土流失, 每年反复的土壤侵蚀, 更加剧了生境的恶化, 因而极度退化的生态系统是无法在自然条件下恢复植被的。对极度退化的生态系统的整治, 第一步就是控制水土流失。

中国南方红壤区域中, 严重水土流失区域会出现崩岗等严重的水土流失现象, 如广东省德庆县崩岗面积只占水土流失总面积的 17%, 流失量却占总流失量的 60% 以上。其治理应采取工程措施和生物措施相结合的方法先控制水土流失。治理崩岗的工程措施主要是采取开截流沟、建谷坊工程、削坡开级工程和拦沙坝工程。生物措施主要是因地制宜地选用合适的植物, 人工造林种草, 这是 1 项治本的工作, 生物措施与工程措施密切配合, 可以相互取长补短, 有效地起到控制水土流失的作用。在此基础上再进行植被的重建。

在生物措施中, 首先是植物措施。植物在受损害生态系统恢复与重建中的基本作用就是: A 利用多层次多物种的人工植物群落的整体结构, 通过林冠层的截留, 凋落物增厚产生的地面下垫面的改变, 以减缓雨滴溅蚀力和地表径流量, 控制水土流失; B 利用植物的有机残体和根系穿透力, 以及分泌物的物理化学作用, 促进生态系统土壤的发育形成和熟化, 改善局部环境, 并在水平和垂直空间上形成多格局和多层次, 造成生境的多样性, 促使生态系统生物多样性的形成; C 利用植物群落根系错落交叉的整体网络结构, 增加固土防止

水土流的能力,为其它生物提供稳定的生境,逐步恢复业已退化的生态系统。

对极度退化生态系统的重建及综合研究,针对性地分阶段进行综合治理和研究是很必要的。早期适宜的先鋒植物种类对退化生态系统的生境治理具有重要的作用。在后期进行多种群的生态系统构建时,更要注意构建种类的选取。彭少麟等(1992)研究了广东鹤山 5 个七年生的人工林群落后指出:多样性高的混交林群落,趋于形成复杂的层次结构,能较好地利用直射、反射、散射和透射光,总体光合量大。由于不同树种的混生,可以改善土壤和林分的光照、水分状况;落叶中所含的不同灰分物质,可以丰富土壤的营养物质,提高土壤肥力;树种的多样性高又有多层的根系,加速物质的循环;多层的林木结构可以栖息多样的动物、鸟类等,可以制约虫灾的突然发生。然而,混交林虽具有明显的优点,但由于需投入较多的人力物力,因而极大地影响营造混交林的数量和质量,且往往难以成功。鹤山的混交林,采用了相当部分的豆科树种与其它阔叶树混交。由于所栽种的豆科植物的较强的固氮能力,在很贫瘠的土地上有快生速长的特点,因而与其它树种混栽后能较快地改变生态环境,在一定程度上也促进了其它树种的生长。因此利用豆科树种与乡土树种混交,是 1 种有效的造林途径。

3.2 次生林地生态系统的恢复

次生林地生态系统一般生境较好,或是植被刚破坏而土壤尚未破坏,或是次生裸地而已有林木生长,因而其恢复的步骤是按上述的演替规律,人为的促进顺行演替的发展。

(1) 封山育林。这是简便易行、经济省事的措施。中国南方封山育林可为阔叶树种创造适宜的生态条件,促使被破坏的林地的林木生长,或针叶林逐渐顺行演替为保持土地能力较高的针阔叶混交林,进而顺行演替为地带性的季风常绿阔叶林。

(2) 进行林份改造。为了促使森林的顺行快速演替,可对处于演替早期阶段的林地进行林份改造,如南方马尾松疏林或其它先鋒林中补种椎栗、木荷、鬻菊或樟树等,以促使针叶林的快速顺行演替为高生态效益的针阔叶混交林,进而恢复季风常绿阔叶林。

(3) 透光抚育。即在先鋒林中,对已生长着的一些建群树种进行透光抚育,或择伐一些先鋒树种的个体,以促进建群种的生长,尽早形成地带性植被,顺行演替为生态效益最高的地带性顶极群落。

次生裸地成林后的群落动态是与演替的发展相一致的。中国科学院鹤山定位站 5 个不同类型的人工林长期动态定位研究表明,5 个人工林群落的自然演替方向是一致的。这些群落种林下种类组成均趋于复杂,原旱生性的禾草消退,一些地带性顶极群落的先鋒种和建群种的幼苗以至小树可见于林下,在自然状况下会逐渐向地带性的亚热带季风常绿阔叶林发展。但这 5 个人工林群落的演替速度都不一致。在混交林群落中由于有部分顶级种,林中环境相对较为接近的地带性常绿阔叶林,有利于后者所居有的自然种类的生成,从而促进了演替的发展,演替速度相对较快。马占相思林和大叶相思林以及马尾松林和湿地松林,演替速度则相对较慢。尤其后两个群落,结构仍较开敞,生境仍较差,自然种群的入侵现象不明显,演替的发展将更缓慢。但由于这些先鋒种类的生长和发展,已在不同程度上改善了群落的环境条件,这为林分改造提供了良好的条件。

3.3 废矿地生态系统的恢复

采矿地的生态重建应以恢复生态学作为它的理论基础。通常处理的步骤是先用物理法或化学法对废矿地生态系统进行处理,消除或减缓尾矿、废石对生态系统恢复或重建的物理化学影响,再铺上一定厚度的土壤。若矿物具有毒性的,还需有隔离层再铺土,然后种上植物。对废矿地或其它污染造成的退化生态系统的植被恢复,还要注意如下的两方面的技术。

(1) 化学改良:化学改良主要是指化学肥料、EDTA(乙二胺四乙酸)、酸碱调节物质及某些离子的应用。速效的化学肥料易于淋溶,收效不大,缓效肥料往往能取得较好的效果。在管理方便的情况下可以少量多次地施用化学肥料。乙二胺四乙酸主要被用来络合含量高的重金属离子使之对植物的毒害有所减轻。研究还发现,金属阳离子的毒性可由 Ca^{2+} 的作用而趋于缓和,富钙废弃物中许多金属的毒性是属于低强度的;钙离子的存在也会减轻铬酸盐的毒性,这种作用不依附于 pH 值变化和可溶性现象。酸性较高的基质,可以施放大

石灰石渣滓:熟石灰或含白支石的石炭等予以中和,这样往往能取得满意的效果,碱性废物如发电站灰渣可用于改良酸废土.对于碱性基质,可以施用硫磺、硫酸亚铁及稀硫酸等.近期的一些研究还发现,磷酸盐能有效地控制伴硫矿物酸的形成,因而,磷矿废物亦可用于改良含硫废弃地.

(2) 有机废物的应用:污水污泥、泥炭、垃圾及动物粪便等富含 N、P 有机质,它们被广泛地应用于改良矿业废弃地并起到多方面的作用,首先是它们富含养分,可以改善基质的营养状况;其次是它们含有大量的有机质,可以螯合部分重金属离子缓解其毒性;再次是这些改良物质与基持本身便是 I 类固体废弃物.这种以废治废的做法具有很好的综合效益.试验证明,污水污泥等往往比化学肥料的改良效果要好.

3.4 沙漠的植被恢复

沙漠或沙漠的植被重建首先应充分利用地下水和其它水资源来营造绿地.一般在无林地段,首先计划在有利的地形引水建立人工林地.按林木的本性,人工诱导其根系伸展到地下水层,即行停止灌溉,使之依靠浅地下水维持林地生长,原来供灌溉的水源随之转移到新的营林地点,用以继续扩大绿地面积.充分利用自然降水和它的水源,小型分散地进行人工地形集水,遵循荒漠自然植丛侵移规律,因势利导,营造绿地,如中国新疆营造怪柳实生幼林,必须在夏季高温时利用洪灌或集流造成的小范围淤积,而梭梭则只能选择冬雪分布区,在早春短命植物可以繁生的范围造林,并利用入冬后化雪前的季节播种,而春天土壤的“熵”活动现象,在荒漠区营造绿地有时可以配合利用(黄培佑,1993).荒漠植被恢复策略,不应该首先着眼于中生性材用林的营造,而应以耐旱灌木为主体绿地的营造,以林地为首要目标,以林、牧、农结合的原则安排轻重缓急.并以灌草为主,适当配搭乔木种类,尤其应着力于多年生灌木的选择,种类组成力求多样化.

荒漠区用栽植苗木的方式恢复植被相对是比较困难的,但利用自然环境潜力,利用荒漠植丛自然侵移规律,用于改善和建设生态环境,因势利导促进原有荒漠植丛的扩展应是扩大绿地覆盖,恢复植被的根本对策之一.

簇生和簇播是荒漠自然植被恢复的有效措施之一,前苏联近 80 年来沙地造林普遍采用簇植方式,每公顷面积内设置 800~1 000 个小块,每个小块面积为 2m × 2m 或 3m × 3m,其中均匀种植 20 株苗木,这样可促进小块区迅速形成丛郁闭,但丛间却维持一定距离,使每一树簇都能得到充足的光照.由于每一团块的簇生苗株互相间提供荫蔽,局部改变水势风沙条件,因而能较迅速生长.此外,亦采用每亩施 150 g 湿泥炭,或同时加入磷钾肥于泥炭中,以提高保湿能力和增加肥力,泥炭施放深度在 40~70 cm 之间.这种植被恢复措施已取得良好效果.

4 热带亚热带恢复生态学研究实践

热带亚热带恢复生态学研究已有较长的历史.从 1959 年就开始在热带沿海退化台地进行植被恢复与重建成的研究.“文革”期间研究有中断,但研究样地保持连续.近年来更是得到国家、中科院和广东省重大和重点项目支持.例如 1994 年国家自然科学基金委员会启动了“中国亚热带退化生态系统恢复的研究”重点项目(项目主持人是张经炜和彭少麟研究员,主持单位是中国科学院华南植物研究所,参加单位有中山大学、西南师范大学和广西农业大学).1997 年,中国科学院启动了“中国热带亚热带退化生态系统恢复的研究”重大项目(项目主持人彭少麟研究员,主持单位是中国科学院华南植物研究所,参加单位有中国科学院成都生物所、广东省昆虫所和地理所等).这些项目的研究目的是:(1) 通过采用实验生态学和生态工程相结合的措施,对退化和极度退化的陆地生态系统进行综合整治,加速其常绿阔叶林的恢复,为区域性的国土整治,改善生态环境和提高生产力提供榜样;(2) 对不同恢复阶段、演替阶段的群落,开展群落生态学和种群生态学研究,在理论上揭示退化生态系统热带雨林和常绿阔叶林恢复的生态学规律和机理,以及地带性热带季雨林和常绿阔叶林重建的方法和进展,完善和发展恢复生态学理论.

项目研究的主要内容和所采取的实验方法包括:(1) 本地带自然恢复演替系列不同阶段代表性森林群落的结构和动态研究,演替的动力学机理、演替的进程和速度、演替进程中的可能调控措施;(2) 本地带现有

的退化陆地植物生态系统的恢复研究,对退化的草坡和灌丛以及低质纯林的改造技术、实验生态学原理;(3)本地带极度退化的陆地生态系统主要类型的恢复研究,对水土流失严重的光板地、丘陵荒坡、石灰岩荒地的生态过程措施,恢复途径的探讨;(4)退化生态系统恢复生态学规律和原理研究.选主要站点研究退化生态系统恢复过程水、土、气、生整体动态,揭示其机理;(5)建立退化生态系统恢复研究的信息数据库.

恢复生态学研究计划往往跨越较大的时间尺度,定位研究是最有效方法之一.这些项目启动后,针对我国亚热带地区地域跨度大,生态条件变异大的特点,分别在热带的海南(坝王岭站)、广东雷洲半岛(小良站);亚热带的广东中部(鹤山站和鼎湖站)、广东西部(黑石顶站)、广东东部(五华站)、广西中部(大明山站)、重庆(缙云山站)和四川(瓦屋山站)等9个站和近20个面上的点,以时空互代的形式设置25个代表不同演替阶段的长期定位研究样地,样地面积达20万 m^2 ,定时开展如下项目的野外观测和数据收集的研究工作:(1)种群生态学研究,含数量动态与分布格局;(2)群落水平结构(个体密度、盖度等水平投影图),群落垂直空间结构(层次、林间层、层片等垂直剖面图),群落整体组成结构(物种多样性、均匀度、生态优势等)以及种类结构(种类组成、多度、密度、优势度的重要值、种的消亡或出现等);(3)生境指标的测定(含小气候、土壤的pH值,土壤有机质和土壤的N,P,K含量等).

经过长期的定位研究,该项目取得了重要的科研成果,理论上和实践上有突破性的进展:

(1)深入揭示热带亚热带自然森林恢复的规律和森林演替的生态学机理.在排除人为干扰的情况下,常绿阔叶林植被恢复的发展由退化草坡或灌丛 针叶纯林 以针叶树为主的针阔叶混交林 以阳性阔叶树为主的针阔叶混交林 以阳生植物为主的常绿阔叶林 以中生植物为主的常绿阔叶林(地带性顶级)的演替过程,从认识上由原来的演替的4个阶段划分为6个阶段.

(2)利用人为的生态工程加速退化生态系统恢复.退化生态系统的明显特征是土壤贫瘠,生物种类稀少,小气候的各项指标变幅大.系统自然恢复是1个漫长的过程.通过施以人为的生态工程措施,比如配置有固N特性的先锋树种,使得退化生态系统演替早期阶段在1个不太长的时间内迅速提高土壤的肥力,改善下垫面的微环境,有利于新种类尤其是当地种的入侵和定居,系统的生物多样性增加,演替的时间明显缩短,提出了生态恢复的速率明显受系统的初级驱动种(driving species)影响的观点,为指导如何人工采用不同的种类,进行组合,组建植物群落提供理论基础.

在研究热带亚热带常绿阔叶林自然恢复速率方面,总结出热带季雨林和亚热带常绿阔叶林退化生态系统自然恢复的过程中,物种数量的变化呈现出前期迅速增加,植物群落的丰富度先逐步上升到1个峰值,到了中期,物种开始呈现减少的趋势,在后期维持一定水平,无论是乔木层灌木层还是草本层,物种数量的发展都有1个先发展后消退的变化过程.

(3)提出极度破坏的森林是可以恢复的新观点.这一命题源于学术界对热带雨林被毁坏后能否恢复的争议,国外学者倾向于不可恢复的理论,主要原因是雨林地区植被的载体——土壤养分已被消耗,雨水的冲刷又加剧了土壤养分流失,原先高的物种多样性不易恢复.本项研究结合广东小良极度退化的光板地上进行人工植被恢复的研究结果,发现经40a的人工林植被恢复,人工阔叶混交林具有与当地顶极群落季雨林相似的群落结构.数学模型模拟的结果预测,土壤有机质在150a后可恢复到热带季雨林的土壤有机质含量(4%).所以,经过一定的人工措施的启动,热带季雨林是可恢复的.热带季雨林的种类组成、结构与典型的的热带雨林和南亚热带季风常绿阔叶林(鼎湖山)有许多共同特征.以上的结论不单适合热带地区,也可应用到亚热带地区,这一科学见解丰富了恢复生态学的理论.

(4)退化系统恢复过程中,种群和群落结构、叶面积、生产力和多样性也呈现规律性的变化.演替过程中,森林群落的叶面积不断上升,但叶生物量的变化,其状态不能简单地从低到高地发展.亚热带常绿阔叶林的演替过程中,叶生物量逐渐增加,最大值出现的演替的中后期,然后下降.生物多样性的变化也有相似的规律.广西大明山站的研究发现,生物多样性的最高值并非出现在成熟的原生林.皆伐后20a恢复的次生林多样性较高.

(5)通过理论研究和实践,进一步证实退化生态系统能否恢复,生物多样性,尤其是植物多样性的恢复与

发展是关键的观点,并更深入地认识到不能简单地断定物种多样性高或低是否对生态系统有利,物种提高有利于生态系统的稳定是因为增加了在正常和逆境的条件下维持生态系统的关键种(key species)存在的机会,物种的增加是提高或降低生态系统稳定性取决于物种对环境反应的生物学特性,对生态系统功能过程的作用相似但对环境的反应各异的种类的增加有利于生态系统的稳定,因为任何一个种的丰富度的减少都会由另一功能特点相似的种类来补偿.因此,同一群落内功能相似类群的物种多样性越高,同时这些种对环境的响应各异,那么生态系统对环境变化的应变弹性越大,功能越强.相反,如果生物种对生态系统功能过程的影响效应对环境的响应都不同,种类的增加只会使生态系统变得脆弱.因此,在分析物种多样性与生态系统稳定性的关系时,需要鉴别种类的变化对生态系统功能的贡献,确定不可代替的种和功能类群.

(6) 初步建立了生态系统脆弱性的理论体系,脆弱性是退化生态系统的特征,也是生态系统固有的特性,脆弱性只能在干扰的状态下才显现出来.运用脆弱性的概念研究退化生态系统恢复和演替,提出人为干扰是退化生态系统恢复成功与否的重要因素,并在研究上获得重要结论.退化生态系统就其性质而言是脆弱的,恢复的过程中不断出现种类的更换,种群的波动或变迁异常频繁(脆弱生态系统的特征),因而恢复的过程也是脆弱的.人为的干扰会使生态系统延缓或停止顺向演替,强度大的干扰还可能导致逆向演替.退化生态系统的承受力必须大于干扰强度是恢复的必要条件.

(7) 在实践上,本项研究的一些实践范例为当地的经济服务,取得明显的经济效益.该项目的核心定位站——鹤山丘陵综合开放试验站的针阔叶混交林示范研究已得到推广,并在鹤山市建立了连片针阔叶混交林约 1.53 万 hm^2 ,为广东目前全面开展的分种改造,建立具有抗自然灾害和病虫害的森林体系作出了贡献.同时,鹤山站研究的林果草鱼(苗)农林复合系统的生态农业模式,也受到当地农民的欢迎,逐渐成为鹤山市的支柱农业之一.小良站在对极度退化的生态系统的恢复和重建过程中,构建成了不同的有经济效益的生态系统,为大面积的环境整治和复合林业的发展,起到示范作用.此外,五华站指导当地利用生物与工程措施治理水土流失,使极端退化的荒地披上绿装,建立起大片次生常绿阔叶林,根治了水土流失,为山区扶贫创造了良好的自然环境条件.

许多生态恢复研究计划都把数据库的建立作为研究的重要内容,退化生态系统恢复是 1 个跨越大时间尺度的过程,数据的标准化、有效性、完整性和连续性是生态恢复研究计划取得成功的保证,计算机数据库的建立是实现以上目的的重要手段,该研究项目也以数据共建和共享为目的与各站点建立了中国热带亚热带退化生态系统恢复研究的信息数据库.

The advance on restoration ecology and its application in tropical and subtropical China

PEN Shao-lin

(South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract : Carrying on ecological recovery is necessary to ensure the sustainable development of economy and the existence of human beings, too. From the emergence and development of restoration ecology, the types of degenerative ecosystem, the skills of recovery and rebuilding of vegetation in the degenerative ecosystem and the study practice of restoration ecology in the torrid and subtorrid areas, the writer had described the advance on restoration ecology and its application in tropical and subtropical China.

Key words : restoration ecology; degenerative ecosystem; torrid area; subtorrid area; ecological recovery