

# 南亚热带退化生态系统恢复和重建的生态学理论和应用

彭少麟

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

**摘要** 退化生态系统的恢复与重建是一项十分复杂的系统工程,其功能和动态过程涉及物质、能量、空间、时间和多样性等基本的生态变量。在南亚热带的气候生态因子中,既有光、温、水充裕的有利一面,也有秋旱、台风和暴雨等不利的因素,但总的来说,影响退化生态系统恢复的主导生态因子是土壤因子,如土壤肥力和土壤水份。极度退化的生态系统的恢复与重建,第一步就是控制水土流失,提高土壤肥力和土壤理化结构,这还需要工程措施和生物措施相结合。

退化生态系统的植被的恢复与重建,最有效和最省力的是顺从生态系统的演替发展规律来进行,生态系统演替理论是指导退化生态系统重建的重要的理论基础。退化生态系统恢复与重建的优化结构的构建,依赖于对空间、生物、能量生态学原理的理解。种群密度制约、种群空间分布格局、边缘效应、生态位分化、食物链、生物多样性等原理均对生态系统结构的构建有指导意义。而生态系统的群体发展,则受物质定律的影响。

**关键词** 南亚热带; 退化生态系统; 恢复生态学理论

## RESTORATION ECOLOGY THEORIES AND THEIR APPLICATION IN LOW-SUBTROPICS

Peng Shaolin

(South China Institute of Botany, Academia Sinica, Guangzhou 510650)

**Abstract** Restoration ecology theories are very useful for revegetation in degradation ecosystem. In this paper, the application of restoration theories to revegetation in low-subtropics are discussed. It is a best way for revegetation in degradation ecosystem following vegetation succession law. The theories, which relate to spatial, matter, energy and biodiversity, should be used for the construction of revegetation in degradation ecosystem.

**Key words** Low-subtropics; Degradation ecosystem; Restoration ecology theory

我国南亚热带是指我国北回归线(纬度 23°)附近,跨越广东、广西、福建和云南省等地约有 25 万 km<sup>2</sup> 的地域。近代,由于人类过度活动的影响,工业化和城市化的加速发展,加之缺乏合理地开发利用,忽视保护和整治,使原有的自然生态系统遭到很大的破坏。据统计,我国退化土地约 150

本项研究为中国科学院重中之重、重点,国家自然科学基金重点、面上基金的资助。

1995-10-26 收稿; 1996-05-07 修回

万 km<sup>2</sup>, 而南亚热带是较严重的区域。北方的黄土、南方的红土, 是中国境内侵蚀最严重的地质-地貌单元<sup>[1]</sup>。南亚热带区域的土壤主要为花岗岩风化壳红土, 占一半以上。大面积植被破坏后的严重水土流失, 是加剧生态系统退化的主要原因。这类退化生态系统土地贫瘠, 水源枯竭, 生态环境恶化, 从而严重地制约着农业生产的发展和影响人类生存空间的质量。华南地区约每年有 500-600 万 ha 的土地失去再生产能力。如何进行综合整治, 使退化生态系统得以恢复, 这是提高区域生产力、改善生态环境、使资源得以持续利用、经济得以持续发展的关键。特别要指出的是, 地球的北回归线附近的陆地, 即南亚热带地域, 除了印度、中印半岛北部和我国的华南地区以外, 三分之二以上都覆盖着沙漠或半沙漠, 包括撒哈拉大沙漠、阿拉伯沙漠、以及伊朗、巴基斯坦、墨西哥的沙漠等, 是世界上最大的沙漠、半沙漠地带。因而本区域退化生态系统恢复和重建的过程和机理的研究, 对全球环境治理无疑具有重要的意义。

退化生态系统的恢复与重建需要生态学理论的指导。本文试论退化生态系统恢复的生态学理论和基本原理。由于生态系统的极端复杂性, 其功能过程和动态过程涉及众多的因素。根据 Watt (1973) 的观点, 众多的生态因子的作用可以归类为几个基本的生态变量: 物质、能量、空间、时间和多样性<sup>[2,3]</sup>。退化生态系统的恢复与重建, 毫无例外地涉及这些变量, 或者说, 需要与此相关的生态学原理来指导退化生态系统的重建<sup>[4-7]</sup>。

## 1 与物质相关的生态原理的应用

### 1.1 主导生态因子原理

生态系统的动态受生态因子的影响, 这些复杂的生态因子中, 有少数是具有支配作用的, 称为主导生态因子。影响退化生态系统恢复和重建进程的首先是气候和资源条件, 在众多的气候和资源因子中, 要抓主导生态因子, 才能达到事半功倍的目的。

我国的南亚热带位于欧亚大陆的东南端, 紧邻于太平洋, 首当其冲处于季风环境, 一年四季均

表 1 高要县各气象要素 (23° 07' N, 112° 35' E, 1954-1970)

Table 1 Climate of Gaoyao county in low-subtropics

月份 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均 Average	总计 Total
日照百分率 Insolation (%)	37	24	19	22	35	36	53	53	54	59	53	47	41	
总辐射 Total radiation ( $\times 10^4$ J cm <sup>-2</sup> )	2.80	2.80	2.80	5.78	4.31	4.31	5.52	5.35	4.81	4.60	3.51	3.08		49.67
光合有效辐射 Photosynthetic radiation ( $\times 10^4$ J cm <sup>-2</sup> )	1.38	1.38	1.38	1.55	2.09	2.09	2.72	2.64	2.34	2.26	1.72	1.50		23.05
气温 Temperature (°C)	11.0	12.5	16.1	20.0	23.4	25.2	25.9	25.6	23.7	20.4	14.6	12.0	19.2	
相对湿度 Relative humidity (%)	77	79	85	84	85	84	80	83	80	77	69	73	80	
降水 Rainfall (mm)	34.0	61.0	101.0	221.2	317.1	272.1	240.3	261.4	187.8	145.7	10.8	25.9		1878.3
蒸发力 Evapotranspiration (mm)	36.0	33.9	52.3	64.2	102.1	103.7	134.0	128.7	98.7	83.4	47.8	36.8		921.6
台风次数 (27 年计, 平均每年 3.9 次) Times of typhoon					5	12	27	27	24	10	3			108

受季风影响,具明显的湿润季风气候。其特点是:热量丰富,夏长冬暖,无霜期长,雨量丰沛,降水期长,风向随着季节变化,夏季盛行西南和东南季风,且多台风暴雨,冬季盛行东北季风,冬春有冷空气入侵,偶有奇寒。主要气象要素如表1所示<sup>[8]</sup>。

表1为粤中的气象资料,亚热带中其它各地情况有所不同,但基本趋势是相似的。雨季在4-9月,降雨量约占全年的74-80%,雨日占全年的64-68%。雨季和热季基本同期,结果一方面加剧了初春低温阴雨过程,另一方面造成秋旱。而雨水的过分集中,往往会形成暴雨和洪涝灾害。例如广东地区有两个暴雨期,第一个是4-6月的锋面暴雨期,第二个是7-9月的台风暴雨期,全省年平均暴雨日数(日降水量80mm以上)在0.6-6d之间。暴雨强度很大,出现大暴雨(日雨量150mm以上)和特大暴雨(日雨量300mm以上)的站点,往往造成山洪暴发,以致破坏山林,冲毁农田,造成沿河两岸和河流下游的洪涝灾害。因此,在本地带的水份生态因子中,一方面有充足的水份有利于退化生态系统的恢复,另一方面秋旱和暴雨却会加剧退化生态系统的逆向演替,增加退化生态系统恢复的难度。此外,台风也是主要的灾害之一,这个地带每年有4次左右8级以上的台风<sup>[9]</sup>。台风不但有机械破坏作用,如吹断树枝和树干、打落花果等,而且台风夹着暴雨,对植被稀疏或裸露的地表起很大的冲刷作用。

在已形成的退化生态系统中,由于暴雨常引起严重的水土流失,在本地带的几种主要的土壤侵蚀中,崩岗造成的土壤侵蚀最为严重,崩岗是华南花岗岩地区的特殊严重土壤侵蚀方式,其年侵蚀模数在21.48-216.1kg m<sup>2</sup>a<sup>-1</sup>,严重的水土流失最终导致土地的极度贫瘠(表2),其理化结构也比林地相差甚远,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<sup>[10-13]</sup>。

以上的分析可以看出,在本地带的生态因子中,有光、温、水充裕的有利一面,也有秋旱、台风和暴雨等不利的因素,但总的来说,影响退化生态系统恢复的主导生态因子是土壤因子,主要是土壤肥力和土壤水份。对于极度退化的生态系统,其特点是无植被覆盖,总是伴随着严重的水土流失,土壤极度贫瘠,土壤结构其透水性和保水性差,尽管是在雨季阶段,降水量虽然不少,但绝大部分是流走或蒸发掉,而土壤真正吸收的水份是不多的,当然植物能够利用的水份就更有限了。雨过天晴后,在强烈的太阳辐射作用下,表土很快呈现干旱现象,对植物的生长发育是不利的。因此,极度退化生态系统的恢复与重建,第一步就是控制水土流失,提高土壤肥力和土壤理化结构,这还需要工程措施和生物措施相结合。

表2 小良侵蚀土壤的腐殖质和全氮含量 (21° 27' N, 110° 54' E)

Table 2 Soil nutrient of Xiaoliang degradation ecosystem

土壤采样深度	光板地 Barren land		土壤采样深度	次生自然林 Secondary natural forest	
Depth of soil (cm)	腐殖质 (%) Humus	氮 (%) Nitrogen	Depth of soil (cm)	腐殖质 (%) Humus	氮 (%) Nitrogen
0-7	0.63	0.030	1-7	4.14	0.212
30-40	0.37	痕迹	10-20	2.09	0.120
100-110	0.35	痕迹	35-45	1.55	0.078
			60-70	1.06	0.043

在退化生态系统恢复过程中,主导生态因子并不是不变的,因此重建工作需要根据不同时期分阶段地进行。例如中国科学院小良热带人工森林生态系统定位站和鹤山亚热带丘陵综合试验站进行热带亚热带退化生态系统恢复和重建的途径是分四个阶段进行,第一,重建先锋群落;第二,

配置多层多种阔叶混交林;第三,发展经济作物和果树;第四,对恢复生态系统的结构、功能和动态进行综合研究。

## 1.2 元素的生理生态原理

所有生物有机体都由一定数量的化学元素组成,这些元素对于生物分子的构成至关重要。因而不管在何等组织水平上,有关元素的生理生态原理均有重要的意义。

**耐受定律** 该定律指出:对任何元素来讲都存在着一个浓度范围,称作忍耐区间。在这个范围以内所有与该元素有关的生理学过程才能正常发生,因此,只有在这个范围内,一定的动植物种类才有可能生存。在这个范围内,有一个最适浓度称为偏好浓度(Preferendum)。在该浓度下代谢过程速度最快。当浓度低于忍耐区间下限时,则由于该元素的缺乏而有机体将会死亡;反之,当浓度超出上限时,则由于元素过量也会造成机体死亡。

**最小量定律** 这个定律是由李比西在上一个世纪发现的。它指出:只有在所有关键元素都达到足够量时植物才可能正常生长;生长速度受浓度最低的关键元素的限制:这就是说,即使只有一种关键元素没有达到足够的数量,植物生长也将停滞。

这两个原理对退化生态系统重建物种的选定以及生境的改良有重要的指导意义。通常在极度退化的生态系统进行植被恢复所采用的早期先锋种,均是对营养(包括光、温、水、肥)的忍耐区间很大的种类。而对退化生态系统土壤生境的改善,应分析其中的关键元素,针对性地施肥。在许多情况下用营养杯植树就是这个道理。

## 2 与能量有关的生态原理的应用

所有的生命系统,从细胞到最复杂的生态群落都是能量转换器。在所有生物组织层次上,都存在着将能量导入有生命系统的各种活动过程,以这种方式实现能量利用和控制。恢复退化生态系统的各种功能过程,也受能量守恒定律的支配。尤其生态系统能量转换的食物网原理,有助于退化生态系统的重建及综合利用。

中国科学院鹤山定位站,利用南亚热带丘陵山地的特点,构建的林果草渔复合生态系统,就是在土壤贫瘠的山顶上造林控制水土流失,在生境稍好的山腰栽种果树,在土壤条件较好的山脚下种植经济草种或其它经济作物,在几个山凹处蓄水养鱼。在这个系统中,草带生长的草能作为饲料养鱼,鱼粪增加了塘泥的养份,塘泥能作为山腰果树和山顶树的肥料,山顶树的部分凋落物也能用作沤肥。这样通过有机物的多重形式循环利用,达到高的生态效益和经济效益。该模式在南亚热带丘陵地带得到广泛的推广。

## 3 与空间有关的生态原理的应用

生态系统中生物的容纳量,首先直接依赖可利用的空间范围。退化生态系统的重建,也依赖于对有关空间原理的理解。

**种群密度制约的原理** 根据经典的阿利氏原理(Allee's Principle),种群密度无论太高或太低,都可能成为种群发展的限制因子。另外,在某些情况下,就每个个体的可利用空间而言,如果

高于或等于最适宜值,那么就可以产生有利影响,而如果空间太小,则会产生不利影响。若单株植物可利用空间为 $S$ ,植物的干重为 $P$ ,则有一般式<sup>[15]</sup>: $P=KS^{3/2}$ 。 $K$ 为常数,描述种间异质性。种群密度制约原理有助于我们在退化生态系统重建时如何采用种植密度,以及林分改造时的合理间伐。

**种群的空间分布格局原理** 种群的空间分布格局在总体上有随机、均匀和集群分布格局等方式。一般荒山造林总是采用均匀格局,实际上有时集群格局也会有利于种群的发展。

**边缘效应原理** 两个或多个群落间的过渡区称为交错区(Ecotone),在这个交错区里,每个生物群落都有向外扩张的趋势,使交错区的生物种类数量比相邻的群落多,生产力也较之为高,这个现象称为边缘效应(Edge effect)<sup>[16]</sup>。在退化生态系统的重建时,掌握边缘效应的原理,通过创造更多的交错区,提高边缘长度,可以提高生态系统的生产力和农副产品的产量。

**生态位原理** 每种生物在生态系统中总占有资源和空间,其生态位的大小反映了种群的遗传学、生物学和生态学特征。退化生态系统的恢复与重建,特别是构建高物种多样性的复合生态系统,如复合农林生态系统,均应考虑各物种在水平空间、垂直空间和地下根系的生态位分化。物种若具有相同的生态位,必然会造成剧烈的竞争而不利于生态系统的群体发展。

应用生态位原理,发挥植物在受损害生态系统恢复与重建中的作用: A. 利用植物种生态位分化的原理构建多层多种的群落结构,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减少地表径流量,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,造成生态位的多样性,促使生态系统生物多样性的形成; C. 应用生态位原理,构建具有植物根系错落交叉的整体网络结构的群落,增加固土防冲能力,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。

## 4 与时间有关的生态原理的应用

### 4.1 南亚热带森林演替理论

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。正常的生态系统是生物群落与自然环境取得平衡位置作一定范围的波动,从而达到一种动态平衡状态。但是,生态系统的结构和功能若在干扰的作用下发生位移(Displacement),位移的结果打破了原有生态系统的平衡状态,使系统的结构和功能发生变化和障碍,形成破坏性波动或恶性循环,这样的生态系统则被称之为受害生态系统(Damaged ecosystem)<sup>[17]</sup>。受害生态系统从其结构和功能上,可以说是生态系统退化为演替的早期阶段。对退化生态系统恢复过程的关键性理解之一,就是被干扰后演替的最终结果和它们与正常演替的关系<sup>[18]</sup>。事实上,退化生态系统的恢复与重建,最有效的和最省力的是顺从生态系统的演替发展规律来进行,在这个意义上讲,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。

退化生态系统恢复过程,我们可以将之视为时间的函数。实际上植被的演替函数<sup>[9]</sup>能用于此:

$$V=f(t)_{cl, p, r, o, py}$$

式中 $cl$ 为气候参数, $p$ 为岩石圈参数, $r$ 为土壤参数, $o$ 为生物参数, $py$ 为热量参数。这些参

数本身也是复合函数,因而V的实例应用是很难的。但作为单因素的研究却是可能的。

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。在自然条件下,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进。南亚热带区域,森林演替的进程,在排除人为干扰的情况下,一般遵循如下的演替过程<sup>[19,20]</sup>:

	第一阶段	第二阶段	第三阶段	第四阶段	第五阶段	第六阶段
演替阶段	针叶林 (或其它先锋性群落)	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	以中生植物为主的常绿阔叶林	中生群落 (顶极)

上述的森林演替模式简洁地概括了森林经历的不同演替阶段,最终趋向演替顶极。其生态学机理是很明了的,马尾松或其它松属或其它先锋种群在荒地具有高的生活力并生长很快,但成林后结构简单,盖幕作用小,透光率大,高温低湿,日夜温差较大。然而其生长为阔叶阳生性树种,诸如椎粟、荷木等提供较好的环境,这些阳生性树种入侵先锋林地并生长良好,林内盖幕作用和阴蔽条件增加。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,随后阳生性树种也渐渐消亡,群落趋于以中生性树种为优势的接近气候顶极的顶极群落。这就是这个区域中的群落演替机理。森林植被的重建,应遵循这个规律。

### 4.2 南亚热带森林群落演替的种群结构变更模式<sup>[21-24]</sup>

植物群落的演替过程可以用马尔柯夫模型来描述。演替的线性模型可以通过马氏链来描述。如果我们把每个演替的阶段视为一个子系统或一个状态,植物群落的演替系列就是一个系统。在这个过程中,一个群落从一个阶段演变为另一个阶段,就意味着一个系统从一个状态变为另一个状态。假如把一个系统记为S(X),而它符合迭加原理,那么这个系统就是线性系统:

$$S[r_1X_1(t) + r_2X_2(t)] = r_1S[X_1(t)] + r_2S[X_2(t)]$$

在这个公式中,  $r_1$ 和  $r_2$ 是常数,  $X_1$ 和  $X_2$ 是状态。群落的这种线性演替系统是一个确定的演替过程。如果演替经历z个过程,每一过程有相应的时间段t,其转移矩阵是(P),则其线性系统的行为可以描述如图1:

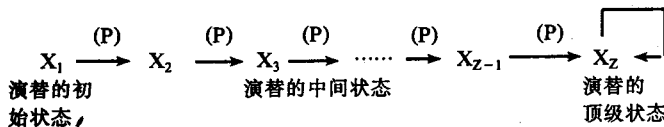


图1 线性演替系统行为图  
Fig. 1 Linear succession system

注:  $X_{1-z}$  = 状态 1-Z

为了满足转移矩阵(P)的稳定,我们需要假定植物的死亡率是不变的,这意味着应排除人类对演替的干扰因素。根据上述的公式,在相同的时间间隔中,演替的后一个状态可以由前一个状态所决定。其关系为:  $X_2 = P^T X_1$ ,  $X_3 = P^T X_2$  等, 这样我们得到一般公式:  $X_{i+1} = P^T X_i$

在这个公式中,  $i=1,2,3,\dots,n$ ;  $P^T$  = 转移矩阵(P);  $X_i$  为:

$$X_i = \begin{pmatrix} P_{11} \\ P_{21} \\ \vdots \\ P_{m1} \end{pmatrix}$$

$X_i$  为  $i$  时刻的状态向量, 其分量  $P_{11}$ 、 $P_{21}$ 、 $\dots$ 、 $P_{m1}$  是  $i$  时刻群落中  $m$  个成份各占的百分比, 亦即概率。

从一个状态变为另一个状态的森林演替可以由种群的发展来加以说明。根据统计数据, 用种的相对多度为指标, 南亚热带不同树种成份的更替率如表 3。

这意味着  $P$  确定如下:

$$P = \begin{pmatrix} 0.26 & 0.66 & 0.08 \\ 0.01 & 0.56 & 0.48 \\ 0 & 0.04 & 0.96 \end{pmatrix}$$

根据调查, 在马尾松或其它先锋林中, 先锋种群的多度为 90%, 其它 10% 为地带性的常绿阳生性树种。根据递推公式和  $P$ , 演替过程不同树种的成分变化可以计算出,

并由此划分演替阶段(表 4), 预期演替过程和动态(表 5)。

表 3 南亚热带群落演替过程林木成分更替率(%)  
Table 3 Regeneration rate of species in succession in low-subtropics

现在	今后 25 年	马尾松等先锋种	椎树、荷树等阳性常绿阔叶树种	厚壳桂、黄果厚壳桂等中生性常绿阔叶树
马尾松等先锋种	20+6	66	8	
椎树、荷树等阳性常绿阔叶树种	1	44+12	43	
厚壳桂、黄果厚壳桂等耐阴性常绿阔叶树	0	4	69+27	

\* 主对角线的数据为该类种群 25 年后成活百分率加上 25 年间为同类种群所更替的百分率。

表 4 南亚热带森林群落不同演替阶段的时间划分  
Table 4 Years for different stages in succession in low-subtropics

林龄	0	<25	25-<50	50-<75	75-<150	150-∞
演替阶段	马尾松等先锋林落	以针叶乔木为优势的针阔叶常绿混交林	以椎树、荷树等阳性阔叶常绿树为优势的阔叶常绿混交林	以椎、荷等阳性树为优势的常绿阔叶林	以厚壳桂、黄果厚壳桂等耐阴植物为优势的常绿阔叶林	中生性常绿阔叶林

线性模型有一些严格的假设, 诸如假设演替过程其种群的死亡率不变, 这在真实情况下是不可能的。事实上, 生境和种间关系是不断变化的, 死亡率也不可能稳定。在自然条件下是不存在着严格的线性系统的, 一些系统只能说是接近非线性系统, 非线性演替模型是普遍的。

非线性系统的研究复杂得多。然而, 尽管整个演替是非线性的, 而其分阶段可以认为是线性的或接近线性的。可以将整个演替过程切割为若干亚系统, 形成局部线性化。这样, 可以用  $X_2 = P_1^T X_1$ ,  $X_3 = P_2^T X_2 \dots$  等来计算, 其一般式是:  $X_{i+1} = P_i^T X_i$

式中  $X_i$  为演替过程的  $i$  状态(阶段),  $P_i^T$  为  $i$  状态中的转移矩阵的转置矩阵,  $i=1,2,3, \dots$  (Z 为演替的终极状态)。这样可以对非线性演替系统的动态进行预测(表 6)。

表 5 南亚热带森林群落演替过程林木成分线性预测(%)  
Table 5 Linear model of tree succession in low-subtropics

林龄	0	25	50	75	100	125	150	175	200	∞
马尾松等先锋树种	90	24	7	2	0	0	0	0	0	0
椎树、荷树等阳性树种	10	65	53	36	23	15	11	9	8	6
厚壳桂、黄果厚壳桂等	0	11	40	62	77	86	89	91	92	94

以上的研究展示南亚热带森林演替的一般过程、规律、方向和速度,其结果表明南亚热带森林演替的进展是较迅速的,而退化生态系统的植被重建,完全可依据其演替发展的一般规律,人为地进行种类构建,加速退化生态系统的植被恢复。

表6 南亚热带森林群落演替过程林木成分非线性预测(%)  
Table 6 Nonlinear model of tree succession in low-subtropics

林龄	0	25	50	75	100	125	150	175	200	……	∞
马尾松等先锋种群	90	27	7	3	1	0	0	0	0	……	0
椎树、荷树等阳性种群	10	62	55	39	28	15	10	7	5	……	4
厚壳桂、黄果厚壳桂等	0	11	38	58	71	85	90	93	95	……	96

### 5 与多样性有关的生态原理的应用

在生态系统中,物种多样性最能反映生物组分的特征,实际上物种多样性又是生态系统其它诸多特性的集中反映。退化生态系统的重建,更依赖于对生物多样性原理的认识。

**多样性导致稳定性** 尽管理论生态学上关于生态系统多样性与稳定性的关系有许多争论,但生态系统的网状食物链结构的增加,无疑可以使生态系统更趋向稳定。此外,多样性的增加也促使处于平衡的群落容量增加而导致生态系统的稳定。退化生态系统的恢复过程,毫无例外地增加了生态系统的物种多样性,最终生态系统的演替趋向于稳定的地带性顶极类型。

**植物多样性是生态系统其它生物多样性的基础** 在生态系统中,生物多样性是建立在植物多样性的基础上。植物多样性的发展有三个方面的原因能增加生态系统的物种多样性:第一,多样性植物为更多种消费者,如昆虫和鸟类等提供食物;第二,多样的植被有多层的根系,为土壤动物和微生物提供生境;第三,不同生活型的植物,为生态系统创造多样的异质空间,从而可能容纳更多的生物。由于生态系统的生物量/生产率与其多样性成比例,高多样性的生态系统就有高的生产力,因而有高的生态和经济效益。退化生态系统的恢复与重建,总朝向生态多样性的方向构建,而其关键则是植物多样性的构建。这就应同时考虑种间竞争与种间互惠关系对植物多样性构建的影响。

南亚热带退化生态系统进行人工植被恢复后,植物多样性发展也很快。例如,用香农指数(SW)测度小良人工混交林,表明除了人工种植的种类外,自然发展的种类已占多数,特别是灌木层和草本层,均是自然发展的种类,其多样性指数已接近自然林(表7)。这类人工林比单纯的人工林生态系统有更高的多样性<sup>[25]</sup>。

表7 小良不同人工林植物多样性与生物多样性的关系  
Table 7 The relations between plant diversity and biodiversity

	混交林 Mixed forest	桉林 Eucalyptus forest	光板地 Barren land
乔木种数(100m <sup>2</sup> ) Number of tree species	11	2	0
乔木个体数 Number of individuals	64	72	0
SW* 乔木层 Tree layer	2.176	0.221	0
灌木层 Shrub layer	3.006	1.213	0.201
草本层 Herb layer	4.121	1.891	1.316
昆虫种类 Number of insect species	300	100	50
鸟类种数 Number of bird species	11	7	4
微生物数量 Microbe number (×10 <sup>7</sup> g <sup>-1</sup> dry soil)	4.74	3.55	0.36
土壤动物优势种数 Number of dominant species of soil animal	7	3	1

\*SW=3.3219[lg n<sub>s</sub> - (1/n)∑<sub>i=1</sub><sup>s</sup> n<sub>i</sub>lg n<sub>i</sub>] 其中 n 为总个体数, s 为种数, n<sub>i</sub> 为第 i 个物种的个体数。



## 参考文献

- 1 广东省科学院丘陵山区综合科学考察队主编. 广东山区水土流失及其治理. 广州: 广东科技出版社, 1991
- 2 F. 拉马迪, 周海林等译. 自然资源生态学的基本理论. 自然资源译丛, 1990, (3):51-70
- 3 R. 克纳普主编. 宋永昌等译. 植被动态. 北京: 科学出版社, 1984
- 4 Bloom S. Multivariate quantification of community recovery. In Cairns J J ed. The recovery process in damaged ecosystems, 1980, 141-151
- 5 Cairns J J et al. Recovery and restoration of damaged ecosystems. Univ. Press of Virginia, Charlottesville, 1977
- 6 Cairns J J. The recovery process in damaged ecosystems. Ann Arbor Science Publishers Inc., 1980
- 7 Parham W ed. Improving degraded lands: promising experience from south China. Bishop Musuem Press, Honolulu, 1993
- 8 吴厚水等. 鼎湖山自然地理特征及其动态分析. 热带亚热带森林生态系统研究, 第一集, 1982, 1-10
- 9 中国科学院广州分院等编著. 广东省五华县国土治理与开发综合试验研究. 广州: 中山大学出版社, 1991
- 10 何绍颢, 余作岳. 广东热带沿海侵蚀地的植被重建. 热带亚热带森林生态系统研究, 第二集, 1984, 87-90, 附图 1-25
- 11 陆兆熊, 姚清尹. 广东省花岗岩地区土壤侵蚀与整治. 参阅中国-加拿大水土保持协作组编, 广东省水土保持研究. 北京: 科学出版社, 1989, 3-6
- 12 赵学农. 受损害生态系统恢复重建中的植物行为与持续利用. 参阅陈昌笃主编, 持续发展与生态学, 北京: 中国科学技术出版社, 1993, 157-161
- 13 Peng Shaolin, Yu Zuoyue (彭少麟, 余作岳). Species diversity structures of different man-made tropical forests and their relations with ecological benefits. Natural Resources Management and Coservation in Chinese Tropical and Subtropical Regions. China Science and Technology Press, 1993, 205-209
- 14 彭少麟等. 鹤山亚热带丘陵人工林群落分析. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(1):1-10
- 15 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学. 广州: 广东高教出版社, 1995
- 16 彭少麟. 森林群落边缘效应之研究. 中国科协首届青年学术年会论文集, 北京: 中国科技出版社, 1992, 420-425
- 17 康乐. 生态系统的恢复与重建. 参阅马世骏主编, 现代生态学透视. 北京: 科学出版社, 1990, 300-308
- 18 邬建国等. 生态演替理论与模型. 参阅刘建国主编, 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 49-64
- 19 彭少麟. 人类干扰体系与森林群落的演替. 中国科协首届青年学术年会广东卫星会议论文集. 北京: 中国科技出版社, 1992, 21-26
- 20 王伯荪, 彭少麟. 森林群落演替与林业经营管理. 中国科学院华南植物研究所集刊, 第四集, 1989, 253-258
- 21 Peng Shaolin, Wang Bosun (彭少麟, 王伯荪). Studies on forest succession of Dinghu Shan, Guangdong, China. Bot J South China, 1993, 试刊II: 34-42
- 22 王伯荪, 彭少麟. 鼎湖山森林群落分析 V. 线性演替系统与预测. 中山大学学报(自然科学版), 1985, (4):75-80
- 23 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落分析 VI. 非线性演替系统. 热带亚热带森林生态系统研究, 第三集, 1985, 25-31
- 24 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落分析 IX. 群落的稳定性. 热带亚热带森林生态系统研究, 第五集, 1989, 11-16
- 25 余作岳. 广东亚热带丘陵荒坡退化生态系统恢复及优化模式探讨. 热带亚热带森林生态系统研究, 第六集, 1990, 1-11