

# 鹤山退化草坡生态系统的自然恢复

任 海<sup>1</sup> 杜卫兵<sup>1</sup> 王 俊<sup>1</sup> 余作岳<sup>1</sup> 郭勤峰<sup>2</sup>

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 美国地质调查所, 詹姆斯敦 ND58401-7317 美国)

**摘要** 研究了鹤山南亚热带退化草坡 20a 的自然恢复动态, 发现群落虽有阳生乔木入侵, 但仍处于草本和灌丛占优势的生物多样性较低的阶段; 土壤中的有机质、水解氮、有效磷和有效钾等营养元素已基本恢复到同地带顶级森林群落的水平; 虽然群落的空间结构与生物多样性尚未恢复, 但其部分生态功能已经恢复, 其中水土保持最先恢复, 生产力等功能还需要较长的时间恢复; 对于鹤山草坡这类一般退化生态系统来说, 可能需要通过构建合适的人工林来加速生物多样性和生物量等指标的恢复过程, 仅仅通过自然恢复是难以在较短的时间内迅速恢复其物质循环等功能的。

**关键词** 退化生态系统; 生态系统功能; 草坡; 鹤山; 自然恢复

文章编号: 1000-0933 (2007) 09-3593-08 中图分类号: Q146 Q948 S812 文献标识码: A

## The natural restoration of degraded rangeland ecosystem in Heshan hill land

REN Hai<sup>1</sup>, DU Wei-Bing<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, YU Zuo-Yue<sup>1</sup>, GUO Qin-Feng<sup>2</sup>

1 South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China

2 U. S. Geological Survey, Jamestown, ND58401-7317, USA

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (9) 3593 ~ 3600.

**Abstract**: This study examined the 20 years trend of natural restoration of a degraded grassland ecosystem in Heshan hilly land. In the past two decades, rangeland research in Heshan has mainly focused on plant succession and soil development. More recently, mechanisms studied have been attempted to explain the initial plant colonization on hilly land, as well as community and ecosystem recovery after disturbance. The results showed that herbs and shrubs were the dominant plants in the community and only a small number of the shade-intolerant tree species had invaded. It showed the characteristics of assembly of pioneer communities. The organic carbon content, soluble nitrogen, available phosphorus, and available potassium had recovered to the level of the local climax community. Part of the ecological functions such as water and soil conservation had recovered. While the functions of water and soil conservation recovered first, more time was needed for productivity and other functions to completely recover, suggesting the idiosyncratic nature of different ecosystem variables in response to time and climate change. Particularly, nutrient cycling recovered very slowly by natural restoration and artificial plantation may be necessary to accelerate the restoration process.

**Key Words**: degraded ecosystem; ecosystem function; grassland; Heshan; natural restoration

基金项目 国家自然科学基金资助项目; 广东省自然科学基金资助项目 (30200035, 30670370, 021627); 中国科学院野外台站基金资助项目

收稿日期 2006-07-22; 修订日期 2007-06-15

作者简介 任海 (1970 ~), 男, 湖北黄石人, 博士, 研究员。从事恢复生态学和生态系统生态学研究。E-mail: renhai@scib.ac.cn

致谢 本文是在中国科学院鹤山丘陵综合试验站长期定位研究工作基础上完成, 站内的多位同志曾参与有关调查和实验, 特别是李志安、蔡锡安、申卫军、周国逸、彭少麟、曹洪麟、林永标等同志做了大量实验性工作。特此致谢。

**Foundation item**: The project was financially supported by National Natural Science of Foundation of China and Guangdong Natural Science Foundation of China (30200035, 30670370, 021627); Project of CERN Field Station Foundation of CAS

**Received date** 2006-07-22; **Accepted date** 2007-06-15

**Biography** REN Hai, Ph. D., Professor, mainly engaged in areas include restoration ecology and ecosystem ecology. E-mail: renhai@scib.ac.cn

由于人类干扰,加之缺乏合理的开发利用,保护和整治未得到足够的重视,使原有的自然生态系统遭到很大的破坏,仅华南地区每年约有 500~600 万  $\text{hm}^2$  的土地失去再生产能力<sup>[1]</sup>。这类退化生态系统土地贫瘠,水资源枯竭,生态环境恶化,从而严重地制约着农业生产的发展,并将影响人类生存空间的质量。如何进行综合治理,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、使资源得以持续发展的关键。退化生态系统一旦停止干扰,便发生进展演替,向原群落方向发展,其恢复过程可视为与原群落的结构、功能的相似度从低向高的发展过程<sup>[2]</sup>。“自然恢复”就是无需人工协助,只是依靠自然演替来恢复已退化的生态系统。退化群落自然恢复的终极是达到与原顶级群落相同的植被型,其外貌、层片、组成结构类同,而不一定是群落组成完全一致的群丛。“自然恢复”在各种恢复方法中是最值得推荐的方法。在保持水土、增加森林的稳定性、控制和改善微(局地)气候、保护生物多样性和珍稀物种以及维持大气平衡方面,人工林要比封闭后自然恢复的森林逊色得多。

广东鹤山丘陵退化草坡是地带性植被在人类长期干扰下退化而成的演替早期群落,是亚热带具有代表性的植被类型,这类由于森林遭到破坏而形成的丘陵荒坡面积约有  $3.74 \times 10^6 \text{hm}^2$ ,其范围包括粤中、闽南和桂东南<sup>[3]</sup>。研究鹤山丘陵草坡退化生态系统的自然恢复,对于南方热带亚热带退化生态系统的恢复重建具有重要的意义。本文主要总结鹤山亚热带草坡退化生态系统的长期观测数据,探讨草坡在自然恢复过程中植物多样性、土壤营养、生物量以及生产力等恢复动态,重点研究退化草坡早期结构与功能恢复的特征及其关系,并为南方大面积的退化生态系统恢复提供指导。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

中国科学院鹤山丘陵综合试验站位于广东省中部,约东径  $112^\circ 53'$ ,北纬  $22^\circ 40'$ 。试验区为低丘地势,气候温暖、多雨,年均气温  $21.7^\circ\text{C}$ ,最热月均温  $29.2^\circ\text{C}$ ,最冷月均温  $12.6^\circ\text{C}$ ,年均降雨量为  $1801.1 \text{mm}$ ,但分布不均,有明显的干、湿季之分。年均日照  $1797.8 \text{h}$ ,无霜期  $354 \text{d}$ ,该区年蒸发量为  $1638.8 \text{mm}$ ,每年还有数次台风影响。地带性土壤为砂页岩发育的赤红壤,酸性较强,地带性植被为亚热带季风常绿阔叶林。该试验区在历史上曾为森林地带,在人为因素的长期影响下,造成植被退化、水土流失严重,现状植被除部分地方为人工马尾松 (*Pinus massoniana*) 林外,绝大部分为退化草坡。1983 年鹤山站在退化草坡上开展植被恢复的试验研究,构建了草坡集水区作为人工森林生态恢复试验的对照区,整个对照区面积为  $35531 \text{m}^2$ ,其中  $100 \text{m}^2$  为永久固定样方,平均坡度  $28^\circ$ ,坡向为东南。

### 1.2 植被调查

在永久样地内进行植被调查,调查时采用相邻格子法,每年调查一次(除个别年份因故未调查),分别于当年 7~9 月进行。调查时分为乔木、灌木和草本 3 个层次,乔木层调查整个永久样方,灌木层仅调查其中的 4 个  $5 \text{m} \times 5 \text{m}$  的样方,调查各个样方内的所有植物的种类、高度和冠幅;草本层仅调查 3 个  $1 \text{m} \times 1 \text{m}$  的样方,统计各种植物的丛(株)数或盖度。

### 1.3 土壤养分测定

在进行植物调查时,在样地内进行土壤养分测定。土壤取样时在样地随机取 5 个剖面,用环刀取  $0 \sim 20 \text{cm}$  样品混匀,样品风干后粉碎测定,测定了有机质、有效 P、全 N、有效 K。主要依据中国生态网络测定标准<sup>[4]</sup>,有机质用硫酸重铬酸钾氧化,硫酸亚铁滴定法测定;全氮用开氏消化法,离子分析仪测定(淀粉蓝比色法);速效磷用盐酸-氟化铵提取,氯化亚锡比色法;速效钾用  $1 \text{M}$  中性醋酸铵提取,火焰光度计测定;水解氮用碱解扩散法。

### 1.4 草坡的水文特征和水量平衡:

1993~1996 年测定了草坡的水文特征,其中 1994 年 1 月至 12 月测定草坡的水文特征和水量平衡。径流采用“小集水区径流场”配合自然分水和人工的封闭技术测定<sup>[5]</sup>。蒸发散采用能量平衡公式推算<sup>[2]</sup>;降水、辐射及小气候梯度采用鹤山站该样地的观测场观测数据,通过水量平衡方程及能量平衡方程计算有关分项。详

见有关文献<sup>[2,5]</sup>。

### 1.5 生物量和生产力

1997 年在多年调查的基础上选取 3 个 5 m × 5 m 的样方进行完全收获。在野外分为地上部分和地下部分称鲜量,各取部分回室内,用 80 °C 烘干,求出干/鲜质量比,据此求算干重。在计算草坡生物量年增量时,考虑到草坡实际,把桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*) 作为灌木的代表,以芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 作为草本的代表,把一年生的芒萁的生物量当作草本 3a 的生物量增量,把桃金娘和其它种的生物量当作 10a 形成(根据这些植物的连年观察确定 3a 和 10a 是它们生物量形成的实际时间,此后它们会死亡),以此推算草坡每年的生物量增量<sup>[6~8]</sup>。

### 2 草坡恢复过程中的植物多样性演变规律

1983 年刚设立草坡永久样地时,在 100 m<sup>2</sup> 的固定样地内,主要是鹧鸪草 (*Eriachne pallescens*) 和岗松 (*Baekkea frutescens*) 2 种旱生性植物<sup>[3]</sup>,由表 1 可知:1993 年该草坡内有高等植物 19 种,其组成成分以热带-亚

表 1 草坡植物种类的组成和特征

Table 1 Species composition and characters of the focal grassland in Heshan hilly land

乔木层 Tree layer				灌木层 Shrub layer						草本层 Herb layer				
种名 Species	个体数 Number			种名 Species	个体数 Number			高度 (m) Height (m)			种名 Species	盖度 (%) Coverage (%)		
	1993	1997	2003		1993	1997	2003	1993	1997	2003		1993	1997	2003
马尾松	0	7	15	桃金娘	131	422	203	1.2	1.9	1.4	铁线蕨	2	20	35
				岗松	42	17	1	0.9	0.8	1.6	凤尾蕨	12	—	—
				梅叶冬青	8	84	168	1.1	2.2	2.5	团叶陵齿蕨	—	25	—
				米碎花	2	9	30	0.9	0.9	1.5	芒萁	80	—	—
				黄栀子	3	6	37	0.6	1.4	1.0	纤毛鸭嘴草	3	—	—
				水杨梅	1	1	—	0.7	1.6	—	山管兰	2	—	—
				黑面神	3	2	2	0.6	1.1	1.4	淡竹叶	—	—	2
				春花	2	2	20	0.5	0.8	1.1	异叶双唇蕨	—	—	3
				鬼灯笼	4	2	21	0.5	0.5	1.2	乌毛蕨	—	—	10
				了哥王	1	1	5	0.5	0.5	1.2				
				山芝麻	3	1	—	0.5	0.8	—				
				野牡丹	2	—	—	1.0	—	—				
				算盘子	2	—	—	0.5	—	—				
				玉叶金花	11	—	—	0.8	—	—				
				野漆	—	4	5	—	1.7	2.5				
				三叉苦	—	7	319	—	2.2	1.8				
				粗叶榕	—	1	6	—	2.0	0.6				
				酸藤子	—	3	19	—	0.8	1.2				
				龙船花	—	1	2	—	0.5	1.3				
				水石榕	—	—	19	—	—	0.3				
				豺皮樟	—	—	2	—	—	0.7				
				山苍子	—	—	24	—	—	2.4				
				弓果黍	—	2	2	—	0.5	0.8				
				山黄麻	—	—	82	—	—	2.3				
				变叶榕	—	—	2	—	—	0.9				

热带分布的科占优势,无乔木层,灌木层植物 14 种,草本植物 2 种,蕨类植物 3 种,群落的 Shannon-Weiner 多样性指数为 1.25。到 1997 年时物种有 20 种,群落中入侵了 7 株马尾松 (*Pinus massoniana*)、桃金娘和梅叶冬青 (*Ilex asprella* Champ) 个体数量有了很大的增加,岗松 (*Baeckea frutescens*) 数量明显减少,野牡丹 (*Melastoma candidum*)、算盘子 (*Glochidion puberum*)、山菅兰 (*Dianella ensifolia*)、纤毛鸭嘴草 (*Ischaemum indicum*)、芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、玉叶金花 (*Mussaenda pubescens*)、凤尾蕨 (*Pteris austro-sinica*) 等种类消失,而野漆 (*Toxicodendron succedaneum*)、三叉苦 (*Evodia lepta*)、粗叶榕 (*Ficus hirta*)、酸藤子 (*Embelia laeta*)、龙船花 (*Ixora chinensis*)、弓果黍 (*Cyrtococcum patens*) 和团叶陵齿蕨 (*Lindsaea orbiculata*) 等种类入侵。2003 年植被调查时,该草坡主要有高等植物 25 种,乔木层仍仅为马尾松一个物种,但个体数量有所增加,桃金娘个体数量有所减少,而梅叶冬青、三叉苦和山黄麻 (*Trema tomentosa*) 个体数量有明显的增加,山芝麻 (*Helicteres angustifolia*)、水杨梅 (*Geum aleppicum* Jacq)、团叶陵齿蕨这 3 个种消失,同时有新的物种如山黄麻、豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、山苍子 (*Litsea cubeba*)、变叶榕 (*Ficus variolosa*)、水石榕 (*Elaeocarpus hainanensis*) 等入侵,群落的 Shannon-Weiner 多样性指数为 1.97。由此可见,由于人类干扰,该群落乔木层原有植物已完全消失,仅有灌木和草本植物,其多样性较低。草坡经过保护,其物种多样性会增加,在近 20a 后植物种类变化比较明显,阳生性的种类减少,耐阴种类明显增加。经过自然恢复,鹤山退化草坡基本恢复到了演替早期灌木和小乔木群落时期,但小乔木仍处于低水平。

植被的恢复演替遵循群落演替的一般规律,群落的种类组成由简单到复杂,演替的各个阶段由不同生活型的种类占据着优势。鹤山丘陵地区植被演替模式是:由于人类的干扰,原有的森林遭到破坏,形成丘陵草坡的退化生态系统。在没有人为的重复干扰情况下,植被恢复的自然演替自此开始,先是当地的杂草形成生产力较低的草坡,然后出现一些阳生性的灌木与多年生的杂草混生,几年以后,先锋树种(如马尾松)定居,逐渐成林,与阳生性的灌木组成演替早期的先锋群落,但其结构简单,冠层透光率大,林内形成了高温低湿的小气候,但为阳生性的阔叶树种的入侵提供了较好的生长条件。一旦这些阳生性的阔叶树种占据了上层树冠,林内透光率明显降低,荫蔽度增加,导致先锋树种无法更新而死亡,同时又为后继的中生性树种提供适应的环境,随着后者的发展,占据林冠上层,演替后期乔木群落形成,亦即较稳定的中生性顶级群落(鹤山站附近的村边林,即自然次生成熟林具有类似的特征)。

### 3 草坡恢复过程中的土壤化学成分变化

赤红壤的养分含量一般不高,有机质平均含量为  $17.8 \text{ g/kg} \pm 6.71 \text{ g/kg}$ ,在植被保护较好的地方,有机质含量可达  $30 \text{ g/kg}$  左右,氮、磷含量低,缺钾严重,速效性磷、钾更贫缺<sup>[9]</sup>。土壤有机质是土壤的重要组成部分,它既是植物所需的各种营养物质的来源,又具改善土壤物理和物理化学性质的功能,所以有机质是反映赤红壤养分贮量的标志,也是决定赤红壤综合肥力水平的基础。由表 2 可知,赤红壤中有机质的贮量依其自然恢复的时间的不同而有较大的差异。赤红壤的氮素含量变化与有机质状况基本一致,因为赤红壤本身固定铵的能力差,约有 95% 的氮素存在于有机质中,故土壤有机质多寡,可大体反映氮素的丰缺状况<sup>[9]</sup>。在 1985 年,表土层有机质含量仅  $18.8 \text{ g/kg}$ ,全氮含量为  $8.2 \text{ g/100 g}$ ,当停止人为干扰进入植被自然恢复后,草丛具有一定的生物量归还,有机质的含量明显增加,氮含量也增加。2003 年当植被恢复到灌草丛阶段和马尾松混交林阶段后,由于大量枯枝落叶凋落于地面,形成残落物层,残落物在湿润的环境下腐解,表土中有机质积累起来,土壤有机质含量分别为  $38.94 \text{ g/kg}$ ,全氮含量为  $11.5 \text{ g/100g}$ ,水解氮为  $109.63 \text{ mg/kg}$ (表 2)。而鼎湖山季风常绿阔叶林养分含量总的来说还算比较丰富,有机质和水解氮全年平均分别为  $47.2 \text{ g/kg}$  和  $173.8 \text{ mg/kg}$ <sup>[10]</sup>,鹤山草坡的有机质含量已接近了鼎湖山天然的季风常绿阔叶林的含量,而水解氮还需要一定的时间进行恢复。

赤红壤的含磷量较低,磷素供应水平低是植被恢复中严重的限制因子之一,特别是赤红壤严重侵蚀地,由于磷素特别是有效磷供应水平低,而使大多数的植物生长不良<sup>[9]</sup>。鹤山退化草坡恢复初期的有效磷仅仅  $2.5 \text{ mg/100 g}$ ,当 2003 年恢复到早期灌木和小乔木群落植被阶段时,有效磷含量为增加到了  $16.8 \text{ mg/100 g}$ ,土壤中有效磷含量随植被恢复增加了 7 倍多(表 2)。钾是植物的主要营养元素,随着植被覆盖度的增加,植物总

量大幅度增加。1986 年土壤有效钾含量为 13 mg/kg, 2003 年为 52.07 mg/kg, 增加了 4 倍多 (表 2)。鼎湖山季风常绿阔叶林有效钾全年平均分别为 64.1 mg/kg, 有效磷全年平均为 16.55 mg/100 g<sup>[10]</sup>。鹤山草坡土壤有效钾成分已基本达到了鼎湖山季风常绿阔叶林的水平, 而有效磷甚至超过了鼎湖山天然林的水平。

由以上可知, 鹤山草坡经过近 20a 的自然恢复过程, 土壤中的有机质、水解氮、有效磷和有效钾等营养元素已经基本恢复到了同地带的顶级群落的水平。

表 2 草坡土壤化学特征

Table 2 The soil chemical property of the focal grassland in Heshan hilly land

年份 Year	水解氮 Hydrolyzed nitrogen (mg/kg)	全氮 Total nitrogen (g/100g)	有机质 Organic content (g/kg)	有效磷 Available phosphorus (mg/100g)	有效钾 Available potassium (mg/kg)
1985	—	8.2	18.8	2.5	20
1986	—	9.2	22.2	5.0	13
1990	—	10.5	17.9	8.0	—
1995	—	11.8	26.8	13.1	—
2001	100.5	—	24.6	19.1	28.77
2002	100.95	11.5	30.7	16.0	39.48
2003	109.63	11.5	38.9	16.8	52.07

#### 4 草坡恢复过程中的水文变化特征

由表 3 可知, 草坡生态系统年总径流系数为 50.1%, 地表径流系数为 17.3%, 最高在 9 月份可达 23.6%, 除与本月降水量大有关外, 系统对前期降水的贮留也是重要影响因子。由表 3 也可以看出, 地表径流的季节分配特点, 干季地表径流非常小, 在有些年份或有些月份甚至为 0, 湿季地表径流量可占全年地表径流量的 94.3%。总径流系数也有相似的季节变化特征, 而且与降水量变化趋势相似, 降水量大的月份总径流和地表径流均较大。另外, 由表 3 中还可以看出, 虽然干季集水区收入的降水量很少, 但集水区在干季依然能维持一定量的径流流出, 这说明草坡生态系统对降水和径流有一定的滞后和调节作用。

表 3 鹤山丘陵草坡生态系统的的水文特征及水量平衡

Table 3 The hydrology and water balance of the focal grassland ecosystem in Heshan hilly land

月份 Month	草坡生态系统的水文特征 Hydrology of grassland ecosystem (mm) (1993 ~ 1996)						1994 年集水区的水量平衡 Water balance of watershed in 1994 (mm)					
	降水量 Precipitation	地表径流 系数		地下径流 runoff	总径流 Runoff	总径流 系数	收入 Input			支出 Output		
		地表径流 runoff	系数 (%)				降水量 Precipitation	系统蓄 水增量 increment of system	总收入 input	径流和 蒸散量 Runoff and Evaporation	系统蓄 水增量 increment of system	总收入 input
1	25.49	0.66	2.6	7.73	8.39	32.9	2.8	45.97	48.77	48.77	0	48.77
2	59.92	3.49	5.8	12.29	15.78	26.3	61.8	0	61.8	55.8	6.02	61.8
3	62.28	6.07	9.7	12.35	18.42	29.6	85.3	0	85.3	83.3	2.01	85.3
4	175.16	27.68	15.8	65.38	93.06	53.1	69.3	36.52	105.82	105.82	0	105.82
5	204.64	47.51	23.2	56.86	104.37	51.0	191.3	1.45	192.75	192.75	0	192.75
6	311.37	43.02	13.8	121.11	164.13	52.7	283.4	0	283.4	220.97	62.44	283.4
7	300.54	57.10	19	106.19	163.29	54.3	462.6	0	462.6	358.9	103.70	462.6
8	279.62	56.99	20.4	89.82	146.81	52.5	305.3	0	305.3	286.67	118.63	305.3
9	235.42	55.50	23.6	79.27	134.77	57.2	313.8	0	313.8	297.06	16.73	313.8
10	43.14	6.76	15.7	6.18	12.94	30	0	68.63	68.63	68.63	0	68.63
11	41.94	0	0	13.42	13.42	32	0	54.84	54.58	54.84	0	54.58
12	21.85	0.55	2.5	6.79	7.34	33.6	65.95	0	65.95	48.36	17.59	65.95
合计 Total	1761.37	305.33	17.3	577.39	882.72	50.1	1841.55	207.41	2048.9	1821.87	227.12	2048.9

从表 3 可知,1994 年集水区水量总输入 2048.7 mm,实际输入 1841.55 mm,其中 207.41 mm 是由系统蓄水变化产生的。支出的总水量 2048.7 mm,实际支出 1821.87 mm,有 227.12 mm 是由系统蓄水变化引起。实际支出水量占实际收入水量的 98.93%,收入略大于输出,这也是草坡集水区能够常年有径流流出的根源所在。系统总收入和支出均比实际的收支要大,可见草坡集水区年水量平衡是一种收入对支出的补给和收支项目中可变形的动态平衡。

鹤山草坡的地表径流系数为 17.3%,比鼎湖山的季风常绿阔叶林顶级群落的 14.19% 略高,而鹤山草坡年径流系数为 50.1%,基本和鼎湖山天然林的 50.22% 相同<sup>[11]</sup>,说明草坡通过自然恢复已经基本控制了水土流失问题。

## 5 草坡恢复过程中的草坡生物量和生产力

从表 4 可以看出,鹤山亚热带草坡在 1997 年演替早期时,其生物量和生物量年增量为 5.230 t/hm<sup>2</sup> (干重)和 1.401 t/(hm<sup>2</sup>·a)。但占总生物量 71.93% 的芒萁的生物量增量却占了总生物量增量的 95.98%,所以芒萁是草坡生物量和生物量增量的主要来源。结合张祝平等<sup>[12]</sup>对这些种的测定结果,取其呼吸速率为光合速率的 80%,则其净第一性生产力为 9.108 t/(hm<sup>2</sup>·a),这一值比生物量增量 1.401 t/(hm<sup>2</sup>·a)高出 7.707 t/(hm<sup>2</sup>·a),这高出部分若略去实验误差,则主要以凋落物、昆虫动物吞食和植物枯死的形式消耗掉。根据 Miami 模型计算出的鹤山本地气候顶极的生产力为 23.4 t/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[7]</sup>,远远大于草坡的实际年产量(年净生产力)1.401 t/(hm<sup>2</sup>·a),草坡的生产量和生物量增量这么小,也正好说明草坡生态系统远远未充分利用本地的气候资源。鹤山各人工林群落的年生物量增量均在 6~10 t/(hm<sup>2</sup>·a)左右,仅仅 7~10a 的植被恢复演替,与同地带的鼎湖山分布着的南亚热带地带性顶极群落季风常绿阔叶林的年净生产力 23.26 t/hm<sup>2</sup>相比,人工林群落的年净生产力已达到该群落的 1/4~1/3,说明在该地带的优越气候条件下,通过人工改造林分,植被的生物量将有一个很快的恢复演替速度。

表 4 草坡主要物种的生物量和生产力 (1997 年)

Table 4 Biomass and productivity of dominant species in Heshan hilly land (1997)

项目 Parts	生物量 (t/hm <sup>2</sup> ) Biomass (t/hm <sup>2</sup> )			总计 Total	生物量增量 Increment of Biomass (t/(hm <sup>2</sup> ·a))	总第一性生产力 Total primary Productivity (t/(hm <sup>2</sup> ·a))
	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	桃金娘 <i>Rhodomyrus tomentosa</i>	其它种 Other Species			
枝干 Stem	0.362	0.684	—	—	—	45.64
叶片 Leaf	0.317	0.717	—	—	—	
地上部分 Aboveground	2.625	0.679	0.294	3.598	0.972	
地下部分 Underground	1.137	0.308	0.187	1.632	0.429	
总计 Total	3.762	0.987	0.481	5.230	1.401	
百分比 (%) Percentage (%)	71.93	18.87	9.20	—	—	

## 6 讨论

由于人类的干扰,导致退化草坡的形成,这种草坡的种类结构较简单,层次少,生产量低,生态环境比较差,调节气候及涵养水分的作用减弱,若进一步干扰会形成更严重的退化生态系统。与同地带的天然林相比,退化草坡的植物多样性、土壤肥力与生物量均较低。这可能是退化草坡在自然恢复过程中,主要是进行了先锋种的集聚或集合,而这些先锋种在扩散过程中对环境的要求不高,主要限制它们存活或生长的可能是土壤有机质、土壤物理结构与微地形。

对于退化生态系统的植被恢复,系统内物种多样性的发展是最令人关心的问题之一。退化生态系统在未成熟之前,微弱的干扰都会使其延缓或停止顺向演替,强度大的干扰甚至可能导致逆行演替,人为的配置多样性的生态系统是提高退化生态系统稳定性的有效手段之一。在恢复过程中,植物多样性的发展是整个生态系

统多样性增加的关键,多样性的植物可以使整个生态系统变得更加稳定,植被恢复也可得以尽快实现<sup>[2]</sup>。

在南亚热带的生态因子中,有光、温、水充裕的有利一面,也有秋旱、台风和保育等不利的因素,但总的来说,影响退化生态系统的恢复的主导生态因子是土壤因子,最主要的是土壤肥力和土壤水分<sup>[3]</sup>。植被恢复演替的初级阶段,无论土壤的性质如何,在生态系统恢复的过程中,土壤在不断的变化的植被直接影响或由于植被与当地气候相会作用的间接作用下是要发生变化的,其中变化最明显发生在演替早期的几年间,尤其是在土壤上层。氮和磷的有效性是生态系统恢复的关键,许多生态系统恢复的研究计划主要是改善氮和磷的状况。通过自然恢复,草坡土壤中的有机质、水解氮、有效磷和有效钾等营养元素已经基本恢复到了鼎湖山季风常绿阔叶林的水平。那么对于草坡这样的退化生态系统来说(非裸地),停止干扰自然恢复 20a 后,土壤的营养状况就可以基本恢复到当地的顶级群落的水平。

水土流失也是中国亚热带红壤区土地退化的重要表现形式,在已经形成的退化生态系统中,严重的水土流失最终导致土地的极度贫瘠,其理化结构也比林地相差甚远<sup>[3]</sup>。而对于许多退化生态系统的恢复与重建来说,第一步就是控制水土流失,逐步提高土壤肥力和改善土壤理化性质<sup>[4]</sup>。鹤山草坡的地表径流系数分别和 17.3%,比鼎湖山成熟的季风常绿阔叶林的 14.19% 略高,而鹤山草坡年径流系数为 50.1%,基本和鼎湖山天然林的 50.22% 相同<sup>[1]</sup>,说明草坡通过 10 多年的自然恢复已经基本控制了水土流失问题。

研究表明,鹤山同期种植的马占相思林等各种人工林的生物量及生物量增量均高于草坡<sup>[2]</sup>,虽然这些值都分别小于较鼎湖山常绿阔叶林,但是都分别大于鹤山草坡的自然恢复的结果。这意味着在退化生态系统恢复的初级阶段,这些人工恢复方式比自然恢复更能加速植被演替和退化生态系统的恢复,其中马占相思林和豆科混交林的生物量恢复是最好的,这表明要提高草坡的生产力,进行植被恢复是必要的。所以在鹤山草坡的恢复的初级阶段,通过调整群落结构,构建马占相思林或豆科混交林可以很好的提高光能的利用率,加速生物量功能的恢复,而单单通过草坡的自然恢复就需要更长的时间。

退化生态系统在自然恢复过程中,结构与功能的恢复往往是不同步的。群落结构、生物多样性尚未恢复,且处于低级阶段时,而土壤肥力、水文功能首先得到改善。生态系统的结构、功能与动态三者之间存在一定的关系,较先恢复的部分高级的生态功能有助于低级系统结构的发育,系统的结构影响着系统的动态,退化生态系统的自然恢复突破物理环境因素限制后,其恢复的动态主要受生物因子控制。

通过以上的分析可知,对于鹤山草坡这类的一般退化生态系统来说,自然恢复可以使土壤中的营养状况和水土流失很快达到顶级群落的水平,但是对于生态系统的其它功能,需通过构建合适的人工林来可加速这一过程,仅仅通过自然恢复难以在较短的时间内迅速恢复其物质循环等功能。

为了使退化草坡尽快恢复其结构和功能,可采用多种利用的途径。通过人工造林以恢复乔木层植被,进而引来林下植物的多样性,此外,这类退化草坡还可根据自然条件,采用乔木、灌木等林木与草本植物,可进行适当的农林业开发,建立各种复合农林业生态模式,除生态效益外,同时能带来明显的社会效益和经济效益。

## References :

- [1] Hilly mountain Scientific expedition of Guangdong. Water & Soil erosion and management in Guangdong mountain area. Guangzhou : Guangdong Scientific Press ,1995.
- [2] Peng S L. Study and application of restoration ecology in tropical and subtropical China. Beijing : Science Press ,2003.
- [3] Zhang JW. Study on the sloping field in South China. Beijing : Science Press ,1994. 127 - 151.
- [4] Liu G S , Jiang N H , Zhang L D , et al. Soil physical and chemical Analysis & Description of Soil Profiles. Beijing : Standards Press of China , 1996. 24 - 41.
- [5] Shen W J , Peng S H , Zhou G Y , etc. Hydrological properties and water balance of grassland ecosystem in Heshan hill region. Acta Phytocologica Sinica ,2000 ,24 ( 2 ) :162 - 168.
- [6] Ren H , Peng S H , Yu Z Y. Study of biomass and productivity at plantation community in Guangdong. Development of Eco-environment Network Research , 1996 ,7 ( 3 ) :22 - 27.
- [7] Cai X A , Ren H , Peng S H , et al. Study of biomass and productivity in Heshan grassland ecosystem. Ecological Science ,1996 ,15 ( 1 ) :9 - 14.

- [8] Sharmae. Biomass , productivity and energetic in Himalayan. *Alder of botany* ,1991 ,67 285 — 293.
- [9] Soil survey office in Guangdong. *Soil of Guangdong*. Beijing :Scientific Press ,1993.
- [10] Xia H P , Yu Q F , Zhang D Q. The soil acidity and nutrient contents and their characteristics of seasonal dynamic changes under 3 different forests of Dingshushan Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica* ,1997 ,17 (6) :645 — 653.
- [11] Huang Z L , Kong G H , Yu Q F , *et al.* Hydrological function and nutrient Dynamics in lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest. *Acta Phytocologica Sinica* ,2000 24 (2) :157 — 161.
- [12] Zhang Z P. The gross primary productivity of forest community in Dinghushan. *Guihaia* ,1991 ,11 (2) :162 — 170.
- [13] Peng S L. Rehabilitation of the degraded ecosystem and its ecological effect in south China 's subtropical. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* ,1995 ,1 (4) :403 — 414.
- [14] Liu Y Q. A review on ecosystem degradation and restoration in red soil regions of subtropics. *Journal of Nanjing Forestry University* ,2000 24 (add) :53 — 58.

#### 参考文献 :

- [1] 广东省科学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 ,1995.
- [2] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践. 北京 :科学出版社 ,2003.
- [3] 张经纬. 华南退化草坡研究. 北京 :科学出版社 ,1994. 127 ~ 151.
- [4] 刘光崧 ,蒋能慧 ,张连第 ,等. 土壤理化分析与剖面描述. 北京 :中国标准出版社 ,1996. 24 ~ 41.
- [5] 申卫军 ,彭少麟 ,周国逸 ,等. 鹤山丘陵草坡的水文特征及水量平衡研究. *植物生态学报* ,2000 24 (2) :162 ~ 168.
- [6] 任海 ,彭少麟 ,余作岳. 广东主要人工林群落生物量和生产力的比较研究. *资源生态环境网络研究动态* ,1996 7 (3) 22 ~ 27.
- [7] 蔡锡安 ,任海 ,彭少麟 ,等. 鹤山南亚热带草坡生态系统的生物量和生产力的研究. *生态科学* ,1996 ,15 (1) 9 ~ 14.
- [9] 广东省土壤普查办公室主编. 广东土壤. 北京 :科学出版社 ,1993.
- [10] 夏汉平 ,余清发 ,张德强. 鼎湖山 3 种不同林型下的土壤酸度和养分含量差异及其季节动态特性. *生态学报* ,1997 ,17 (6) 645 ~ 653.
- [11] 黄忠良 ,孔国辉 ,余清发 ,等. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究. *植物生态学报* ,2000 24 (2) :157 ~ 161.
- [12] 张祝平. 鼎湖山森林群落的总生产力. *广西植物* ,1991. 11 (2) :162 ~ 170.
- [13] 彭少麟. 中国南亚热带退化生态系统的恢复及其生态效应. *应用与环境生物学报* ,1995 ,1 (4) :403 ~ 414.
- [14] 刘苑秋. 亚热带红壤区生态退化及生态恢复研究综述. *南京林业大学学报* ,2000 24 (增) 53 ~ 58.