

文章编号:1001-1498(2011)01-0001-07

恢复方式及时间对季风常绿阔叶林群落特征的影响

刘万德, 苏建荣*, 张志钧, 李帅锋

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224)

摘要:通过对云南普洱地区季风常绿阔叶林皆伐后人工和天然恢复 15 a 及 30 a 群落的调查,并以原始林群落为对照,对比分析了恢复方式和恢复时间对季风常绿阔叶林恢复群落的结构和多样性的影响。结果表明:恢复方式对科、属、物种、乔木、灌木、藤本等物种组成和多样性情况无显著影响,而恢复时间则具有显著的影响。科、属、物种、乔木及灌木物种丰富度随着恢复时间的延长呈现先减后增的趋势。所有群落物种丰富度均随径级和高度级的增加而呈现倒“J”型分布,多度则随径级增加呈现偏峰曲线,而随高度级的增加呈现倒“J”型分布。恢复方式和恢复时间与群落结构与多样性变量之间的相关性分析及回归分析表明:恢复时间与多数变量之间具有显著的相关性,而恢复方式则仅与藤本多度具有显著相关性,这说明与恢复方式相比,恢复时间是影响该地区恢复群落结构和多样性的主要因子。

关键词:恢复方式;恢复时间;相关性分析;常绿阔叶林

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

Effect of Restoration Strategy and Time on Community Characteristic of Monsoon Evergreen Broad-leaved Forest

LIU Wan-de, SU Jian-rong, ZHANG Zhi-jun, LI Shuai-feng

(Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The effects of restoration strategy and time on community structure and diversity were analyzed by investigating species composition, structure, and diversity of different restoration strategies and time communities. The results showed that restoration strategy had no effect on species composition and diversities of family, genera, species, tree, shrub, and liana, however, restoration time had significant effect on species composition and diversity. Species richness of family, genera, species, tree, and shrub decreased at the early stage and then increased with community succession. Species richness showed an inverse J-shape with DBH increasing in all community types, while abundance showed single peak curve with DBH increasing and an inverse J-shape with height increasing. The correlation and regression analysis among restoration strategies and times and variables of community structure and diversity showed that there were significant correlation between restoration time and variables of community structure and diversity, and no significant correlation were found between restoration strategy and most of variables of community structure and diversity, which indicated that restoration time was the major factor that affected the structure and diversity of community restored.

Key word: restoration strategy; restoration time; correlation analysis; evergreen broad-leaved forest

干扰是自然界中普遍的现象。在植物群落中,发生在不同时空范围的干扰直接或者潜在地影响着生物

有机体的所有水平^[1],对种群、群落和生态系统结构具有重要的影响^[2]。干扰按起因分为自然干扰和人为干

收稿日期:2010-09-02

基金项目:中国林科院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(CAFYBB2008001 和 rirical201002M)

作者简介:刘万德,男,博士,助研,主要从事生物多样性、恢复生态学及功能生态学研究。E-mail: liuwande@126.com

* 通讯作者。

扰,而在人为干扰中,森林采伐是影响森林生态系统动态的最主要的人为干扰方式之一。森林采伐对森林的影响包括个体、种群、群落、景观等多个层次;同时,森林采伐也导致微生态环境变化^[3]。在许多地区,大面积采伐导致了森林生态系统的退化崩溃。因此,干扰生态系统的生态恢复成为当前生态学研究中的热点和国际前沿之一^[4]。

近年来,国内外对退化生态系统的研究逐渐增多,主要集中于物种多样性^[5-7]、群落结构^[8-10]、群落动态^[11-13]、景观^[14-15]及养分循环^[16-17]等方面。尽管大量有关生态恢复方面的工作已经开展,并取得了较为丰硕的成果,但这些研究相对集中于砍伐破坏后的森林和放牧干扰下的草地生态系统人工重建,相对忽视自然恢复过程的研究,而对比分析人工与自然恢复的研究相对较少。本文以中国西南季风常绿阔叶林退化生态系统(皆伐干扰)为主要研究对象,通过对季风常绿阔叶林不同恢复方式(人工恢复和天然恢复)及不同恢复时间(恢复15 a和30 a)群落的调查,并以原始林群落为对照,分析了恢复方式及恢复时间对群落结构与多样性特征的影响,这对于探索该地区植被干扰后的恢复方式具有重要的科学意义,并可为该地区植被恢复策略的制定提供科学参考。

1 研究地和研究方法

1.1 研究区概况

研究区域位于云南省中南部的普洱市,地理位置为22°02'~24°50' N,99°09'~102°19' E,海拔变化在317~3370 m之间。该区地处热带北缘向亚热带过渡的过度地区,气候主要受印度洋及太平洋季风控制,形成夏秋季多雨、冬春季干旱、年温差小、日温差大、干湿季明显的气候特征。该地区年平均气温17.7℃,年均降水量1547.6 mm,雨水主要集中在5—10月,占全年降雨量的87.3%,年平均蒸发量1590 mm,相对湿度82%。土壤以赤红壤为主。

中国西南季风常绿阔叶林是我国最复杂、生产力最高、生物多样性最丰富的地带性植被类型之一,对保护环境和维持全球碳平衡等都具有极重要的作用。但由于人类的长期破坏,季风常绿阔叶林退化严重,导致群落结构简单、功能衰退,进而引起一系列生态环境问题。近年来,随着各种森林保护措施的出台,森林得以不断恢复,形成了不同演替时间的季风常绿阔叶林群落。该区植被乔木主要以短刺栲(*Castanopsis echidnocarpa* A. DC.)、刺栲(*Castanopsis hystrix* A. DC.)、红木荷(*Schima wallichii* (DC.) Korthals)等为优势树种;灌木则以珍珠伞(*Ardisia maculosa* Mez)、小

叶干花豆(*Fordia microphylla* Dunn ex Z. Wei)等为主;草本多为毛果珍珠茅(*Scleria herbecarpa* Retz)及蕨类(Pteridophyta)等;同时群落中乔木的树干和林冠上附生有蕨类和兰科(Orchidaceae)植物,此外,板根现象和层间植物是该地区季风常绿阔叶林的一个重要特征。

1.2 野外调查及取样

野外调查选择在云南普洱地区。选择季风常绿阔叶林干扰(皆伐)后人工种植思茅松(*Pinus kesiya* var. *langbianensis*)及自然恢复15 a及30 a群落,并以原始林群落为对照设置调查样地。样地面积为30 m×30 m,每个恢复方式及恢复时间群落设置3个重复,共设置调查样地15块。利用网格样方法将样地分割成36个5 m×5 m的小样方,在小样方内对所有高度(或长度)>1.3 m的植物进行每株调查,其中,乔木记录物种名称、高度、胸径、冠幅并进行定位,灌木记录物种名称、高度、胸径并进行定位,藤本植物则记录物种名称、胸径并定位;调查过程中同时记录每个样地的郁闭度、海拔、坡度等环境因子。

1.3 数据处理

1.3.1 群落的林分因子及物种组成 根据野外调查数据,计算季风常绿阔叶林不同恢复方式及恢复时间和原始林群落平均高、平均胸径、胸高断面积和林分密度等林分因子;按科、属、物种、乔木、灌木、藤本等分类统计季风常绿阔叶林不同恢复方式及恢复时间和原始林群落物种组成情况。

1.3.2 物种丰富度及多度 按科、属、物种、乔木、灌木、藤本等分类统计每个样地中物种数量,计算季风常绿阔叶林不同恢复方式及恢复时间和原始林群落中科、属、物种、乔木、灌木、藤本丰富度;分别统计乔木、灌木、藤本和群落总体在每个样地中个体多度情况,计算季风常绿阔叶林不同恢复方式及恢复时间和原始林群落中乔木、灌木、藤本及群落总体多度。

1.3.3 大小结构 径级结构按上限排外法共划分6级:Ⅰ($DBH < 1$ cm)、Ⅱ($1 \leq DBH < 5$ cm)、Ⅲ($5 \leq DBH < 10$ cm)、Ⅳ($10 \leq DBH < 20$ cm)、Ⅴ($20 \leq DBH < 40$ cm)和Ⅵ($DBH \geq 40$ cm),分别统计每个样地各径级树木个体多度及物种数,计算不同径级树木的物种丰富度(平均值±标准误)及多度(平均值±标准误)。

根据研究的群落特征,本文高度级结构按上限排外法共划分4级:Ⅰ($H < 5$ m)、Ⅱ($5 \leq H < 10$ m)、Ⅲ($10 \leq H < 20$ m)和Ⅳ($H \geq 20$ m)。分别统

计各样地不同高度级内树木个体数及物种数,计算不同高度级树木的物种丰富度(平均值 \pm 标准误)及多度(平均值 \pm 标准误)。

1.3.4 恢复方式及恢复时间与群落结构和多样性之间的关系 利用恢复方式和恢复时间与群落的林分因子(平均高、平均胸径、胸高断面积)、物种丰富度(科、属、物种、乔木、灌木、藤本)及多度(乔木、灌木、藤本、合计值)进行 Pearson 相关性分析,显著性检验采用双尾 T 检验(Two-tailed)。具有相关性的变量之间再进行回归分析,以检测恢复方式及恢复时间对群落结构和多样性的影响。

1.4 数据分析

文中所有数据大小比较均采用方差分析中的多重比较,当统计数据方差具有齐性时,选择 LSD (Least Significant Difference) 进行比较;当统计数据方差不具有齐性时,选择 Games-Howell 方法进行比

较。相关性分析及回归分析利用 SPSS13.0 软件完成。显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 林分因子特征

不同恢复方式群落林分因子比较中,平均高、平均胸径、胸高断面积及林分密度在人工恢复 15 a 与天然恢复 15 a 之间及人工恢复 30 a 与天然恢复 30 a 群落之间均无显著性差异(表 1)。在不同恢复时间比较中,平均高在恢复 15 a 和 30 a 群落之间无显著性差异,但恢复 15 a 群落平均高低于原始林;平均胸径和胸高断面积则均表现出随着恢复时间的延长而逐渐增大,但恢复 30 a 群落与原始林之间无显著性差异;林分密度则随着恢复时间(原始林除外)的延长表现出减小趋势(表 1)。

表 1 不同恢复方式及恢复时间群落林分因子

恢复方式	恢复时间/a	平均高/m	平均胸径/cm	胸高断面积/($m^2 \cdot hm^{-2}$)	密度/(株 $\cdot hm^{-2}$)
人工恢复	15	4.07 \pm 0.12 ^a	3.24 \pm 0.34 ^a	20.74 \pm 2.15 ^a	9 555.56 \pm 1 174.16 ^{ab}
	30	4.71 \pm 0.09 ^{ab}	5.15 \pm 0.48 ^b	34.75 \pm 2.65 ^b	6 977.78 \pm 1 370.34 ^b
天然恢复	15	4.08 \pm 0.23 ^a	4.03 \pm 0.33 ^a	23.78 \pm 2.34 ^a	11 437.04 \pm 490.29 ^a
	30	5.10 \pm 0.56 ^{ab}	5.65 \pm 0.70 ^b	33.29 \pm 0.90 ^b	8 177.78 \pm 1 231.35 ^{ab}
原始林		5.62 \pm 0.45 ^b	6.57 \pm 0.59 ^b	40.47 \pm 3.60 ^b	10 714.81 \pm 2 116.18 ^{ab}

注:字母的不同表示存在显著性差异($p < 0.05$)。

2.2 物种组成

在 1.35 hm^2 的亚热带季风常绿阔叶林样地中,共调查到物种 251 种,分属 76 科 167 属,其中乔木 146 种,分属 43 科 94 属;灌木 66 种,分属 18 科 40 属;藤本 39 种,分属 15 科 33 属。

对于不同恢复方式下亚热带季风常绿阔叶林样地调查数据统计中,人工恢复群落 0.54 hm^2 的样地中共发现物种 120 种,分属 48 科 88 属;天然恢复群落 0.54 hm^2 的样地中共发现物种 120 种,分属 53 科 88 属;原始林群落 0.27 hm^2 样地中共发现物种 175 种,分属 64 科 129 属。

对于不同恢复时间下亚热带季风常绿阔叶林样地调查数据统计中,人工恢复 15 a 群落 0.27 hm^2 的样地中共发现物种 96 种,分属 44 科 76 属;人工恢复 30 a 群落 0.27 hm^2 的样地中共发现物种 59 种,分属 29 科 48 属;天然恢复 15 a 群落 0.27 hm^2 的样地中共发现物种 92 种,分属 47 科 70 属;天然恢复 30 a 群落 0.27 hm^2 的样地中共发现物种 66 种,分属 33 科 52 属。

2.3 物种丰富度与多度

2.3.1 物种丰富度与多度数量大小 在不同恢复方式物种丰富度的比较中,除藤本物种丰富度在人工恢复 30 a 群落中低于天然恢复 30 a 群落外,科、属、种、乔木及灌木物种丰富度分别在人工和天然恢复 15 a 群落之间、人工和天然恢复 30 a 群落之间无显著差异(表 2)。在多度比较中,乔木、灌木及群落总多度表现出了和物种丰富度相同的规律(表 2)。

在不同恢复时间物种丰富度的比较中,科、属、种、乔木、灌木及藤本物种丰富度在人工和天然恢复 15 a 群落分别高于人工和天然恢复 30 a 群落,同时人工恢复 15 a 群落高于天然恢复 30 a 群落,天然恢复 15 a 群落高于人工恢复 30 a 群落,但原始林群落在所有的比较中均是最高(表 2)。在多度的比较中,乔木物种多度在所有的恢复群落及原始林之间均无显著性差异,灌木则是人工恢复 15 a 群落高于天然恢复 30 a 群落,并且原始林群落在所有的比较中均最高,藤本则是在相同恢复方式下随着恢复时间的延长而降低,原始林群落也最高,而群落总体多

度则是人工恢复 30 a 群落低于天然恢复 15 a 群落, 其它群落之间无显著性差异(表 2)。

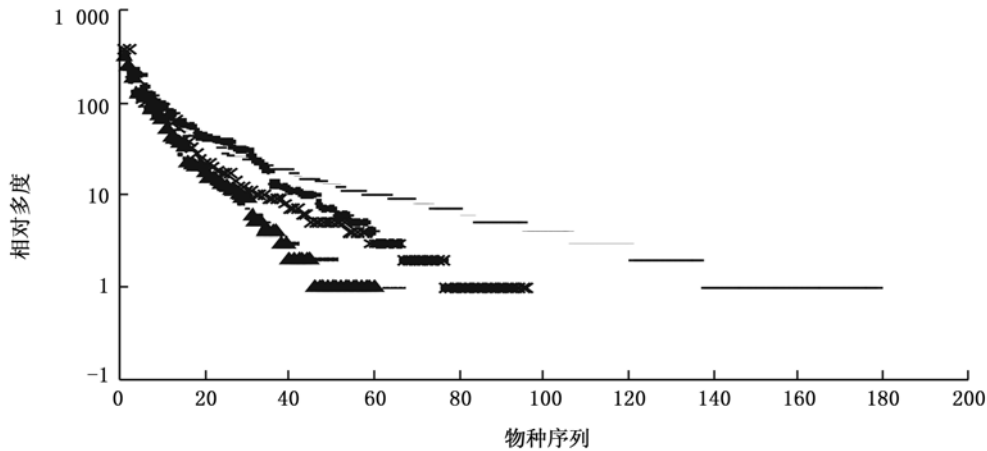
表 2 不同恢复方式及恢复时间群落物种丰富度与多度

指标	分类	人工恢复		天然恢复		原始林
		15 a	30 a	15 a	30 a	
物种丰富度	科	33.3 ± 1.2 ^b	21.0 ± 0.0 ^a	37.0 ± 2.1 ^b	25.3 ± 0.9 ^a	45.3 ± 1.9 ^c
	属	55.7 ± 2.9 ^b	34.0 ± 1.5 ^a	52.7 ± 3.7 ^b	35.0 ± 2.1 ^a	77.0 ± 1.5 ^c
	种	64.3 ± 3.0 ^b	40.3 ± 1.2 ^a	67.7 ± 4.4 ^b	42.7 ± 1.5 ^a	98.0 ± 1.7 ^c
	乔木	44.7 ± 1.8 ^b	35.0 ± 0.6 ^a	46.7 ± 2.3 ^{bc}	33.0 ± 2.1 ^a	53.3 ± 3.2 ^c
	灌木	12.7 ± 1.8 ^b	4.0 ± 1.0 ^a	12.7 ± 1.7 ^b	5.7 ± 1.2 ^a	26.3 ± 2.4 ^c
	藤本	7.0 ± 1.0 ^c	1.3 ± 0.3 ^a	8.3 ± 0.7 ^c	4.0 ± 0.6 ^b	17.3 ± 0.9 ^d
多度	乔木	777.0 ± 107.5 ^a	600.3 ± 111.3 ^a	805.3 ± 51.1 ^a	704 ± 109.4 ^a	559 ± 126.9 ^a
	灌木	67.3 ± 7.5 ^b	25.0 ± 12.5 ^{ab}	119.3 ± 52.3 ^b	14.3 ± 2.9 ^a	232 ± 46.8 ^c
	藤本	15.7 ± 1.5 ^b	2.7 ± 0.3 ^a	104.7 ± 13.9 ^c	17.7 ± 6.4 ^b	164 ± 22.5 ^c
	合计	860.0 ± 105.7 ^{ab}	628.0 ± 123.3 ^a	1 029.3 ± 44.1 ^b	736 ± 110.8 ^{ab}	964.3 ± 190.5 ^{ab}

注:表中同行不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 物种—相对多度曲线 南亚热带季风常绿阔叶林所有恢复方式及恢复时间群落物种—相对多度曲线均表现出急剧的变化,说明群落中优势物种均较明显(图 1)。在调查中发现,天然恢复及原始林中刺栲和短刺栲数量相对较多,而在人工恢复群落中则是短刺栲及思茅松相对较多。图 1 中也反映

出物种数量由低到高依次为人工恢复 30 a 群落 < 天然恢复 30 a 群落 < 天然恢复 15 a 群落 < 人工恢复 15 a 群落 < 原始林群落。在人工及天然恢复 15 a 和 30 a 群落中,低密度物种数量相对较少,而在原始林中低密度物种数量较多。



+ 天然恢复 15 a 群落; · 天然恢复 30 a 群落; × 人工恢复 15 a 群落; ▲ 人工恢复 30 a 群落; — 原始林群落

图 1 不同恢复方式及恢复时间群落物种-相对多度曲线

2.4 大小结构

2.4.1 不同径级物种丰富度与多度 所有不同恢复方式及恢复时间和原始林群落物种丰富度均表现出随径级的增加而降低的趋势(图 2)。在相同径级比较中,人工及天然恢复 30 a 群落物种丰富度在第 I、II 径级均较低,而人工及天然恢复 15 a 群落物缺失大径级物种,原始林物种丰富度在所有径级中均较高。

不同径级个体多度在所有群落中的变化规律与物种丰富度略有不同,呈现出偏峰曲线(图 2)。人

工及天然恢复 15 a 群落在第 II 径级个体多度较多,而随着径级的增加,人工及天然恢复 30 a 群落及原始林群落个体多度逐渐高于人工及天然恢复 15 a 群落。

2.4.2 不同高度级物种丰富度与多度 所有不同恢复方式及恢复时间和原始林群落中不同高度级物种丰富度均呈现倒“J”型曲线,即随着高度级的增加,物种丰富度逐渐降低(图 3)。相同高度级中,人工及天然恢复 30 a 群落物种丰富度均为最低,原始

林最高,而人工及天然恢复 15 a 群落几乎没有树木超过 20 m。

所有不同恢复方式及恢复时间和原始林群落中个体多度随高度级的变化规律与物种丰富度相同,

也呈现倒“J”型曲线。在第 I 高度级中各群落之间均无显著性差异,而在第 II、III 高度级中天然恢复 15 a 群落个体多度数量较多,但人工和天然恢复 15 a 群落缺失第 IV 高度级物种。

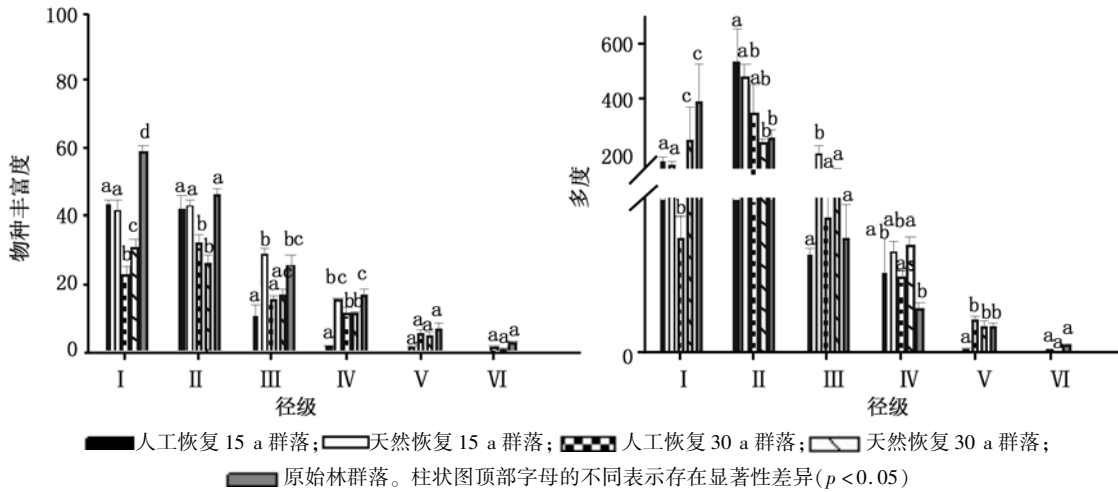


图 2 不同径级物种丰富度及多度

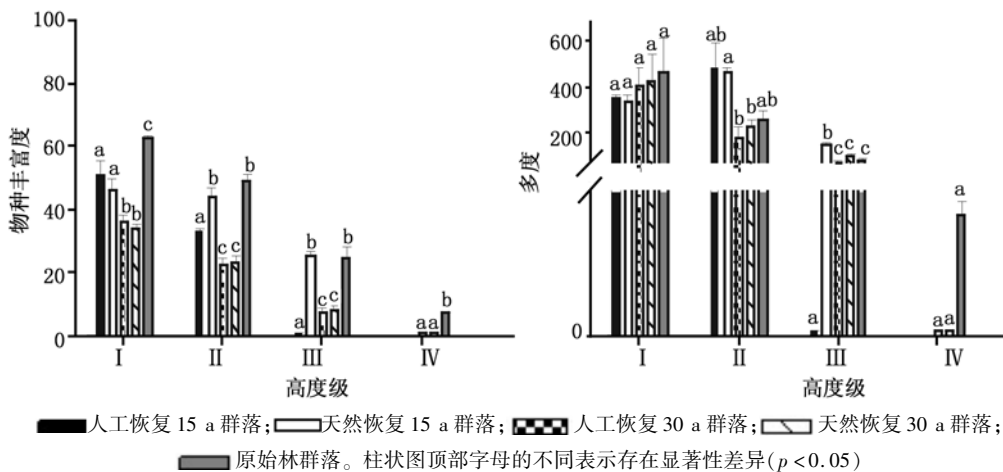


图 3 不同高度级物种丰富度及多度

2.5 恢复方式及恢复时间与群落结构和多样性之间的关系

在对恢复方式及恢复时间与群落结构与多样性之间的相关性分析中发现,恢复方式仅与藤本多度具有显著的正相关,但恢复时间则与多数群落结构与多样性因子(除平均高、胸高断面积和乔木多度外)之间具有显著的相关性(表 3)。

3 讨论

3.1 恢复方式对群落结构与多样性的影响

群落结构和多样性的恢复是生态系统恢复过程的重要特征,也是生态系统恢复的主要目标和评价恢复成功的主要指标^[18]。本文中,人工恢复和天然

恢复两种恢复方式在季风常绿阔叶林的林分因子、群落结构及物种多样性上没有明显的差异,即两种恢复方式的恢复效果相同。退化生态系统恢复包括自然恢复、人工恢复和二者的结合等三种形式,其恢复效果因时、因地而不同。一般来说,人工恢复具有恢复速度快、但多样性水平低的特点,而天然恢复则具有恢复速度慢、多样性水平高的特点;而本文的研究结果并没有反应出类似的特征,这可能与人工恢复后的森林经营和恢复地的土壤种子库有关。在云南普洱地区,森林采伐后,部分地区采用封山育林方式进行天然恢复,而部分地区则采用人工栽植思茅松进行人工恢复;但两种恢复方式森林在封山育林和栽植思茅松后均未进行人工抚育,即森林恢复过程中

未进行任何人工的经营活动,这一方面提供了本文对二者进行对比的基础,另一方面也减少了人为活动对生态恢复的影响,保证了其恢复进程的自然性。由于采伐前,两种恢复方式的原生植被均是季风常绿阔叶林,保证了土壤中种子库的相同或近似,在随后的恢

复过程中出现的物种也相同或近似,导致了其恢复群落的结构和多样性相同或相似。因此,本文未检测出人工和天然恢复群落之间在群落结构和多样性上的差异,恢复方式与群落结构和多样性之间的相关性分析也进一步证明了这点(表3)。

表3 恢复方式及恢复时间与群落结构与多样性的关系

指标	分类	恢复时间			恢复方式		
		相关系数	<i>P</i>	<i>R</i> ²	相关系数	<i>P</i>	<i>R</i> ²
平均高		0.44	0.100 7	-	0.51	0.051 3	-
平均胸径		0.56	0.030 4	0.313 4	0.05	0.846 9	-
胸高断面面积		0.10	0.722 2	-	0.29	0.296 5	-
物种丰富度	科	0.95	<0.000 1	0.904 7	0.48	0.067 3	-
	属	0.97	<0.000 1	0.946 2	0.30	0.269 7	-
	种	0.98	<0.000 1	0.958 2	0.40	0.144 4	-
	乔木	0.91	<0.000 1	0.833 9	0.27	0.329 9	-
	灌木	0.94	<0.000 1	0.883 7	0.39	0.150 2	-
	藤本	0.95	<0.000 1	0.895 6	0.51	0.054 1	-
	多度	乔木	-0.09	0.762 8	-	0.01	0.993 9
	灌木	0.83	0.000 1	0.690 7	0.41	0.133 4	-
	藤本	0.84	<0.000 1	0.700 7	0.65	0.009 1	0.418 7
	合计	0.52	0.047 4	0.269 4	0.36	0.193 3	-

注:无显著相关性的变量之间未做回归分析。

3.2 恢复时间对群落结构与多样性的影响

本文中恢复时间对群落结构和多样性具有重要的影响。随着恢复时间的延长,平均胸径和胸高断面面积逐渐增大,林分密度则逐渐减小,物种多样性呈现先减后增的趋势。森林群落在干扰后恢复过程中,随着恢复时间的延长,其群落的组成及多样性特征在逐渐改变,特别是在干扰方式及强度相近的情况下,恢复时间是影响其多样性特征的重要因素^[19]。随着恢复时间的延长,树木在慢慢生长,其群落的平均胸径和胸高断面面积逐渐增大是必然的。由于树木逐渐变大,其所占据的空间逐渐增多,因此,在相同空间大小的情况下,群落所能容纳的树木个体数量减少,导致林分密度降低。本文中物种多样性的先减后增趋势与多数研究结果相反^[20-22]。通常森林采伐后,特别是皆伐后形成的林窗为物种的快速定植提供了空间^[23]。皆伐迹地也可以看作是能够快速定居的生态系统,而快速定居生态系统具有物种丰富度增加迅速的特征^[24]。森林采伐后,林内环境发生改变,林分郁闭度降低,光照增加,温度上升,这有利于阳性物种的生长,加之土壤中大量种子库及地表部分幼苗的存在,导致了演替初期物种丰富度较高;而随着演替的进行,大量物种占据皆伐迹地后,其他物种的进入受到一定限制,同时,由

于物种之间的竞争,一些早期物种由于竞争排除或许很快消失,物种丰富度有所下降。在演替的后期,基于传播限制性,由于一些高度特化的植物物种及大量耐阴物种的出现而导致了物种丰富度再次增加。

3.3 对南亚热带季风常绿阔叶林恢复的建议

森林恢复是森林通过天然或人工措施达到破坏前水平的过程,采取不同措施的依据是恢复速度和恢复效果。本文的研究结果表明,在普洱季风常绿阔叶林退化生态系统自然和人工两种恢复方式的比较中,由于特有的气候和自然条件,天然恢复比人工恢复更适合该地区,这样既得到了相同的恢复效果,又减少了人工恢复所产生的财力、物力、人力的消耗,是一种经济、有效的恢复方式;然而,作者发现,退化森林生态系统的恢复也需要一个漫长的过程,两种恢复方式在恢复 15 a 和 30 a 时的物种丰富度仅分别占原始林的 2/3 和 1/3(表2),因此,物种丰富度恢复到原始林的水平,可能还需要较长的时间。

参考文献:

- [1] Guariguata M R, Ostertag R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 148(1): 185-206
- [2] Sletvold N, Rydgren K. Population dynamics in *Digitalis purpurea*:

- the interaction of disturbance and seed bank dynamics[J]. *Journal of Ecology*, 2007, 95(6): 1346–1359
- [3] 姜金波, 姚国清, 胡万良. 森林采伐对森林生态因子的影响[J]. *辽宁林业科技*, 1995(3): 21–30
- [4] Matthews J W, Peralta A L, Flanagan D N, *et al.* Relative influence of landscape vs. local factors on plant community assembly in restored wetlands[J]. *Ecological Applications*, 2009, 19(8): 2108–2123
- [5] Powers J S, Becknell J M, Irving J, *et al.* Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(6): 959–970
- [6] Summerville K S. Species diversity and persistence in restored and remnant tallgrass prairies of North America; a function of species' life history, habitat type, or sampling bias[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2008, 77(3): 487–494
- [7] 温远光, 元昌安, 李信贤, 等. 大明山中山植被恢复过程植物多样性的变化[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(2): 33–40
- [8] Baer S G, Blair J M, Collins S L, *et al.* Plant community responses to resource availability and heterogeneity during restoration[J]. *Oecologia*, 2004, 139(4): 617–629
- [9] Zahawi R A, Augspurger C K. Tropical forest restoration: tree islands as recruitment foci in degraded lands of Honduras[J]. *Ecological Applications*, 2006, 16(2): 464–478
- [10] 刘庆, 吴彦, 何海, 等. 川西亚高山人工针叶林生态恢复过程的种群结构[J]. *山地学报*, 2004, 22(5): 591–597
- [11] Bassett I E, Simcock R C, Mitchell N D. Consequences of soil compaction for seedling establishment: Implications for natural regeneration and restoration[J]. *Austral Ecology*, 2005, 30(8): 827–833
- [12] Crain C M, Albertson L K, Bertness M D. Secondary succession dynamics in estuarine marshes across landscape-scale salinity gradients[J]. *Ecology*, 2008, 89(10): 2889–2899
- [13] 何海, 乔永康, 刘庆, 等. 亚高山针叶林人工恢复过程中生物量和材积动态研究[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(5): 748–752
- [14] Hill J G, Summerville K S, Brown R L. Habitat associations of ant species (Hymenoptera: Formicidae) in a heterogeneous Mississippi landscape[J]. *Environmental Entomology*, 2008, 37(2): 453–463
- [15] 郭晋平, 张芸香. 森林景观恢复过程中景观要素空间分布格局及其动态研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(12): 2021–2029
- [16] Borders B D, Pushnik J C, Wood D M. Comparison of leaf litter decomposition rates in restored and mature riparian forests on the Sacramento River, California[J]. *Restoration Ecology*, 2006, 14(2): 308–315
- [17] Gamboa A M, Hidalgo C, de Leon F, *et al.* Nutrient addition differentially affects soil carbon sequestration in secondary tropical dry forests: early- versus late-succession stages[J]. *Restoration Ecology*, 2008, 18(2): 252–260
- [18] Zerbe S, Kreyer D. Introduction to special section on "ecosystem restoration and biodiversity: how to assess and measure biological diversity?"[J]. *Restoration Ecology*, 2006, 14(1): 103–104
- [19] Finegan B, Delgado D. Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored on pasture through natural secondary succession[J]. *Restoration Ecology*, 2000, 8(4): 380–393
- [20] Zahawi R A, Augspurger C K. Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador[J]. *Biotropica*, 1999, 31(4): 540–552
- [21] Cutler N A, Belyea L R, Dugmore A J. The spatiotemporal dynamics of a primary succession[J]. *Journal of Ecology*, 2008, 96(2): 231–246
- [22] Finegan B. Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1996, 11(3): 119–124
- [23] Brown K A, Gurevitch J. Long-term impacts of logging on forest diversity in Madagascar[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2004, 101(16): 6045–6049
- [24] Carey S, Harte J, del Moral R. Effect of community assembly and primary succession on the species-area relationship in disturbed ecosystems[J]. *Ecography*, 2006, 29(6): 866–872