

火烧和植造林对南亚热带退化草坡土壤种子库的影响

李丹艳^{1,2}, 任海^{1*}, 王俊^{1,2}, 李平衡^{1,2}, 吴建平^{1,2}

1. 中国科学院华南植物园/鹤山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 广东 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039

摘要: 对南亚热带典型火烧草坡迹地和人工造林后的退化草坡土壤种子库进行了取样调查, 采用种子萌发试验研究了这些不同处理的土壤种子库特征, 结果表明: (1) 火烧处理对土壤种子库有显著影响, 具体表现为种子库储量减小、物种种类减少、优势种组成单一、物种多样性指数和地上植被相似性系数低、土壤种子库物种组成与地上植被物种组成差异显著; (2) 种植桉树对土壤种子库储量、物种生活型分布、土壤种子库物种组成与地上植被物种组成差异均没有影响, 但能增加草本物种种类; (3) 火烧并种植桉树对土壤种子库的影响与火烧处理结果一致, 能使土壤种子库中优势物种种子密度增加, 但不能增加草本种类在种子库中的密度。该研究表明采用火烧处理有利于南亚热带退化草坡植被恢复; 采用种植桉树的方法短期内植被恢复的效果不明显; 退化草坡的植被恢复需要适度的人为干预与调控。

关键词: 火烧; 退化草坡; 桉林; 土壤种子库

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2009) 01-0255-08

土壤种子库是指存在于土壤表面和土壤中的全部存活种子的总和^[1], 主要来源于地上植被种子雨、外来种子的散布, 可为植物更新和生境恢复提供繁殖体, 对受损植物群落的建立起着关键作用^[2], 还能保障退化生态系统的更新^[3]。对土壤种子库的物种组成和储量进行研究, 能为退化生态系统的更新及恢复提供线索, 更可为生态恢复中的实践操作提供理论依据^[4]。火烧迹地是受火烧干扰而留下的受损生态系统, 近年来对其更新和演替也颇受关注^[5-6]。国外对土壤种子库如何响应火烧干扰的研究报道较多^[7-9], 研究主要表明火烧能促进种子库中种子萌发, 导致种子储量和物种种类减少, 并在演替初期阶段土壤种子库中草本植物占优势, 但随着演替时间进行种子库中灌木和乔木逐渐替代草本。国内在土壤种子库响应火烧干扰等方面的研究少有报道, 仅见唐勇等(1997)对山黄麻(*Trema orientalis*)林刀耕火种后的土壤种子库有相关研究^[10]。南亚热带退化草坡是森林在人类长期干扰下遭到破坏退化而形成的具有代表性的丘陵荒坡(面积约 $3.74 \times 10^6 \text{ hm}^2$)^[11], 这类退化生态系统土地贫瘠, 水资源枯竭, 生态环境恶化, 从而严重制约着农业生产的发展^[12]。为提高区域生产力、改善生态环境、使林地资源得以持续发展, 必须对这类退化生态系统进行恢复。对退化草坡和火烧迹地等受损生态系统的恢复和更新, 目前主要采取封山育林使其自然演替或通过人工造林来加速植被恢复^[13-14]。自然恢复(演替)可以使土壤中的营养状况等很快达到顶级群落水平, 但是难以在较短的时间内迅速恢复

其物质循环等功能^[12]。人工造林可加速这些受损生态系统的功能恢复^[13], 目前对人工造林恢复效果的研究主要集中在地上部分或土壤生物、理化性质方面^[15], 但是对造林后土壤种子库的变化如何研究较少^[16-17], 尤其是火烧迹地上造林土壤种子库的研究未见有相关报道。

本研究以南亚热带典型退化草坡作对照, 研究火烧迹地及人工种植桉树3年后的退化山草坡土壤种子库的特征, 以期为生态恢复火烧迹地的影响提供数据支持, 也为人工造林在退化草坡和火烧迹地的恢复中效用如何提供数据参考, 从而为森林生态系统火烧迹地的可持续管理和发展提供理论依据。本研究的科学问题是: 与对照的退化草坡相比, 火烧迹地与种植桉树后, 各自的土壤种子库特征如何? 火烧并种植桉树后土壤种子库特征又如何? 上述处理下土壤种子库和地面植被的关系如何? 火烧及造林对退化草坡的生态恢复的有何指导意义?

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况及样地设置

研究区位于中国科学院鹤山森林生态系统国家野外科学观测研究站。该站位于广东省鹤山市中部(112°54'E, 22°41'N)。试验样地为共和实验区, 占地面积约45 hm², 设有14个森林生态系统, 主要类型有草坡(烧山/不烧山)、纯桉林(烧山/不烧山种植)、混交林等。每种类型均设三个约1 hm²的重复。该地区属典型南亚热带季风气候, 年平均温度21.7℃, 年均降水量1700 mm, 年蒸发量1600

基金项目: 国家自然科学基金项目(30670370, 30630015); 广东省自然科学基金项目(07118249)资助

作者简介: 李丹艳(1983年生), 女, 硕士, 研究方向为恢复生态学。E-mail: lidanyan06@mails.gucas.ac.cn

收稿日期: 2008-11-26

mm, 年平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效积温为 7595°C 。地带性土壤为赤红壤, 为强酸性土壤, pH 值一般在4.2~4.8。

实验样地于2005年3月进行如下处理: 不火烧草坡(Unburnt Grassland, 简称UG)、火烧草坡(Burnt Grassland, 简称BG)、不火烧种桉树(Unburnt Eucalyptus, 简称UE)、火烧种桉树(Burnt Eucalyptus, 简称BE)三种处理, 火烧和火烧又种桉树的样地处理前为荒草坡, 种植的树种为尾叶桉(*Eucalyptus urophylla*), 每公顷种植1660株, 人工林目前均表现为桉树植被覆盖度90%以上(即本文所指植被已恢复的处理)。各样地目前林下以桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)、野牡丹(*Melastoma candidum*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)和春花木(*Rhaphiolepis indica Lindl*)等为主要物种。每个类型试验区设有3个重复。因此, 本实验共有12个实验样地。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤种子库取样

本试验拟探究火烧迹地土壤种子库特征, 同时考虑了土样中包含有持久种子库和短暂种子库的综合^[18], 于2008年春季(4月)取样。土壤种子库取样采用样线法, 于每个样地的上中下三个坡度选取地势平坦且具有代表性的地段, 设置三条20 m长的平行样线。样线间间隔10 m, 在样线上每隔2 m利用10 cm \times 10 cm取样器, 分0~2 cm(上层)、2~5 cm(中层)和5~10 cm(下层)三层采集土壤, 每条样线取样10组, 将每条样线上的同层土样混合装入封口袋, 每个样地共计9个混合样。每个处理3个重复共27个混合样。

1.2.2 室内萌发及鉴定

土壤种子库的数量与组成研究采用萌发法进行。为提高土壤中种子的萌发率, 萌发前对土样进行网筛冲洗浓缩处理^[19]将浓缩所得样品转入萌发盆(盆内铺设2~3 cm, 经 125°C 、24小时种子杀青处理的细沙), 置于温室内萌发。同时, 在温室内随机放置装有经杀青处理的细沙的萌发盆12个作为对照, 以检测是否存在外源种子污染。定期洒水保证适宜的湿度, 控温 $18\sim 25^{\circ}\text{C}$ 。每周观察种子萌发情况, 对萌发的不同幼苗予以标记、计数, 待能够判别出幼苗种属时, 自盆中移除。定期翻土以促进种子萌发, 当连续2周没有种子萌发后结束萌发试验, 试验自2008年4月22日持续到2008年11月2日结束。

1.2.3 植被调查

植被调查在种子库采样带附近进行, 每个样带附近均设置一个10 m \times 10 m样方, 由于该研究样

地主要被芒萁覆盖, 植被中草本种类和数量较少, 故记录样方内所有乔木、灌木和草本(芒萁单独记录, 每个样方选取有代表性的地段, 设置三个1 m \times 1 m小样方, 记录数量、盖度和高度)的种类、数量、盖度等。每个样地共调查3个10 m \times 10 m样方, 每个处理共调查9个10 m \times 10 m样方(芒萁样方共81个)。

1.3 数据分析

土壤种子库特征主要从种子库储量和物种组成来分析, 对物种组成主要采用物种多样性指数来度量^[20]。本文采用Marglef丰富度指数、生态优势度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数度量。

Marglef 丰富度指数:

$$R = (S-1) / \ln N$$

生态优势度指数:

$$C = \sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

Simpson 多样性指数:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

Pielou 均匀度指数:

$$E = H' / \ln S$$

土壤种子库和地上植被在种类组成上的相似性采用Sorensen相似性系数(similarity coefficient, SC)公式来计算, 算式为:

$$SC = 2w / (a+b)$$

式中, S 为种子库中物种总数, N 为种子库中所有物种总个体数, n_i 为第 i 个物种的个体数, P_i 为第 i 个物种的比例多度($P_i = n_i / N$)。 w 为土壤种子库和地上植被共有的植物种数, a 和 b 分别为土壤种子库和地上植被的植物种数。

采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较火烧与不火烧处理下草坡和桉林土壤种子库的总储量及每个群落不同采样深度种子库储量的差异。数据采用SPSS16.0 统计软件分析, 采用sigma plot10.0 进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同恢复方式下土壤种子库特征

通常表征土壤种子库储量的指标有两个: 第一个是土壤种子库储量, 以单位取样面积土壤内所包含的种子数量(ind \cdot m⁻²)来表示, 它反映一个样地内种子储量的总体情况。第二个指标是土壤种子库密

度,它是单位体积土壤内所包含的种子数量,它可用于同一样地内不同土壤深度的土壤种子库储量的比较,土壤种子库密度用单位面积每厘米深的土壤中的种子数量($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}^{-1}$)来表示^[17]。本文涉及火烧与不火烧处理样地之间的比较以及各样地内分层土壤种子库的比较,故两种表示方式均采用。

2.1.1 土壤种子库储量特征

四种处理下土壤种子库的储量($\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$ (mean±SE))大小顺序为:UG(1973±33)>UE(1612±114)>BG(1507±38)>BE(884±34)(图1)。方差分析结果显示,UG与BG种子库储量差异极显著($P=0.007$),而UE与BE的储量显著不差异($P=0.34$),这表明火烧处理能显著影响草坡的土壤种子库储量,而对植造林后草坡的种子库储量无显著影响;对UG和UE两者进行方差分析,结果表明两者差异不显著($P=0.627$),说明种植桉树对草坡种子库储量没有影响;对UG和BE的方差检验结果显示两者差异极显著($P=0.000$),且BE和BG之间差异也是极显著($P=0.001$),这均表明火烧并种植桉树能对土壤种子库储量产生影响。

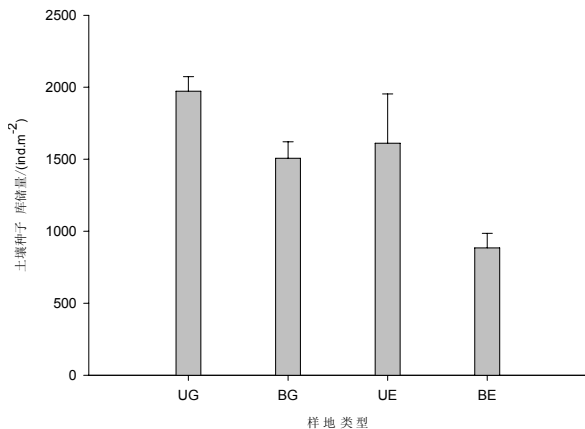


图1 不同处理的林型下土壤种子库储量(平均值±标准误)

Fig. 1 Number of seeds germinated from soil samples under degraded grassland and *Eucalyptus* plantation with different treatments (Mean ± SE)

2.1.2 土壤种子库垂直分布特征

从图2可以看出,不同处理下的土壤种子库密度均随着取样深度增加而减小,这表明土壤中的种子主要集中分布于土壤上层。虽然方差检验表明各样地土层之间种子密度存在显著差异,但经LSD多重比较,UE及BE的中层之间、下层之间差异均不显著,可能原因是进行栽种桉树时对土壤有所翻动,从而导致中层土壤中的种子有较多地进入下层。

同一处理方式下小写字母表示差异达5%显著

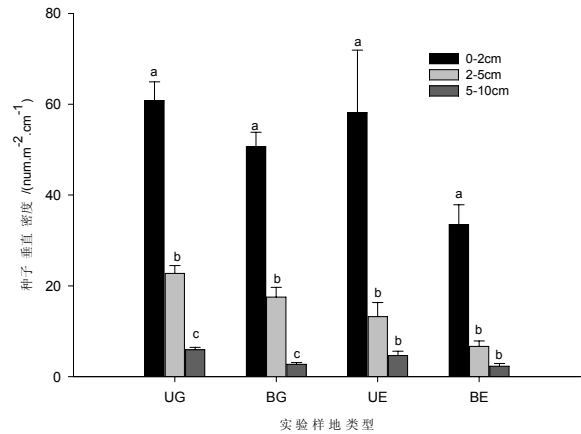


图2 不同处理的林型下土壤种子库的垂直分布(平均值±标准误)

Fig. 2 The vertical distribution of soil seed bank of degraded grassland and *Eucalyptus* plantation with different treatments (Mean±SE)

水平。

2.1.3 土壤种子库物种和生活型组成特征

试验中共萌发20种植物幼苗5379株,分属14科,以禾本科植物最多(达3种),其次为樟科、野牡丹科、桃金娘科和菊科,均为2种,其他各科均为1种(表1)。储量较丰富的前3科为桃金娘科(3199株,占总数量的59.5%)、菊科(942株,占总数量的17.5%)和榆科(692株,占总数量的12.9%),这三科在各处理样地的种子库储量也均列前三位。四个处理的科属及物种数量分别为16种10科(UG)、16种12科(UE)、12种11科(BG)和11种9科(BE),共有科为7科,共有种为8种。其中以UG和UE的种类最多,以BG和BE的种类最少,说明火烧处理能影响土壤种子库的物种种类。

从土壤种子库物种组成的相似性来比较各处理样地的物种特征(表2),结果表明,以BG与UG、BE与UG之间的相似性最低,分别为0.714和0.692;以UE、与BE、BG与BE之间的相似性最高,分别为0.815和0.818,且UE与UG两者之间的相似性也相对较高。

从土壤种子库优势成分来看(本文所指优势成分物种为相应处理土壤样本中种子数量居前3位的植物),各处理下土壤种子库的优势成分种类相差不大,其中岗松和假臭草为处理共同的优势成分,这可能与各处理样地相隔距离较近、样地建立时间不长以及物种自身种子易于扩散等原因有关。以岗松为例,该物种在各处理的土壤种子库中的密度均为最高,各样地间由高到低的顺序为:958 seeds/m²(UG)>930 seeds/m²(UE)>894 seeds/m²(BG)>741 seeds/m²(BE);储量值也为最高,占样地内土壤种子库总储量的比例由大到小的顺序为:83.8%(BE)>60.2%(BG)>53.9%(UE)>48.6%(UG),

表1 土壤种子库的物种分布特征

Table 1 Species composition and the percentage of each species in the seed bank under different treatments

科	种	生活型	土壤种子库密度(seed/m ²)/物种占总储量百分比/%					
			BG	UG	BE	UE		
樟科	无根藤 <i>Cassytha filiform L.</i>	H		+	6/0.3	+	+	2/0.1
	山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	T	+	+	6/0.3	+	+	
榆科	山黄麻	S	+	99/6.7	+	474/24.0	+	71/0.8
野牡丹科	野牡丹	S	+	60/1.4	+	17/0.9	+	11/1.2
	地稔 <i>Melastoma dodecandrum</i>	H	+	18/1.2	+	8/0.4	+	10/1.1
大戟科	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	S	+		+	1/0.1	+	
桃金娘科	桃金娘	S	+		+	23/1.2	+	2/0.2
	岗松 <i>Baeckea frutescens L.</i>	S	+	894/60.2	+	958/48.6	+	741/83.8
茜草科	玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	S	+	12/0.8	+	7/0.4	+	3/0.3
马钱科	水田白	H					2/0.2	1/0.1
菊科	假臭草 <i>Eupatorium catarium</i>	H	+	341/22.9		266/13.5	+	11/1.2
	香丝草	H		12/0.8		3/0.2		
禾本科	纤毛鸭嘴草 <i>Ishaemum indicum</i>	H	+	6/0.4	+	11/0.6	+	13/1.5
	小花露籽草 <i>Ottochloa nodosa</i>	H	+		+	167/8.5	+	
	粽叶芦 <i>Thysanolaena latifolia</i>	H			+	1/0.1		
唇形科	毛麝香	H		1/0.1			8/0.9	27/1.6
百合科	山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i>	H	+		+			1/0.1
茄科	龙葵 <i>Solanum nigrum L.</i>	H	+	1/0.1				
莎草科	刺子菴 <i>Rhynchospora rubra</i>	H	+	36/2.4	+	10/0.5		
小二仙草科	黄花小二仙草 <i>Haloragis chinensis</i>	H	+	7/0.4	+	14/0.7	+	11/0.2

注: T:表示乔木; S:表示灌木; H:草本; “+”表示在地上植被中出现的物种。

表2 不同处理类型土壤种子库间的共有种数量及相似性

Table 2 Number of species in common and the similarities among soil seed banks of degraded grassland and *Eucalyptus* plantation with different treatments

处理/物种数	共有物种数/相似性指数			
	BG	UG	BE	UE
BG/12	1	10/0.714	9/0.818	11/0.786
UG/16		1	9/0.692	13/0.813
BE/11			1	11/0.815
UE/16				1

两者的顺序是相反的,这说明岗松是火烧处理后土壤种子库的优势物种。假臭草和山黄麻的密度值和储量比例与岗松有趋同变化,说明这两种植物也是火烧迹地土壤种子库的优势物种。

从土壤种子库物种组成的生活型种类数来看, BG 和 BE 这两种处理(与 UG 处理相比)能影响生活型的分布,使得土壤种子库中灌木和草本种类减少。结果表明, BG 与 UG 均以草本种类数量最多,但 BG 的种类数量占总种类的比例高于 UG (66.7%(BG)>56.6%(UG)); 灌木次之,但 UG 种类数量占总种类的比例高于 BG (37.25%(UG)>33.3%(BG)); 乔木最少,仅 UG 有一种(占 6.3%)。UE 与 BE 均无乔木树种,也以草本为主, UE 种类数量占总种类的比例高于 BE (75.0%(UE)>54.5%(BE)), 灌木次之。四种处理

的草本种类各不相同,但是灌木种类大致相同(变化范围 4-6 种),主要为岗松、山黄麻、野牡丹和玉叶金花。上述结果表明,火烧主要影响土壤种子库草本种类储量,对灌木影响不大,而人工造林可大大增加草本种类。

土壤种子库生活型个体组成比例与生活型物种组成之间有差异(表 3 和表 4)。从生活型在土壤种子库的储量上来看,各处理均以灌木为主,草本次之,乔木最少(仅 UG 中有山苍子,占总储量的 0.3%)。四种处理的土壤种子库中,灌木所占比例范围为 65%~75%,变化幅度不大,而各处理的草本个体组成比例则与灌木的相反,这表明本实验中火烧处理对土壤种子库生活型的影响主要表现在草本上,对灌木影响不大。

表3 不同处理下土壤种子库物种多样性

Table 3 Species diversity of soil seed banks of degraded grassland and *Eucalyptus* plantation with different treatments

处理类型	生态优势度(C)	丰富度指数(R)	Shannon-wiener 指数(H')	Simpson 指数(D)	均匀度指数(E)
BE	0.709	1.497	0.722	0.290	0.301
BG	0.421	1.528	1.230	0.578	0.495
UG	0.319	2.040	1.450	0.680	0.523
UE	0.356	2.177	1.466	0.644	0.529

2.1.4 土壤种子库物种多样性特征

从表 4 可以看出, UE 和 UG 土壤种子库的丰

表 4 土壤种子库和地上植被的相似性

Table 5 The similarities between soil seed bank and aboveground vegetation of degraded grassland and *Eucalyptus* plantation with different treatments

处理类型	土壤种子库 萌发物种数	地上植被出 现物种数	两者共有 物种数	相似性 系数
BG	12	43	10	0.36
UG	16	40	12	0.43
BE	11	44	9	0.33
UE	16	30	12	0.51

富度指数和 Shannon-Wiener 指数较高, 而 BG 和 BE 的较低, 与各处理下种子库物种数变化一致, 均呈递减趋势。以 UE 和 BE 的相差幅度最大, UE 比 BE 高 31.2%, UG 也比 BG 高出 20.2%。Simpson 指数所反映的结果与其他指数稍有不同, 但整体上也表现为经火烧处理的多样性指数更低。这表明火烧处理对土壤种子库的物种多样性组成有影响, 造林对物种多样性的增加未表现出明显作用。

四种处理的土壤种子库生态优势度依次为: BE > BG > UE > UG。可以看出, 生态优势度与丰富度、多样性具相反趋势, 如 BE 的土壤种子库中物种种类少, 但岗松在种子库中的数量占绝对优势有关, 从而使得生态优势度显著增加 (表 1)。

均匀度指数所表现出的趋势与物种丰富度和多样性指数一致, 也与生态优势度指数相反。以不火烧造林的草坡均匀度最大, 说明林内土壤种子库物种数量分布相对均匀, 其单优势种不突出 (表 1)。

2.2 土壤种子库与地上植被的关系

植被调查中共记录到 55 种植物, 在土壤种子库中共出现了 17 种 (表 1)。地上植被的物种丰富度都要高于土壤种子库, 尤其是地上植被的优势物种米碎花 (*Eurya chinensis*)、春花木、鬼灯笼 (*Clerodendrum fortunatum*) 和梅叶冬青 (*Ilex asprella*) 等在种子库中没有发现。且在调查中发现火烧草坡和火烧后造林的草坡物种种类更丰富, 均达 40 种以上, 而不火烧草坡和不火烧造林草坡种类相对要少。土壤种子库中大部分植物都在地面植被中有发现, 但也有 4 种植物在样方中没有发现, 分别是香丝草 (*Conyzabonariensis*)、水田白 (*Mitrasacme pygmaea*)、毛麝香 (*Adenosma glutinosum*)。

如表 4 所示, UG 和 UE 的土壤种子库与地上植被的相似性系数相对要比 BE 和 BG 的高, 这说明火烧处理能影响土壤种子库和地上植被之间的关系; 但 UG 的相似性系数高于 UE, BG 及 BE 的种子库与地上植被的相似性系数也比较接近, 这可能与植造林对植被恢复作用不大或短时间内造林效果不显著有关。BE 和 BG 的共有种占各自土壤

种子库种数的比例比 UE 和 UG 的相对要高 (分别为 87.5%(BG)、81.3%(BE)、70.6%(UE)、75%(UG)), 但是占各自地上植被的比例相对要低 (分别为 23.3%(BG)、22%(BE)、41.4%(UE)、30%(UG)), 这表明火烧处理对土壤种子库和地上植被的关系有影响, 但造林处理对两者关系的影响不大。

3 讨论

3.1 不同处理下土壤种子库特征

土壤种子库储量是表征土壤种子库组成特征的一个重要指标, 它反映了植被更新种源的情况, 是影响植被更新能力的一个重要因素^[17]。实验中土壤种子库总储量之间各有差异, BG 和 BE 的储量在 884~1 507 ind·m⁻² 之间, 比 Eriksson 等 (2002) 和 Getachew Tesfaye 等 (2004) 所研究的火烧迹地土壤种子库的储量都要高^[7-8], 这表明该研究地具有较丰富的种源。已有研究表明, 火烧能促进亚灌木、多年生草本和藤本物种等来年在火烧迹地的萌发^[3]。文中结果显示, 不火烧的草坡和不火烧造林的草坡两者的土壤种子库中萌发出大量幼苗, 而火烧草坡和火烧后造林的草坡, 其土壤种子库中无论物种数量还是种类均少于前两者。这主要是因为火烧促进了土壤中种子的萌发, 减少了种子库的储量和种类, 从而促进了地面植物的更新, 使得地表植被种类增加, 这与 Keeley 等 (1998) 的研究结果相一致^[3,8-10], 但本实验中火烧主要促进了土壤种子库中草本物种的种子萌发。人工造林对土壤种子库的影响较小, 在不火烧草坡栽种桉树后的种子库储量与不火烧草坡的相比没有差异, 而火烧后种植桉树则对土壤种子库储量有显著影响, 这可能与桉树在火烧光裸地上起到了一定的遮阴效果有关^[15]。

土壤种子库的物种组成除受地面植被的组成影响外, 还受多方面干扰因素的影响, 如泥石流、水淹、捕食、火烧等^[21-23], 人为干扰往往使土壤种子库以草本居多^[21-22]。火烧使土壤种子库的物种种类及数量、物种多样性显著减少, 草本种类增加, 灌木和乔木种类减少, 生态优势度明显增大。这仍然表明火烧促进了土壤种子库中种子库的萌发, 从而减少了种子库中的物种种类, 影响了物种多样性。同时由于草本植物繁殖能力强, 能首先占据火烧迹地^[6], 火烧处理后能快速的繁育并使得种子在土壤中大量积累, 表现为土壤种子库中草本种子储量大大增加, 这些结果与 Jerry (1992) 等的研究结果均一致^[8-9, 20-22]。但本研究中灌木岗松的种子数量在所有火烧样地中均占绝对优势, 这可能是因为岗松生活史周期短, 适宜逆境生存, 也能在火烧处理后的演替初期快速占据生境并能产生丰富的种子在土壤种子库中大量积累 (表 1)。造林对土壤种子

库的物种多样性、生态优势度影响不明显,但林下植被的物种种类是四个处理中最少的(仅30种),具体原因有待进一步研究。

3.2 不同处理下土壤种子库与地上植被的关系

土壤种子库与地上植被有着密切关系,地上植被是土壤种子库中种子的重要来源之一,同时,土壤种子库是地上植被更新的重要种子来源,也是植被遭受过度干扰和灾难性事件后恢复退化植被的重要物质基础^[24]。

研究表明,不火烧草坡和不火烧造林处理下的土壤种子库和地上植被物种组成的相似性较高(分别为0.43和0.51),火烧草坡和火烧后造林处理下的土壤种子库和地上植被物种组成的相似性较低(分别为0.36和0.33)。造成这一现象的主要原因是由于前两者在土壤种子库中出现的植物几乎都能在地上植被中有发现,且土壤种子库的物种种类相对较多(均为16种)、地上植被的物种种类相对较少(分别为40和30种),而后两者土壤种子库中相对更缺乏地表植被中存在的物种。这再次说明火烧促进了土壤种子库种子的萌发,减少了土壤种子库中的物种数量和种类,使得土壤种子库对地表植被恢复和更新发挥了重要作用。同时也因为未火烧草坡和桉林的林下植被主要为芒萁占据(盖度达80%以上),而芒萁具有很强的生境竞争能力,会导致其他植物很难定居^[25]。火烧除去了大部分芒萁,在经火烧处理后的生境,更利于土壤种子库中的种子萌发,也利于其他植物提供了扩散和定居的生境,从而能增加地表植物种类^[12],这也表明对南亚热带的退化草坡采取火烧处理有利于植被恢复。研究结果表明在未火烧草坡及火烧草坡造林对土壤种子库与地上植被两者关系的影响主要表现为火烧处理的效应,不进一步讨论。

3.3 生态恢复的指导意义

已有研究表明利用土壤种子库进行植被恢复并不适宜于所有生境^[26],且由于人类的干扰所形成的退化草坡往往结构简单,生态环境差,单单通过草坡的自然恢复需要更长的时间^[11]。本研究也表明,南亚热带退化草坡土壤种子库虽储量丰富,但含有的能对植被建立和群落更新起关键作用的乔木和灌木种较少。因此,可考虑采取人为设计的恢复方式对其进行恢复^[13]。火烧又称炼山,是一种传统的农林耕作方式^[10],根据本研究结果,火烧处理能促进土壤种子库中种子萌发,能加速地表植被的更新并能增加物种多样性,在南亚热带进行草坡恢复可以考虑炼山处理。但是炼山往往会造成土壤养分和水分的流失^[27],通过调整群落结构,采用营造人工林的人工恢复方式改善立地条件,加速植被演

替和退化生态系统的恢复是比较可行的方式^[12]。本研究中,在未火烧草坡造林后土壤种子库中显著草本种类和种子数量增加,物种多样性指数也相对较高,这表明造林对土壤种子库的积累有益;但地面植被的物种数量相对较少,这可能与造林时间不够长或是选择的物种有关。在火烧后造林的效果主要表现为火烧的处理效应,但能极大的提高优势成分岗松的种子储量。岗松在四个处理的土壤种子库和地面植被中均是优势成分,该物种耐贫瘠、繁殖力强,是退化生境的先锋植物^[28],能促进贫瘠逆境的恢复。

上述结果表明,在南亚热带地区的退化草坡采用炼山(火烧)和造林的方式能加速恢复进程,但应考虑烧山强度和造林树种的生态效益及经济效益,如烧山后土壤水分及矿质营养变化、烧山后萌生大量的草本对经济林有何影响等。以华南地区典型人工林的造林效益来看,乡土混交林和马占相思(*Acacia mangium*)林效果好^[12],尤其可以考虑种植固氮效果较好的豆科植物马占相思,该树种能大大增加土壤含量,生产更多的有机质^[29]。

4 结论

火烧能促进退化草坡土壤种子库中种子的萌发,有利于增加退化草坡地表植被的种类和促进植被恢复,但在雨季前后火烧可能会导致水土流失。

对退化草坡采用种桉树的方法进行植被恢复短期内效果不明显,虽然能极大的提高地面优势物种种子在土壤种子库中的积累,但恢复进程较慢,因而当地许多村民喜欢先炼山再种桉树。

对退化草坡采取火烧并植造林的方法进行植被恢复,其对土壤种子库的效果主要表现为火烧处理的效应,对种桉树的经济效益影响如何则需结合进一步的研究来分析。

对南亚热带退化草坡的恢复可以考虑采用构建马占相思林或豆科混交林以恢复乔木层植被,促进林下植被的多样性。甚至可以建立各种复合农林业生态模式,以发展生态效益,并带来社会效益和经济效益^[12]。

致谢: 本研究是基于中国科学院鹤山丘陵综合试验站共和实验样地完成,感谢傅声雷、申卫军等研究员对论文撰写提供的帮助,感谢林永标老师、杨勇等协助植被调查,感谢邢福武老师及杨东梅等协助鉴定物种。

参考文献:

- [1] Roberts H A. Seed banks in soils[M]//Advances in Applied Biology. London: Academic Press, 1981: 1-55.
- [2] 杨跃军,孙向阳,王保平. 森林土壤种子库与天然更新[J]. 应用生

- 态学报, 2001, 12(2): 304-308.
Yang Yuejun, Sun Xiangyang, Wang Baoping. Forest soil seed bank and natural regeneration[J]. 2001, 12(2): 304-308.
- [3] Keeley J E, Fotheringham C J. Mechanism of smoke-induced seed germination in a post fire chaparral annual[J]. *Journal of Ecology*, 1998, 86: 27-36.
- [4] 王俊, 白瑜. 土壤种子库研究的几个热点问题[J]. *生态环境*, 2006, 15(6): 1372-1379.
Wang Jun, Bai Yu. The Hot topics and perspectives of soil seed bank research[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(6): 1372-1379.
- [5] Enright N J, Lamont B B. Seed banks, fire season, safe sites and seedling recruitment in co-occurring *Banksia* species[J]. *Journal of Ecology*, 1989, 77: 1111-1122.
- [6] 刘广菊, 于文先, 郭颖涛. 次生林火后演替过程中物种变化及相互关系[J]. *森林工程*, 2008, 24(4): 1-5.
Liu Guangju, Yu Xianwen, Guo Yingtao. Changes of species and relationship in post-fire succession of natural secondary forest[J]. *Forest Engineering*, 2008, 24(4): 1-5.
- [7] Eriksson I, Demel T, Granström A. Response of plant communities to fire in an *Acacia* woodland and a dry Afromontane forest, southern Ethiopia[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 177: 39-50.
- [8] Getachew T D, Assefa T Y, Masresha Fetene. The impact of fire on the soil seed bank and regeneration of Haremma forest, southeastern Ethiopia[J]. *Mountain Research and Development*, 2004, 24(4): 354-361.
- [9] Uhl C, Clark K H, Murphy P. Early plant succession after cutting and burning in the upper Rio Negro region of the Amazon basin[J]. *Journal of Ecology*, 1981, 69: 631-649.
- [10] 唐勇, 曹敏, 张健侯. 刀耕火种对山黄麻林土壤种子库的影响[J]. *云南植物研究*, 1997, 19(4): 423-428.
Tang Yong, Cao Min, Zhang Jianhou. The impact of slash and burn agriculture on the soil seed bank of *Trema orientalis* forest[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, 19(4): 423-428.
- [11] 张经纬. 华南退化草坡研究[J]. 北京: 科学出版社, 1994, 127-151.
Zhang Jingwei. Study on the sloping field in South China[J]. Beijing: Science Press, 1994: 127-151.
- [12] 任海, 杜卫兵, 王俊, 等. 鹤山退化草坡生态系统的自然恢复[J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3593-3600.
Ren Hai, Du Weibing, Wang Jun, et al. The natural restoration of degraded rangeland ecosystem in Heshan hill land[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3593-3600.
- [13] 任海, 刘庆, 李凌浩. 恢复生态学导论[M]. 2版. 科学出版社, 2008.
Ren Hai, Liu Qing, Li Linghao. Introduction to Restoration Ecology[M]. 2nd edition. Beijing: Science Press, 2008.
- [14] 李秀珍, 孔繁花, 李月辉, 等. 大兴安岭北坡火烧迹地自然与人工干预下的植被恢复模式初探[J]. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 30-34.
Li Xiuzhen, Kong Fanhua, Li Yuehui, et al. Model of vegetation restoration under natural regeneration and human interference in the burned area of northern Daxinganling[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 30-34.
- [15] 梁启英. 对桉树人工林生态问题争论的思考[J]. *桉树科技*, 2005, 22(1): 23-28.
Liang Qiyong. Views on the dispute over ecological issues of eucalyptus plantation[J]. *Eucalypt Science and Technology*, 2005, 22(1): 23-28.
- [16] Liangmin W. The soil seed bank and understorey regeneration in *Eucalyptus regnans* forest, Victoria[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1997, 22: 404-411.
- [17] 张玲, 方精云. 秦岭太白山 4 类森林土壤种子库的储量分布与物种多样性[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 131-136.
Zhang Ling, Fang Jingyun. Reserves and species diversity of soil seed banks in four types of forest on Mountain Taibai, Qinling Mountains[J]. *Biodiversity*, 2004, 12(1): 131-136.
- [18] 张玲, 李广贺, 张旭. 土壤种子库研究综述[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(2): 114-120.
Zhang Ling, Li Guanghe, Zhang Xun. A review on soil seed banks study[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2): 114-120.
- [19] TerHeerdt G N, Verweij G L, Bekker R M, et al. An improved method for seed bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving[J]. *Functional Ecology*, 1996, 10: 144-151.
- [20] 沈有信, 张彦东, 张萍, 等. 云南北部泥石流多发干旱河谷区不同干扰对土壤种子库的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(5): 623-629.
Shen Youxin, Zhang Yandong, Zhang Ping, et al. Effects of disturbance types on soil banks in a debris-flow prone dry valley of northern Yunnan[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(5): 623-629.
- [21] 王正文, 祝廷成. 松嫩草地水淹干扰后的土壤种子库特征及其与植被关系[J]. *生态学报*, 2002, 22(9): 1392-1398.
Wang Zhengwen, Zhu Yancheng. The seed bank features and its relations to the established vegetation following flooding disturbance on Songnen steppe[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1392-1398.
- [22] Ferrandis P, Herranz J M, Martinez-Sanchez J J. The role of soil seed bank in the early stages of plant recovery after fire in a *Pinus pinaster* forest in SE Spain[J]. *Wildland Fire*, 1996, 6(1): 31-35.
- [23] Jerry S. The role of seed banks in vegetation dynamics and restoration of dry tropical ecosystems[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1992, 3: 57-360.
- [24] 赵丽娅, 李锋瑞, 王先之. 草地沙化过程地上植被与土壤种子库变化特征[J]. *生态学报*, 2003, 23(9): 1745-1756.
Zhao Liya, Li Fengrui, Wang Xianzhi. Characteristics of soil seed bank and standing vegetation change in sandy grasslands along a desertification gradient[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1745-1756.
- [25] 袁宜如, 葛刚, 叶居新. 芒萁的生化他感作用[J]. *植物杂志*, 1999, 2: 36-37.
Yuan Yiru, Ge Gang, Ye Juxin. The allelopathy of *Dicranopteris pedata*[J]. *Plants*, 1999, 2: 36-37.
- [26] 张咏梅, 何静, 潘开文, 等. 土壤种子库对原有植被恢复的贡献[J]. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(3): 326-332.
Zhang Yongmei, He Jing, Pan Kaiwen, et al. Potential contribution of the soil seed banks to the restoration of native plants[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(3): 326-332.
- [27] 沙丽清, 邓继武, 谢克金, 等. 孟盈西双版纳次生林火烧前后土壤养分变化的研究[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(6): 513-517.
Sha Liqing, Deng Jiwu, Xie Kejin, et al. Study on the change of soil nutrient before and after burning secondary forest in Xishuangbanna[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(6): 513-517.
- [28] 彭少麟, 方炜. 鼎湖山森林群落演替过程林下种群的演变[C]//生物多样性研究进展-首届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 中国科学技术出版社, 1995: 3-7.

Peng Shaolin, Fang Wei. Changes of underbrush species of Dinghushan Mountain Forest community in the succession process[C]/Biodiversity Committee, the Chinese Academy of Sciences, Department for Wildlife and Forest Plants Protection, the Ministry of Forestry. Advances in biodiversity research-proceedings of the first national symposium on the conservation and sustainable use of biodi-

versity. Beijing: Science Press, 1995: 3-7.

[29] 段文军. 亚热带退化草坡及典型人工林林下植物多样性形成机制[D]. 中国科学院华南植物园, 2007: 55.

Duan Wenjun. Formation Mechanism of Plant Species Diversity in Degraded Grassland and Typical Plantations in South China[D]. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2007: 55.

Effects of prescribed fire and planting *Eucalyptus urophylla* on the soil seed bank of degraded hilly land in lower subtropical China

Li Danyan^{1,2}, Ren Hai^{1*}, Wang Jun^{1,2}, Li Pingheng^{1,2}, Wu Jianping^{1,2}

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

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: The effects of prescribed fire, planting *Eucalyptus*, combining prescribed fire and planting *Eucalyptus* on the soil seed bank of degraded hilly land were investigated by using the seed germination method in Heshan, Guangdong. Our results showed that: (1) Prescribed fire significantly reduced seed density and species richness in soil seed bank. The composition of dominant seed species was simplified and the species diversity was reduced. The Sorensen's similarity coefficient between the seed bank and the standing vegetation was lowered. Species composition between the seed bank and the standing vegetation was significantly different. (2) Planting *Eucalyptus* had no effect on the seed density, life form, and the number of co-occurring species both in the soil seed bank and the standing vegetation, yet, the species of annual herbs increased. (3) The combined effects of prescribed fire and planting *Eucalyptus* on the soil seed bank were similar to those of prescribed fire. Seed density of dominant species increased in the soil seed bank, whereas the seed density of annual herbs decreased. These results indicated that prescribed fire was helpful to accelerate restoration the vegetation of degraded hilly land in lower subtropical China, but planting *Eucalyptus*, combining prescribed fire and planting *Eucalyptus* had little effects in short term.

Key words: prescribed fire; degraded grassland; planting *Eucalyptus*; soil seed bank