

## 研究報告

## 惠蓀林場土壤種子庫組成

吳博昕<sup>1</sup> 蔡尙憲<sup>2</sup> 邱清安<sup>1,3</sup> 王偉<sup>1</sup> 曾喜育<sup>1,\*</sup> 呂金誠<sup>1</sup>

【摘要】被干擾和劣化的森林生育地恢復是生態復育的重要工作之一，而土壤種子庫和人工造林是有效重建和加速修復退化生育地的方法。土壤種子庫被視為植群潛在更新的重要組成，在自然復育過程中扮演重要的角色。本研究即以種子發芽法調查惠蓀林場第三林班集水區內臺灣杉、香杉及臺灣肖楠等3種人工林，以及火燒跡地和次生林等5種植物社會之土壤種子庫組成與空間分布，並探討植被復育過程中，歸化植物對土壤種子庫影響。本試驗共發芽出14,752株種子苗，計有36科82屬97種，平均種子密度達10,927粒/ m<sup>2</sup>；其中，菊科(16種)、禾本科(11種)及莎草科(10種)是本研究種子庫出現物種數最優勢的前三科。種子密度最高的為臺灣杉人工林(23,411粒/ m<sup>2</sup>)，其次依序為臺灣肖楠人工林(11,293粒/ m<sup>2</sup>)、火燒跡地(10,563粒/ m<sup>2</sup>)、杉木人工林(6,467粒/ m<sup>2</sup>)、次生林(2,904粒/ m<sup>2</sup>)；種子庫組成物種數以臺灣肖楠人工林(63種)最高，依次為臺灣杉人工林(57種)、火燒跡地(51種)、杉木人工林(49種)及次生林(47種)。儲量前三名物種依序為母丁香、倒地蜈蚣和揚波，合計占種子庫種子儲量一半以上。人工林種子庫組成主要以草本為主，而火燒跡地和次生林則以灌木為優勢，各植物社會之土壤種子庫種子優勢組成不盡相同。山黃麻是土壤種子庫前十名中唯一的喬木植物，且在各植物社會均有分布，可能反映出其鳥類傳播的特性。土壤種子庫分布在空間上有顯著差異，土壤深度和植物社會影響種子庫儲量，除枯枝落葉層外，愈深的土層含愈少的種子。植物社會內的土壤種子庫儲量相近，但植物社會間則有顯著差異。火燒跡地歸化植物種類及種子儲量最高，而人工林土壤種子庫尚未受到歸化植物入侵。不同人工林之間土壤種子庫組成相似性相對較高，人工林與火燒跡地、次生林的相似性較低。本研究結果顯示，土壤種子庫之種子組成與儲量受前期植群、造林樹種、撫育措施、過去及現生地上部植群、植群演替過程，以及種子傳播等影響。

【關鍵詞】土壤種子庫、人工林、干擾、演替、歸化植物

## Research paper

## Soil Seed Bank Composition of Hui-Sun Experimental Forest Station

1. 國立中興大學森林學系，402臺中市國光路250號。

Department of Forestry, National Chung-Hsing University 250 Kuokwang Rd., Taichung 402, Taiwan.

2. 環球科技大學環境資源管理系，64063雲林縣斗六市鎮南路1221號。

Department of Environmental Resources Management, TransWorld University. No. 1221, Jhennan Rd., Douliou City, Yunlin Country 64063.

3. 國立中興大學實驗林管理處，40227臺中市國光路250號。

Experimental Forest, National Chung Hsing University. 250 Kuokwang Rd., Taichung Country 40227, Taiwan.

\* 通訊作者。Corresponding author, e-mail: erecta@dragon.nchu.edu.tw

Phone number: (04)2284-0345#142

Tuan-Hsin Wu<sup>1</sup> Shang-Te Tsai<sup>2</sup> Ching-An Chiu<sup>1,3</sup> Wei Wang<sup>1</sup>  
Hsy-Yu Tzeng<sup>1,4</sup> King-Cherng Lu<sup>1</sup>

**【Abstract】** Restricting disturbance and degraded forest habitat recovery has been one of the important ecology resilience tasks. Soil seed bank and forest plantation are the effective rebuilding methods to speed up the degraded forest habitat recovery. As the potential population in plant regeneration, soil seed bank plays a significant role for the vegetation restoration. This study used seed germination to investigate the seed banks in one burned areas, one secondary forest and three types of forest plantation, *Taiwania cryptomerioides*, *Calocedrus formosana* and *Cunninghamia lanceolata*, at the watershed of the third forest compartment in Hui-Sun Experimental Forest Station, and explored the influence of naturalized plants on the soil seed bank. There were 14,752 seeds sprouted in total. There were 36 families, 82 genera and 97 species with average density 10,927 seeds/m<sup>2</sup>. Among these, Asteraceae (16 species), Poaceae (11 species), and Cyperaceae (10 species) were the top three families with more species numbers in the soil seed bank. The forest plantation of *Taiwania cryptomerioides* had the highest density (23,411 seeds/m<sup>2</sup>) followed by *Calocedrus formosana* forest plantation (11,293 seeds/m<sup>2</sup>), burned area (10,563 seeds/m<sup>2</sup>), *Cunninghamia lanceolata* forest plantation (6,467 seeds/m<sup>2</sup>), and secondary forest (2,904 seeds/m<sup>2</sup>). *Calocedrus formosana* forest plantation had the highest species number (63 species) of the soil seed bank composition, and then *Taiwania cryptomerioides* (57 species), burned area (51 species), *Cunninghamia lanceolata* forest plantation (49 species), and secondary forest (47 species). The soil seed bank of forest plantation was mainly composed of herbaceous species while burned area and secondary forest had more shrubs. The top three quantity in the soil seed bank were *Torenia flava*, *Torenia concolor*, and *Buddleja asiatica*, occupied over 50% of the total quantity in soil seed bank. And the main quantities of soil seed bank composition between five vegetation communities were different. However, *Trema orientalis* is the only tree species of the top ten quantities in the soil seed bank. There was a significant difference in the space distribution of seed bank, and the soil depth and vegetation community influenced the remaining quantity in the soil seed bank. Other than the litter layer, the deeper the soil layer was, the fewer the seeds. Even though the soil seed bank remaining quantity was similar within the vegetation communities, there were still significant differences among the vegetation communities. Burned area had the highest amount of naturalized plants and seed remaining quantity while the soil seed bank in forest plantation hadn't been invaded by naturalized plants. The similarity of the soil seed bank compositions among different forest plantation was comparatively higher, but the similarity of the soil seed bank was lower among forest plantation, burned area and secondary forest. The results showed that the composition of soil seed bank was affected by early-stage vegetation, forest plantation, nurture measures, past and current aboveground vegetation, vegetation succession process, and seed dispersal, etc.

**【Key words】** soil seed bank, forest plantation, disturbance, succession, naturalized plants

## 一、前言

人工林經營從過去的單純強調木材生產，轉向永續的木材生產與生態保育兼顧；近年來，人工栽植普遍被認為是有效重建和加速修復退化生育地的方法 (Haggard *et al.*, 1997; Parrotta *et al.*, 1997; Cusack and Montagnini, 2004)。人工林的生長和結構、生物多樣性保護與恢復、林下原生樹種定植與生長等方面的研究愈發引起學術界的高度重視 (尹華軍等, 2011)。在劣化地人工栽植可減少土壤沖蝕並增加生物多樣性，有助於植群演替。在持續受到自然或人為干擾的熱帶天然林中，立地將漸漸退化或完全消失，然而，若沒有受到更強烈的干擾，演替過程最終可能導致再生植群回到初始狀態 (Senbeta and Teketay, 2002)。

土壤種子庫 (soil seed bank) 被視為植群潛在更新的重要組成，在植被自然復育過程中扮演重要的角色 (張志權等, 2000; 宋壺彬等, 2010; Falinska, 1999)。土壤種子庫意指地上部植群的種子透過各種散佈機制落於土壤表層，扣除被動物取食、失去活性而腐爛及發芽的種子，剩餘部分以休眠狀態保存於土壤或枯枝落葉層中具活性的種子 (Fenner and Thompson, 2006)。土壤種子庫對於闡明植物社會植群演替的機制、預測演替趨勢、研究族群動態，以及經人為或天然力干擾的立地更新動態 (regeneration dynamics) 等研究極為重要 (張乃航等, 1998; 臧潤國, 1998; Garwood, 1984; Higo *et al.*, 1995; Guariguata, 2000)。

為了解惠蓀林場土壤種子種類組成及數量，以及建立人工林和火燒等干擾破壞後植被的演替趨勢，本研究針對惠蓀林場相同集水區的第三林班3種人工林、火燒跡地和次生林等5種植物社會進行土壤種子庫研究，以期建立 (1) 惠蓀林場土壤種子庫組成及其空間分布特性；探討 (2) 在植被復育過程中，土壤種子庫受歸化植物入侵的影響；以及 (3) 不同植物社會之土壤種子庫物種組成相似性。

## 二、材料與方法

### (一) 研究區概況

國立中興大學惠蓀實驗林場位於臺灣中部山區，北緯24°2'至24°6'之間，東經120°59'至121°59'之間，海拔約454-2,419 m。由第三林班內氣象觀測站資料顯示，1983-1992年間之年均溫約為21.0°C，年雨量2,685 mm，平均相對溼度約83%。本區森林植物社會之優勢組成有臺灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)、樟樹 (*Cinnamomum camphora*)、香桂 (*C. subavenium*)、小梗木薑子 (*Litsea hypophaea*)、白匏仔 (*Mallotus paniculatus*)、菱果石櫟 (*Pasania synbalanos*)、五蕊虎皮楠 (*Daphniphyllum glaucescens* subsp. *oldhamii* var. *oldhamii*) (呂金誠等, 1994)。

### (二) 樣區設置

本研究於2011年10月在國立中興大學惠蓀實驗林場第三林班之33年生臺灣杉 (*Taiwania cryptomerioides*)、24年生臺灣肖楠 (*Calocedrus formosana*) 和33年生杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 等3種人工林，以及松風山火燒跡地 (2001年2月18日發生火燒) 和次生林等共5種植物社會，分別各設置3個樣區20 m × 20 m的正方形樣區，共15個樣區；所有樣區均分布於約313.6 ha的集水區內，海拔707-853 m。每個樣區等分成16個5 m × 5 m的次樣區；土壤種子庫之土樣採集點位於樣區中央的4個次樣區中各自隨機設置1個15 cm × 15 cm的小區 (圖1)，每個小區以取土工具小心挖取5個土層，即枯枝落葉層 (L)、0-5 cm層 (II)、5-10 cm層 (III)、10-15 cm層 (IV) 和15-20 cm層 (V)，分別裝入塑膠封口袋中運回溫室，共有300袋土壤樣本，採樣面積13,500 cm<sup>2</sup>，土樣體積為270,000 cm<sup>3</sup>。

臺灣杉人工林的林分密度為447.1株/ha，林下以弓果黍 (*Cyrtococcum patens*)、火炭母草 (*Polygonum chinense*) 等為優勢地被；臺灣肖楠人工林的林分密度為433.3株/ha，地被組成以柏拉木 (*Blastus cochinchinensis*)、

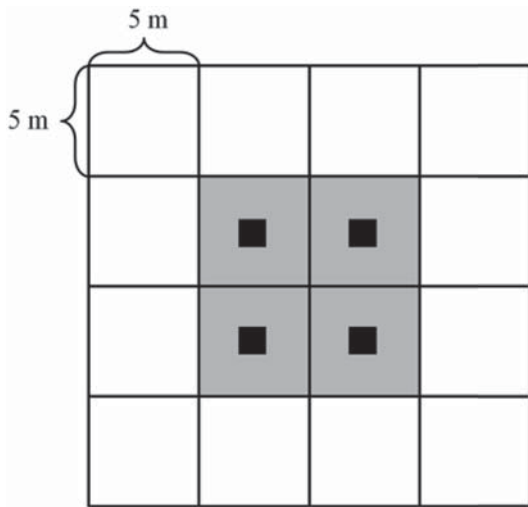


圖1. 惠蓀林場土壤種子庫樣區設置示意圖。黑色部份 (15×15 cm) 為土壤種子庫取樣位置。

Fig. 1. Schematic diagram of soil seed bank plot set at Hui-Sun Experimental Forest Station. The black parts are sampling location of soil seed bank.

淡竹葉 (*Lophatherum gracile*) 等為優勢；杉木人工林的林分密度為600株/ha，地被以淡竹葉、三叉虎 (*Melicope pteleifolia*) 為主要組成；次生林以石櫟 (*P. glaber*)、白匏仔、野桐 (*M. japonicus*)、香楠 (*Machilus zuihoensis*)、小梗木薑子、臺灣黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana*)、白柏 (*Sapium discolor*) 等為上層優勢喬木，玉山紫金牛 (*Ardisia cornudentata* var. *morrisonensis*)、三叉虎、天台烏藥 (*Lindera aggregata*) 及五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 等為較優勢地被灌叢與草本組成；火燒跡地以臺灣二葉松、栓皮櫟 (*Quercus variabilis*) 等木本植物，以及五節芒、桔梗蘭 (*Dianella ensifolia*) 等草本植物組成火燒干擾疏林形相。

### (三) 土壤種子庫調查

本研究土壤種子庫研究法採用發芽法，將取回土壤樣本均勻鋪置於長60 cm、寬40 cm、

高10 cm的塑膠發芽容器中，土壤厚度保持在1 cm以內；在土樣鋪置前，於發芽容器底層裝設孔隙為1 mm × 1mm的紗網，並在紗網上層鋪置一層蛭石，以避免土壤樣本內的種子從發芽盆排水孔流失，並保持土壤濕潤。將裝填土壤樣本的發芽容器置於中興大學森林學系北溝苗圃溫室內，溫室為全日照環境，每日上午8時和下午5時以自動灑水器定時灑水15分鐘；自土樣安置完成後，定期觀察發芽盆內種子發芽之幼苗，鑑定物種並記錄其數量。調查過程中，將已記錄的種子苗移除，令土樣內其餘種子苗可以充分生長；無法確定的物種，則移植於花盆內栽培直到足以鑑定為止。溫室內設置空白組 (僅鋪設紗網和蛭石)，以偵測是否受外來種子汙染試驗。物種鑑定之植物種類學名依Flora of Taiwan第2版第6冊 (Boufford *et al.*, 2003) 處理；歸化植物參照張芷熒 (2007)、陳運造 (2006) 之資料。

### (四) 資料分析

記錄各土壤樣本所發芽的種子苗物種及其數量，統計種子庫出現各物種之數量，並依草本、灌木、喬木及藤本植物等5類植物生活型 (life form) 進行分類。由於種子庫的資料通常並非常態分布 (Hyatt, 1999)，且以本研究資料繪製QQ圖 (Q-Q plot) 可知種子數的分布不具常態性，因此將原始數據進行自然對數 ( $\ln x$ ) 轉換，再進行後續分析。利用巢氏變方分析 (nested ANOVA) 針對植物社會之間及樣區間的土壤種子庫的種類組成與種子儲存量進行比較。為了解土壤種子庫在空間分布的差異，以二因子變方分析 (two-way ANOVA) 檢定植物社會間和土層間的差異，並以Tukey's HSD多重比較法進行事後檢定。本研究採用Jaccard相似度指數 (劉棠瑞和蘇鴻傑, 1983) 探討不同植物社會及不同樣區間的種子庫物種相似性。上述的分析皆以統計軟體SPSS 12.0進行。

## 三、結果

### (一) 土壤種子庫組成

惠蓀林場第三林班土壤種子庫發芽試驗中，共發芽出14,752株種子苗，鑑定出種子苗種類有36科82屬97種；其中，菊科 (Compositae) (16種)、禾本科 (Poaceae) (11種) 及莎草科 (Cyperaceae) (10種) 是本研究種子庫出現物種數最優勢的前三科。出現物種數最多的是臺灣肖楠人工林，有63種，其次依序為臺灣杉人工林 (57種)、火燒跡地 (51種)、杉木人工林 (49種) 及次生林 (47種)，然而不同植物社會之土壤種子庫種類數目差異不顯著 (表1)；其中，3種人工林造林樹種之種子並未在本研究發芽試驗過程中出現。土壤種子庫之種子儲量豐富的前三科為玄參科 (Scrophulariaceae) (6,655株)、馬錢科 (Loganiaceae) (1,906株) 及茜草科 (Rubiaceae) (1,179株)。惠蓀林場第三林班總平均種子密度為10,927粒/ m<sup>2</sup>，臺灣杉人工林的種子密度最高 (23,411粒/ m<sup>2</sup>)，其次依序為臺灣肖楠人工林 (11,293粒/ m<sup>2</sup>)、火燒跡地 (10,563粒/ m<sup>2</sup>)、杉木人工林 (6,467粒/ m<sup>2</sup>)、次生林 (2,904粒/ m<sup>2</sup>)。

土壤種子庫組成儲量前三名物種依序

為母丁香 (*Torenia flava*)、倒地蜈蚣 (*Torenia concolor*) 和揚波 (*Buddleja asiatica*)，合計占種子庫種子儲量一半以上 (表2)。各植物社會主要土壤種子庫的優勢物種不盡相同 (表2)，土壤種子庫儲量前十名物種中，母丁香、倒地蜈蚣、煙火臺 (*Carex cruciata*)、粟米草 (*Mollugo stricta*)、野牡丹 (*Melastoma candidum*)、及散穗弓果黍 (*Cyrtococcum accrescens*) 等為人工林土壤種子庫的主要組成；此外，母丁香、煙火臺、粟米草及散穗弓果黍主要出現在臺灣杉林的土壤種子庫，其中粟米草僅在出現在臺灣杉林中；倒地蜈蚣和野牡丹主要出現在臺灣肖楠林的土壤種子庫中。闊葉鴨舌癩舅 (*Spermacoce latifolia*) 只出現在火燒跡地和次生林的土壤種子庫中；揚波在地上部較開闊的火燒跡地之種子庫呈現優勢。惠蓀林場土壤種子庫儲量前十名物種中，臺灣山桂花 (*Maesa perlaria var. formosana*) 是次生林土壤種子庫中較優勢的存在；山黃麻 (*Trema orientalis*) 是土壤種子庫前十名中唯一的喬木植物 (表2)，且在各植物社會中分布均勻。

表1. 惠蓀林場各植物社會樣區 (20 m × 20 m) 土壤種子庫之植物生活型物種數與種子數比較表

Table 1. Comparisons of species richness and seed quantity of soil seed bank of plant life forms in each community plots (20 m × 20 m) at Hui-Sun Experimental Forest Station

生活型	TC		CF		CL		BA		SF		總計
	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比	
草本	26.7±2.2	66.67	26.7±4.1	57.14	21.3±10.6	54.24	28.7±9.4	71.08	25.7±5.7	61.60	59
喬木	4.3±0.8	10.83	10.0±2.8	21.43	8.7±2.9	22.03	5.7±5.7	14.05	8.3±7.0	20.00	21
藤本	1.3±0.8	3.33	2.0±1.4	4.29	1.7±1.6	4.24	0.7±0.8	1.65	1.3±0.8	3.20	5
灌木	7.7±0.8	19.17	8.0±0.0	17.14	7.7±1.6	19.49	5.3±2.2	13.22	6.3±1.6	15.20	12
小計	40.0±4.6 <sup>a</sup>		46.7±8.3 <sup>a</sup>		39.3±16.8 <sup>a</sup>		40.3±18.1 <sup>a</sup>		41.7±15.1 <sup>a</sup>		97
草本	1,979.3±724.5	93.94	707.0±442.4	69.56	337.3±740.8	57.96	354.0±415.6	37.18	43.0±46.7	16.45	10262
喬木	47.0±7.9	2.23	91.3±28.3	8.99	80.7±55.9	13.86	53.3±73.7	5.60	48.3±67.2	18.49	962
藤本	4.7±0.8	0.22	25.7±20.2	2.53	12.3±17.1	2.12	4.0±1.4	0.42	3.0±1.4	1.15	145
灌木	76.0±44.7	3.61	192.3±74.8	18.92	151.7±92.0	26.06	540.7±823.7	56.80	167.0±279.6	63.91	3383
小計	2,107.0±777.9 <sup>a</sup>		1,016.3±565.8 <sup>ab</sup>		582.0±905.9 <sup>c</sup>		952.0±1314.4 <sup>bc</sup>		261.3±394.9 <sup>d</sup>		14752

註：TC為臺灣杉人工林，CF為臺灣肖楠人工林，CL為杉木人工林，BA為火燒跡地，SF為次生林；百分比為各生活型在該林型所占比例；數量欄為各林型的3個樣區之物種數或種子數平均 ± SD；在種子數小計上標的英文字母為Tukey's HSD多重比較法結果，具同英文字母者沒有顯著差異 (n = 3)。

表2. 惠蓀林場土壤種子庫種子儲量前十名物種

Table 2. Seed quantities of soil seed bank of the top ten species at Hui-Sun Experimental Forest Station

物種名	種子數量	生活型	各林型發芽種子數					占總種子數比例 (%)
			TC	CF	CL	BA	SF	
母丁香 ( <i>Torenia flava</i> )	3,841	草本	3,519	37	272	10	3	26.04
倒地蜈蚣 ( <i>Torenia concolor</i> )	2,679	草本	683	1,666	330	0	0	18.16
揚波 ( <i>Buddleja asiatica</i> )	1,906	灌木	45	186	58	1,598	19	12.92
闊葉鴨舌癩舅 ( <i>Spermacoce latifolia</i> )	769	草本	0	0	0	748	21	5.21
煙火薑 ( <i>Carex cruciata</i> )	653	草本	352	165	123	4	9	4.43
臺灣山桂花 ( <i>Maesa perlaria var. formosana</i> )	594	灌木	33	94	85	2	380	4.03
山黃麻 ( <i>Trema orientalis</i> )	553	喬木	126	134	92	143	58	3.75
粟米草 ( <i>Mollugo stricta</i> )	516	草本	516	0	0	0	0	3.50
野牡丹 ( <i>Melastoma candidum</i> )	401	灌木	102	170	125	0	4	2.72
散穗弓果黍 ( <i>Cyrtococcum accrescens</i> )	328	草本	289	18	10	11	0	2.22

註：TC為臺灣杉人工林，CF為臺灣肖楠人工林，CL為杉木人工林，BA為火燒跡地，SF為次生林。

本研究將惠蓀林場第三林班土壤種子庫之組成物種與種子儲量依植物生活型區分喬木、灌木、藤本及草本植物4類，其中以草本植物種數最多 (59種)，其餘分別為喬木 (21種)、灌木 (12種)及藤本 (5種)，種子儲量依次為草本 (10,262粒)、灌木 (3,383粒)、喬木 (962粒)及藤本 (145粒) (表1和3)。植物生活型之種類與種子儲量在各植物社會中變異大 (表1)，其中，草本植物種數在各植物社會佔54-71%，以杉木林的草本植物種類比例最少，火燒跡地最高；但草本植物種子儲量變在各植物社會比例變異大 (16-94%)，以臺灣杉林的草本植物土壤種子庫儲量最高，次生林最低 (表2)。土壤種子庫的喬木種數在各植物社會佔11-22%，以臺灣杉林最低，杉木林最高；而種子儲量的比例佔2-18%，以臺灣杉林最低，次生林最高 (表2)。灌木種類雖然在火燒跡地與次生林的種數比例不高 (13-15%)，但種子儲量佔其所有土壤種子庫一半以上。

## (二) 土壤種子庫中的歸化植物組成

惠蓀林場土壤種子庫出現的歸化植物共有6科13屬15種 (表4)，佔土壤種子庫組成物種的15.46%，共發芽出1,126株幼苗，占土壤種子庫儲量的7.63% (表5)。土壤種子庫出現的歸化植物之物種數以菊科 (10種) 最多，種子儲量以茜草科的闊葉鴨舌癩舅所占比例最高 (68.29%)，而闊葉鴨舌癩舅亦是惠蓀林場土壤種子儲量前十名的物種 (表2)。土壤種子庫中的歸化植物，有2種為藤本，其餘皆為草本，並無出現喬木和灌木植物。

惠蓀林場5種植物社會的土壤種子庫組成皆以原生植物為主 (表5)；其中，3種人工林土壤種子庫的歸化植物比例皆少於火燒跡地和次生林。臺灣杉人工林雖具有大量的土壤種子庫儲量，但歸化植物所占比例最低；火燒跡地的土壤種子庫具有最多的歸化植物種數和種子儲量，分別占土壤種子庫種數及種子儲量的17.02%和31.63% (表5)。

表3. 惠蓀林場土壤種子庫不同土壤深度的植物生活型物種數與種子儲量垂直分布比較表

Table 3. Comparisons on species richness and seed quantity of plant life forms of soil seed bank in different soil layers at Hui-Sun Experimental Forest Station

生活型	L		II		III		IV		V		總計	
	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比	數量	百分比		
物種數	草本	14.6±12.5	52.51	19.8±11.4	55.94	17.0±9.5	55.19	15.4±13.1	56.20	13.4±14.5	52.76	59
	喬木	7.0±9.3	25.18	7.0±5.5	19.77	5.8±3.0	18.83	4.6±5.4	16.79	4.6±3.0	18.11	21
	藤本	1.2±1.7	4.32	1.4±1.8	3.95	1.4±1.1	4.55	1.0±2.0	3.65	0.6±1.1	2.36	5
	灌木	5.0±4.9	17.99	7.2±2.6	20.34	6.6±3.6	21.43	6.4±3.9	23.36	6.8±2.2	26.77	12
	小計	27.8±28.3		35.4±21.3		30.8±17.2		27.4±24.4		25.4±20.8		97
種子數	草本	204.0±321.7	58.96	727.6±1,451.5	68.49	543.4±1,468.6	72.43	325.8±882.7	74.76	251.6±691.0	70.68	10,262
	喬木	37.2±80.5	10.75	56.6±51.7	5.33	39.4±26.3	5.25	29.4±21.4	6.75	29.8±24.4	8.37	962
	藤本	9.4±27.2	2.72	10.0±17.4	0.94	5.0±7.1	0.67	2.2±5.2	0.50	2.4±6.7	0.67	145
	灌木	95.4±177.0	27.57	268.2±589.7	25.24	162.4±339.2	21.65	78.4±78.1	17.99	72.2±108.4	20.28	3,383
	小計	346.0±606.3		1,062.4±2,110.4		750.2±1,841.2		435.8±987.4		356.0±830.5		14,752

註：L為枯枝落葉層，II為0-5 cm層，III為5-10 cm層，IV為10-15 cm層，V為15-20 cm層 (n = 5)；數量欄為5個植物社會的物種數或種子數平均 ± SD；百分比為各生活型在該土層所占比例。

表4. 惠蓀林場土壤種子庫之歸化植物組成

Table 4. Soil seed bank composition of naturalized plants at Hui-Sun Experimental Forest Station

種類	科別	TC	CF	CL	BA	SF	種子總數	生活型
闊葉鴨舌癩舅 ( <i>Spermacoce latifolia</i> )	茜草科 (Rubiaceae)	0	0	0	748	21	769	草本
野茼蒿 ( <i>Conyza sumatrensis</i> )	菊科 (Compositae)	16	9	7	62	5	99	草本
小葉冷水麻 ( <i>Pilea microphylla</i> )	蕁麻科 (Urticaceae)	3	26	0	20	26	75	草本
昭和草 ( <i>Crassocephalum rubens</i> )	菊科 (Compositae)	14	18	21	16	5	74	草本
掃帚菊 ( <i>Aster subulatus</i> )	菊科 (Compositae)	7	2	5	12	12	38	草本
紫花藿香薊 ( <i>Ageratum houstonianum</i> )	菊科 (Compositae)	0	0	0	25	0	25	草本
紫背草 ( <i>Emilia sonchifolia</i> )	菊科 (Compositae)	0	0	0	12	2	14	草本
鼠麴草 ( <i>Gnaphalium luteoalbum</i> )	菊科 (Compositae)	9	1	0	2	0	12	草本
直莖鼠麴草 ( <i>Gnaphalium calviceps</i> )	菊科 (Compositae)	0	0	7	0	1	8	草本
小花蔓澤蘭 ( <i>Mikania micrantha</i> )	菊科 (Compositae)	2	0	0	3	1	6	藤本
兩耳草 ( <i>Paspalum conjugatum</i> )	禾本科 (Poaceae)	0	0	1	1	0	2	草本
西番蓮 ( <i>Passiflora edulis</i> )	西番蓮科 (Passifloraceae)	0	0	1	0	0	1	藤本
煙草 ( <i>Nicotiana tabacum</i> )	茄科 (Solanaceae)	0	1	0	0	0	1	草本
大花咸豐草 ( <i>Bidens pilosa var. radiata</i> )	菊科 (Compositae)	0	0	0	1	0	1	草本
粉黃纓絨花 ( <i>Emilia praetermissa</i> )	菊科 (Compositae)	0	1	0	0	0	1	草本

註：TC為臺灣杉人工林，CF為臺灣肖楠人工林，CL為杉木人工林，BA為火燒跡地，SF為次生林。

表5. 惠蓀林場各植物社會的原生與歸化植物之土壤種子庫組成比例

Table 5. Soil seed bank composition ratio of native and naturalized plant in each community at Hui-Sun Experimental Forest Station

	林型	原生種		歸化種		總計
		數量	百分比	數量	百分比	
物種數	臺灣杉人工林	51	89.47	6	10.53	57
	臺灣肖楠人工林	56	88.89	7	11.11	63
	杉木人工林	43	87.76	6	12.24	49
	火燒跡地	40	78.43	11	21.57	51
	次生林	39	82.98	8	17.02	47
	總計	82	84.54	15	15.46	97
種子數	臺灣杉人工林	6,270	99.19	51	0.81	6,321
	臺灣肖楠人工林	2,991	98.10	58	1.90	3,049
	杉木人工林	1,704	97.59	42	2.41	1,746
	火燒跡地	1,950	68.37	902	31.63	2,852
	次生林	711	90.69	73	9.31	784
	總計	13,626	92.37	1,126	7.63	14,752

註：百分比為原生種和歸化種在該林型種子庫的比例。

### (三) 土壤種子庫的空間變異

對植物社會間和植物社會內(樣區間)的土壤種子庫種數進行巢狀變方分析,結果顯示植物社會內(樣區間)有顯著的差異( $F=2.911$ ,  $p=0.007$ )。種子儲量在各植物社會間呈顯著差異( $F=9.529$ ,  $p=0.002$ )，經事後檢定Tukey's HSD多重比較法發現，次生林的種子數量顯著低於其他4種植物社會(表1)。進一步檢示植物社會內(樣區間)的種子庫儲量發現，各樣區間有顯著差異( $F=2.911$ ,  $p=0.007$ )，表示種子庫儲量在水平分布上有所差異。

為進一步了解種子庫儲量在空間結構上的差異，因此針對植物社會和土層深度進行二因子變方分析，並檢測水平分布(植物社會間)和垂直分布(土層深度)間是否有交感作用，結果顯示植物社會間具顯著差異( $F=23.361$ ,  $p<0.001$ )，土層深度間也具有顯著差異( $F=9.358$ ,  $p<0.001$ )，交感項未達顯著差異( $F=1.361$ ,  $p=0.200$ )，即植物社會和土層深度不

具有交感作用，不同植物社會的種子庫儲量在垂直分布上有相似的趨勢。

分別對樣區間和土層深度的種子庫儲量進行Tukey's HSD多重比較法結果(圖2)，除了杉木人工林的第7和第8樣區有顯著差異外，在同一植物社會內的樣區差異皆不顯著，表示植物社會內的種子庫儲量大致均均質性。種子庫儲量在土層深度上具顯著差異(圖2)，在枯枝落葉層(L)中具有最少的種子數，0-5 cm層(II)具有大量的種子數，愈往下層種子含量愈少；10-15 cm層(IV)和15-20 cm層(V)的種子數和枯枝落葉層(L)沒有顯著差異。雖然種子數量會隨著土層愈深而有減少的趨勢，但各土層間的物種數和生活型比例並無太大變化(表3)，表示土壤深度不會影響生活型在種子庫中的優劣。

### (四) 植物社會間土壤種子庫的相似性

惠蓀林場土壤種子庫物種組成在人工林間相似性大致較高，而火燒跡地、次生林和其他



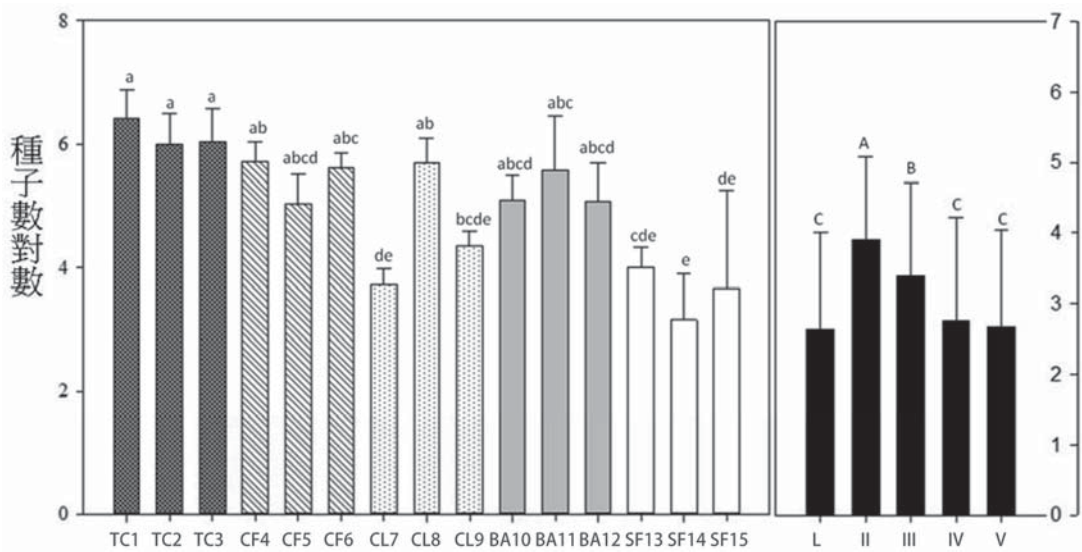


圖2. 惠蓀林場各樣區與各土層之土壤種子庫種子儲量長條圖。TC為臺灣杉人工林，CF為臺灣肖楠人工林，CL為杉木人工林，BA為火燒跡地，SF為次生林 (n = 4)；L為枯枝落葉層，II為0-5 cm層，III為5-10 cm層，IV為10-15 cm層，V為15-20 cm層 (n = 60)。長條上方不同的小寫英文字母者表示樣區間Tukey's HSD檢定具有顯著差異 (P<0.05)，不同的大寫英文字母者表示土層間Tukey's HSD檢定具有顯著差異 (P<0.05)。

Fig. 2. Seed quantities of soil seed bank in each plots and soil layers at Hui-Sun Experimental Forest Station. TC is *Taiwania cryptomerioides* plantation, CF is *Calocedrus formosana* plantation, CL is *Cunninghamia lanceolata* plantation, BA is burned area, and SF is secondary forest (n=4). L is litter layer, II is 0-5 cm layer, III is 5-10 cm layer, IV is 10-15 cm layer, and V is 15-20 cm layer (n = 60). Different lowercase above the bars indicate significant differences (p<0.05) between plots assessed by a Tukey's HSD test, and different capitalization above the bars indicate significant differences (p<0.05) between soil layers assessed by a Tukey's HSD test.

植物社會間的相似度較低 (表6和7)；尤其是位於松風山頂的第12樣區 (火燒跡地)，與第5樣區 (臺灣肖楠人工林) 相似度最低 (Jaccard相似性指數為0.163)。將同植物社會內的樣區所出現物種混合，重新計算植物社會間的Jaccard相似性 (表7)，杉木人工林和火燒跡地的相似性最低 (0.408)，而臺灣杉人工林和臺灣肖楠人工林的相似性最高 (0.579)，臺灣肖楠人工林和杉木人工林的相似度次之 (0.577)。

#### 四、討論

##### (一) 惠蓀林場土壤種子庫組成

本研究與竹東地區的人工疏伐林土壤種子庫 (物種組成67種，種子密度10,183粒/ m<sup>2</sup>) 研究 (游漢明，2000) 比較發現，兩地種子庫種子密度相近，但惠蓀林場種子庫的物種數相對較多，其可能受生育地環境、造林疏伐作業，以及植物地理分布等影響所致；由於本研究中有20種植物在試驗期間僅發芽出1株幼苗，其對於種子庫組成之儲量影響不大，但增加了物種多樣性。與相同地區之關刀溪生態系的干擾地 (50種，256,157粒/ m<sup>2</sup>) 和非干擾地 (60種，26,579粒/ m<sup>2</sup>) 研究 (蔡長宏，1997) 相比，本研究的種子密度皆低於關刀溪干擾地和非干

表6. 惠蓀林場各樣區土壤種子庫之相似性表

Table 6. Similarity of soil seed banks between plots at Hui-Sun Experimental Forest Station

樣區	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	0.49	0.53	0.43	0.41	0.38	0.31	0.49	0.37	0.35	0.24	0.28	0.40	0.32	0.34
2		-	0.57	0.46	0.47	0.44	0.36	0.53	0.36	0.41	0.27	0.24	0.36	0.28	0.27
3			-	0.50	0.40	0.50	0.36	0.51	0.37	0.37	0.33	0.27	0.37	0.34	0.30
4				-	0.55	0.54	0.41	0.58	0.49	0.53	0.41	0.24	0.48	0.45	0.36
5					-	0.49	0.39	0.50	0.41	0.38	0.30	0.16	0.36	0.33	0.30
6						-	0.38	0.55	0.43	0.38	0.28	0.24	0.43	0.33	0.33
7							-	0.53	0.45	0.27	0.23	0.18	0.35	0.38	0.33
8								-	0.50	0.38	0.27	0.21	0.44	0.39	0.27
9									-	0.33	0.28	0.19	0.43	0.35	0.28
10										-	0.46	0.32	0.40	0.38	0.32
11											-	0.33	0.35	0.31	0.29
12												-	0.29	0.26	0.33
13													-	0.41	0.32
14														-	0.54
15															-

註：1-3樣區為臺灣杉人工林，4-6樣區為臺灣肖楠人工林，7-9樣區為杉木人工林，10-12樣區為火燒跡地，13-15樣區為次生林。

表7. 惠蓀林場各植物社會土壤種子庫組成之相似性表

Table 7. Similarity of soil seed banks between communities at Hui-Sun Experimental Forest Station

植物社會	臺灣杉人工林	臺灣肖楠人工林	杉木人工林	火燒跡地	次生林
臺灣杉人工林	-	0.579	0.493	0.500	0.444
臺灣肖楠人工林		-	0.577	0.481	0.486
杉木人工林			-	0.408	0.477
火燒跡地				-	0.485
次生林					-

擾地，但種子庫物種數較高。在干擾相對較大的人工林與火燒跡地的種子庫密度皆高於干擾較低的次生林，此現象與關刀溪(蔡長宏，1997)、中國廣東省人工林(Wang *et al.*, 2009)、東非衣索比亞人工林(Senbeta and Teketay, 2002)等研究相同。

此外，本研究結果大致符合Connell (1978)的中度干擾假說，即次生林干擾低，種子儲量最低，火燒跡地干擾最大，種子儲量亦相對較低；整體而言，人工林的干擾居中，故土壤種子庫儲量是最高的。人工林中，可能因林分組成不同、結構差異(冠層長度、林冠鬱閉等)，以及枯落物厚度等因素，致使杉木的土壤種子庫儲量明顯較臺灣杉和臺灣肖楠人工林低，甚至低於火燒跡地。由於杉木的枯落物含氮量較低，不易分解(周育如和顏江河，2004；章志琴等，2006)，在林床上厚度遠較其他2種人工林高，此等枯落物特性一方面使地表植物難以生長，因而減少種子庫之種子輸入；另一方面，因枯落物較厚，致使種子難以進入土壤，或在尚未進入土壤時被其他種子捕食者或真菌感染而喪失活性(彭軍等，1998；李根柱等，2008；Igarashi and Kiyono, 2008; Wang *et al.*, 2009)。

森林植物社會中，各類樹種依其繁殖生理生態學特性，採取土壤種子庫、幼苗庫(seedling bank)、稚樹庫(sapling bank)及營養萌蘖(vegetative sprout)等更新方式維持及增加其族群數量(Garwood, 1989)。試驗研究中的次生林可視作為本研究土壤種子庫之對照組，然其地上部優勢喬木組成之種子，僅山黃麻、白柏、白匏子等演替早期之陽性先驅樹種(pioneer species)出現於土壤種子庫中，但種子儲量不多；小梗木薑子、臺灣黃杞及石櫟等演替較後期的耐陰性或極盛相(climax species)樹種則未出現於土壤種子庫中。極盛相樹種的種子掉落林床後通常在短期內發芽，並在森林下層建立幼苗庫或稚樹庫，等待適當的時機晉級生長到樹冠層；先驅性樹種在森林建立初期的

演替階段便出現，在森林逐漸鬱閉後其幼苗無法在林下生存，多以種子雨及土壤種子庫為更新來源(張乃航等，1998；林文智等，2004；Garwood, 1989)。

然在土壤種子庫組成中，種子儲量前十名僅有山黃麻屬於喬木植物，且在地上植群中並非優勢。有趣的是，山黃麻的種子儲量在各植物社會分布相當均勻，顯示此類植物可能不會受到地上部組成不同的影響而有所差異；此結果與湯冠臻等(2011)於臺中大坑次生林研究相似。由於山黃麻為臺灣中低海拔森林干擾後常見的本本先驅樹種，在形成現今各種造林地或次生林前可能已廣泛分布，致使其種子均勻散布，亦或是山黃麻的種子依賴鳥類為傳播者，使得在各林分間分布均勻(唐勇等，1998；王直軍等，2002；王俊閔等，2010)。若惠蓀林場各類林地遭受干擾，喜光照的陽性草本植物開始建立其族群，山黃麻亦開始隨之建立，因其數量豐富而成為較優勢的先驅樹種。此現象在惠蓀林場新沖積河床或崩塌地，山黃麻成為優勢組成可獲得驗證(呂福原等，1984)。

惠蓀林場土壤種子庫研究發現，人工林與火燒跡地的土壤種子庫之種子種類組成和種子儲量皆以草本最多，此與大多數土壤種子庫研究相同(張乃航等，1998；湯冠臻等，2011；Valbuena and Trabaud, 2001; Senbeta and Teketay, 2002; Wang *et al.*, 2009; Céspedes *et al.*, 2012)。次生林的土壤種子庫中，灌木植物的種子數量比例高於草本，此結果與臺灣南部多納針闊葉林研究相似(林文智等，2004)；但灌木的物種數百分比並不高，此結果顯示次生林土壤種子庫的種子儲量被少數灌木物種所支配，即臺灣山桂花的種子數佔次生林土壤種子庫儲量大部分。

由於惠蓀林場人工林下常有刈草撫育，此等作業方式使生命週期較長的灌木與喬木不易產生種子，而生命週期較短的草本植物雖也遭受刈草干擾，但仍可產生部分種子進入土壤種子庫中；反之，人為干擾較低的次生林有足夠

的時間讓灌木產生種子進入土壤種子庫中形成優勢。林冠較開闊的火燒跡地，因光照較強、土壤溫度較高等因素，土壤種子庫中草本植物的種子在此環境下多已發芽，致使草本植物種子儲量減少(唐勇等，1997)，相對的留存較多的灌木種子。

## (二) 土壤種子庫中的歸化植物組成

土壤種子庫被視為潛在族群階段，為植物族群生活史的一部份(Happer, 1977)，反映生育地環境的過去、現在與未來的植物種類與族群、植群結構與動態等訊息，對植群的重建與恢復過程具有重要的意義(Leck *et al.*, 1989)。植物社會在干擾後的恢復受到土壤種子庫組成與數量的影響，而外來歸化植物的組成與數量亦影響植群干擾後的恢復。許多歸化植物的繁殖策略採取r-生存對策(r-strategists)，植株的結實量大，種子體積小，每年會產生大量種子進入土壤種子庫中(Rejmánek, 2000)。入侵植物的發生危害，在很大的程度上依賴於土壤種子庫(張焯銀等，2005；黨偉光等，2008；鄭思思等，2009)；因此，藉由土壤種子庫物種組成及種子儲量可以推測惠蓀林場受到外來植物的入侵程度。相較於大坑地區次生林土壤種子庫(湯冠臻等，2011)，本研究結果顯示惠蓀林場土壤種子庫之歸化植物的物種數和種子數比例不高，即惠蓀林場受到外來物種的入侵程度不高，此可能反映出惠蓀林場距農耕等人類干擾區域較遠，以及周遭環境保存較原始之故。

火燒跡地土壤種子庫的歸化植物種類與儲量比例相較其他植物社會高，反映出火燒跡地相對開闊的環境除提供原生植物拓殖外，歸化植物亦開始入侵。歸化植物或入侵植物的種子通常具有風媒或鳥媒等長距離擴散能力(楊宜津，2007；劉彥彬和郭耀綸，2011；Cronk and Fuller, 1995)，生育地遭受干擾後容易造成外來植物的入侵(張芷熒，2007)。雖然火燒跡地土壤種子庫組成與儲量仍以原生種為優勢，但歸化植物的種子數比例相較物種數高，顯示火燒跡地的土壤種子庫實際上受到少數如闊葉鴨

舌痲舅等結實量大的歸化植物入侵所致。惠蓀林場土壤種子庫15種歸化植物中，以闊葉鴨舌痲舅的種子儲量最高，亦是種子儲量前十名；值得注意的是，闊葉鴨舌痲舅只出現在干擾最高的火燒跡地和干擾最低的次生林土壤種子庫中，在其他3種人工林並未發現，其原因有待更深入的研究。

另外，惠蓀林場的3種人工林土壤種子庫中，歸化植物的物種數和種子儲量比例皆不高，除了反映本區歸化植物種類較少而減少進入林地的機會外，亦可能顯示人工林撫育作業對外來物種入侵助益不大，林地仍保有原生植物土壤種子自然復舊能力。土壤種子庫被視為植被潛在更新能力重要的部分，是植被自然恢復與重建過程中重要的種源，一定程度影響植被的恢復速度與方向(張志權等，2000；宋垚彬等，2010；Falinska 1999)。雖然歸化植物對於原生植被的恢復有一定程度的影響，但惠蓀林場第三林班土壤種子庫歸化植物的組成與儲量相對較低，除火燒跡地之土壤種子庫易受歸化植物影響外，研究區域的土壤種子庫似乎可以提供相近生育地環境之森林嚴重干擾破壞後加速森林恢復使用。

## (三) 土壤種子庫的空間變異

Wang 等人(2009)研究指出，人工林相較鄰近地區的天然林通常有較高的種子儲量，但物種歧異度則較天然林低，此現象與本研究結果不盡相同；惠蓀林場3種人工林的土壤種子庫種子儲量和物種數皆多於次生林。對於時常受到撫育干擾的人工林來說，地被會維持在演替初期，而演替初期的物種大多利用種子庫的方式進行更新；相對人為干擾較輕微的次生林而言，優勢種多為演替中後期的物種，通常這些物種不是以種子庫的方式進行更新，因此人工林的種子數量高於次生林。湯冠臻等(2011)研究發現，經常擾動的生育地其土壤種子庫物種組成與儲量要比干擾程度低或未干擾的生育地來得高。由於人工林建造過程中的各種撫育刈草作業導致地被較開闊，此有利於植物種子

輸入，因而造成人工林土壤種子庫的物種數高於次生林的現象。

絕大多數的土壤種子庫種子儲量研究發現，種子數量隨著土壤深度逐漸減少（林文智等，2004；湯冠臻等，2011；Senbeta and Teketay, 2002; Wang *et al.*, 2009）。種子經由多種方式落入林內後，枯枝落葉層為種子最初進入的位置，由於接受最多陽光，因此最具發芽優勢，但同時亦無法長期保留種子，因此種子儲量是最少的（Leck *et al.*, 1989）。部分未被其他動物取食或仍具活力的持續性種子進入下層土壤，而愈下層的土壤年代愈久遠，種子進入的數量及種類亦隨之減少（湯冠臻等，2011）。土壤種子庫中各物種的垂直分布不盡相同，如直毛假地豆（*Desmodium heterocarpum* var. *strigosum*）和垂椏草（*Triumfetta bartramia*）等沒有出現在枯枝落葉層（L）；裡白鰻頭果（*Glochidion acuminatum*）等僅分布在10 cm以上的土層；臺灣蘆竹（*Arundo formosana*）和甜根子草（*Saccharum spontaneum*）等只有出現在枯枝落葉層（L）和0-5 cm層（II）。然而，不同物種的種子存在土壤深度不同，可能反映出植物的種子形態構造和大小、種子活性，以及種子進入土壤的時間等因素影響種子在土壤深度分布的變異。

惠蓀林場第三林班土壤種子庫研究僅在一個面積約313.6 ha的小型集水區內，其在未開發前之原始森植物社會組成應該是相似的；然而，本研究發現，土壤種子庫儲量前十名物種在5種植物社會間的分布不均勻，此可能反映出因人工林栽植（不同樹種、林分密度、林冠結構等差異）和各種撫育措施（刈草、除蔓、疏伐等）（Senbeta and Teketay, 2002; Sakai *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2009），次生林組成在演替過程的變化（Hyatt and Brenda, 2000），火燒干擾（Céspedes, 2012; Valbuena and Trabaud, 2001）等因素，致使土壤種子庫物種組成與種子儲量存在著空間分布的變異；而生育地適度的擾動有助於土壤種子庫組成與儲量的增加。

#### (四) 植物社會間土壤種子庫的相似性

惠蓀林場土壤種子庫雖然有一定程度的空間分布變異，但在樣區間仍受到鄰近植群的影響而有具相似性。例如第10樣區是火燒跡地中最靠近次生林及人工林的樣區，而第12樣區位於松風山頂，是距離其他植物社會最遠的樣區，研究結果發現，第10樣區種子庫所出現的物種較第12樣區相似其他植物社會的樣區；可能因火燒跡地的生育地較開闊，土壤種子庫除了仰賴過去植群所散布的種子，另外，有一部分來自鄰近植群輸入（Senbeta and Teketay, 2002）。第10樣區靠近火燒跡地和未火燒地區的交界處，容易從周圍植群輸入種子，因此種子庫物種較相似其他植物社會，而第12樣區位於松風山頂，且鄰近關刀溪流域，推測部分種子來自較遠的母樹植群提供，火燒跡地距離杉木人工林最遠，而土壤種子庫組成物種相似性也是最低。對於火燒這類大面積破壞的干擾而言，空間分布可能是影響種子庫組成的重要因素，即是說鄰近植群可能會影響火燒後植群復舊的過程（Valbuena and Trabaud, 2001）。

惠蓀林場3種人工林間的土壤種子庫物種相似性高，除了造林過程中的影響外，其一部分可能是3種人工林樣區的距離較接近的因素。3種不同人工林土壤種子庫物種組成相似，但與火燒跡地、次生林的土壤種子庫物種差異較大，推測人工林的土壤種子庫除了現生植群影響外，可能與過去存在的物種有關，而與鄰近現生的次生林的種子輸入關係較不密切。Senbeta和Teketay (2002) 在東非衣索比亞調查人工林土壤種子庫，不同人工林下的種子庫組成相似性低，認為土壤種子庫主要來自地上部現生植群和過去存在的植群。惠蓀林場不同植物社會間的土壤種子庫差異，未來仍需結合地上部植群組成與環境因子，以及造林撫育紀錄等資料作更進一步分析與探討。

## 五、結語

惠蓀林場人工林土壤種子庫組成以草本

植物的種子為優勢，因人工林下常有刈草撫育，生活週期較短草本植物可以快速產生種子，進入種子庫中；人為干擾較低的次生林有足夠的時間讓灌木散播種子進入種子庫中。生育地較開闊的火燒跡地因光照較強，通常草本植物種子在環境變化後最先發芽，因此種子庫中留存較多灌木種子。土壤種子庫種子儲量在空間分布上有顯著的差異，種子儲量因土層愈深，種子含量愈少；此外，種子庫組成與儲量在不同生育地及土壤深度出現空間及垂直結構的差異。人工林土壤種子庫歸化植物入侵程度尚低，但開闊的火燒跡地因干擾程度大，未來可能有受到歸化植物影響之虞。不同人工林間的土壤種子庫組成相似性較高，而與火燒跡地、次生林相似性低。研究結果顯示出，造林樹種、育林撫育措施、過去植群歷史、現生植群，以及種子散播等可能影響種子庫的組成與儲量。未來可配合地上部植群組成和造林資料作更進一步探討，以提供預測植群演替方向和退化地重建和修復之參考。整體而言，惠蓀林場土壤種子庫研究可提供作利用於森林干擾破壞後加速復育之參考。

## 六、引用文獻

- 尹華軍、程新穎、賴挺、林波、劉慶 (2011) 川西亞高山65年人工雲杉林種子雨、種子庫和幼苗定居研究。植物生態學報 35(1): 35-44。
- 王直軍、曹敏、李國鋒、門羅、朵戈、札圖、宗偉 (2002) 鳥類對山黃麻種子的傳播及其生態作用。動物學研究 23(3): 214-219。
- 王俊閔、邱清安、曾彥學、曾喜育、呂金誠 (2010) 臺中大坑地區植群之研究。林業研究季刊 32(4): 7-22。
- 呂金誠、李明益、歐辰雄 (1994) 惠蓀林場楠櫛林帶次生林植群生態之研究。中興大學實驗林研究報告 16(1): 1-28。
- 呂福原、歐辰雄、廖秋成 (1984) 惠蓀林場蘭島溪沖積地山黃麻植群之演替 (I)。興大實驗林研究報告 5: 11-24。
- 宋焜彬、張奇平、達良俊 (2010) 浙江天童受損常綠闊葉林實驗生態學研究 (IV): 土壤種子庫在受損常綠闊葉林恢復初期中的作用。華東師範大學學報 (自然科學版) 3: 1-9。
- 李根柱、王賀新、朱書全、朱教君、于冬梅、陳英敏 (2008) 東北次生林區枯落物對天然更新的障礙作用。遼寧工程技術大學學報 (自然科學版) 27(2): 295-298。
- 周育如、顏江河 (2004) 惠蓀林場三種林分之枯落物分解速率研究。林業研究報告 26(4): 61-74。
- 林文智、郭耀綸、陳永修、張乃航、洪富文、馬復京 (2004) 臺灣南部多納針闊葉林土壤種子庫雨森林更新。臺灣林業科學 19(1): 33-42。
- 唐勇、曹敏、張建侯、任泳紅 (1997) 刀耕火種對山黃麻林土壤種子庫的影響。雲南植物研究 19(4): 423-428。
- 唐勇、曹敏、張建侯、盛才余 (1998) 西雙版納白背桐次生林土壤種子庫、種子雨研究。植物生態學報 22(6): 505-512。
- 張乃航、馬復京、游漢明、許原瑞 (1998) 福山地區次生闊葉林土壤種子庫及幼苗動態。臺灣林業科學 13(4): 279-289。
- 張志權、束文聖、藍崇鈺、黃銘洪 (2000) 引入土壤種子庫對鉛鋅尾礦廢棄地植被恢復的作用。植物生態學報 24(5): 601-607。
- 張芷熒 (2007) 臺灣地區歸化植物侵略性評估系統之建立。國立中興大學森林系碩士論文。
- 張煒銀、李鳴光、臧潤國、咎啓杰、王伯蓀 (2005) 外來雜草薇甘菊種群土壤種子庫動態。武漢植學研究 23(1): 49-52。
- 曹敏、唐勇、張建侯、盛才余 (1997) 西雙版納熱帶森林的土壤種子庫儲量及優勢成分。雲南植物研究 19(2): 177-183。
- 章志琴、林開敏、鄒雙全、曹光球 (2006) 不同

- 調控措施對杉木枯落物分解的影響。浙江林學院學報 23(1): 65-69。
- 陳運造 (2006) 苗栗地區重要外來入侵植物圖誌。行政院農業委員會苗栗區農業改良場。
- 彭軍、李旭光、付永川、張文兵、劉玉成 (1998) 重慶四面山常綠闊葉林種子庫與生態因子灰色關聯度分析。西南師範大學學報 (自然科學版) 23(6): 700-705。
- 游漢明 (2000) 竹東林區天然闊葉林與人工疏伐林分更新之研究。國立中興大學森林學系博士論文。
- 湯冠臻、曾彥學、曾喜育、呂金誠 (2011) 臺中大坑地區次生林土壤種子庫組成之研究。林業研究季刊 33(1): 35-48。
- 楊宜津 (2007) 臺灣主要歸化植物之風險評估。慈濟大學生命科學研究所碩士論文。
- 臧潤國 (1998) 林隙 (Gap) 更新動態研究進展。生態學雜誌 17(2): 50-58。
- 劉彥彬、郭耀綸 (2011) 墾丁國家公園歸化植物種類及分布。國家公園學報 21(1): 75-87。
- 劉棠瑞、蘇鴻傑 (1986) 森林植物生態學。臺灣商務印書館。
- 蔡長宏 (1997) 關刀溪森林生態系干擾地更新之研究。國立中興大學植物學系碩士論文。
- 鄭思思、戴玲、林培、陳賢興、丁炳揚 (2009) 闊葉豐花草入侵群落物種組成及其土壤種子庫季節動態。浙江大學學報 (農業與生命科學版) 35(6): 677-685。
- 黨偉光、高賢明、王瑾芳、李愛芳 (2008) 紫莖澤蘭入侵地區土壤種子庫特徵。生物多樣性 16(2): 126-132。
- Boufford, D. E., H. Ohashi, T. C. Huang, C. F. Hsieh, J. L. Tsai, K. C. Yang, C. I. Peng, C. S. Kuoh and A. Hsiao (2003) A checklist of the vascular plants of Taiwan. In Editorial Committee of the Flora of Taiwan Second Edition, Flora of Taiwan. Department of Botany, National Taiwan University. p.15-343
- Céspedes, B., I. Torres, B. Luna, B. Pérez and J.M. Moreno (2012) Soil seed bank, fire season, and temporal patterns of germination in a seeder-dominated Mediterranean shrubland. *Plant Ecology* 213(3): 383-393.
- Connell, J. H. (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310.
- Cronk, Q.C.B. and J.L. Fuller (1995) *Plant Invaders: The Threat to Natural Ecosystems*. Chapman and Hall, London, UK.
- Cusack, D. and F. Montagnini (2004) The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 188: 1-15.
- Falinska, K. (1999) Seed bank dynamics in abandoned meadows during a 20-year period in the Bialowieza National Park. *Journal of Ecology* 87: 461-475.
- Fenner, M. and K. Thompson (2006) *The Ecology of Seed*. Reprinted. Cambridge University Press p. 67-92.
- Garwood, N. C. (1984) Seed germination in a seasonal tropical forest in Panama: a community study. *Ecological Monographs* 53(2): 159-181.
- Garwood, N. C. (1989) Tropical soil seed banks: a review. In: Leck, M. A., Parker, V. T., Simpson, R. L. (eds.) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego. p. 149-209.
- Guariguata, M. R. (2000) Seed and seedling ecology of tree species in neotropical secondary forest: management implications. *Ecological Applications* 10(1): 145-154.
- Haggard, J., K. Wightman and R. Fisher (1997) The potential of plantations to foster woody

- regeneration within a deforested landscape in lowland Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 99: 55-64.
- Happer, J. L. (1977) *Population Biology of Plant*. London. Academic Press. p.156-263.
- Higo, M., A. Shinohara and S. Kodama (1995) The regeneration behavior of major component species in the secondary forest dominated by *Pinus densiflora* and *Quercus serrata* in central Japan. *Forest Ecology and Management* 76: 1-10.
- Hyatt, L. A. (1999) Differences between seed bank composition and field recruitment in a temperate zone deciduous forest. *The American Midland Naturalist* 142(1): 31-38.
- Hyatt, L. A. and B. C. Brenda (2000) Seed bank formation during early secondary succession in a temperate deciduous forest. *Journal of Ecology* 88(3): 516-521.
- Igarashi, T. and Y. Kiyono (2008) The potential of hinoki (*Chamaecyparis obtusa* [Sieb. et Zucc.] Endlicher) plantation forests for the restoration of the original plant community in Japan. *Forest Ecology and Management* 255(1): 183-192.
- Leck, M. A., V. T., Parker and R. L. Simpson (1989) *Ecology of Soil Seed Banks*. Academic Press, San Diego. p. 118-122.
- Parrotta, J.A., J. W. Turnbull and N. Jones (1997) Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99: 1-7.
- Rejmánek, M. (2000) Invasive plant: approaches and predictions. *Austral Ecology* 25(5): 497-506.
- Sakai, A., S. Sato, T. Sakai, S. Kuramoto and R. Tabuchi (2005) A soil seed bank in a mature conifer plantation and establishment of seedlings after clear-cutting in southwest Japan. *Journal of Forest Research* 10: 295-304.
- Senbeta, F. and D. Teketay (2002) Soil seed banks in plantations and adjacent natural dry Afromontane forests of central and southern Ethiopia. *Tropical Ecology* 43(2): 229-242.
- Valbuena, L. and L. Trabaud (2001) Contribution of the soil seed bank to post-fire recovery of a heathland. *Plant Ecology* 152(2): 175-83.
- Wang, J., H. Ren, L. Yang, D. Li and Q. Guo, (2009) Soil seed banks in four 22-year-old plantations in South China: Implications for restoration. *Forest Ecology and Management* 258: 2000-2006.