

行政院農業委員會林務局委託研究計畫系列101-01-5-03

國有林地營造複層林之生態造林作業方式之研究(2/2)

Study on The Ecological Planting Practices as

Multi-storied Stand in National Forest(2/2)



委託機關：行政院農業委員會林務局羅東林區管理處

執行期間：101年06月29日至101年12月31日

執行機關：國立宜蘭大學森林暨自然資源學系

計畫主持人：林世宗 教授

共同計畫主持人：毛俊傑 助理教授

中華民國一百零一年十二月

December, 2012

摘要

由於林地劣化或遭受天然災害等，致使人工林經營區林分次生林化，降低生產力，亟需復育建造以符人工林經營目標。為探究複層林營造對林分組成結構、林木生長及地棲動物多樣性的影響。本研究於羅東事業區 66 林班生長不佳之人工林，主要造林樹種為烏心石、樟樹及相思樹。採行列疏伐改善林相並逐步更新建造為複層林，試驗之林分為疏伐帶與保留帶各 20 m(A 區)以及疏伐帶 8 m 與保留帶 10 m(B 區)，疏伐主要對象為下層灌木、小喬木及形質不良之大喬木，疏伐帶尚留存生長良好的造林木，疏伐後栽植無患子、烏心石及台灣肖楠苗木。

由影像分析技術判釋林分疏伐前後冠層鬱閉度的變化與林分空間釋放所形成的孔隙與光量。各樹種苗木經栽植一年，無患子存活率在 95% 以上，烏心石及台灣肖楠存活率約 80%，且苗高及基徑相對生長均以疏伐帶 20m 之 A 區較高，但存活率及生長在二種疏伐帶間並無顯著差異，應與疏伐帶上尚有留存木與栽植僅一年有關，苗木形質則以疏伐帶寬較小之 B 區者較呈細長形。栽植一年苗木於疏伐帶之林緣效應不明顯，但無患子苗生長不同於烏心石及台灣肖楠，應其需光性較高有關。

二種疏伐試區在作業前後地棲動物 Shannon-Wiener 指數、Simpson 指數及 Pielou 指數並無差異。然疏伐與整地期間，地棲動物目數及總數均有減少，亦可能與秋冬低溫有關，但因保留帶及疏伐栽植帶之環境不同，致差異度逐漸增大，以兩棲爬蟲類之變化較明顯。

本研究在不同疏伐帶寬作業下對於留存林木、栽植苗木生長反應及地棲動物多樣性尚未有明顯的趨勢，未來仍須進一步調查。

關鍵字：複層林、行列疏伐、林分改良、幼苗適應性、地棲動物多樣性。

Abstract

Because sites deteriorated and disturbed, the managed stand grew as secondary forest type and reduced productivity gradually that rehabilitating was required to conform the goal of man-made forest. The objectives of the projects is focus on the effects of stand composition and structure, biodiversity of ground-living animal through deteriorated plantation improvement by means of strip thinning and replanting to making multi-storied stand at 66 compartment, Luo-Dong work circle. Two strip thinning intensity were 20m thinned and unthinned width, 8m thinned and 10m unthinned width. The target of thinning were shrub and weak trees and residue some plus trees on thinned sites. After thinning, replant *Michelia formosana* , *Calocedrus formosana* and *Sapindus mukorossi* seedlings' by patch planting on November, 2011.

The spatial distribution of diverse canopy gap size after thinning were interpreted by stand canopy image analysis and light quantum surveying. The survival rate of *Sapindus mukorossi* seedlings were 95%, higher than *Michelia formosana* and *Calocedrus formosana* first year after planting. The seedling's growth performance of three species were better on wider thinned sites, and the height/collar diameter ratio of seedlings were higher on narrow thinned sites but were not significant. The different growth response of the three species between strip thinning intensity and stand side effect maybe associated that seedlings of *Sapindus mukorossi* was more shade intolerant than *Michelia formosana* and *Calocedrus formosana*.

There were no obvious difference on Shannon-Wiener, Simpson's indexes, and evenness estimation of the terrestrial fauna, comparing two type thinning sites under the before/after treatment conditions. In additions, the occurrence and order numbers of the terrestrial fauna decreased, probably regards to lower temperature, disturbed tendency and microhabitat different of the post forest thinning periods. The species composition transformation obviously occurs on the amphibian and reptile after forest thinning manipulation.

Keywords: strip thinning, multi-storied stand, forest improvement, seedling's adaptation, diversity of ground-living animal

目錄

摘要.....	I
圖目錄.....	IV
表目錄.....	VI
壹、 前言.....	1
貳、 計畫目標.....	2
參、 材料與方法.....	3
一、 試驗地概況.....	3
二、 樣區設置及林分調查.....	4
三、 林冠覆蓋度及疏伐帶之光量測量.....	5
四、 地棲動物多樣性調查.....	5
1. 試驗區地棲動物之取樣與多樣性調查.....	6
2. 不同複層林營造處理下地棲動物多樣性之資料分析與比較.....	7
肆、 結果與討論.....	9
一、 林分結構變動.....	9
1. 林分株數密度與形質表現.....	9
2. 不同複層林營造處理下地棲動物多樣性之資料分析與比較.....	10
3. 樹種組成.....	11
4. 人工林冠層水平結構變化.....	17
5. 林冠光環境調查.....	17
二、 苗木形質生長及存活表現.....	17
三、 疏伐帶林緣效應.....	20
四、 地棲動物多樣性.....	22
伍、 結論.....	35

圖目錄

圖一、試驗地位置圖	3
圖二、宜蘭地區 1981~2010 年月溫度及降雨量變化.....	3
圖三、複層林營造試驗區設置位置圖.....	4
圖四、行列疏伐帶栽植苗木配置圖.....	5
圖五、A 區疏伐前後留存林木徑級分布	11
圖六、B 區疏伐前後留存林木徑級分布.....	11
圖七、A 區疏伐前(上)及疏伐後(下)冠層鬱閉度變化情形.....	13
圖八、B 區疏伐前(上)及疏伐後(下)冠層鬱閉度變化情形.....	14
圖九、A 區疏伐前後留存林木分布情形，上圖為疏伐前，下圖為疏伐後整齊配置 之小圈點為栽植林木.....	14
圖十、B 區疏伐前後留存林木分布情形，上圖為疏伐前，下圖為疏伐後.....	15
圖十一、2012 年 9 月試驗區空地光量日域變化.....	16
圖十二、2012 年 9 月 A 區疏伐帶中間與林緣光量域變化.....	16
圖十三、2012 年 9 月 B 區疏伐帶中間與林緣光量域變化.....	17
圖十四、2012 年 1 月至 10 月日降雨量及月溫變化.....	19
圖十五、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木之存活率變動.....	19
圖十六、A 區疏伐帶中間與林緣之無患子苗木存活率變化.....	21
圖十七、A 區疏伐帶中間與林緣之烏心石苗木存活率變化.....	22
圖十八、A 區疏伐帶中間與林緣之肖楠苗木存活率變化.....	22
圖十九、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下 主要出現的 5 綱 (Class) 14 目 (Order) 地棲無脊椎動物之月或季變化 (A：昆蟲綱 (Insecta)；B：軟甲綱 (Malacostraca)；C：蛛形綱 (Arachnida)；D：唇足綱 (Chilopoda)；E：內口綱	

(Entognatha)	32
圖二十、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下 地棲動物出現目 (Order) 數之月或季變化.....	33
圖二十一、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林 下地棲動物平均捕獲個體數之月或季變化.....	34
圖二十二、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林 下地棲動物 Shannon-Wiener 指數月或季變化.....	34
圖二十三、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林 下地棲動物 Simpson 指數月或季變化.....	35
圖二十四、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林 下地棲動物均勻度 (Evenness) 指數月或季變化.....	35
圖二十五、複層林營造區域於營造前、中、後期之保留帶與疏伐帶兩種處理方式 間出現林下地棲動物目 (Order) 組成的 Sørensen 相似度百分比月或 季變化.....	36

表目錄

表一、複層林營造區域之地棲動物多樣性調查點位環境特徵.....	7
表二、2011年7月(疏伐前)A 試區林分生長調查.....	9
表三、2011年7月(疏伐前)B 區林分生長調查.....	9
表四、複層林施作前後胸徑 6 cm 以上林木株數密度(stock ha ⁻¹)	10
表五、複層林施作前後保留木之形質表現(%).	10
表六、2011年7月(疏伐前)試驗區林分主要樹種之株數及斷面積百分比.....	12
表七、2012年10月(疏伐後)試驗區林分主要樹種之株數及斷面積百分比	12
表八、無患子(上)、烏心石(中)、肖楠(下)之苗木形質表現(株)(%).....	18
表九、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木之高生長.....	19
表十、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木之基徑生長.....	20
表十一、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木栽植一年之相對生長及高/徑比表現.....	20
表十二、A 區疏伐帶苗木位置之苗木生長形質與存活率.....	21
表十三、宜蘭冬山複層林營造區域之不同營造階段保留帶與擬疏伐帶出現之地棲 動物各目、隻次數及其多樣性指數.....	25
表十四、調查前期全區與複層林營造後保留林帶與疏伐林帶出現之兩棲爬行動物 物種及其變化.....	29
表十五、冬山複層林營造前(干擾前)全區、後(干擾後)之疏伐帶(有干擾) 與保留帶(無干擾)之兩棲爬行動物物種相似度 Sørensen 指數(%) 之比較.....	30

壹、 前言

近幾年來部分林木經營區造林地及租地收回，因造林樹種由於適應性不佳或遭受颱風干擾等因素，逐漸由其它闊葉樹林木所取代，致使林分生產價值及生產力降低，必須藉由造林撫育作業恢復林分完整性。森林造林撫育作業方法視經營目標而定，森林經營區以生產木材為主，此外需兼顧水土資源保育、生物多樣性保育、遊憩及教育等功能，因此作業技術需有所調整，而如何就林分條件及生育地特性進行樹種選擇、作業方法及實際運用，尋求最佳之生態造林作業方式，為目前所必須克服的。複層林為一具發展潛力的造林作業模式，不但能維持土地之生產能力，也能保有森林公益效能，促使人工林生態系保持長期穩定生產力及生物多樣性。經由原劣化林分施行上層風倒、劣勢木之疏伐，可增加林內光度及空間，同時在林下間植苗木，以營造多樣風貌的複層人工林。然間植之林木生長，需視林內光度與下層木之生育狀況，隨疏伐形成林冠孔隙大小，光環境亦會改變，可能影響栽植或天然更新苗木之存活表現，其中光量的多寡或是植物能有效利用的光量，可能是影響森林地表幼苗存活的最重要因子，因此在適地適種的原則下，不論營造複層人工林、次生林之林相改良或天然更新，均需對目標樹種苗木於不同營造方式的生長適應、造林效益及作業實施之可行性進行檢測與評估。

本計畫目的以羅東事業區第 66 林班之人工造林地，因林分發育不佳，而採行列疏伐方式逐步調整並更新建造為複層林，由不同疏伐帶寬下各栽植樹種苗木之存活與生長適應進行調查比較、留存林木之生長表現、林緣效應及上木林冠對樹苗之影響以及由營造森林環境下小型動物及昆蟲之生物多樣性調查分析，評估複層林營造之效益，並作為後續複層林營造作業之參考。

貳、計畫目標

本計畫第一年度由勘選之羅東事業區第 66 林班之複層林試驗地，已完成原林分之組成結構與林內小型動物及昆蟲調查等建立基本資料。依行列疏伐規畫設置試驗區及栽植苗木形質調查，於 2011 年 11 月起進行疏伐後整治林地及栽植烏心石(*Michelia formosana*)、無患子(*Sapindus saponaria*)及台灣肖楠(*Calocedrus formosana*)苗木，於 20m 疏伐帶寬之栽植試驗區設四個區集，8m 疏伐帶寬之栽植試驗地設兩個區集。自 2012 年初持續定期調查栽植苗木生長、分析保留帶林木及上木對各樹種栽植苗之影響、調查不同林帶之地棲動物多樣性與小型動物組成變化等，評估以不同疏伐寬度的複層林營造效果。

重要工作項目：

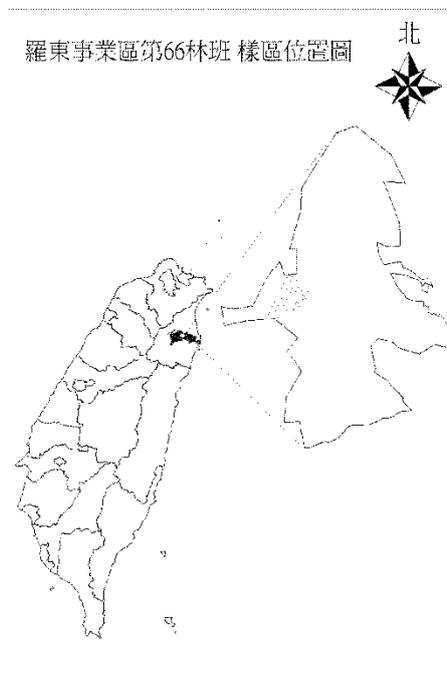
- (1)、疏伐後保留帶及疏伐帶林分組成結構。
- (2)、疏伐帶邊緣與中心微環境監測、上木位置與微環境影響。
- (3)、定期調查各疏伐帶之造林苗木存活與生長形態。
- (4)、比較在疏伐帶栽植不同樹種苗木的生長。
- (5)、比較疏伐帶林緣效應、上木位置及微環境對各種苗木生長之影響。
- (6)、複層林試驗區地棲動物之取樣與多樣性調查分析。

參、 材料與方法

一、 試驗地概況

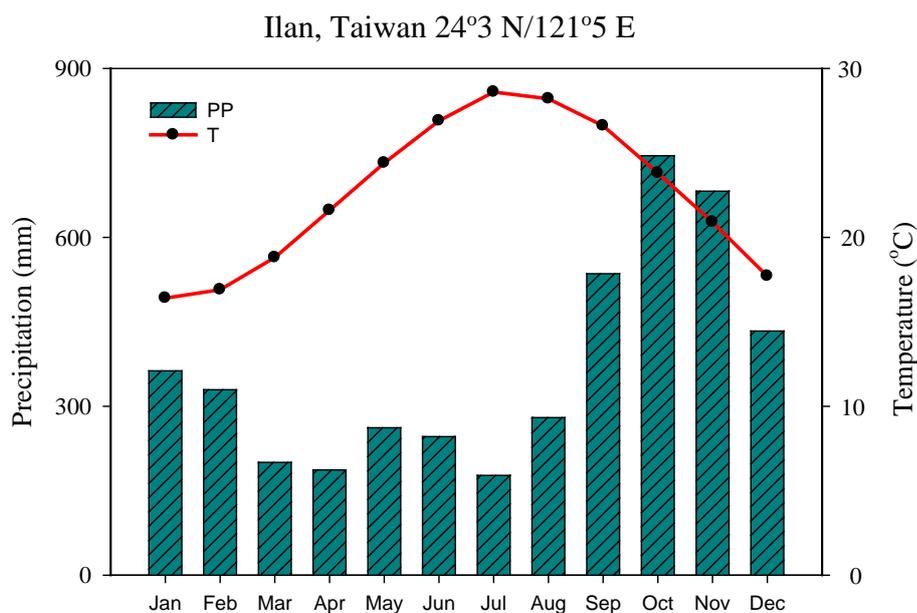
研究試驗地位於林務局羅東事業區第 66 林班，北緯 24°37'49"，東經 121°43'41" (圖一)。約在 1960 年曾有樟樹、相思樹造林，以及 1996 年的烏心石造林，烏心石栽植密度為每公頃 1666 株，於 2011 年經現場勘查，該人工林分已呈現次生林化，並有麻竹散生其中。

試驗地海拔 200~230 公尺，坡向為東南向，坡度 10~25 度，年平均溫度 22.5°C，最高月均溫出現在 7 月 28.6°C，最低月均溫則為 1 月的 16.3°C，平均相對溼度 84.2%，平均年雨量



圖一、試驗地位置圖

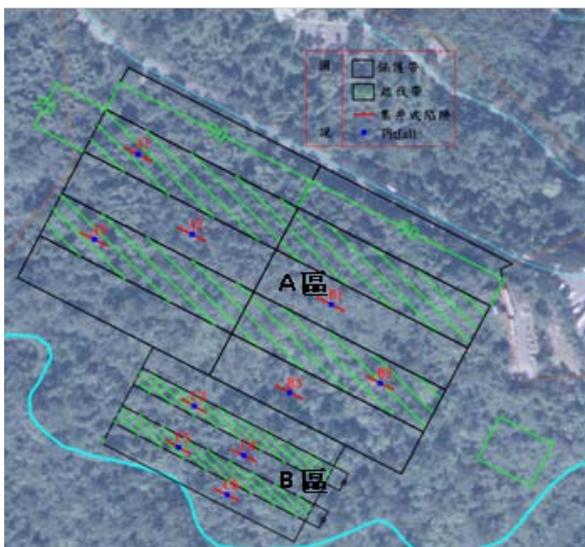
2827.7mm，降雨主要集中在 9~11 月 (圖二)(中央氣象局宜蘭氣象站，1981~2010 年)。



圖二、宜蘭地區 1981~2010 年月溫度及降雨量變化

二、 樣區設置及林分調查

經現場踏勘及以航照圖判釋，依林分地形規畫設置橫坡行列疏伐之試區（圖三）。原有林分樹種以烏心石為主，平均樹高為 8 m，疏伐帶寬設定以原林分樹冠高之 2.5 倍及 1 倍規劃為 A、B 區，A 區疏伐帶及保留帶均為 20 m，B 區疏伐帶為 8 m，保留帶為 10 m，A、B 區疏伐帶及保留帶均為 2 條。依林分空間規劃 A 區疏伐帶及保留帶長度 180 m；B 區則疏伐帶及保留帶長度 90 m(圖三)。疏伐帶上之造林木尚保留生長優勢林木為上木，僅伐除生長不良、弱勢林木及下層非造林樹種。疏伐及整地栽植作業於 2011 年 12 月完成，並分別在 2011 年 7 月(疏伐整地造林前)及 2012 年 4、10 月(疏伐整地造林後)，調查各樣區調查胸徑 6 cm 以上之林木，調查項目包括樹種、胸徑、樹高、枝下高、林木冠幅、形質及位置，形質區分為生立木、枯立木、受害木、傾斜木及叢生五種，除量測每木位置外，並記註竹類分布位置，以了解林分結構。栽植苗木樹種包括無患子、烏心石及台灣肖楠，栽植行株距以 2.5m×2m 為原則 2011 年 12 月完成栽植後(圖四)，2012 年 1 月起每季調苗木，調查項目包括苗木存活、苗高、基徑及形質。分析項目包括存活率、苗木生長與形質(苗高/基徑比)、苗木相對生長率(%)=(生長量/初始生長)×100。



圖三、複層林營造試驗區設置位置圖

註：A 區疏伐帶及保留帶均為 20 m，B 區保留帶 10 m，疏伐帶 8 m，紅線表示導板集井式陷阱

取樣位置；藍色圓點表示下凹式陷阱所在位置。

A、

烏心石	台灣肖楠	無患子	台灣肖楠	烏心石	無患子
保留帶					
無患子	台灣肖楠	烏心石	烏心石	台灣肖楠	無患子
保留帶					

B、

無患子	烏心石	台灣肖楠
保留帶		
台灣肖楠	烏心石	無患子
保留帶		

圖四、行列疏伐帶栽植苗木配置圖

註： A為20m寬疏伐區； B為8 m寬疏伐區

三、 林冠覆蓋度及疏伐帶之光量測量

為監測林分疏伐前後之冠層環境之變化，採用 NIKON D90 10 mm 魚眼鏡頭拍攝冠層照片，以 Plant canopy analysis system 5.0 判釋冠層鬱閉度，分別於 2011 年 9 月及 2012 年 8 月沿疏伐帶上採系統方式每 10 m 進行拍攝，調整水平後拍攝高度為 1.3 m 處。為比較不同疏伐寬度之林冠孔隙之光環境，量測位置分為疏伐帶中央位置，疏伐帶之上坡邊緣為上緣，下坡邊緣為下緣，於 2012 年 9 月選擇晴朗天氣時使用及 Li-190 光量感應器配合 Li-250 進行光度量測，量測時間為 7~9、11~13 及 16~17 時三時段，各量測地點，A 區取 5 樣點，B 區取 4 個樣點，每樣點重複量測 5 個點。

四、 地棲動物多樣性調查

於複層林營造試驗區未疏伐前，自 2011 年 7 月至 9 月底止，每月連續進行

一周的調查頻度，共計調查到地棲動物 27 目 6,313 隻，其中脊椎動物共計 4 目 6 科 8 種以上，分別為至少一種以上待確認的哺乳類食蟲目鼯鼠，爬行類龜鱉目地澤龜科 (Geoemydidae) 的食蛇龜 (*Cuora flavomarginata*)、有鱗目黃領蛇科 (Colubridae) 的白梅花蛇 (*Lycodon ruhstrati ruhstrati*) 及遊蛇科 (Natricidae) 梭德氏遊蛇 (*Amphiesma sauteri*)、兩棲類無尾目蟾蜍科 (Bufonidae) 的盤古蟾蜍 (*Bufo bankorensis*) 及黑眶蟾蜍 (*Duttaphrynus melanostictus*)，赤蛙科 (Ranidae) 的貢德氏赤蛙 (*Rana guentheri*)、長腳赤蛙 (*Rana longicrus*)、梭德氏赤蛙 (*Rana sauteri*) 等脊椎動物。自 2011 年冬季起，調查改為每季進行一次連續一周的林下地棲生物的多樣性調查。本年度持續針對此一區域進行疏伐與保護帶之動物多樣性比較，以評估不同寬度之疏伐帶與保留帶間之動物多樣性差異。

1. 試驗區地棲動物之取樣與多樣性調查

為了解不同複層林的營造過程中，是否對於施行營造區域之林下動物狀況造成影響，因此，本試驗研究之地棲動物多樣性調查樣區設置，採系統取樣方式進行。於 A、B 二個不同行列疏伐區，每一區設置六組調查取樣點，以保護帶及疏伐帶各等量配置三組調查樣點，進行不同疏伐帶寬度狀況下，地棲動物物種數量 (species richness) 及各種類相對豐富度 (relative abundance) 之調查及比較 (圖三)。

每一調查樣點設置一組 3 公尺長的導板集井式陷阱 (Drift-fence funnel trap) 及 1 組掉落式陷阱 (Pitfall trap) 進行地棲 (Terrestrial) 動物相的調查，調查頻度以每個月進行一次，每次連續調查一周。調查陷阱設置位置為每處理區樣帶長度的 1/3 處 (30 m) 及 2/3 處 (60 m)，隨機選取 A、B 區保留帶與疏伐帶各 3 組配置，C 區各 2 組配置的方式進行調查，陷阱之方向以平行樣帶方式設置 (圖三) 各陷阱均記錄所在地點之坡度、坡向及冠層覆蓋度等環境相關因子 (表一)，以利後續比較環境與多樣性之關聯性。

表一、複層林營造區域之地棲動物多樣性調查點位環境特徵

樣點編號	坡向	坡度	海拔(M)	GPS97(X)	GPS97(Y)
A1	320	15	243	323721	2725050
A2	196	10	240	323734	2725022
A3	128	15	245	323761	2725047
B1	120	14	241	323754	2725112
B2	120	16.5	239	323788	2725140
B3	102	11	215	323792	2725097
C3	324	5	226	323831	2725074
C4	126	16	231	323805	2725053
C5	348	11	228	323843	2725063

2. 不同複層林營造處理下地棲動物多樣性之資料分析與比較

將不同營林處理方式的各調查樣點資料合併分析，分為保留林帶及疏伐林帶兩種處理方式，所調查到的物種利用 Ecological Methodology version 6.1.1 for Windows 軟體進行多樣性分析，用以代表不同營林處理方式下的各調查樣點間，地棲動物多樣性之異同。計算的項目包括：異質性 (Heterogeneity; Shannon-Wiener Function、Simpson's Index) 及均勻度 (Evenness; Simpson's Measure of Evenness) (Krebs, 1998)。不同處理方式林地內，各調查樣點之多樣性差異比較，則採用單因子變異係數分析 (one-way ANOVA)，進行差異的檢測。

並利用 Sørensen 相似度指數，以比較各調查樣區間之物種種類組成之相近程度，以了解本研究所劃設的保留林帶與疏伐林帶間，在林木砍伐擾動開始之前、期間及之後的地棲動物種類組成的差異百分率，以了解動物相的組成種類，是否因林地的擾動，而發生組成的目 (Order) 級分類群，有轉換的現象。所使用的公式說明如下：

Sørensen 相似性係數： $C_S = 2j / (a + b)$

上述公式的 a = 樣區 A 的物種數， b = 樣區 B 中的物種數， j = 樣區共有的物種數。CS 最大值 1 時 (=100%) 表示在這兩個樣區間物種的組成式相似的；CS 最小值為 0 時 (=0%) 表示樣區間物種無相同種類出現。

肆、 結果與討論

一、 林分結構變動

1. 林分株數密度與形質表現

該人工林於 2011 年 7 月(作業前)調查林分組成與生長，調查對象為胸徑 6 cm 以上林木，並於 2012 年 4 月及 10 月(作業後)進行林分留存木調查，2011 年 7 月 A 區林分株數密度約為每公頃 1400 株，B 區株林分株數密度約為每公頃 750 株(表四)。2012 年 4 月 A 區保留帶及疏伐帶株數密度分別為每公頃 1091.7 及 627.8 株，B 區保留帶及疏伐帶株數密度分別為每公頃 622.2 及 451.4 株，胸徑 6 cm 以上林木於保留帶減少了約 20%，疏伐帶減少了約 50%；2012 年 4 月至 10 月株數密度些微上升，為保留帶部分林木在生長季期間晉級生長造成(表四)。形質表現方面，作業後形質不良林木有減少的情形，2012 年 4 至 10 月枯立木及受害木減少一半以上，為疏伐帶形成孔隙後，颱風所導致(表五)。

表二、2011 年 7 月(疏伐前)A 試區林分生長調查

A 區	烏心石	樟樹	相思樹	江某	其他
株數	387	25	20	54	434
胸徑(cm)	15.0±7.3	35.3±13.9	38.0±11.9	17.9±10.8	12.3±7.0
樹高(m)	8.1±2.4	10.4±4.4	10.8±2.4	7.4±2.5	6.1±1.9

表三、2011 年 7 月(疏伐前)B 區林分生長調查

B 區	烏心石	樟樹	相思樹	江某	其他
株數	149	6	3	13	110
胸徑(cm)	15.1±5.2	39.7±14.4	31.3±3.0	12.7±9.8	12.1±4.5

樹高(m)	8.5±2.3	12.7±3.2	9.2±2.2	7.3±2.5	6.3±1.9
-------	---------	----------	---------	---------	---------

表四、複層林施作前後胸徑 6 cm 以上林木株數密度(stock ha⁻¹)

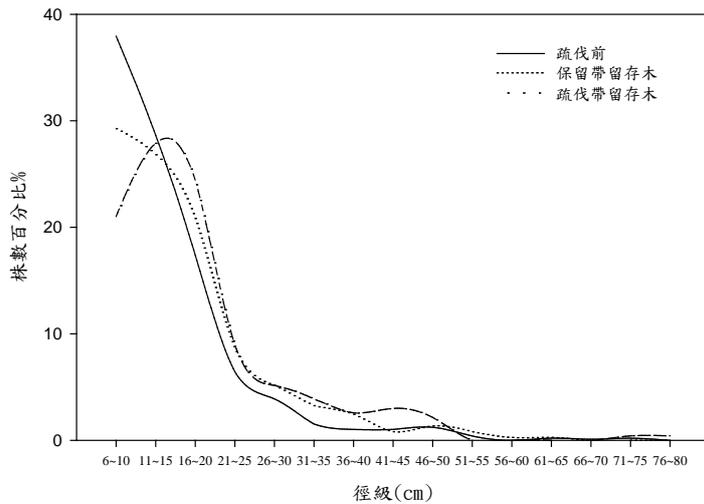
林地	2011 年 7 月		2012 年 4 月		2012 年 10 月	
	A 區	B 區	A 區	B 區	A 區	B 區
保留帶株數	1411.1	740.7	1091.7	622.2	1112.5	630.2
數變動率± %	-	-	-22.6%	-16.0%	1.9%	1.3%
疏伐帶株數	1377.8	784.7	627.8	451.4	627.8	451.4
變動率± %	-	-	-54.4%	-42.5	0%	0%

表五、複層林施作前後保留木之形質表現(%)

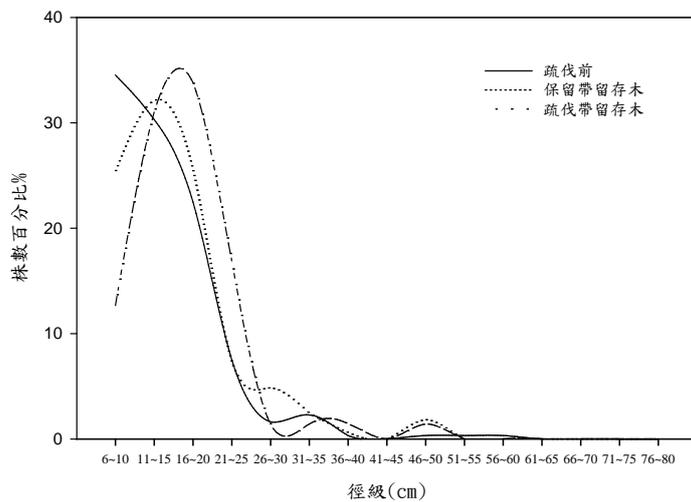
形質	2011 年 7 月		2012 年 4 月				2012 年 10 月			
	A 區	B 區	A 區		B 區		A 區		B 區	
			保留帶	疏伐帶	保留帶	疏伐帶	保留帶	疏伐帶	保留帶	疏伐帶
正常木	71.2	73.8	73.9	82.5	75.2	79.7	87.8	90.2	78.4	84.5
枯立木	11.3	10.0	9.3	3.4	9.1	1.4	2.7	2.1	3.0	0.0
受害木	11.1	10.4	10.1	10.7	11.5	14.5	3.4	3.8	3.6	4.2
傾斜木	5.2	5.2	5.4	3.0	4.2	4.3	5.8	3.8	15.0	11.3
叢生	1.1	0.6	1.3	0.4	0	0	0.3	0	0	0

2. 留存木徑級分布

在疏伐前(100 年 7 月)與疏伐後(101 年 10 月)林分徑級分布中，A 區及 B 區疏伐帶主要伐除林木徑級在 15cm 以下林木，包括生長不良之造林木及非目標之闊葉林木，15cm 以上林木仍多保留為上木(圖五及六)，就人工林分造林木徑級分布所形成的結構變化小。



圖五、A 區疏伐前後留存林木徑級分布



圖六、B 區疏伐前後留存林木徑級分布

3. 樹種組成

該人工林原主要造林樹種為烏心石，在 A、B 區株數百分比分別為 42.9% 及 51.2%，斷面積及材積百分比均低於株數百分比，顯現造林木株數主要為烏心石，但林木較小。其他主要樹種包括樟樹、相思樹及江某，株數百分比均未達 10%，但斷面積及材積百分比均高於株數百分比，為該林分主要之冠層大徑木(表六)。疏伐後，疏伐帶上以其他闊葉樹種之株數比例大幅下降，而造林樹種之斷面積比例相對增加，顯示疏伐對象為小徑級及非造林樹種林木，樹種組成級分不

結構變化小。其中烏心石平均胸徑及樹高分別為 15 cm 及 8 m，樟樹及相思樹平均胸徑及樹高在 30 cm 及 10m 以上，其它闊葉樹種主要包括江某，平均胸徑及樹高為 15cm 及 7 m，白匏仔、山刈葉及豬母乳等平均胸徑在 9~15 cm 間，平均樹高在 4~8 m 間(表二)。

表六、2011 年 7 月(疏伐前)試驗區林分主要樹種之株數及斷面積百分比

樹種	A 區		B 區	
	株數(%)	斷面積 m ² (%)	株數(%)	斷面積 m ² (%)
烏心石	387(42.9)	26.6(37.1)	149(51.2)	9.3(47.9)
樟樹	25(2.8)	8.8(12.6)	6(2.1)	2.6(13.3)
相思樹	20(2.2)	7.8(11.2)	3(1.0)	0.7(3.7)
江某	54(6.0)	5.8(9.2)	13(4.5)	0.8(4.1)
其他	434(46.1)	21.6(29.6)	110(41.2)	4.5(31.0)

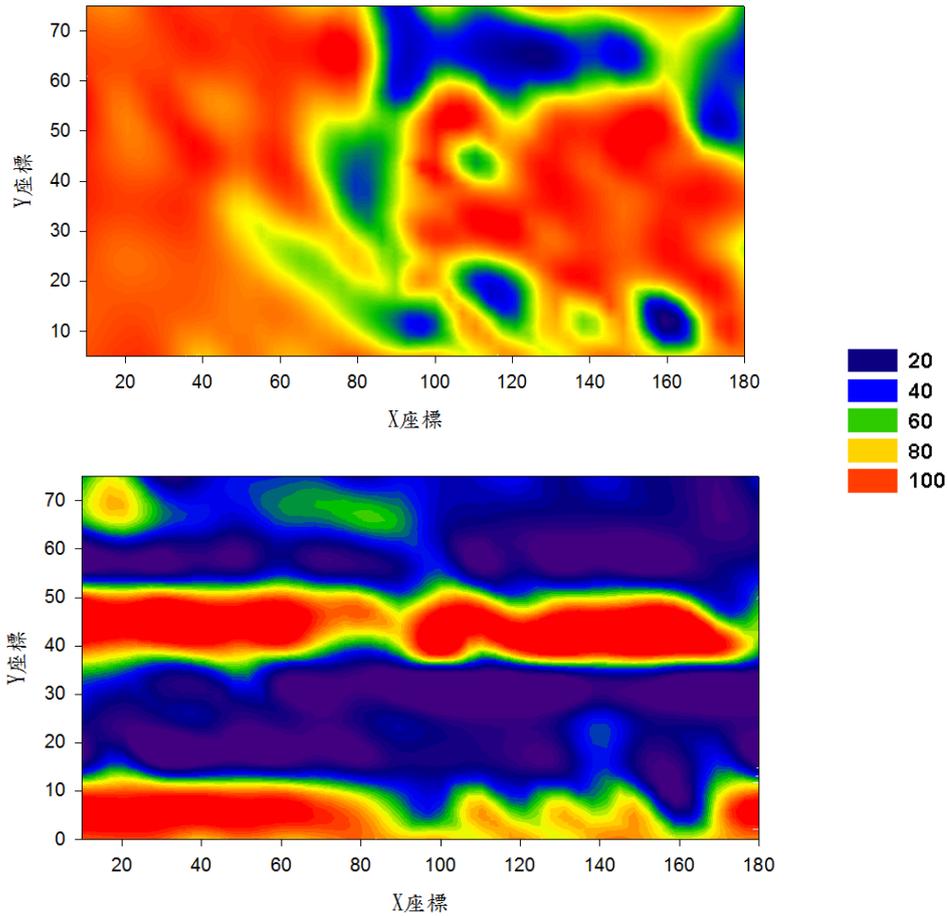
表七、2012 年 10 月(疏伐後)試驗區林分主要樹種之株數及斷面積百分比

樹種	A 區				B 區			
	保留帶		疏伐帶		保留帶		疏伐帶	
	株數%	斷面積%	株數%	斷面積%	株數%	斷面積%	株數%	斷面積%
烏心石	44.0	37.6	70.6	49.2	52.2	60.4	56.7	65.9
樟樹	2.2	7.2	5.3	21.4	3.1	9.9	1.1	9.7
相思樹	3.6	14.9	2.2	6.1	0.6	1.5	1.1	4.7
江某	9.3	11.0	7.5	11.3	5.0	5.4	2.2	0.7
其他	40.9	29.2	14.5	12.0	39.0	22.8	38.9	19.0

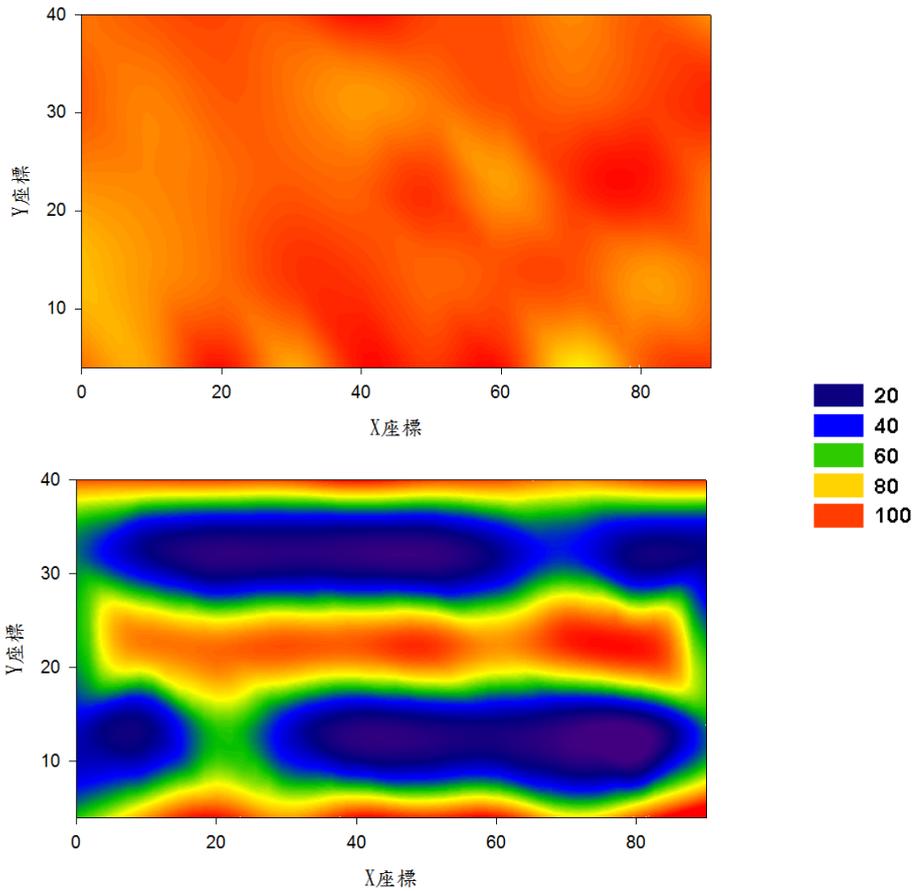
4. 人工林冠層水平結構變化

於 2011 年 9 月及 2012 年 8 月於試驗區以魚眼鏡頭每 10 m 拍攝冠層後，分析冠層鬱閉度，A 區有大小不一的孔隙出現，地表多為芒草，經疏伐後呈現橫帶林冠孔隙(圖七)，B 區則疏伐前無明顯林冠孔隙，行列疏伐後亦呈橫帶林冠孔隙(圖八)。試驗區經行列疏伐後，以疏伐前後蓋之林木定位及其冠幅調查標定林分

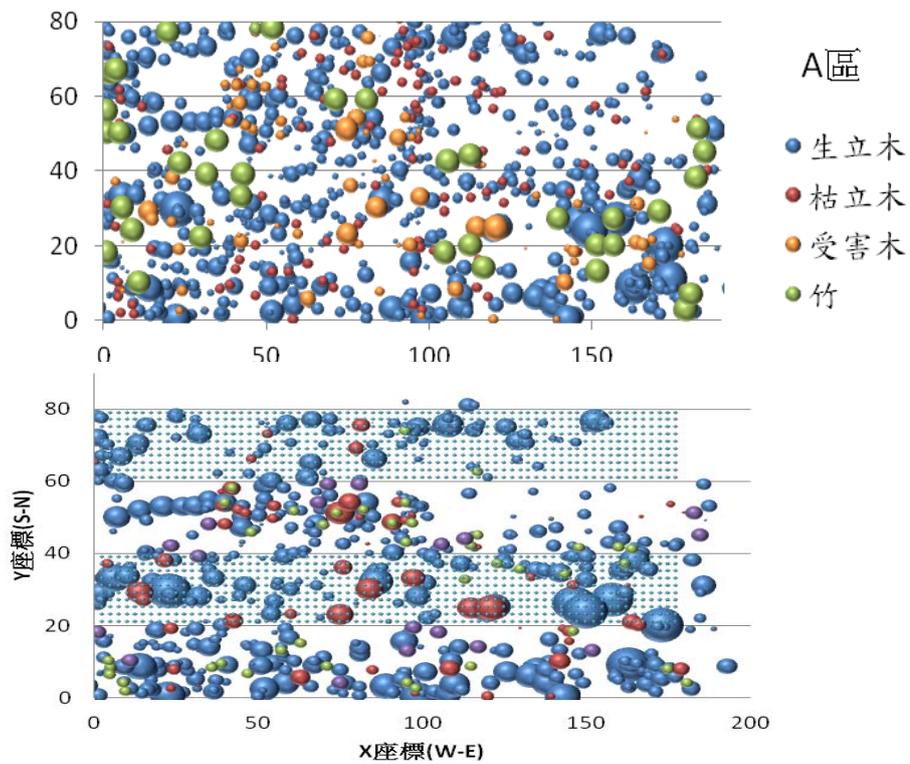
覆蓋及其孔隙分布，表現二種行列疏伐寬所形成不同林冠孔隙，且由於疏伐帶有部分樹形良好林木留存，致出現不規則的孔隙大小與分布，形成多樣化的林間生育空間的釋放，提供栽植更新林木的空間營造複層林(圖九、十)。



圖七、A區疏伐前(上)及疏伐後(下)冠層鬱閉度變化情形

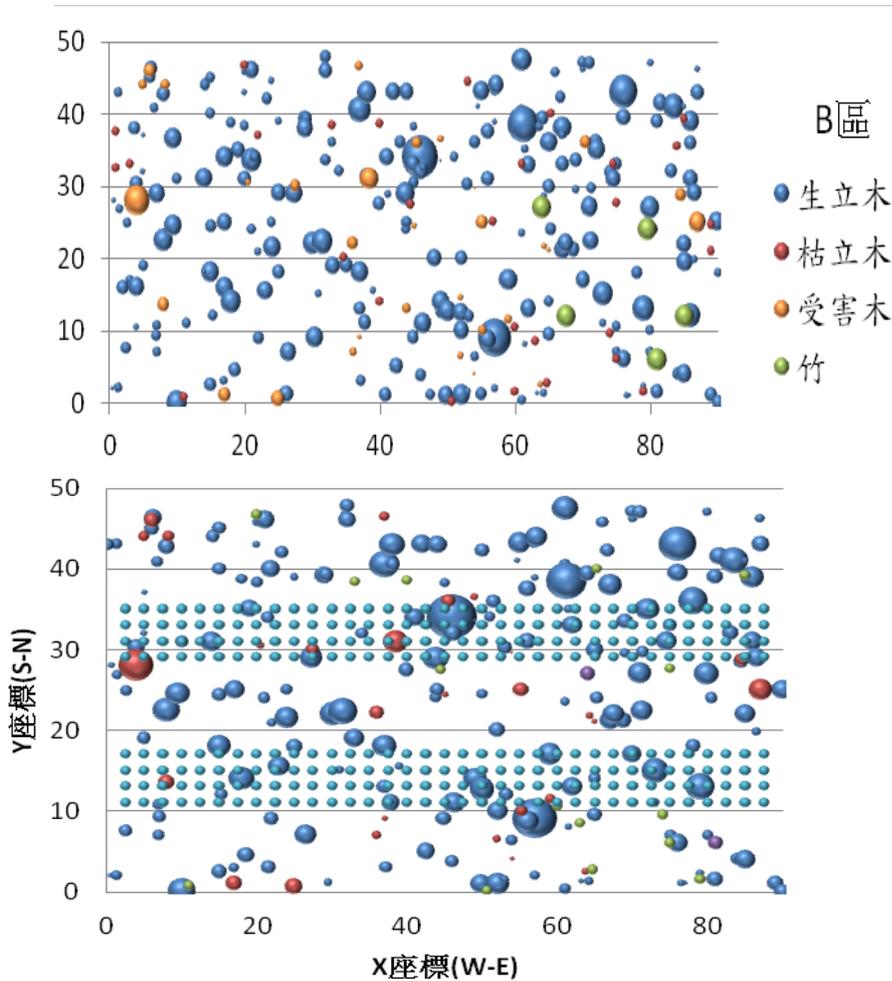


圖八、B 區疏伐前(上)及疏伐後(下)冠層鬱閉度變化情形



圖九、A 區疏伐前後留存林木分布情形，上圖為疏伐前，下圖為疏伐後整齊配置

之小圈點為栽植林木。



圖十、B區疏伐前後留存林木分布情形，上圖為疏伐前，下圖為疏伐後

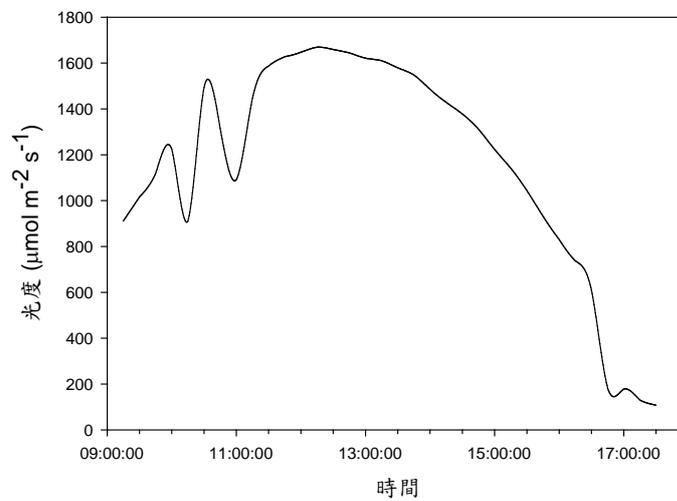
註：圓形越大表示冠幅越大，竹及枯立木以固定冠幅計算。

整齊配置之小圈點為栽植林木。

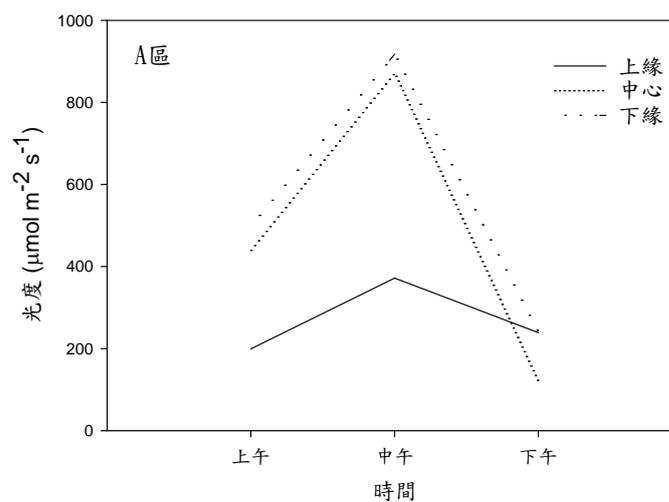
5. 林冠光環境調查

於2012年9月9:00至17:00於試驗林分外面開放之空地的量測全光日域變化(圖十一)，在9點光度約 $800-1000\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，至12~13點時可高達 $1600\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，期間有2個波動點，應為雲朵遮蔽所造成，然而光度隨時間而下降，17點時光度已降至 $200\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下。為量測不同橫坡疏伐帶寬所造成孔隙大小及其林緣接受光量之效應，量測位置分為疏伐帶之上坡邊緣為上緣，下坡邊緣為

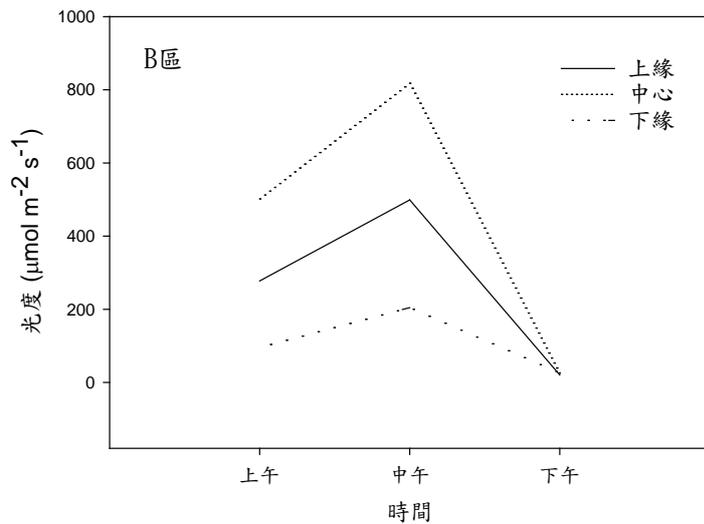
下緣，A 區疏伐帶中間、下緣區域都以上午光度逐漸升高，到中午光度呈現最高，而後下午光度逐漸降低，但由於坡度的關係，導致中、下緣區域在下午時的光度迅速下降（圖十二）。B 區疏伐帶中間與上下之林緣都以中午光度呈現最高，下午光度降低，但由於坡度與留存木的關係，下緣在上午及下午三之光度都低於 $100\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以下（圖十三）。因 A 區及 B 區地形坡向不同，致二區疏伐帶中間及二側林緣之光量變化不一致。



圖十一、2012 年 9 月試驗區空地光量日域變化



圖十二、2012 年 9 月 A 區疏伐帶中間與林緣光量域變化



圖十三、2012 年 9 月 B 區疏伐帶中間與林緣光量域變化

二、 苗木形質生長及存活表現

各疏伐帶經整治後於 2011 年年底栽植各樹種苗木，分別於 2012 年 1、4、7、10 月進行調查，無患子在栽植 1 年後，平均存活率仍在 95% 以上，烏心石及台灣肖楠在栽植 1 年後存活率降至約 80% (表八、圖十五)，各樹種存活率在 A、B 區間無顯著差異。於 2012 年 6 月有連續 17 日未降雨的情形，造成部份苗木的乾枯死亡，另外 2012 年 6 月 19 日泰利颱風、7 月 30 日蘇拉颱風及 8 月 21 日天秤颱風路經台灣，其中蘇拉颱風對宜蘭平原山地區帶來強風豪雨，對苗木造成機械性傷害 (圖十四)。其中烏心石在栽植後苗木有遭受動物啃食的情形，生長季期間大部分苗木新生葉片恢復生長，部份苗木則漸死亡。無患子苗木較大，部份苗木栽植後有傾伏，多有頂梢受害現象，但未影響生長，已漸回復。肖楠之苗木較小，出栽時平均苗高約 30cm，位於裸露地或孔隙中央的未遮蔽之栽植處有枯死的情形 (表八)。由於各樹種出栽苗木大小差異大，於各疏伐帶栽植僅一年，2012 年 1~10 月各樹種苗高生長及基徑生長變化 (表九、表十)，在 A、B 區間並無顯著差異。因此以各苗木栽植一年之生長及其初始生長之比值為各栽植樹種的苗高相對生長、基徑相對生長進行比較，在二種疏伐帶仍無顯著差異，但平均值均以大孔隙者為大 (表十一)。無患子與烏心石在不同疏伐帶，苗木高/徑比以 B 區顯著較

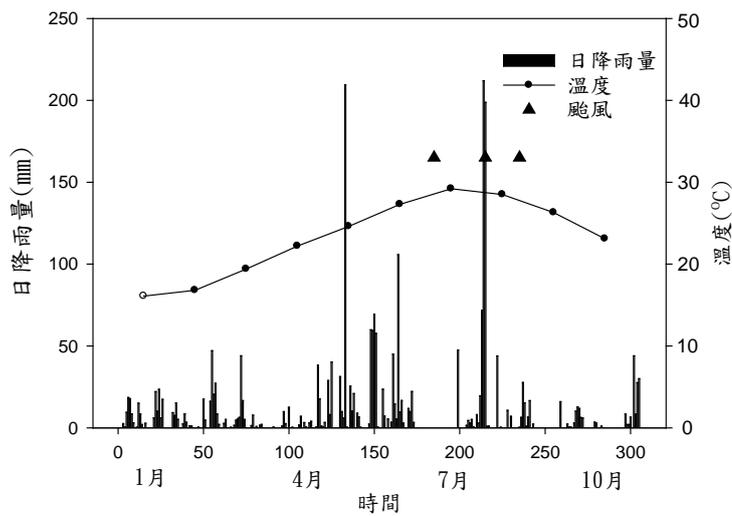
大($p < 0.01$)，台灣肖楠則無明顯差異。

表八、無患子(上)、烏心石(中)、肖楠(下)之苗木形質表現(株)(%)

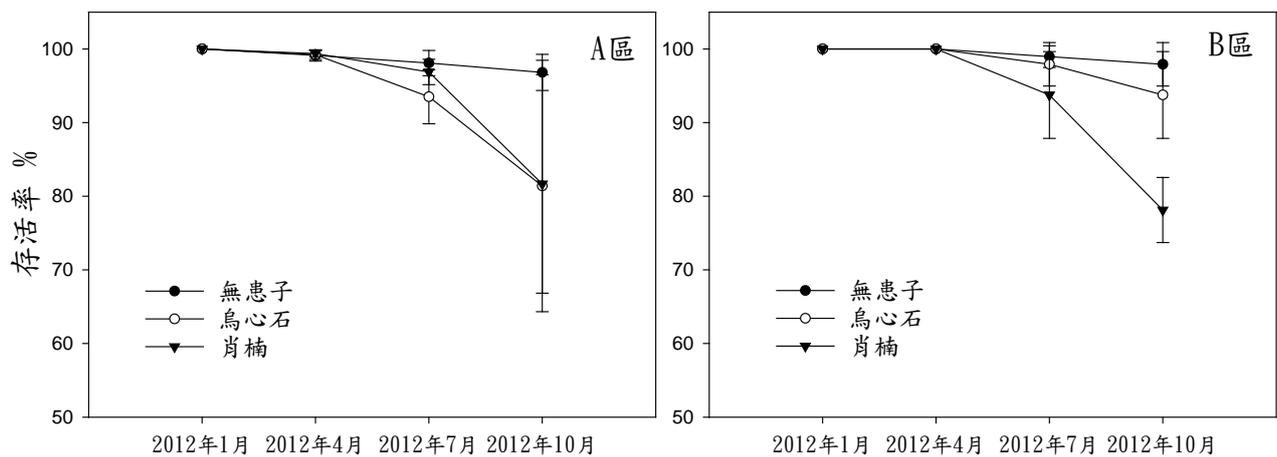
形質	2012年1月		2012年4月		2012年7月		2012年10月	
	A區	B區	A區	B區	A區	B區	A區	B區
正常木	469(100)	96(100)	337(71.9)	86(89.6)	328(69.9)	83(86.5)	296(63.1)	72(75)
枯死木	0	0	6(1.3)	0	13(2.8)	1(1.0)	17(3.6)	2(2.1)
受害木	0	0	112(23.9)	9(9.4)	112(23.9)	11(11.5)	132(28.1)	20(20.8)
傾斜木	0	0	14(3.0)	0	16(3.4)	0	24(5.1)	1(1.0)
叢生	0	0	0	1(1.0)	0	1(1.0)	0	1(1.0)

形質	2012年1月		2012年4月		2012年7月		2012年10月	
	A區	B區	A區	B區	A區	B區	A區	B區
正常木	487(100.0)	96(100.0)	452(92.8)	90(93.8)	410(84.2)	87(90.6)	341(70.0)	74(77.1)
枯死木	0	0	4(0.8)	0	21(4.3)	2(2.1)	80(16.4)	6(6.3)
受害木	0	0	31(6.4)	6(6.3)	56(11.5)	7(7.3)	66(13.6)	16(16.7)
傾斜木	0	0	0	0	0	0	0	0
叢生	0	0	0	0	0	0	0	0

形質	2012年1月		2012年4月		2012年7月		2012年10月	
	A區	B區	A區	B區	A區	B區	A區	B區
正常木	477(99.4)	96(100.0)	455(94.8)	96(100.0)	435(90.6)	88(91.7)	338(70.4)	66(68.8)
枯死木	0	0	5(1.0)	0	19(4.0)	6(6.3)	99(20.6)	21(21.9)
受害木	1(0.2)	0	3(0.6)	0	15(3.1)	2(2.1)	31(6.5)	8(8.3)
傾斜木	2(0.4)	0	17(3.5)	0	11(2.3)	0	12(2.5)	1(1.0)
叢生	0	0	0	0	0	0	0	0



圖十四、2012年1月至10月日降雨量及月溫變化



圖十五、A及B區疏伐帶各樹種苗木之存活率變動

表九、A及B區疏伐帶各樹種苗木之高生長 (cm)

樹種	疏伐帶	1月	4月	7月	10月
無患子	A區	70.6±24.2	86.4±30.8	104.6±37.6	119.4±38.3
	B區	72.5±23.3	88.1±33.5	106.9±32.9	117.6±35.6
烏心石	A區	45.3±6.4	48.5±19.3	59.5±20.1	69.9±28.1
	B區	46.5±5.4	48.2±5.5	59.5±16.9	64.9±21.0
台灣肖楠	A區	31.4±6.5	39.1±18.4	46.1±10.4	53.5±12.9
	B區	31.3±4.6	33.0±4.9	45.3±9.0	50.1±9.8

表十、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木之基徑生長 (cm)

樹種	疏伐帶	1 月	4 月	7 月	10 月
無患子	A 區	1.0±0.8	0.9±0.4	1.0±0.6	1.3±0.4
	B 區	0.9±0.4	1.1±0.8	1.0±0.3	1.2±0.4
烏心石	A 區	0.6±0.1	0.6±0.2	0.7±0.2	0.9±0.4
	B 區	0.6±0.2	0.7±0.1	0.6±0.1	0.8±0.2
台灣肖楠	A 區	0.3±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1	0.5±0.1
	B 區	0.3±0.1	0.3±0.1	0.4±0.1	0.4±0.1

表十一、A 及 B 區疏伐帶各樹種苗木栽植一年之相對生長及高/徑比表現

樹種	樣區	苗高相對生長%	基徑相對生長%	高/徑比
無患子	A	40.6±5.3 ^{ns}	25.5±15.6 ^{ns}	91.4±21.6 ^b
	B	38.3±4.4 ^{ns}	19.8±4.8 ^{ns}	103±21.4 ^a
烏心石	A	31.3±13.1 ^{ns}	25.6±10.8 ^{ns}	81.3±23 ^b
	B	28.4±3.7 ^{ns}	17.5±4.6 ^{ns}	88.3±25.3 ^a
台灣肖楠	A	41.2±2.7 ^{ns}	43.4±6.1 ^{ns}	115.2±32.4 ^{ns}
	B	37.2±3.7 ^{ns}	42.0±5.2 ^{ns}	121.8±34.2 ^{ns}

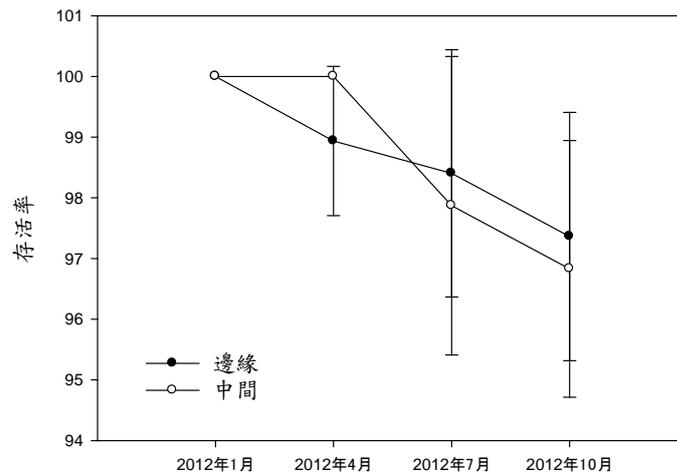
三、疏伐帶林緣效應

以疏伐帶寬 20m 中栽植的三種樹種苗高及基徑相對生長、高徑比及存活率來分析是否有邊緣效應的產生。以最接近保留帶的栽植排上下坡各 2 排共 4 排為栽植帶邊緣苗木，並選樣區中距離保留帶最遠的 2 排栽植排為栽植帶中間苗木。栽植一年之苗木其苗高相對生長、基徑相對生長、高徑比及存活率在栽植帶邊緣和中間無顯著差異(表十二)，就平均值而言，無患子苗木以栽植於疏伐帶中間者生長略大於邊緣者，烏心石及肖楠苗木則以邊緣者略大於中間者，可能與無患子

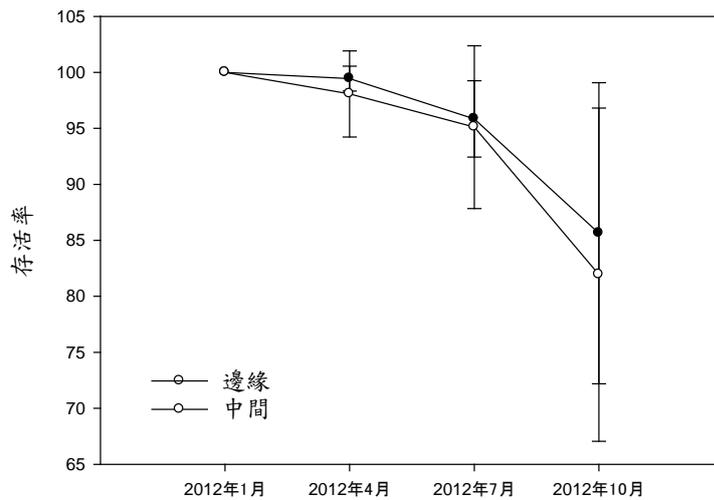
需光性較高有關；由高徑比之苗木形質表現，三種樹種苗木均以邊緣者較高的趨勢，苗木受遮陰影響呈細長形現象；存活率則均以邊緣者略高，三種樹種苗木存活率之時間變化如圖十六至十八。此等現象仍需進行後續調查比較來釐清。

表十二、A 區疏伐帶苗木位置之苗木生長形質與存活率

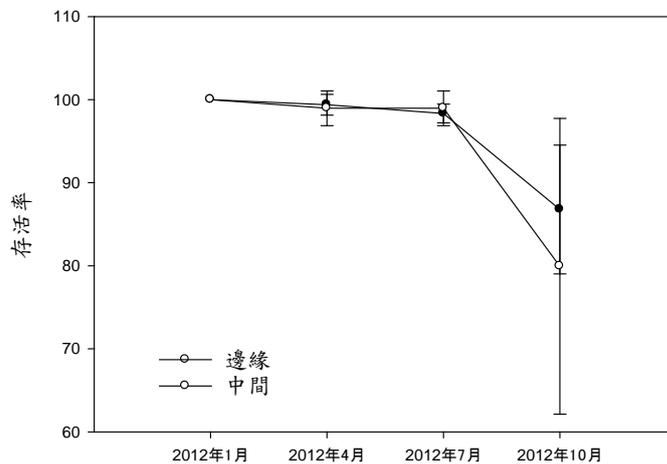
樹種	位置	苗高相對生長%	基徑相對生長%	高/徑比	存活率%
無患子	邊緣	79.5±6.7 ^{ns}	43.7±15.3 ^{ns}	98.6±6.1 ^{ns}	97.7±1.8 ^{ns}
	中間	80.2±21.8 ^{ns}	46.5±15.3 ^{ns}	96.0±4.1 ^{ns}	95.8±3.4 ^{ns}
烏心石	邊緣	64.5±22.6 ^{ns}	53.0±20.2 ^{ns}	84.4±6.1 ^{ns}	85.6±13.4 ^{ns}
	中間	63.0±23.6 ^{ns}	45.5±14.7 ^{ns}	79.7±4.9 ^{ns}	81.9±14.9 ^{ns}
肖楠	邊緣	67.6±11.5 ^{ns}	98.9±16.9 ^{ns}	114.9±4.6 ^{ns}	86.8±7.7 ^{ns}
	中間	63.2±22.0 ^{ns}	94.2±15.3 ^{ns}	112.9±11.6 ^{ns}	79.9±17.8 ^{ns}



圖十六、A 區疏伐帶中間與林緣之無患子苗木存活率變化



圖十七、A 區疏伐帶中間與林緣之烏心石苗木存活率變化



圖十八、A 區疏伐帶中間與林緣之肖楠苗木存活率變化

四、地棲動物多樣性

本研究依調查期程區分為營林前未干擾階段（2011 年 9、10 月）、林地干擾時期（2011 年 11、12 月）及造林後林地撫育時期（2012 年四季）；其中，在林地干擾時期開始，又將擾動類型區分為：保留大型林木，並進行下層林木及地被清理整地，干擾強度高的疏伐帶；以及保留原有未干擾前狀態的保留帶等，兩種不同干擾程度與形式的林地類型。

自 2011 年 9 月開始至 2012 年的 11 月中旬止，共計於計畫區域內調查到地棲動物 5,109 隻（次），分屬 11 綱（Class）33 目（Order），其中以昆蟲

綱 (Insecta) 為數量最多的類群 (65.63%, n=3,353), 其次依序為: 蛛型綱 (Arachnida) (23.12%, n=1,181)、軟甲綱 (Malacostraca) (3.37%, n=172)、唇足綱 (Chilopoda) (2.66%, n=136)、內口綱 (Entognatha) (2.49%, n=127), 其餘尚有腹足綱 (Gastropoda) (n=35)、兩棲綱 (Amphibia) (n=33)、倍足綱 (Diplopoda) (n=25)、環帶綱 (Clitellata) (n=24)、爬行綱 (Reptilia) (n=13) 及哺乳綱 (Mammalia) (n=10) 均未達 1% (表十三)。

前期未干擾階段調查 (2011 年 9-10 月), 在為期兩個月期間, 共進行 2 次調查, 每次連續進行一周, 共計調查到 10 綱、24 目 1,826 隻地棲性動物。自 2011 年 11 月起, 林地已根據原實驗劃分之依據, 整理成為保留林帶及整理林帶, 並於 12 月栽植苗木後, 完成複層林更新營造之施作。此一期間, 由於林地清理及擾動已開始, 於疏伐帶共調查到 8 綱 (Class) 21 目 (Order) 563 隻地棲性動物, 明顯少於保留帶的 9 綱 (Class) 22 目 (Order) 816 隻地棲性動物, 且調查到的動物總數及目數均少於未干擾階段, 此一現象除了林地不同規模的擾動外, 與本調查以外溫 (ectothermic) 動物為主要的調查對象, 隨著季節的變化時序逐漸進入秋冬, 氣溫降低, 導致動物活動力下降也有關聯。

干擾結束後的林地撫育期 (2012 年全年), 雖然隨著氣溫上升, 保留帶與疏伐帶出現的動物分類群及個體數量有逐漸上升的趨勢, 但是無論是保留帶或疏伐帶的調查結果, 已不及前期未干擾階段的狀態 (表十三)。在主要出現的 5 綱 (Class) 14 目 (Order) 的地棲無脊椎動物中, 隨著林地干擾前與干擾後, 各自呈現不同的豐富度出現模式, 保留帶與疏伐帶於複層林營造後呈現一致性下降的類目有等足目 (Isopoda)、蝨蟻目 (Scutigromorpha) 及盲蛛目 (Opiliones), 呈增加趨勢的有蟬蟎目 (Acarina) 與彈尾目 (Collembola), 其他類目則呈現不一的波動狀況 (圖十九)。

複層林營造前後種類變化的相似百分比, 與種類之轉換, 我們以當地取樣到的兩棲爬行動物進行比較, 在干擾前出現了白梅花蛇 (*Lycodon ruhstrati*

ruhstrati)、梭德氏遊蛇 (*Amphiesma sauteri*)、梭德氏赤蛙 (*Rana sauteri*) 及食蛇龜 (*Cuora flavomarginata*) 等森林性物種 (呂光洋等, 2002; 陳添喜, 2009), 但在複層林營造(林地干擾)之後, 開始出現蓬萊草蜥(*Takydromus stejnegeri*)、翠斑草蜥(*Takydromus viridipunctatus*)、拉都希氏赤蛙(*Hylarana latouchii*)、日本樹蛙(*Buergeria japonica*)與面天樹蛙(*Kurixalus idiotocus*) 等干擾性較高環境出現的種類 (呂光洋等, 2002; 向高世、林松霖, 2008), 而原有的森林性種類卻已不復見 (表十四), 雖然分類群 (目) 數的變化不大, 但組成的種類相似度百分比與施作之前相比, 在兩棲爬行動物部分, 有明顯偏低的情形 (表十五)。

在施作複層林前後多樣性的變化上, 在每次調查的分類群 (目) 數上, 於 2012 年春季時 (造林植苗結束後的第一次調查), 出現於保留帶與疏伐帶間之分類群多寡的差異, 最為明顯 (圖二十), 調查到的物種數的差異亦在此時達到最大 (圖二十一), 但在兩項異質性 (或稱多樣性; Shannon-Wiener 和 Simpson 指數) (圖二十二、圖二十三) 與均勻度 (Evenness) 間 (圖二十四), 並無法有效的區分保留帶與疏伐帶兩種處理方式, 有何指數間的統計分析上, 顯著的不同, 此種現象可能與這三種指數的運算與原理, 均根據群聚 (調查區域) 內的種類豐富度 (species richness) 及各物種內的個體的豐富度 (abundance), 兩者在取樣上形成的分布機率差異, 進行運算, 因此, 就算種類不同但取樣機率相似, 亦會形成相近的多樣性指數結果, 因此並無法區別類群與類群之間, 在棲息環境與生態特性上之差異。在整體種類相似狀況上, 複層林營林施作後, 保留帶與疏伐帶的地棲動物種類組成的差異百分比, 亦逐漸加大 (圖二十五), 顯示可能有種類轉換的現象, 亦即原有森林性物種, 在營林之初因地被整理過程的干擾而消失或離開, 並由耐干擾性的種類 (偏好草生地環境的種類) 進駐, 逐漸形成開闊草生地環境的動物群聚, 此種現象尤其在兩棲爬行的種類組成, 變化最為明顯。

表十三、宜蘭冬山複層林營造區域之不同營造階段保留帶與擬疏伐帶出現之地棲動物各目、隻次數及其多樣性指數

綱	目	疏伐帶								保留帶							
		2011				2012				2011				2012			
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter
哺乳綱 (Mammalia)	食蟲目 (Insectivora)	3	1					1			1		3	1			
爬行綱 (Reptilia)	有鱗目 (Squamata)	3	2	1		1			2	1					2	1	1
兩棲綱 (Amphibia)	無尾目 (Anura)	4	1				1	10	3	1	2				2	8	1
昆蟲綱 (Insecta)	半翅目 (Hemiptera)	6	4	1	3	2	8		19	9	12	3	13	9	5	5	15
	直翅目 (Orthoptera)	153	162	61	8	7	15	49	66	99	105	71	14	13	26	71	55
	長翅目 (Mecoptera)									1							
	革翅目 (Dermaptera)	4	1		1	1	3		2	2	3	3	1	2	3		1
	蜚蠊目 (Blattaria)	12	4	6	2		10	3	7	13	9	3	5	3	6	8	4
	膜翅目 (Hymenoptera)	167	95	82	15	9	100	100	52	72	83	28	26	24	54	120	11

(續表1)

綱	目	疏伐帶								保留帶							
		2011				2012				2011				2012			
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter
昆蟲綱 (Insecta)	同翅目 (Homoptera)																
	鞘翅目 (Coleoptera)	85	15	27	7	21	70	23	21	63	30	31	14	48	82	27	52
	螳螂目 (Mantodea)						1	130	3	1		1				24	
	雙翅目 (Diptera)	3	17	53	20	17	7		4	1	10	52	58	12	17		12
	鱗翅目 (Lepidoptera)	4	4	7	3	1	3	1	2	3	3	2	2	3	2		2
	等翅目 (Isoptera)						1										
	脈翅目 (Neuroptera)								1								
軟甲綱 (Malacostraca)	等足目 (Isopoda)		5	2	2	1	5	3	5		15	18	13	5	11	4	2
	端足目 (Amphipoda)	4	1		2	6	25	1	1	13	1	2	2	17	4		
	十足目 (Decapoda)						2										
倍足綱 (Diplopoda)	條馬陸目 (Polydesmida)					2		1	1					3		3	

(續表2)

綱	目	疏伐帶								保留帶							
		2011				2012				2011				2012			
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter
倍足綱 (Diplopoda)	姬馬陸目 (Julida)	2	2	1					1	2	2	2	2				
	球馬陸目 (Glomerida)																1
唇足綱 (Chilopoda)	蚰蜒目 (Scutigermorpha)	13	15	16	5	4		4	5	9	10	8	4	6	6	9	5
	地蜈蚣目 (Geophilomorpha)				1												
	蜈蚣目 (Scolopendromorpha)		1	1	1	2	2	2			2		1		3	1	
蛛形綱 (Arachnida)	蜘蛛目 (Araneae)	12	16	9	21	9	19	13	7	10	10	14	29	21	5	12	8
	盲蛛目 (Opiliones)	50	131	103	83	45	8	3	13	64	144	80	51	35	16	10	28
	蟬蟎目 (Acarina)		1	5	1	3	10	21	3		2	1	2	13	18	8	9
	擬蠍目 (Pseudoscorpionida)				1		1						1		1		
	鞭蠍目 (Thelyphonida)															1	
內口綱 (Entognatha)	彈尾目 (Collembola)				10	7	6	3	7		5		32	39	5	2	11

(續表3)

綱	目	疏伐帶								保留帶							
		2011				2012				2011				2012			
		Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Spring	Summer	Autumn	Winter
腹足綱 (Gastropoda)	柄眼目 (Stylommatophora)	4	1	1	1	4	4	3		1	1	4	4	2		3	2
環帶綱 (Clitellata)	單向蚓目 (Haplotaxida)		2			1	3		3		1	2		4	5	2	1
	目 (Order) 數	17	21	16	19	19	22	18	22	18	21	18	20	19	20	19	19
	總隻次數	529	481	376	187	143	304	371	228	365	451	325	277	260	273	319	221
		註：調查階段之劃分如為林分疏伐前 (Sep.-Oct. 2011)、整地栽植期 (Nov.-Dec. 2011) 及施作完成進行林木撫育期 (2012 年全年)															

表十四、調查前期全區與複層林營造後保留林帶與疏伐林帶出現之兩棲爬行動物
物種及其變化

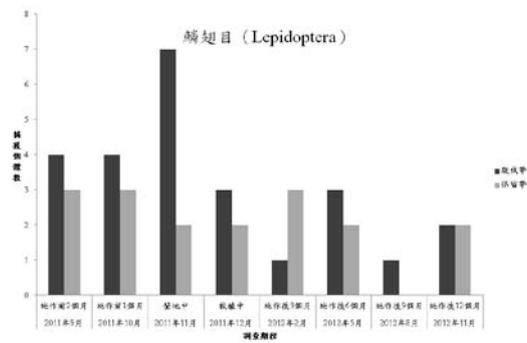
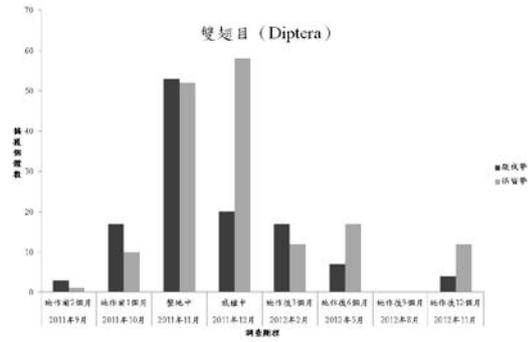
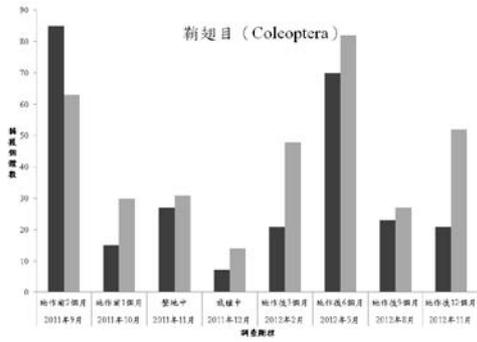
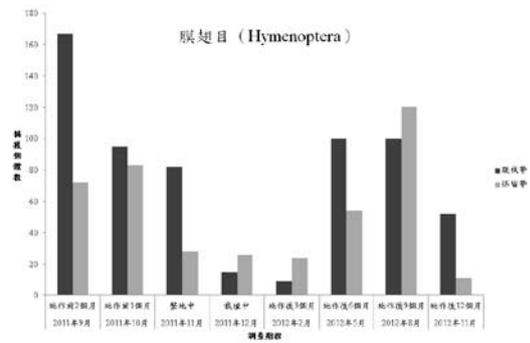
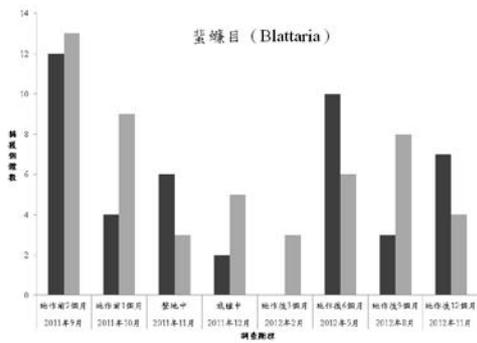
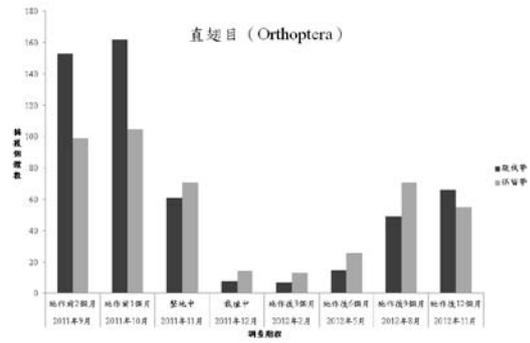
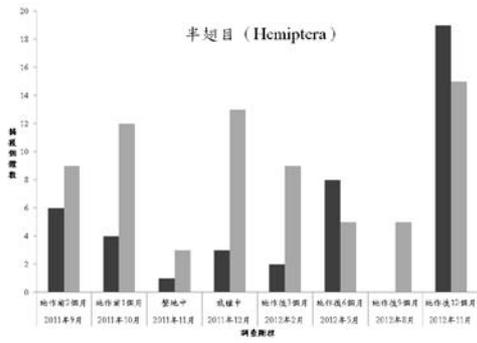
物種名	營造前	營造後		
	全區	保留帶	疏伐帶	全區
有鱗目 (Squamata)				
正蜥科 (Lacertidae)				
蓬萊草蜥 (<i>Takydromus stejnegeri</i>)			+	+
翠斑草蜥 (<i>Takydromus viridipunctatus</i>)		+		+
石龍子科 (Scincidae)				
麗紋石龍子 (<i>Plestiodon elegans</i>)	+	+	+	+
黃領蛇科 (Colubridae)				
白梅花蛇 (<i>Lycodon ruhstrati ruhstrati</i>)	+			
游蛇科 (Natricidae)				
梭德氏遊蛇 (<i>Amphiesma sauteri</i>)	+			
鈍頭蛇科 (Pareatidae)				
台灣鈍頭蛇 (<i>Pareas formosensis</i>)			+	+
龜鱉目 (Chelonia)				
地澤龜科 (Geoemydidae)				
食蛇龜 (<i>Cuora flavomarginata</i>)	+			
無尾目 (Anura)				
蟾蜍科 (Bufonidae)				
盤古蟾蜍 (<i>Bufo bankorensis</i>)	+	+	+	+
黑眶蟾蜍 (<i>Duttaphrynus melanostictus</i>)	+		+	+
赤蛙科 (Ranidae)				
貢德氏赤蛙 (<i>Hylarana guentheri</i>)	+			

拉都希氏赤蛙 (<i>Hylarana latouchii</i>)		+	+	+
長腳赤蛙 (<i>Rana longicrus</i>)	+	+		+
梭德氏赤蛙 (<i>Rana sauteri</i>)	+			
樹蛙科 (Rhacophoridae)				
日本樹蛙 (<i>Buergeria japonica</i>)			+	+
面天樹蛙 (<i>Kurixalus idiootocus</i>)			+	+
出現總物種數	9	5	8	10

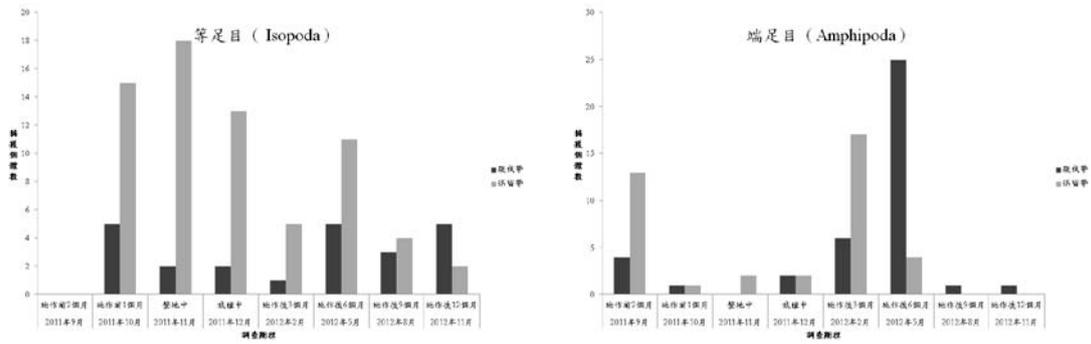
表十五、冬山複層林營造前（干擾前）全區、後（干擾後）之疏伐帶（有干擾）
與保留帶（無干擾）之兩棲爬行動物物種相似度 Sørensen 指數（%）
之比較

	營造後－保留帶	營造後－疏伐帶	營造後－全區
營造前－全區	42.9%	35.3%	42.1%
營造後－保留帶		46.1%	66.7%
營造後－疏伐帶			88.9%

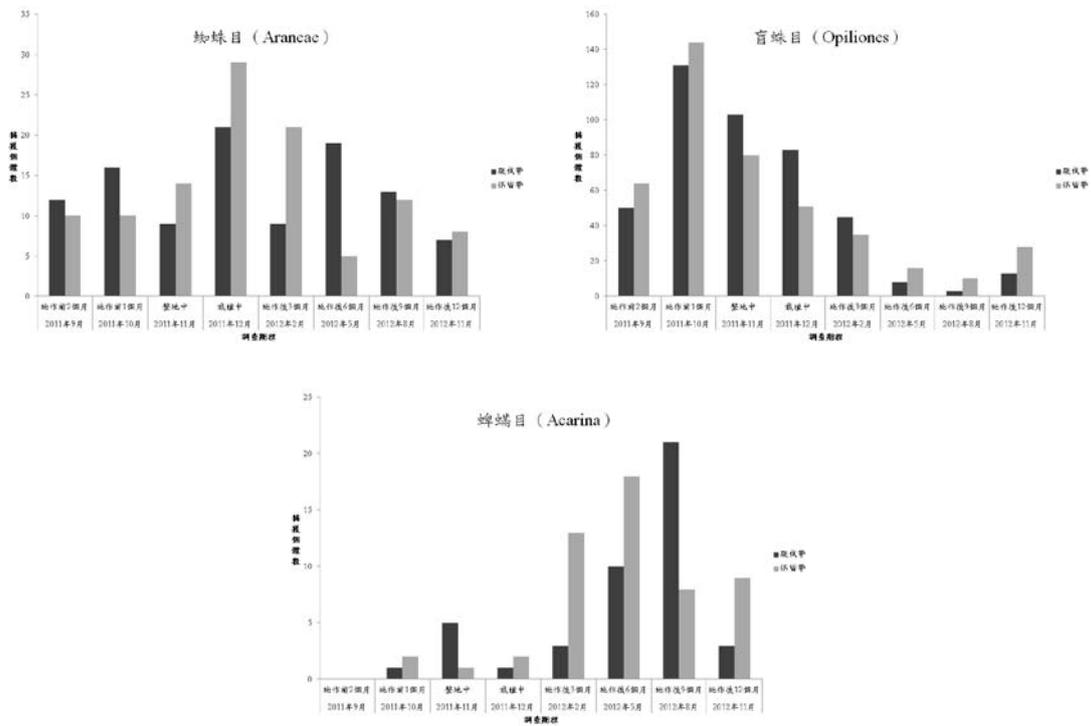
A、昆蟲綱 (Insecta)



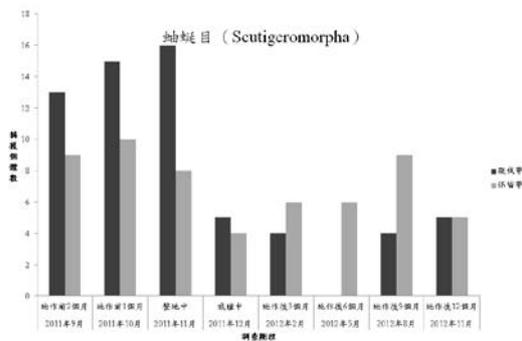
B、軟甲綱 (Malacostraca)



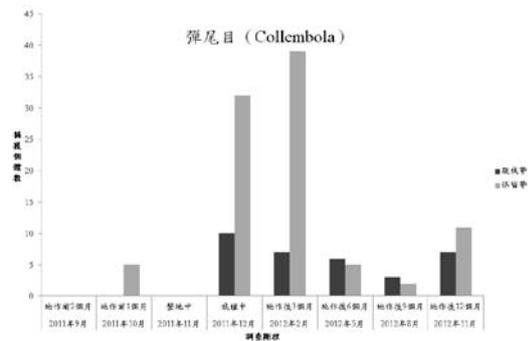
C、蛛形綱 (Arachnida)



D、唇足綱 (Chilopoda)

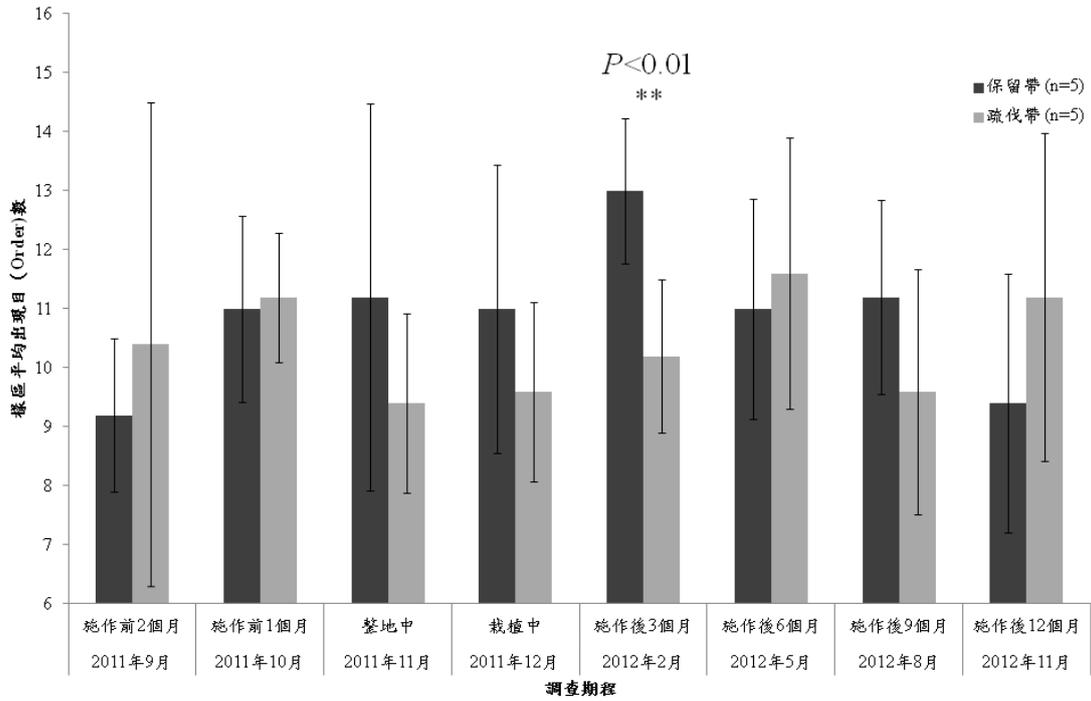


E、內口綱 (Entognatha)

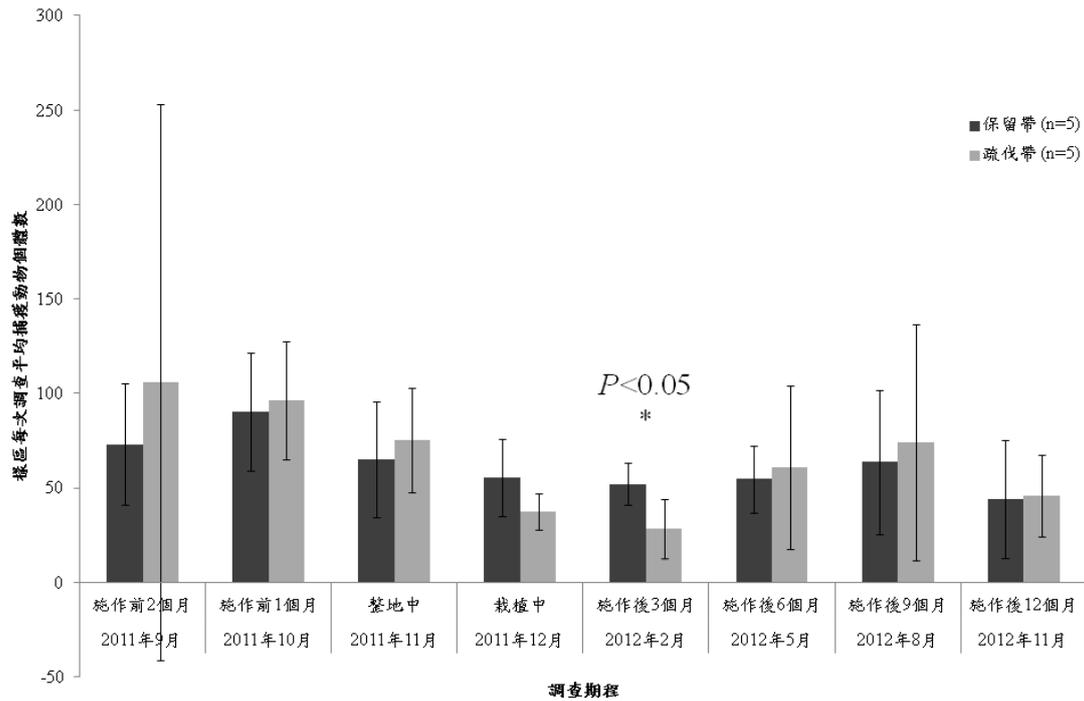


圖十九、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下

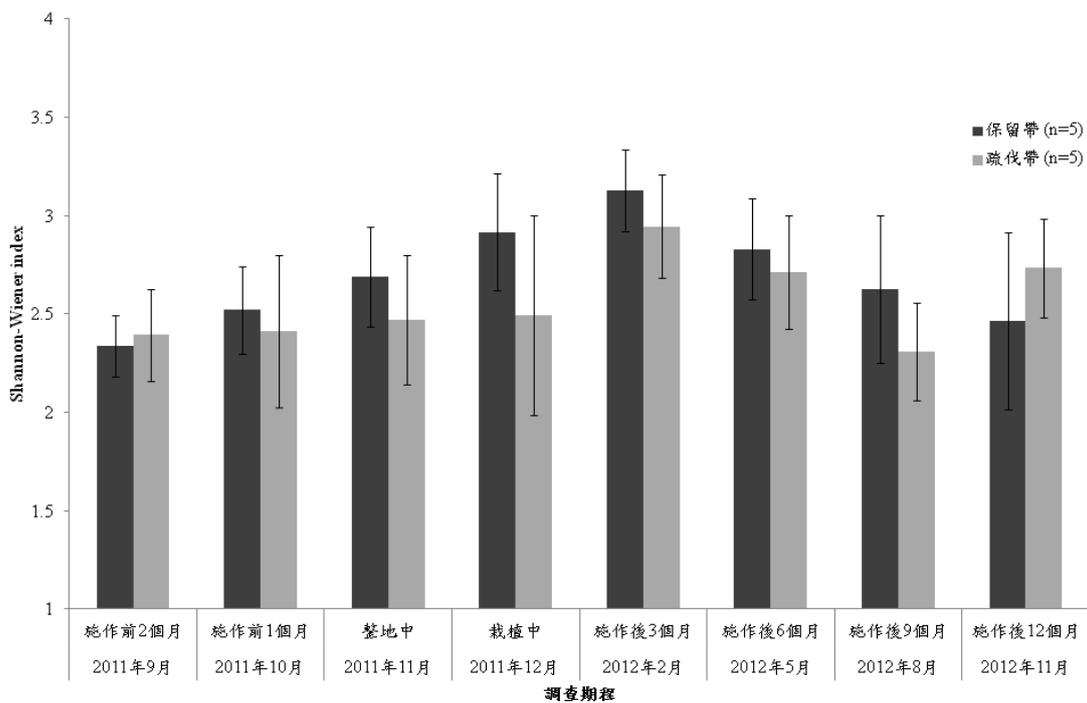
主要出現的 5 綱 (Class) 14 目 (Order) 地棲無脊椎動物之月或季變化
 (A: 昆蟲綱 (Insecta) ; B: 軟甲綱 (Malacostraca) ; C: 蛛形綱
 (Arachnida) ; D: 唇足綱 (Chilopoda) ; E: 內口綱 (Entognatha))



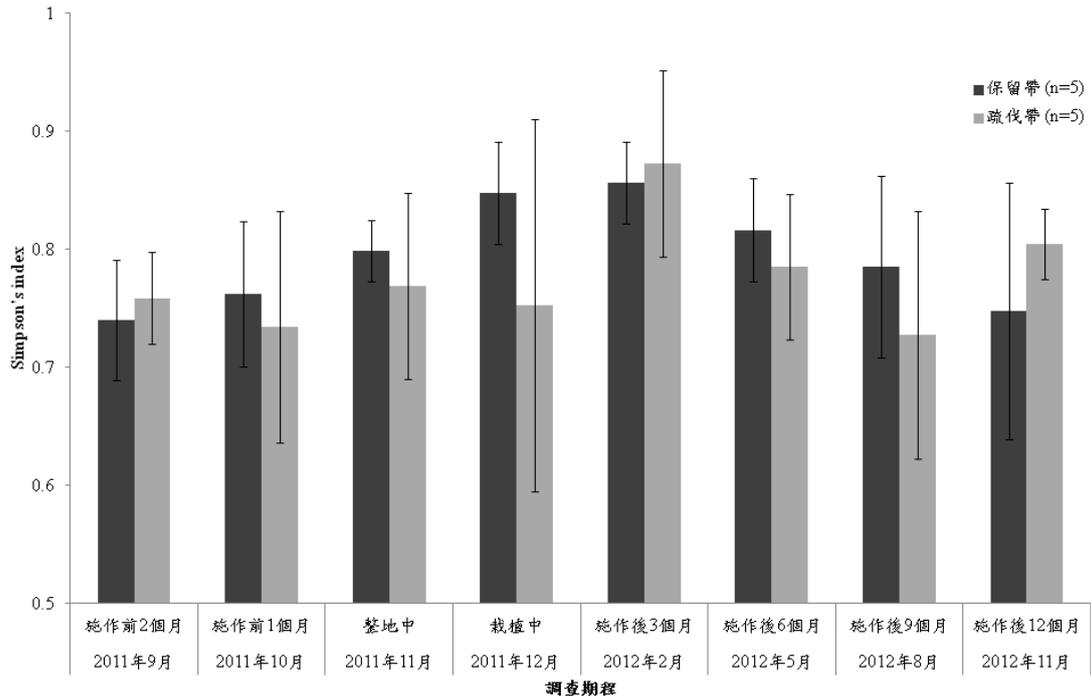
圖二十、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下
 地棲動物出現目 (Order) 數之月或季變化



圖二十一、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下地棲動物平均捕獲個體數之月或季變化

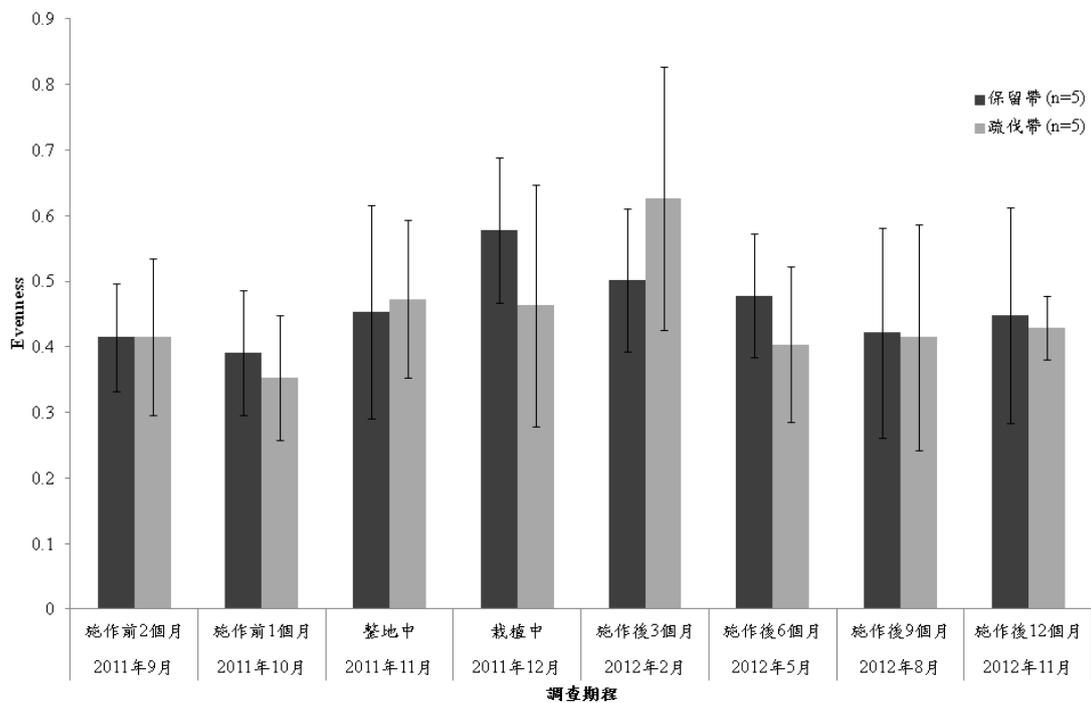


圖二十二、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林下地棲動物 Shannon-Wiener 指數月或季變化



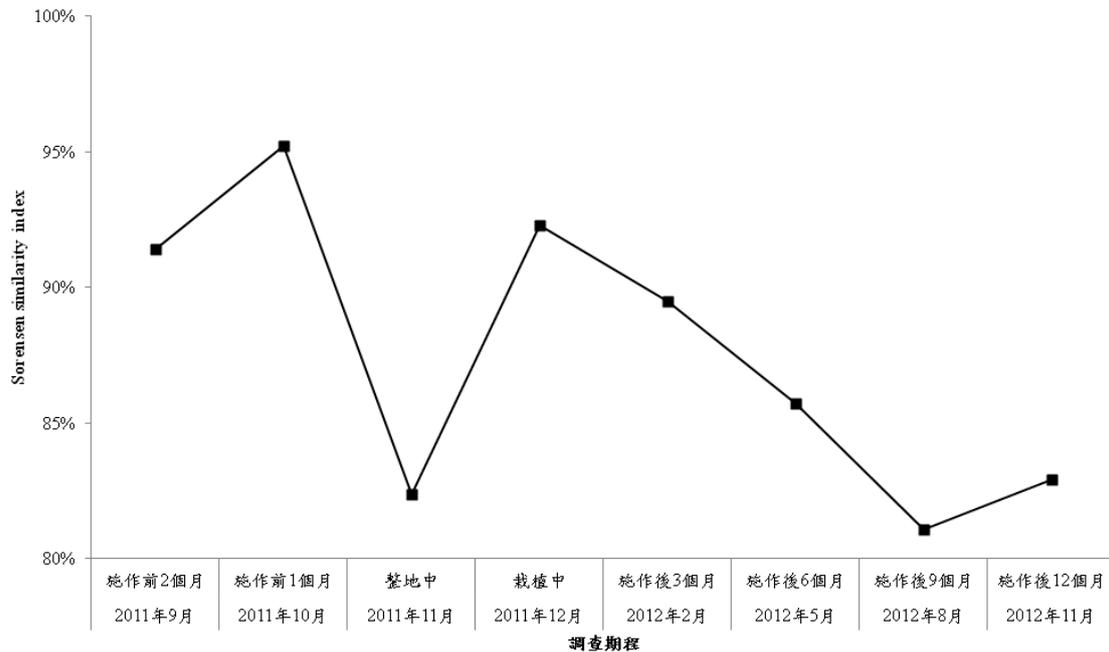
圖二十三、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林

下地棲動物 Simpson 指數月或季變化



圖二十四、複層林營造區域保留帶與疏伐帶兩種處理方式營造前、中、後期之林

下地棲動物均勻度 (Evenness) 指數月或季變化



圖二十五、複層林營造區域於營造前、中、後期之保留帶與疏伐帶兩種處理方式間出現林下地棲動物目（Order）組成的 Sørensen 相似度百分比月或季變化

複層林營造，雖說是林相改良，但本研所在地之主要環境原為次生林，簡而言之，在棲地特性上是屬於擾動停止後，歷經稍長時間（約為 15 年）後所形成的棲地類型，此種類型棲地可能具有中度擾動假說（intermediate disturbance hypothesis, IDH）所提到的多樣性相對較高的狀況。了解一個可能處於相對較佳的多樣性狀況下的次生林地，復再重新經過擾動後的棲地變化過程，其中除了是否具有中度擾動後之高多樣性狀況外，可能還隱含了包括生態復舊（Ecological restoration）等相關的研究與操作議題。當複層林營造之後的林地環境，其間的小型地棲動物多樣性，能否於短期（1-2 年）之內，呈現與自然狀況下，至少 15 年的干擾後演變後所形成次生林之多樣性狀況，就目前有限的研究時間，所得到的結果看來，可能還無法妄下判斷。

總體來看，由於主要調查的類群為外溫的無脊椎動物為主，隨著月份逐漸接近冬季，各分類群的出現數量有逐月下降之趨勢（表十三）；疏伐帶與保留帶之目的多樣性變化上，Shannon-Wiener 及 Simpson 指數均呈現一致性的變化，當林地進行清理整地之前，兩者並無明顯的差異，但在整地栽植林木後，雖無統計上的顯著性，但保留帶的多樣性略為上升的情形；在林地相關施作完成後第一季的調查結果中，在未經數據轉換的目（Order）數與個體數的資料則顯示，保留帶明顯高於疏伐帶的現象（圖二十、圖二十一），但不久之後（2012 年第二季調查）兩種處理方式間，隨即又回到無明顯區別的狀態；均勻度（Evenness）則呈不一致的波動變化（圖二十四）。但以兩棲爬行動物的結果來看，在複層林的營造前後，則有明顯的差異與種類上轉換的現象（表十四、表十五）。

Connell（1978）提出中度擾動假說（intermediate disturbance hypothesis, IDH），並預測當環境擾動在中等程度的狀況之下，因擾動的頻率間隔恰巧使許多物種得以留存，但卻又不足以使存活下來的物種產生競爭排擠的現象，因此，會形成最佳的多樣性狀況。並指出三種中度擾動的類型，分別是：擾動發生的頻率、擾動結束之後的時間久暫與擾動的規模。本研究的狀況兼具二、三兩類型，因此隨著 2011 年 11、12 月複層林整地與植林結束後，理論上，應該會隨著停止干擾的時間逐漸延長，地棲小型動物多樣性應該會逐漸的提高，但目前一年的調查並無法完整的排除其他的因素（如：季節、氣候、當地活動的人對研究的干擾等）進行判斷。除此之外，Roxburgh et al.（2004）藉由三個模式（分別為：區塊之內的空間、區塊之間的空間 及完全完全暫時性的狀態）去論證不同物種在中度擾動狀況下可能共存的機制，並指出可能影響其多樣性的因素有歷史、區塊間的連結狀態及棲地結構的複雜度。綜合來看，在本研究進行的規模較小且時間較短的狀況下，目前尚需要更多且更長時間的資料收集與佐證的工作，始能進行有效的論證。

伍、結論

- 一、以行列疏伐方式移除生長不佳及弱勢林木，調整與改善次生化人工林之組成結構並形成不同林分孔隙，提供栽植更新林木之空間，為營造複層林之基礎。
- 二、採用二種行列疏伐寬度(20m 及 8m 寬)，同時疏伐帶尚保留優勢之造林木為上木，疏伐僅減低林分株數密度，但對造林木之組成結構變化小。
- 三、由林分冠層鬱閉度與地表光度量測，呈現林分孔隙大小與分布之冠層異質性。
- 四、以無患子、烏心石及台灣肖楠等經濟樹種苗木於疏伐帶栽植造林營造混合與複層之人工林分，並進行樹種生長適應，經栽植一年間比較苗木存活率及生長形質。各樹種苗木栽植一年之存活率於二種疏伐帶無顯著差異，以無患子苗木較高，烏心石與台灣肖楠較低，但仍達 80%。
- 五、烏心石、台灣肖楠及無患子苗木，以林冠孔隙較大之 20m 寬疏伐區的苗高及基徑生長，無患子苗木以栽植於疏伐帶中間者生長略大於邊緣者，烏心石及肖楠苗木則以邊緣者略大於中間者，可能與無患子需光性較高有關，以大林冠孔隙下者與栽植於疏伐帶中間者有較佳之趨勢，但在二種疏伐帶寬間及林緣效應尚無顯著差異，可能與僅栽植一年有關，需繼續調查分析與比較各樹種之生長適應性。
- 六、三種樹種苗木在小林冠孔隙下，苗木高徑比較高，苗木形質較細長，以無患子及烏心石呈明顯差異。
- 七、各樹種苗木於疏伐帶內之生長差異性大，可能受留存上木與微地形影響
- 八、出栽苗木大小影響生長，如台灣肖楠苗木較小致枯死較多，而無患子大苗於大孔隙處發生傾伏；烏心石苗枝葉則易遭動物嚙食受害。
- 九、兩棲爬行動物於複層林營造施作前後具有明顯的種類轉換的現象。
- 十、無脊椎動物在施作前後，則無一致性的明顯變化。
- 十一、總體而言，保留帶與疏伐帶各樣點間的平均物種豐度 (species richness) 及捕獲個體數，於造林栽植後第一季的調查結果，差異最為明顯。

十二、保留帶與疏伐帶間，在各多樣性指數比較，雖無明顯的差異，但在物種組成的相似狀況則隨著調查時間延長逐漸降低，顯示疏伐帶可能發生物種轉換的現象。

六、參考文獻

- 中央氣象局。2012。宜蘭氣象站統計資料。<http://www.cwb.gov.tw/V7/>。
- 向高世, 林松霖。2008。台灣蜥蜴自然誌。天下遠見出版股份有限公司, 台北。
- 呂光洋、杜銘章、向高世。2002。過渡的世界—台灣兩棲爬行動物圖鑑。(第二版)。中華民國自然生態保育協會、大自然雜誌社, 台北。
- 李安翔 (2010) 三種闊葉樹種苗木在不同光環境之形態及生理調適。中興大學森林所碩士論文
- 林鴻忠、廖天賜、方榮坤。1992。烏心石林下栽植試驗。台灣林業 18(10): 32-33
- 林敏宜、歐書瑋、李載鳴、許立達。2009。澎湖人工林造林樹種適應性調查研究。華岡農科學報 23: 9-30。
- 林謙佑、郭幸榮、劉興旺、楊正釗、沈介文 (2008) 天然闊葉林冠層孔隙內微環境的變化與苗木生長。中華林學季刊 41(4):465-481
- 邱志明、孫銘源、湯適謙、余啟瑞。2010。香杉受害人工林複層林之建造-林下六種潤葉樹之生長。中華林學季刊 43(1): 39-54。
- 邱陸陽 (1990) 不同光度對於五種針葉樹苗生長之影響。中興大學森林所碩士論文
- 陳添喜。2009。在龜的國度-龜的生態與習性。行政院農委會特有生物研究與保育中心, 南投集集。
- 廖天賜、李安翔。2010。三種闊葉樹種苗木在不同光環境之形態及生理調適。國立中興大學森林學系碩士論文。
- 羅卓振南、鐘旭和、邱志明、黃進睦 (1997) 棲蘭山林區柳杉人工林行列疏伐營造複層林之研究。台灣林業科學 12(4):459-465
- 田中功二。2003。ヒバ等主要造林樹種の苗木並びに複層林下層木ヒバに対するブラシノライドの生長促進効果。林業試験場報告 14: 15-20。
- 村本康治、野上寛五郎、高木正博。2005。ヒノキ壯齡林の下層植生におよぼす列状間伐の影響。九州森林研究 58: 59-62。

- 谷口真吾。2006。带状複層林における下木の成長と林床植生の多様性。兵庫農技総七研報(森林林業) 53: 10-16。
- 近藤道治、今井信。2009。複層林に関する研究の現状について 森利學誌 24(2): 41-52。
- 鈴木誠、龍原哲、米道學、塚越剛史、軽込勉、南雲秀次郎。2000。大雄山最乗寺寺有林内に存在するスギ複層林の林分構造と上木の形質。森林計畫誌 34(1): 51-55。
- 藤森隆郎。1991。研究者からみた複層林の問題点。森林科學 2: 64-68。
- Alenäs, I., and Skärby, L. 1988. Throughfall and plant nutrients in relation to crown thinning in a Swedish coniferous forest. *Water, air and soil pollution*, 38: 223-237.
- Aranda, I., L. F. Bergasa, L. Gil, and J. A. Pardos. 2001. Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted in the understory of a *Pinus sylvestris* L. stand after thinning. *Ann. For. Sci.*, 58: 673–680.
- Aranda, I., L. Gil, and J. A. Pardos. 2001. Effects of thinning in a *Pinus sylvestris* L. stand on foliar water relations of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted within the pinewood. *Trees*, 15: 358–364.
- Bauhus, J., I. Aubin, C. Messier, and M. Connell. 2001. Composition, structure, light attenuation and nutrient content of the understorey vegetation in a *Eucalyptus sieberi* regrowth stand 6 years after thinning and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 257: 453-463.
- Blanco, J. A., J. B. Imbert, and F. J. Castillo. 2008. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. *Forest Ecology and Management*, 256(11): 1840-1852.
- Breda, N., A. Granier, and G. Aussenac. 1995. Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea*

- (Matt.) Liebl.). *Tree Physiology*, 15: 295-306.
- Campbell, J., G. Alberti, J. Martin, and B. E. Law. 2009. Carbon dynamics of a ponderosa pine plantation following a thinning treatment in the northern Sierra Nevada. *Forest Ecology and Management*, 257: 453-463.
- CAREY, A. B. 2003. Biocomplexity and restoration of biodiversity in temperate coniferous forest inducing spatial heterogeneity with variable-density thinning. *USDA Forest Service*, 76: 127-136.
- Cierjacks, A., and I. Hensen. 2004. Variation of stand structure and regeneration of Mediterranean holm oak along a grazing intensity gradient. *Plant Ecology* 173: 215-223.
- Cole, H. A., S. G. Newmaster, and D. Pitt. 2008. Long-term outcome of precommercial thinning on floristic diversity in north western New Brunswick, Canada. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 1(1): 145-156.
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302–1310.
- Dodson, E. K., D. W. Peterson, and R. J. Harrod. 2008. Understory vegetation response to thinning and burning restoration treatments in dry conifer forests of the eastern Cascades, USA. *Forest Ecology and Management*, 255(8-9): 3130-3140.
- Eiji, H., A. Isao, A. Mitsunori, and S. Takakazu. 1998. Studies on the multiple storied forest 2. A case of a natural broad leaved forest as an upper story. *琉球大學農學部學術報告* 45: 209-219.
- Gibson, D. J., and R. E. Good. 1989. Population structure and thinning in natural stands of Atlantic White Cedar (*Chamaecyparis thyoides* (L.) BSP). *Oecologia* (Berlin), 69: 348-353.
- Gobbi, M., and T. Schlichter. 1998. Survival of *Austrocedrus chilensis* seedlings in

- relation to microsite conditions and forest thinning. *Forest Ecology and Management*, 111: 137-146.
- Inagaki, Y., S. Kuramoto, A. Torii, Y. Shinomiya, and H. Fukata. 2008. Effects of thinning on leaf-fall and leaf-litter nitrogen concentration in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) plantation stands in Japan. *Forest Ecology and Management*, 255: 1859–1867.
- Ishii, H. T., M. A. Maleque, and S. Taniguchi. 2008. Line thinning promotes stand growth and understory diversity in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) plantations. *Journal of Forest Research*, 13(1): 73-78.
- Kondo, M., and M. Imai. 2005. Damage to trees caused by thinning of overtopped trees in a multi-storied stand. *J. Jpn. For. Eng. Soc.*, 20(3): 171-182.
- Kondo, M., and M. Imai. 2007. Examination of reducing damage to trees of an understory in an ordinary multi-storied stand cutting of overstory trees -A comparison between line thinning and ordinary thinning of overstory trees-. *J. Jpn. For. Eng. Soc.*, 22(1): 5-14.
- Kondo, M., M. Imai, M. Yamanouchi, and T. Sasaki. 2008. Growth status of lower-story Hinoki trees five growth periods after damage from upper-story thinning in a multi-storied stand. *J. Jpn. For. Eng. Soc.*, 23(3): 179-188.
- Krebs, C.J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd ed., pp. 35-37, 440-445. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc., California.
- Leemans, R. 1991. Canopy gaps and establishment patterns of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two old-growth. *Kluwer Academic Publishers*, 93: 157-165.
- Lei, X., Y. Lu, C. Peng, X. Zhang, J. Chang, and L. Hong. 2007. Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis*–*Picea jezoensis*–*Abies nephrolepis*) forests in northeast China: 12-year results after thinning. *Forest Ecology and Management*, 240: 165–177.

- Maasen, S., and S. Wirth. 2004. Soil microbiological monitoring of a pine forest after partial thinning for stand regeneration with beech seedlings. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(6): 815-819.
- Maleque, M. A., H. T. Ishii, K. Maeto, and S. Taniguchi. 2007. Line thinning enhances diversity of Coleoptera in overstocked *Cryptomeria japonica* plantations in central Japan. *Arthropod-Plant Interactions*, 1(3): 175-185.
- Miller R. E., and L. F. Huenneke. 2000. Demographic variation in a desert shrub, *Larrea tridentate*, in response to a thinning treatment. *Journal of Arid Environments*, 45: 315-323.
- Mizoue, N., S. Ito, and T. I. 2002. Growth characteristics of understory tree of Sugi (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki (*Chamaecyparis obtuse*) in the alternate strip-clearcutting stand in Morotsuka, Miyazaki prefecture, Southern Japan. *J. Jpn. For. Soc.*, 84: 151-158.
- Nahm, M., T. Holst, A. M. H. Mayer, H. Rennenberg, and A. Gesler. 2006. Soluble N compound profiles and concentrations in European beech (*Fagus sylvatica* L.) are influenced by local climate and thinning. *European Journal of Forest Research*, 125(1): 1-14.
- Navarro, F. B., M. N. Jiménez, E. M. Cañadas, E. Gallego, L. Terrón, and M. A. Ripoll. 2010. Effects of different intensities of overstory thinning on tree growth and understory plant-species productivity in a semi-arid *Pinus halepensis* Mill. Afforestation. *Forest Systems*, 19(3): 410-417.
- Olson, R. A., and T. D. Whitson. 2002. Restoring structure in late-successional sagebrush communities by thinning with tebuthiuron. *Restoration Ecology*, 10(1): 146-155.
- Onodera, K., and H. Kon. 2006. Effect of different logging methods for overstory trees on damage and growth of understory trees in a two-storied stand of sugi

- and hiba. *J. Jpn. For. Soc.*, 88:546-549.
- Roxburgh, S.H., K. Shea, and J.B. Wilson. 2004. The intermediate disturbance hypothesis: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence. *Ecology* 85(2):359-371.
- Sakuta K., S. Taniguchi, A. Inoue, and N. Mizoue. 2009. Effects of strip-cutting on stand floor micro climate and tree-species diversity in a Japanese Cypress Plantation. *J. Jpn. For. Soc.*, 91: 86-93.
- Son, Y., Y. Y. Lee, Y. C. Jun, and Z. S. Kim. 2004. Light availability and understory vegetation four years after thinning in a *Larix leptolepis* plantation of central Korea. *Journal of Forest Research*, 9(2): 133-139.
- Stone J. E., T. E. Kolb, and W. W. Covington. 1999. Effect of thinning on presettlement *Pinus ponderosa* in Northern Arizona. *Restoration ecology*, 7(2): 172-182.
- Sucoff, E., and S. G. Hong. 1974. Effects of thinning on needle water potential in red pine. *Forest Sci.*, 20: 25-29.
- Suzuki, K. 2001. An experiment on sound management of forest with loblolly pine Part2 Effective appliance of the forest floor with multi-storied forest. *J. Archit Plann Environ Eng AIJ*, 544: 163-169.
- Suzuki, M., N. Shiraishi, M. Suzuki, S. Tatsuhara, and H. Yamamoto. 2003. Studies on the growth of old Sugi (*Cryptomeria japonica*) stand(I) –the development process of the old Sugi plantations in the kiyosumi area-. *東京大學農學部演習林報告* 109: 27-45.
- Utsugi, E., H. Kanno, N. Ueno, M. Tomita, T. Saitoh, M. Kimura, K. Kanou, and K. Seiwa. 2006. Hardwood recruitment into conifer plantations in Japan: Effects of thinning and distance from neighboring hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, 237(1-3): 15-28.

- Verschuyf, J., S. Riffell, D. Miller, and T. B. Wigley. 2011. Biodiversity response to intensive biomass production from forest thinning in North American forests – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 261: 221-232.
- Wayman, R. B. and M. North. 2007. Initial response of a mixed-conifer understory plant community to burning and thinning restoration treatments. *Forest Ecology and Management*, 239(1-3): 32-44.
- Widenfalk, O. and J. Weslien. 2009. Plant species richness in managed boreal forests—Effects of stand succession and thinning. *Forest Ecology and Management*, 257(5): 1386-1394.
- Wolk, B. and M. E. Rocca. 2009. Thinning and chipping small-diameter ponderosa pine changes understory plant communities on the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 257(1): 85-95.
- Yamagawa, H., S. Ito, K. Sakuta, N. Mizoue, and T. Nakao. 2009. Effects of small-scale clearcutting management on species diversity and vertical structure of understory vegetation of a conifer plantation comprising uneven-aged stand, in Kyushu, Southern Japan. *J. Jpn. For. Soc.*, 91: 277-284.
- Yokoi, s., and Yamaguchi, K.. 2000. The influence of site factors on the success of afforestation in man-made Japanese *Cryptomeria* forests in snow districts. *J. Jpn. For. Soc.*, 82: 15-19.