



公開
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070101e604

行政院農業委員會林務局110年度科技計畫研究報告

計畫名稱：南仁山生態系監測保育與槲櫟復育計畫(3/3) (第3年/全程3年)
(英文名稱) Monitoring and Conservation of Nanjenshan Ecosystem and Rehabilitation of *Quercus aliena* (3/3)

計畫編號：110農科-7.1.1-務-e6(4)

全程計畫期間：自 108年1月1日 至 110年12月31日

本年計畫期間：自 110年1月1日 至 110年12月31日

計畫主持人：趙偉村
研究人員：廖宇睿、古鎮嘉、廖捷妤、沈文伶、邱子芸、劉軒宇
執行機關：國立嘉義大學



1101118



一、執行成果中文摘要：

近年氣候變遷可能帶來的影響日趨明顯，目前許多學者也利用長期動態樣區的資料探討森林生態系的結構、組成甚至是物種的改變，許多研究均發現部分物種族群數量持續減少，甚至瀕臨滅絕，另外也利用空間分析探討樹木如何死亡與其帶來的影響，因此本研究承襲先前計畫之成果，於各高易危生態系進行監測並提供警訊，並結合政府單位進行保育工作，本年度計畫主要監測臺灣石櫟與槲櫟之生存狀況與南仁山區之高易危生態系，以了解物種生存危機與生態系是否有改變。新竹槲櫟長年監測原生地與區外復育的植株，而南仁山區的部分，利用欖仁溪樣區每5-8年的複查資料進行物種與生態系的變化監測，也針對欖仁溪、樣帶以及出風山的小苗進行每季的調查，以監測生態系統與高脆弱度物種之變化。

槲櫟原生地之植株近年樹梢枯萎嚴重，大部分生長勢不佳，去年的槲櫟植株健康度評估中，即有多數植株健康度不佳。而今年年初死亡的6株槲櫟即為去年健康度評估最差之植株。而小苗的部分今年僅有3株，可能今年軍區準備動工與年初乾旱有關，由於明年軍區將開始動工，除了協調施工能對槲櫟植株造成最小影響外，也開始移植原生地小苗至新竹縣政府苗圃。區外栽植的部分目前在新竹林管處的林班地進行至今最大規模的300株栽植仍全數存活，其他區外栽植的植株雖然有受到昆蟲的危害但不至於死亡，反倒是棲地的管理影響植株生長較大，建議槲櫟苗木可在三年後才移植至區外，並配合栽植狀況與周遭環境之管理，其生長狀況會較良好。另外去年在苗栗有發現新的槲櫟族群，目前已經進行初步的調查。

而在動態樣區的小苗監測上，不論是欖仁溪、樣帶還是出風山，其小苗的組成變化不大，另外也發現環境因子中的對東北季風暴露度、地形凹凸度、與相對東北方位之坡向與欖仁溪小苗的死亡有很大的關係。欖仁溪動態樣區的空間分析結果呈現死亡植株在距離尺度 $< 4m$ 時主要受到植株間的交互作用造成死亡，而死亡植株的分布受到環境異質性的影響而呈現隨機分布，其中以負密度制約為主要造成植株死亡的影響因子。不同物種受到不同程度的密度制約影響可有助於物種共存在同一地區，而此也可能為促成欖仁溪樣區物種多樣性高的原因之一。

二、執行成果英文摘要：

The impact of climate change in recent years has become more evident. Many studies showed that the composition of ecosystems is different than before, and the dead trees is a hot issue in these years. Undertaking our previous research conclusions, we keep monitoring those vulnerable ecosystems and provide the immediate information to Forestry Bureau as an alert of habitat declining. Also we use an updated model for simulation under the serious climate change to predict the possible refuges where the species may seek for avoiding from extinction. At the mean time we cooperate with the related Forest District Offices and County (City) Governments to establish a communication network which will efficiently support the local organizations working on the conservation of ecosystem in the future. We appreciate the assistance and participation from different sources and people that are essential for a better achievement in future conservation.

The vulnerability ecosystem monitored in this project is the Nanjenshan area in southern Taiwan. The long-term data of the forest dynamic plot is suitable to be used to discuss the changes in the ecosystem. The plant distribution points are also used to investigate the distribution changes of dead trees. We will keep doing the seedling survey in the Lanjenchi plot, transect and Chufeng Mountain regularly to monitor species changes; *Quercus aliena* in Hsinchu area also continuously be monitored the status of native population and *ex situ* plants, and





cooperates with the Hsinchu Forest District Management Office for development Cultivation and strategies for conservation outside the area. In addition, this project also uses the conservation of *Quercus aliena* as an example. First, complete the establishment of a conservation platform with the Hsinchu Forest District Management Office. After the high-vulnerability species in Nanjenshan area has completed breeding and cultivation, use this experience with the Pingtung Forest District Management Office to established a conservation platform to become a model of biodiversity conservation under the climate change.

三、計畫目的：

1. 在監測上，持續進行欖仁溪、出風山與樣帶的小苗監測。由小苗之物種組成與其動態探討生態系有無強烈的變化。逐季調查這三個地區小苗之物種與存活狀況。
2. 持續進行新竹榲欖的成樹與小苗監測，並強化對造林地之管理與保育作為。
3. 持續監測區外栽植地點榲欖生存狀況，並與新竹林區管理處與新竹縣政府持續針對榲欖保育進行討論。
4. 由於台灣石櫟之繁殖不順利，且其生長緩慢，因此今年針對未來可栽植地點與屏東林區管理處進行討論。但唐杜鵑與希蘭灰木若生長良好，則可以考慮先行栽植。

四、重要工作項目及實施方法：

1. 榲欖成樹植株監測：本研究持續依照先前調查路徑持續調查監測，若有高度超過50 cm的榲欖植株則列入成樹加入每季監測。每年進行一次DBH測量，以了解植株生長狀況。
2. 榲欖原生地與區外自我更新小苗調查：因小苗與成樹一樣分散，無法設立隨機或規則的小苗樣區調查，因此仍採用無樣區調查，每株調查到的小苗於周邊土壤插入三隻竹筴，並繞以細紅線，以為將來監測用。
3. 榲欖區外栽植監測：區外栽植的榲欖植株則每季進行高度測量，並檢視其開花結果等概況。在本年度栽植上，於新竹林區管理處關西地區於適合地點進行榲欖栽植，目前已完成300株植株的栽植。栽植過後維持每半年一次地監測。
4. 南仁山地區小苗監測：生態系監測上，本研究在欖仁溪、出風山與樣帶進行小苗監測。本研究分別於欖仁溪設立26個小苗樣方，出風山有20個，而樣帶有90個小苗樣方。每個小苗樣方大小皆為 $2 \times 1 \text{ m}^2$ ，以每季進行一次的調查。針對樣方內的所有小苗進行監測，若有新增小苗則掛上新的蘭花牌，並給予獨一無二的編號，記錄其物種名；若是先前已存在的小苗則記錄存活，若死亡則在確認後將牌回收。而在小苗高度部分則每年進行一次苗高測量。
5. 小苗存活分析：為了瞭解整體樣區長時間的小苗之存活率，利用Kaplan-Meier analysis繪製存活曲線，並採用無母數的統計方法-Log rank test檢定是否有顯著的差異性(Kleinbaum and Klein, 2012)，使用R語言的survival package內的' survfit' 進行分析(Therneau, 2020)。
6. 非生物因子對於小苗存活之影響分析：本研究為了探討非生物因子對於小苗存活的影響，利用多元cox 模型(Mix effects Cox models) 進行分析(Cox 1972; Therneau and Grambsch, 2000)。非生物因子包含海拔高度、凹凸度、坡度、坡向、暴露度指數。
7. 欖仁溪樹木死亡植株空間分析：本研究以欖仁溪5.28ha樣區2013年與2019年調查資料中所有存活與死亡植株分布位置作為分析資料，使用成對相關函數(Pair-correlation





function, PCF)來量化所觀察到的死亡植株在欖仁溪樣區中不同距離尺度下的空間分布(Stoyan and Stoyan, 1994), 以及進行可能造成樹木死亡的相關因子檢測。

- (1) 為了瞭解死亡植株在欖仁溪樣區中的分布格局, 依據2019年死亡植株的資料使用PCF的單變量 $g_{dead}(r)$ 進行分析。此外, 我們進行隨機模擬方法(Monte Carlo method), 依據2019年死亡植株的數量隨機地放置於2013年所有存活植株的位置來建立一假設模型(Null model)(Ripley, 1977; Ripley, 1981; Dale, 1999), 重複進行999次且進行PCF分析可得到一個代表死亡植株在樣區中呈現隨機分布的95%信賴區間, 若檢測值位在信賴區間之上, 代表死亡植株在此距離尺度呈現聚集分布; 而當檢測值位在信賴區間之內, 代表死亡植株為隨機分布; 則當檢測值位在信賴區間之下, 則代表死亡植株為規則分布。
 - (2) 在隨機模擬中以完全空間隨機(Complete spatial randomness, CSR)作為第一個假設模型, 其假設在一個植株密度相等的環境下, 每個死亡植株為獨立個體並且植株間無交互作用的模型, 是空間分析中預設且常用的假設模型之一(Wiegand and Moloney, 2014), 以此來了解在假設欖仁溪樣區為均值的環境且不考慮任何因子的情況下, 死亡植株在樣區的分布格局。
 - (3) 在探討死亡植株的雙變量分析之假設模型皆是以隨機標記(Random labeling)來進行(Kenkel, 1988; Goreaud and Pelissier, 2003; Wiegand and Moloney, 2014), 其原理為假設死亡植株皆為隨機發生於樣區中的事件, 分析時須先將2013年所有存活植株基於2019調查資料標記成"死亡(dead)"或"存活(alive)", 將死亡植株數量隨機的放置在死亡與存活植株的分布位置上, 進行999次的隨機模擬以計算出死亡植株在原族群分布內呈現隨機死亡的模型。
8. 台灣石櫟之保育南仁山地區可栽植地點建議與討論: 在台灣石櫟保育上, 由於台灣石櫟多有人為採集, 因此本團隊與屏東林區管理處及墾丁國家公園管理處協商。目前由屏東林區管理處協助於台灣石櫟原生地之入口處架設紅外線相機進行監測, 墾丁國家公園管理處則協請國家公園警察隊增加巡查密度, 以維護台灣石櫟之天然下種更新。而在區外適合栽植地點選取, 本團隊參考由學會團隊針對台灣石櫟之適合生存地點之評估結果, 與屏東林區管理處及墾丁國家公園管理處討論未來可栽植地點。

五、結果與討論：

3.1 櫟成樹植株監測

由2012年至今的調查資料顯示, 在新竹縣新豐鄉與竹北鎮交界的櫟原生地櫟植株呈現逐年減少狀況。今年無新增小樹。由於前兩年共有5株小苗成長為小樹, 顯示此處天然下種的小苗仍有機會成長為成樹。而死亡部分, 今年至年底已經又死亡8株, 其中兩株為暑假過後死亡。這些死亡植株中, 有2株在去年評估時已經幾乎無樹冠的小樹, 另有6株植株樹冠90%以上都是枯梢, 且底下多萌蘖。這些死亡植株, 在去年的評估總和中, 皆為評估最差之植株, 因此藉由去年底的健康度評估以及採取積極策略管理為防止櫟持續死亡之方法。目前評估同等級危險的植株尚有7株, 由於先前進行棲地管理後, 有些植株生長狀況轉好, 但此無法有統計數據顯示是否顯著有效。由於暑假後又有2株死亡, 因此年底時請關西團隊協助植株周遭林木清除, 以便後續觀察現場狀況, 再擬定管理方式, 避免植株持續消亡。

因此至2021年底, 櫟植株僅存活73株植株, 亦即在今年暑假後又新增兩株死亡, 而現今仍然沒有新增植株, 剩餘為2013年存活植株(151株)的48.3%; 而這些存活植株中, 只剩下50株(33.1%)胸高直徑大於1 cm的成樹。

3.2 櫟原生地小苗監測





今年檫欖小苗新增僅有4株，且主要新增區域並非以往新增最多區域。今年年初到五月的嚴重乾旱可能影響到小苗的萌芽與生存，但是檢視以往存活植株時，許多生長於路邊之小苗與其附近標記物完全不見，應為軍方近期高層長官頻繁巡視之環境清潔有關。去年底至今年年中死亡8株小苗，多數小苗之標示物與編號牌均消失，與以往自然死亡小苗狀況不一致，因此今年小苗死亡可能與乾旱或人為清除均有關。因此到今年年底，現場小苗仍存活33株，其中6株於7月份移至新湖苗圃，僅存9株自2015年存活至今。

面臨軍方明年的施工，本團隊與縣府、林區管理處、軍方及其規畫廠商保持溝通，除了將所有檫欖植株分布圖給予規畫廠商，並在多方開會討論下，由軍方同意盡最大能力保存仍存活植株，目前的工程規劃圖中僅只有2株植株會受到影響，而所有的施工地點皆避開檫欖聚集地點。另外本團隊也依據目前施工圖資，明年發現到新增的小苗若有接近施工範圍者，則一律送往新湖苗圃，待整體工程完成，軍方也承諾會設立一檫欖復育區域供現地保育使用。

3.3 檫欖原生地採種與保育與區外監測

去年於原生地收集到817顆種子，共由38株母樹採集而來。在經層積後，共有258株小苗運至新竹縣政府新湖苗圃。其中主要由於疫情突發，5月初送了144株小苗至新湖苗圃後，後有許多小苗未能依照原定計畫於5月中前送至新湖苗圃，這些仍在嘉義的小苗因氣候因素，即使存活下來也無抽芽，因此第二批送至新湖苗圃的苗木反而比第一批送至的矮。如圖4.10中，左方較高的小苗即為今年較早送至苗圃之苗木，而右方較矮的則為8月初送至的苗木。

在去年度的檫欖區外栽植中，由於新竹林區管理處的大力協助，因此去年6月29 - 30日則至關西造林地栽種300株苗木，每株苗木皆有掛上兩張小蘭花牌，白色蘭花牌是寫上其種源來自原生日的母樹編號，黃色蘭花牌是專屬關西造林地編號，是由英文字母K與數字001-300號組合而成，每株的編號不重複，並鋪設雜草抑制席避免雜草叢生影響苗木生長。今年針對關西造林地的300株植株，到目前全數存活，但有兩株去年生長即較差之植株今年沒有抽芽現象，需再多加注意。若造林地有植株死亡，本團隊再由苗圃移植植株過去。

另外目前區外栽植主要監測縣政府造林地、鳳岡國小、彰化農場、山崎國小、縣政府前廣場、瑞峰國小、婦幼公園、楊梅造林地與關西造林地此九個地點持續進行監測，我們將同一地點所有植株依照栽植之後的時間（年）作圖，同一地點的數值我們採用該地點所有檫欖高度的平均值，並最後計算其斜率，即其年生長速度，結果如圖4.10。其中可以發現檫欖生長速度有所差異，栽植在中海拔地區的檫欖生長較快，當然這些植株也因為較晚栽種，所以初始苗高就比較高，但是其生長也較快；而同樣生長較快的植栽地點也有鳳岡生長最快的植株以及婦幼公園植株。鳳岡國小栽植植株生長有兩種不同趨勢，最主要還是早期除草所致；但是在2018年經本團隊與該校總務主任溝通並協助後，可以看到在鳳岡國小的其他植株也開始快速生長。

而檫欖區外栽植在幾個造林地上，我們可以看出縣府造林地生長趨緩，最主要是有木蠹蛾持續侵擾，導致造林地中植株生長偏慢，而其餘地點包含彰化農場與其他各校檫欖平均高度雖然仍較低，但是也在團隊溝通協助後，植株在這幾年開始快速生長。

目前植株生長最高的是鳳岡國小的植株，目前高度約530 cm，其他介於400-500 cm的植株有6株，其中4株位於婦幼公園，2株位於瑞峰國小。而界於300 - 400 cm的植株有31株，其中18株位於婦幼公園，其他則有栽植較久的縣府造林地、楊梅造林地、彰化農場、與鳳岡國小。

由多年區外栽植結果中得知，整體未來區外栽植上，最好選取已在苗圃照護三年之植株，再將之栽植到區外，對於苗木高生長是有助益的。當然若是能栽植在如婦幼公園這種有良好土壤與澆灌環境下，植株之生長會比許多人為較少照護的地區好。

3.4 苗栗檫欖發現與建議

楊翊等（2020）發表苗栗族群的發現，該區屬私有地，且約有70-100株植株。本團隊今年三月份與學會團隊林奐宇研究員至現場進行空拍，並已處理為航攝立體模型，並先行繪製各植株樹冠圖，未來可藉由重複拍攝與樹冠繪製了解該處之植株大略動態與樹冠變化。





該地區榲欖去年已有種子採集，並送至南庄苗圃培育，未來本團隊持續與新竹林區管理處討論後續作為。另外目前南庄苗圃尚有675株左右的新竹榲欖小苗，請管理處在2022苗栗族群小苗可能開花時，盡量分開兩族群，避免族群間授粉。

在榲欖適存範圍中，本研究以全世界榲欖分布之氣候條件進行臺灣適存地點分析，由於北方與日本之榲欖族群其冬天可耐受至零下10度的溫度範圍，因此模式預測到除了北部與西北部海邊外，中央山脈有部分區域也是適合分布地點。但以本研究先前區外栽植，榲欖可於奮起湖與阿里山生存多年，但其生長緩慢。

3.5 欖仁溪樣區小苗監測

由於小苗監測上物種組成變化不大，因此本次直接以小苗存活曲線說明。欖仁溪樣區的小苗在經過12個月後有61%的存活率，而在36個月後則有41.6%的存活率，在第75個月的總存活長度中，尚有31.5%的小苗存活。由長期動態的分布來看，本研究的每平方公尺內的新增率與死亡率並無太大的變化與分布，所有小苗皆呈現穩定的生長。與其他研究相比，福山森林動態樣區的小苗存活率在第3年後則低於5%，且其小苗動態每隔兩年就有大量新增與大量死亡（Chang-Yang et al. 2013）；另外Lin et al.（2016）在墾丁動態樣區的研究中也顯示小苗的存活在4年之後，小苗的存活率接近0%。整體來說，南仁山小苗樣區相較於其他的動態樣區，其存活率高，且在6年後尚有30%以上的存活率。

在不同的生育地中，迎風型生育地內的小苗密度為三個生育地內最高，其次為中間型，背風型生育地之小苗密度最低。依照植物種類屬於迎風分布型或中間分布型與背風分布型的物種小苗在存活率表現上，中間分佈型的物種的存活率高於迎風與背風分佈型，並以背風型物種的存活率為最低。從影響小苗死亡風險的結果中顯示，中間分佈型的物種在暴露度指數、樹冠開闊度以及坡度越低且不同種的小苗密度越高，其死亡風險就越低（存活率高）；迎風分佈型的物種則在越低的海拔與不同種成樹生物量以及越大的凹凸度、同種與不同種小苗密度下，其死亡風險越低（存活率高）；而在存活率最低的背風型物種，主要受在東北季風暴露度越高、同種成樹生物量越大且樹冠開闊度越低、不同種小苗密度越低的情況下有較高的死亡風險（存活率低）。

而影響小苗的存活與死亡可能會受到養分資源的差異、耐陰性程度差異與干擾的發生頻度（Moer 1997）。近年來颱風影響頻度減少，南仁山欖仁溪樣區所受的干擾頻度減低，從欖仁溪小苗樣區自2015年3月設立以來，只有2016年9月的莫蘭蒂強烈颱風影響本樣區，且影響甚劇。由本團隊的魚眼資料來看，在受颱風影響後6個月內的樹冠開闊度達最高，後則漸漸鬱閉。本研究背風型物種的死亡風險受到開闊度影響，且開闊度越低，死亡風險則越高。此也顯示，在颱風頻度減少的情況下，會導致背風型物種的死亡風險變高。而另一方面，樹冠開闊度減低的森林，卻讓中間分佈型物種的死亡風險降低，且這一型的物種在平緩且少受東北季風影響的區域，可以有最高的存活率（死亡風險越小）。

然而，在迎風分佈型的物種則主要受到生物因子的影響，且為密度與資源競爭的雙重影響。當周圍的小苗密度越高，則死亡風險就越低；但另一方面則發現，周圍成樹的生物量越大，死亡風險就越高。目前由成樹的長期複查的動態結果來看，在迎風坡的小樹（DBH<17.2cm）密度持續下降，但大樹（DBH≥17.2cm）的生物量則隨時間上升。此現象顯示，若未來迎風坡生物地的周圍大樹生物量持續上升，則會影響到迎風型物種的存活。而在三種不同分佈型的物種中，不同種的小苗密度皆影響其死亡風險，且當不同種小苗密度越高，其死亡風險就越低，代表越多小苗，其存活率越好。此也表示，在密度高的南仁山欖仁溪樣區（相較於全球其他的森林動態樣區，（Lutz et al. 2018）），植株的密度對於森林的更新，有促進的作用。

整體而言，南仁山欖仁溪樣區的小苗除了受到密度影響以外，也受到了干擾的影響，導致背風型物種的存活率低於中間分佈型的物種。

本研究在75個月的（6年半）調查中，平均每個月記錄到561株小苗，共計71種小苗物種，以九節木、紅花八角、江某與小葉赤楠為最優勢。小苗與成樹組成的相似性結果中呈現距離小苗越近的成樹組成，相似性越高；而在距離10 m後則維持在28%-30%的相似性。從欖仁溪樣區的成





樹組成中發現，紅花八角、九節木、革葉冬青與野牡丹的豐富度為最高，與小樹的優勢物種組成有所差異。從Chao et al. (2005)的相似性示範資料中，也呈現出小苗樣方與小樹組成只有20-50%的相似性(圖4.16A)；而Wang et al. (2020)在Changbai Mountain 當中也顯示物種的功能性狀差異會導致個性狀的小苗組成與成樹組成的相似性不同。例如本研究中的江某因為大量種子與其發芽率高，導致在江某在小苗階段大量發生，但隨著密度過高與資源競爭，存活率低，導致江某在大樹階段呈現零星分布；而小葉赤楠也在調查中呈現出存活率之現象。

3.6 南仁山樣帶小苗監測

南仁山樣帶小苗從1995年1月開始設立樣區並進行每月調查，直至1997年3月共進行27次調查，共計調查到7,567株小苗，分屬於32科52屬79種，其中有23種小苗為臺灣特有種。在各物種小苗數量上，大戟科的茄苳為調查到數量最多的物種，數量高達1,003株，占有調查植株數量的17.39%，其次為豬腳楠763株(13.23%)、鵝掌柴702株(12.17%)、與銳脈木薑子551株(9.55%)，這四種植物小苗都為大量新增後大量死亡物種；有66種物種之小苗數量皆少於100株，其中有43種的物種之植株數量不超過10株。

本研究從2015年2月至2021年12月共進行24次調查，共計調查到2,311株小苗，同樣以茄苳為調查到最多數量的物種，共計有278株(12.17%)，都是屬於僅有子葉的小苗，其存活期較短，目前尚未有茄苳長出初生葉並順利成長，而鵝掌柴總計調查到272株(11.90%)、交力坪鐵色調查到227株(12.17%)、與香楠173株(7.57%)。這四種小苗株數優勢物種當中，前兩種小苗存活期短，後兩者則有少數有觀察到由子葉小苗至發出初生葉。樣帶小苗調查到臺灣特有種共計有20種，目前也持續監測中。

3.7 出風山小苗監測

出風山自2017年起至2021年12月共進行34次木本小苗調查，共計有19科31屬42種593株，其小苗存活率高。在小苗植株數量上，以鵝掌柴275株(48.85%)最多，其中232株是僅有子葉的小苗植株，但是其存活率相對也低很多。雨傘仔56株(9.95%)則次之，而臺灣八角有32株(5.68%)為目前調查到植株數量第三名的物種，臺灣薺花、九節木和小葉木犀分別調查28株、21株和20株。有8種小苗僅調查到1株，如石苓舅、狗骨仔、長尾尖葉槭、茄冬、淡綠葉衛矛、港口木荷、豬母乳、鐵冬青。而全部小苗中有13種的小苗為臺灣特有種(臺灣八角、臺灣石櫟、臺灣薺花、希蘭灰木、雨傘仔、南仁山柃木、南仁五月茶、恒春楨楠、香楠、高士佛赤楠、高士佛紫金牛、淡綠葉衛矛、港口木荷)。根據2017年臺灣維管束植物紅皮書名錄索引中，以臺灣石櫟為出風山所有小苗中受風險最高的物種，目前被列為極危等級(CR)，目前僅調查到2株小苗，目前都還存活著，分別從84 cm長高至145 cm和15 cm長高至20 cm，這兩株小苗也是所有小苗調查中唯一發現的；而希蘭灰木(2株)從2017年1月初次調查即存在，目前也都尚存活，從當初140 cm長高至158 cm，另一株則於2020年1月底發現，但是僅存活3個月就死亡。

3.8 欖仁溪樣區整體樣區的死亡植株分布分析

依據不同調查期間檢測密度制約對欖仁溪樣區內整體植株生存影響是否有所變化，結果顯示，歷次調查期間植株死亡皆有受到負密度制約的影響，並且隨著時間尺度的增加，負密度制約對樣區內植株造成死亡的影響有逐漸增強的現象。然而根據過往研究呈現當植群發展到後期時，密度制約應不再是造成植株死亡主要因子(Kenkel, 1988; Das et al., 2011; Larson et al., 2015)。因此我們進一步探討為何本研究樣區的密度制約有逐漸增強的趨勢，其主要發生在何種類型的植株上?

首先，本研究將整體植株區分成大小樹兩大類，檢測兩種類群在各時期受到密度制約的影響是否有所差異。整體而言，大樹之間受密度制約的影響較小，而小樹之間皆有受到負密度制約的影響，並且於2013年至2019年期間的死亡植株在各距離尺度下皆較存活植株周圍的植株密度高，死亡植株受到負密度制約的影響最大，並與整體死亡植株受密度制約的影響相比，



1101118



密度制約主要發生在整體小樹之間。但為何密度制約對樣區內整體小樹生存的影響隨著時間尺度有逐漸增強的趨勢呢？參照前人研究探討可能原因為密度制約機制主要發生在小樹階段 (Kenkel, 1988; Larson et al., 2015)，或者受到干擾事件 (如病蟲害、乾旱) 的影響 (Birch et al., 2019)。但上述仍未解釋到其隨著時間尺度增強的現象，則此可能代表樣區內植株可能處在一個植株間競爭壓力較高的環境中 (Zhang and Wang, 2016)。此外，不同的物種因其生存策略或生育地環境不同，其受到的密度制約影響也可能有所差異 (Szmyt and Tarasiuk, 2018; Birch et al., 2019)，因此，本研究進一步探討各物種分布型的小樹生存受密度制約的影響差異為何？又是何種類型的小樹主要受到負密度制約的影響？

統整各物種之小樹植株於歷次調查期間受到密度制約影響，結果顯示各物種小樹的死亡並非皆以負密度制約為主，於2013年至2019年期間，物種之小樹受到負密度制約影響的比例僅有27%，顯示在整體小樹之植株死亡受負密度制約影響的現象主要發生在少部分物種，但亦有可能受到物種間小樹競爭的影響。

依據各物種分布型分群的結果顯示，在迎風型物種的小樹方面，於1997年至2005年有46%物種未檢測出密度制約的影響，但受密度制約影響的物種比例逐漸增加，於2013年至2019年期間則轉變成46%的物種受到負密度制約的影響。另一方面，背風型物種的小樹於三個調查期間皆主要受到正密度制約的影響，並於2013年至2019年期間增長為66%的物種受到正密度制約的影響。

3.9 臺灣石櫟之培育與未來植栽討論

本團隊於今年9月2日至屏東處進行本計畫之討論。由於臺灣石櫟培育過程遭受許多困難，且培植不易，因此苗木直至今年才會送到屏東處，目前在苗圃內狀況良好。另外本團隊也於9月底會同屏東林區管理處恆春工作站進行臺灣石櫟探查，亦在出風山往出風鼻方向持續發現些許臺灣石櫟植株，但實際上植株數量仍需再次確認。未來可參照櫟櫟模式，進行每一植株編號與持續監測其生長與健康度狀況，以避免此臺灣特稀有物種消失。目前依照學會團隊模式，不論何種情境，臺灣石櫟皆會朝向棲地破碎化而殘存於各個山頭上，因此持續監測其族群變化並擬定策略是重要的。本團隊先前已與墾丁國家公園管理處及屏東林區管理處討論於生態保護區回收之檳榔園或其他回收地成立南仁山特稀有植物園區，將來可為南仁山區物種保育以及民眾教育上之重點區域。

3.10 臺灣冷杉樣區實際森林動態

合歡山冷杉林森林動態樣區總面積為6 ha，包含約2 ha的箭竹高山草原與4 ha的冷杉森林，目前共調查了0.66 ha的冷杉森林樣區，共計516筆資料 (包含分支資料筆數)，11種物種，總計為408 ha^{-1} 株，胸高斷面積為68.5 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ 。在森林動態部分，植株密度從原本2008年的490株 ha^{-1} ，減少為408株 ha^{-1} 。胸高斷面積則從原本2008年的80.6 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ 減少為68.5 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ，存活的胸徑生長量為6.96 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ，死亡的胸徑生長量為19.2 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ，新增的胸徑生長量則為0.028 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ 。

因此目前初步結果顯示，合歡山樣區大樹死亡較多，而新增植株則相當少。當然調查期間並未發現有如德國森林的蟲害，但是森林內隨處可見多量的水鹿排遺，須注意是否因鹿科動物族群大量增加而導致此森林更新不易。另外森林內的玉山箭竹在這次調查也大量增加，是否也對此高海拔森林造成影響則待研究完成。

學會團隊研究顯示冷杉-鐵杉上部山地針葉林中，溫度因子佔有很高的重要性，而在對未來預測中，在最極端的情況下，至2090年其適生面積可能僅剩下25.90%，即使平均情況下，也僅存半數的適生面積。搭配本團隊今年所執行的研究顯示，冷杉林樣區中死亡植株遠多於新增植株，雖可能有鹿科動物或是高山箭竹的影響，但以動態來看的确是屬於衰退的狀態，因此必須多加注意。

六、結論：





榲欏目前苗栗有新族群發現，且原生地與苗栗皆有採種培育，後續兩區域之苗木是否可以一同培育混植，需要有遺傳證據支持，在此之前，已先請新竹林區管理處盡量將兩批不同苗木分開，尤其是榲欏在苗圃第二年即有可能開花。而在未來其他特稀有物種的區外栽植建議上，以榲欏之成果來看，在林地栽植其生長速度較低，但是僅要低度管理。在校園與公園則管理好的情況下生長速度較高，但是若缺乏團隊管理干涉，則因除草作業等易造成植株損害，反而生長速率很低。南仁山區則仍需維持棲地監測，尤其是臺灣石櫟的監測更為重要。而苗圃中的臺灣石櫟等物種則待其成長後，可開始進行區外栽植復育。

七、參考文獻：

1. 朱吟晨、林士堯、朱容練、劉俊志、陳永明 (2015) 2015年乾旱事件分析。國家災害防救科技中心。
2. 林奐宇 (2002) 臺灣北部樂佩山區暖溫帶雨林森林組成結構及植物樹種空間分布型分析。國立臺灣大學植物學研究所碩士論文，133頁。
3. 陳子英、謝長富、趙偉村、徐堉峰 (2015) 因應氣候變遷之生物多樣性脆弱度評估與風險管理研究。行政院農業委員會林務局 104年度科技計畫研究報告。
4. 陳子英、謝長富、趙偉村、徐堉峰 (2018) 因應氣候變遷生物多樣性回復力之研究。行政院農業委員會林務局 107年度科技計畫研究報告。
5. 趙偉村、宋國彰、趙國容 (2019) 南仁山欖仁溪森林動態樣區複查計畫。行政院農業委員會林務局委託研究計畫 tfbc-1070204，129頁。
6. 賴宜鈴 (1996) 南仁山亞熱帶雨林小苗動態及地被層植物組成之研究。臺灣大學植物學系研究所碩士論文，135頁。
7. 廖捷妤 (2019) 南仁山樣帶木本植物的小苗動態與分布變化。嘉義大學森林暨自然資源研究所碩士論文，50頁。
8. 謝長富、陳尊賢、孫義方、謝宗欣、鄭育斌、王國雄、蘇夢淮、江斐瑜 (1992) 墾丁國家公園亞熱帶雨林永久樣區之調查。墾丁國家公園管理處保育研究報告第85號，269頁。
9. Aakala, T., S. Fraver, B.J. Palik, and A.W. D' Amato (2012) Spatially random mortality in old-growth red pine forests of northern Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research* 42:899-907.
10. Aiba, S., K. Kitayama and M. Takyu (2004) Habitat associations with topography and canopy of tree species in a tropical montane forest on Mount Kinabalu, Borneo. *Plant Ecology* 174:147-161.
11. Allen, M.S., V. Thapa, J.R. Arevalo, and M.W. Palmer (2012) Windstorm damage and forest recovery: accelerated succession, stand structure, and spatial pattern over 25 years in two Minnesota forests. *Plant Ecology* 213:1833-1842.
12. Angulo, E., G.M. Luque, S.D. Gregory, J.W. Wenzel, C. Bessa-Gomes, L. Berec, and F. Courchamp (2018) Review: allee effects in social species. *Journal of Animal Ecology* 87:47-58.
13. Astrup, R., K.D. Coates and E. Hall (2008) Recruitment limitation in forests: lessons from an unprecedented mountain pine beetle epidemic. *Forest Ecology and Management* 256 (10): 1743-1750.
14. Baddeley, A. and R. Turner (2005) Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of Statistical Software* 12:1-42.
- 15.





- Baddeley, A., R. Turner, J. Mateu, and A. Bevan (2013) Hybrids of gibbs point process models and their implementation. *Journal of Statistical Software* 55:1-43.
16. Barto, K. (2020) MuMIn: multi-model inference. R package. <https://cran.r-project.org/web/packages/MuMIn/MuMIn.pdf>
 17. Berc, L., E. Angulo, and F. Courchamp (2007) Multiple allee effects and population management. *Trends in Ecology and Evolution* 22:185-191.
 18. Brown, A.H.D. and C.M. Hardner (2000) Sampling the gene pools of forest trees for ex situ conservation. In: Young A, Boyle TJB, Boshier D (eds) *Forest Conservation Genetics: Principles and Practice*. CABI Publishing, Wallingford, pp 185-196.
 19. Caspersen, J.P. and M. Saprunoff (2005) Seedling recruitment in a northern temperate forest: the relative importance of supply and establishment limitation. *Canadian Journal of Forest Research* 35(4): 978-989.
 20. Catherine, M.M., S.P. Hamburg, T.-C. Lin, F.-W. Horng, H.-B. King, and Y.-J. Hsia (1998) Typhoon Disturbance and Stand-Level Damage Patterns at a Subtropical Forest in Taiwan. *Biotropica* 30:238-250.
 21. Chang-Yang, C.-H., C.-L. Lu, I.-F. Sun and C.-F. Hsieh (2013a) Flowering and fruiting patterns in a subtropical rain forest, Taiwan. *Biotropica* 45(2): 165-174.
 22. Chang-Yang, C.-H., Lu, C.-L., Sun, I.-F. and C.-F. Hsieh. (2013b) Long-term seedling dynamics of tree species in a subtropical rain forest, Taiwan. *Taiwania* 58: 35-43.
 23. Chao, A., R. L. Chazdon, R. K. Colwell, and T.J. Shen (2005) A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology letters* 8: 148-159.
 24. Chao, W.-C., G.-Z. M. Song, K.-J. Chao, C.-C. Liao, S.-W. Fan, S.-H. Wu, T.-H. Hsieh, I.-F. Sun, Y.-L. Kuo and C.-F. Hsieh (2010) Lowland rainforests in southern Taiwan and Lanyu, at the northern border of Paleotropics and under the influence of monsoon wind. *Plant Ecology* 210:1-17.
 25. Chao, W.-C., K.-J. Chao, G.-Z. M. Song, C.-F. Hsieh (2007a) Species composition and structure of the lowland subtropical rainforest at Lanjenchi, southern Taiwan. *Taiwania* 52:253-269.
 26. Chao, W.-C., S.-H. Wu, H.-Y. Lin, C.-F. Hsieh and K.-J. Chao (2007b) Distribution patterns of tree species in the Lanjenchi lowland rain forest. *Taiwania*. 52:343-351.
 27. Chapin III, F.S., J.B. McGraw, and G.R. Shaver (1989) Competition causes regular spacing of alder in Alaskan shrub tundra. *Oecologia* 79:412-416.
 28. Chazdon, R.L. (2008) Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320:1458-1460.
 29. Chen, F., L. Liu, F. Chen and G. Jia (2012) The ecological characteristics of seed germination and seedling establishment of *Manglietia patungensis*: implication for species Conservation. *American Journal of Plant Sciences* 3 (10): 1455-1461.
 30. Chesson, P. (2000) Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31:343-366.





31. Clark, D.B. and D.A. Clark (1989) The role of physical damage in the seedling mortality regime of a neotropical rain forest. *Oikos*: 225-230.
32. Colwell, R.K., G. Brehm, C.L. Cardelús, A.C. Gilman and J.T. Longino (2008) Global warming, elevational range shifts, and lowland biotic attrition in the wet tropics. *Science* 322: 258-261.
33. Condit, R., P.S. Ashton, P. Baker, S. Bunyavejchewin, S. Gunatilleke, N. Gunatilleke, S.P. Hubbell, R.B. Foster, A. Itoh, J.V. LaFrankie, H.S. Lee, E. Losos, N. Manokaran, R. Sukumar, and T. Yamakura (2000) Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288:1414-1418.
34. Condit, R., S.P. Hubbell and R.B. Foster (1995) Mortality rates of 205 Neotropical tree and shrub species and the impact of a severe drought. *Ecological Monographs* 65:419-439.
35. Condit, R., S. P. Hubbell, and R. B. Foster. (1996) Assessing the response of plant functional types to climatic change in tropical forests. *Journal of Vegetation Science* 7(3): 405-416.
36. Connell, J.H. (1971) On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. In P. J. Den Boer and G. Gradwell, eds. *Dynamics of Numbers in Populations*. Center for Agricultural Publication and Documentation, Wageningen. pp.298-312.
37. Conner, K.R (1991) A historical comparison of resource-based theory and five schools of thought within industrial organization economics: do we have a new theory of the firm? *Journal of Management* 17:121-154.
38. Cox, D.R. (1972) Regression models and life tables. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B* 34:187-220
39. Dale, M.R.T. (1999) *Spatial Patterns Analysis of Plant Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge. 326pp.
40. Das, A., J. Battles, N.L. Stephenson, and P.J. van Mantgem (2011) The contribution of competition to tree mortality in old-growth coniferous forests. *Forest Ecology and Management* 261:1203-1213.
41. Diggle, P.J. (2003) *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*, 2nd ed. Edward Arnold, London. 159pp.
Dillon, M.E., G. Wang and R.B. Huey (2010) Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature* 467:704-706.
42. Feeley, K.J., J. Hurtado, S. Saatchi, M.R. Silman and D.B. Clark (2013) Compositional shifts in Costa Rican forests due to climate-driven species migrations. *Global Change Biology* 19:3472-3480.
43. Feeley, K.J., M.R. Silman, M.B. Bush, W. Farfan, K.G. Cabrera, Y. Malhi, P. Meir, N.S. Revilla, M.N.R. Quisiyupanqui and S. Saatchi (2011) Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography* 38:783-791.
44. Franklin, J.F., H.H. Shugart, and M.E. Harmon (1987) Tree death as an ecological process. *Bioscience* 37:550-556.
Getis, A. (2008) A history of the concept of spatial autocorrelation: a geographer's perspective. *Geographical Analysis* 40:297-309.
45. Gonzalez, P. (2001) Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. *Climate Research* 17: 217-228.





46. Goreaud, F. and R. Pélissier (2003) Avoiding misinterpretation of biotic interactions with the intertype K_{12} -function: population independence vs. random labelling hypotheses. *Journal of Vegetation Science* 14: 681-692.
47. Guerrant, E.O., K. Havens and M. Maunder, editors. (2004) *Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild*. Washington, D.C.: Island Press
48. Guerrant, E.O., K. Havens and P. Vitt (2013) Sampling for effective ex situ plant conservation. *International Journal of Plant Sciences* 175(1):11-20. doi: 10.1086/674131.
49. Holzwarth, F., A. Kahl, J. Bauhus, and C. Wirth (2013) Many ways to die - partitioning tree mortality dynamics in a near-natural mixed deciduous forest. *Journal of Ecology* 101:220-230.
50. Hubbell, S.P. (2001) *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography* (mPB-32). Princeton University Press, Princeton. 375pp.
51. IPCC. (2007) *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K and A. Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.
52. IPCC, (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
53. Janzen, D.H. (1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist* 104:501-528.
54. Johnson, D.J., R. Condit, S.P. Hubbell and L.S. Comita (2017) Abiotic niche partitioning and negative density dependence drive tree seedling survival in a tropical forest. *The Royal Society* 284.
55. Kenkel, N.C. (1988) Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology* 69:1017-1024.
56. Kleinbaum, D.G. and M. Klein (2012) *Survival analysis: a self-learning text*. Springer New York. p. 55-240.
57. Ku, C.-C., G.-Z.M. Song, K.-J. Chao, and W.-C. Chao. (2021) Species-habitat associations of tree species under the northeast monsoon wind-affected tropical forest at Lanjenchi Forest Dynamics Plot, Taiwan. *Taiwania* 66: 39-47.
58. Larkin, D.J., S.K. Jacobi, A.L. Hipp and A.T. Kramer (2016) Keeping all the PIECES: Phylogenetically informed ex situ conservation of endangered species. *PLoS ONE* 11(6): e0156973.doi:10.1371/journal.pone.0156973.
59. Larson, A.J., J.A. Lutz, D.C. Donato, J.A. Freund, M.E. Swanson, J. HilleRisLambers, D.G. Sprugel, and J.F. Franklin (2015) Spatial aspects of tree mortality strongly differ between young and old-growth forests. *Ecology* 96:2855-2861.
- 60.





- Laurance, S.G.W., W.F. Laurance, H.E.M. Nascimento, A. Andrade, P.M. Fearnside, E.R.G. Rebello and R. Condit (2009) Long-term variation in Amazon forest dynamics. *Journal of Vegetation Science* 20:323-333.
61. Lin, Y.-C., L.S. Comita, D.J. Johnson, M.R. Chen and S.H. Wu (2017) Biotic vs abiotic drivers of seedling persistence in a tropical karst forest. *Journal of vegetation science* 28(1): 206-217.
62. Lutz, J. A., T. J. Furniss, D. J. Johnson, S. J. Davies, D. Allen, A. Alonso, K. J. Anderson-Teixeira, A. Andrade, J. Baltzer, and et al. (2018) Global importance of large-diameter trees. *Global Ecology and Biogeography* 27: 849-864.
- MacArthur, R. (1970) Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical Population Biology* 1:1-11.
63. MacArthur, R. and R. Levins (1967) The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *American Naturalist* 101:377-385.
64. Manion, P.D. (1981) *Tree Disease Concepts*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 399pp.
65. Miao, N., H. Xu, T.C. Moermond, Y. Li, and S. Liu (2018) Density-dependent and distance-dependent effects in a 60-ha tropical mountain rain forest in the Jianfengling mountains, Hainan Island, China: spatial pattern analysis. *Forest Ecology and Management* 429:226-232.
66. Moer, M. (1997) Spatial models of competition and gap dynamics in old-growth *Tsuga heterophylla/Thuja plicata* forests. *Forest Ecology and Management* 94: 175-186.
67. Pacala, S. (1997) Dynamics of plant communities. In M. Crawley, ed. *Plant Ecology*. Blackwell, Oxford. pp.532-555.
68. Parmesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 37: 637-669.
69. Parmesan, C. (2007) Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology* 13: 1860-1872.
70. Parmesan, C., T.L. Root and M.R. Willig (2000) Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 443-450.
71. Peters, H. (2003) Neighbour-regulated mortality: the influence of positive and negative density dependence on tree populations in species-rich forests. *Ecology* 6:757-765.
72. Pocheville, A. (2015) The ecological niche: history and recent controversies. In T. Heams, P. Huneman, G. Lecointre, and M. Silberstein, eds. *Handbook of Evolutionary Thinking in the Sciences*. Springer-Verlag, Dordrecht. pp.546-586.
73. Pott, M.D. (2003) Drought in a Bornean everwet rain forest. *Journal of Ecology* 91: 467-474.
74. R Core Team (2019) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- 75.





- Raventós, J., T. Wiegand, and M. De Luis (2010) Evidence for the spatial segregation hypothesis: a test with nine-year survivorship data in a Mediterranean shrubland. *Ecology* 91:2110-2120.
76. Ripley, B.D.(1976) The second-order analysis of stationary point processes. *Journal of Applied Probability* 13:255-266.
77. Ripley, B.D.(1977) Modelling Spatial Patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 39:172-212.
78. Ripley, B. D. (1981) *Spatial Statistics*. John Wiley and Sons, New York. 268pp.
79. Shen, Y., L.S. Santiago, L. Ma, G.J. Lin, J.U. Lian, H.L. Cao, and W.H. Ye (2013) Forest dynamics of a subtropical monsoon forest in Dinghushan, China: recruitment, mortality and the space of community change. *Journal of Tropical Ecology* 29:131-145.
80. Shoo, L.P., A.A. Hoffmann, S. Garnett, R.L. Pressey, Y.M. Williams, M. Taylor, L. Falconi, C.J. Yates, J.K. Scott, D. Alagador and S.E. Williams (2013) Making decisions to conserve species under climate change. *Climatic Change* 119: 239-246.
81. Silver, E.J., S. Fraver, A.W. D' Amato, T. Aakala, and B.J. Palik (2013) Long-term mortality rates and spatial patterns in an old-growth *Pinus resinosa* forest. *Canadian Journal of Forest Research* 43:809-816.
82. Stoyan, D. and H. Stoyan (1994) *Fractals, Random Shapes and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics*. John Wiley and Sons, New York. 406pp.
83. Szmyt, J. and S. Tarasiuk (2018) Species-specific spatial structure, species coexistence and mortality pattern in natural, uneven-aged Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)-dominated forest. *European Journal of Forest Research* 137:1-16.
84. Therneau, T. M., P. M. Grambsch (2000) *Modeling survival data: extending the Cox model*. New York: Springer.
85. Therneau, T. M., and T. Lumley. 2014. Package 'survival'. *Survival analysis* Published on CRAN 2: 119.
86. Thomas, E., R. Jalonen, J. Loo, D. Boshier, L. Gallo, S. Cavers, S. Bordács, P. Smith and M. Bozzano (2014) Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management* 333:66-75.
87. Wang, Y., J. M. La-Montagne, F. Lin, Z. Yuan, J. Ye, X. Wang, and Z. Hao. (2020) Similarity between seed rain and neighbouring mature tree communities in an old-growth temperate forest. *Journal of Forestry Research* 31: 2435-2444.
88. Wiegand, T. and K.A. Moloney (2004) Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* 104:209-229.
89. Wiegand, T. and K.A. Moloney (2014) *Handbook of Spatial Point Pattern Analysis in Ecology*. Chapman and Hall/CRC press, Boca Raton. 538pp.
90. Yates, C.J. and L.M. Broadhurst (2002) Assessing limitations on population growth in two critically endangered *Acacia* taxa. *Biological Conservation* 108 (1): 13-26.
- 91.





Yu, H., T. Wiegand, X. Yang, and L. Ci (2009) The impact of fire and density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, Inner Mongolia, China. *Forest Ecology and Management* 257:2098-2107.

