

崩塌十年後的樹木生長概況

鍾安晴^{1*}、周富三¹、林文智²

緣起

位於高雄市茂林區的多納林道崩塌地，為2009年莫拉克颱風時所造成。該處為林業試驗所六龜研究中心所管轄，研究人員於林道8.7 km處之崩塌地上，設立了面積1公頃的永久樣區，自2017年開始監測樹木的生長情形。此崩塌地已經歷十多年的自然演替，多數區域已形成次生林(圖1)，部分區域仍為裸露(圖2)，呈現鑲嵌式的地景。調查至今的6年間，樹木的生長量在雨季會比乾季高嗎？生長量和樹木徑級、競爭程度間有什麼關係？誰是崩塌地長得最快的樹？現在就讓我們來看看崩塌十年後，樹木的生長概況。

多納崩塌地的樹種組成

從2017年起，我們每半年進行一次樹木調查，針對1公頃樣區內所有胸高直徑 ≥ 1 cm的木本植株，量測其胸徑及樹高。調查時間大約在雨季末的10月初及乾季末的4月初。10月初之數據可代表樹木在整個雨季間(4月至9月)的生長情形，而4月初的數據則是代表乾季間(10月至隔年3月)的生長情形。

在2017年10月，樣區內共調查到51種2,520株樹木，重要值前5名之樹種為山黃麻(35.0%)、白匏子(28.9%)、臺灣山桂花(5.4%)、羅氏鹽膚木(4.2%)、水麻(3.0%)。2022年10月則是成長為66種3,240株，重要值前5名之樹種為山黃麻(28.6%)、白匏子



圖1 多納崩塌地在十年自然演替後所形成的次生林 (鍾安晴攝)



圖2 目前多納崩塌地仍有部分區域為裸露狀態，地表佈滿大大小小石塊，並有樹木散生其間 (鍾安晴攝)

(27.5%)、臺灣山桂花(9.3%)、羅氏鹽膚木(5.6%)及六龜粗糠樹(2.9%)。以上結果可看出在過去這六年，多納崩塌地次生林主要由先驅性之山黃麻及白匏子構成，然而此二樹種的重要值有逐年略降趨勢；屬於林下耐陰灌木至小喬木的臺灣山桂花，則是優勢程度逐年

¹ 林業試驗所六龜研究中心

² 林業試驗所恆春研究中心

* 通訊作者(cac335@tfri.gov.tw)

增加。

樹高生長 v. s 胸徑生長

樹木會隨著時間向上(樹高)生長，也會橫向(胸徑)生長，且兩者具有很高的相關性。在2017~2022年期間，多納崩場地樹木胸徑與樹高生長量呈顯著正相關($r^2=0.9385$, $p < 0.01$)，也就是說，胸徑生長量越高，樹高生長量也會越大。

樹高生長可能速度很快，有時候新枝向上抽長，一個月就能長50 cm；然而高生長遭遇到的變數較多，例如雨季時颱風所導致的斷折，以及乾季時缺水造成的頂枯等等，因此常會出現負生長，使得樹高生長的波動大，可能不足以代表樹木的生長情形。相較之下，胸徑的生長較為穩定，雖然生長量不如樹高快速，但也較不會受外力影響，可以較為準確地表示樹木的生長情形。因此，本文接下來的樹木生長分析將只針對胸徑生長，而不討論樹高生長。

雨季的生長量比乾季高嗎？

臺灣南部乾季及雨季的雨量差距非常大，多納林道8.7 km處之崩場地也是如此。根據多納苗圃氣象站(距本研究樣區水平距離約300 m) 1986-2022年之資料顯示，每年乾季的平均累積雨量約為全年總雨量之6%。在長達半年的乾季期間，樹木是否會因為缺水而有生長緩慢的現象嗎？答案是肯定的。

本研究分析2017-2022年，共6次雨季及5次乾季的樹木胸徑生長量：將單株本次的胸徑減去前次胸徑，得到該株該時期的生長量，再計算該時期所有單株的生長量平均。

結果6年間雨季樹木的平均胸徑生長量為0.24 cm (N=19,119)，顯著高於乾季的0.08 cm (N=16,521) ($p < 0.01$)，且為乾季的3倍之高。

雨季雨量越多，生長量越大？乾季雨量越少，生長量越小？

那麼，在雨季或乾季期間，雨量的多寡會影響樹木生長量嗎？也就是說，同樣是雨季，會因為當年雨量特別多，生長量就比較大嗎？同樣是乾季，會因為當年雨量特別少，生長量就比較小嗎？目前結果顯示並非如此。

在2017-2022年的6次雨季(圖3A)，雨量最高者為2021年(4,595 mm)，該次樹木生長量卻很低(0.15 cm)；生長量最高的時期為2017年(0.4 cm)，而該年的雨量也並非最高。在5次乾季中(圖3B)，雨量最高者為2017年(481 mm)，該次樹木生長量並未特別突出；在生長量最低的2019年，所有樹木幾乎都停止生長，但該年也並非雨量最少的一年。以上結果可看出，雖然雨季的樹木生長量的確比乾季高非常多，但是同樣是雨季的話，該年度的雨量多寡和本區域樹木生長量間並沒有明顯關聯，而乾季也是如此情形。

競爭越激烈，生長量越小？

多納崩場地樣區的樹木分布很不平均，有些區域為較大面積裸露，有些已成林，在林木下也有大小不一的孔隙(圖4)。樹木彼此之間會競爭陽光、水分及生長空間，在樹木越密集的區域，各株樹木遭受到的資源競爭就越激烈，這會不利於樹木的生長量嗎？答案是肯定的。

在越空曠的區域，樹木間的距離較遠，

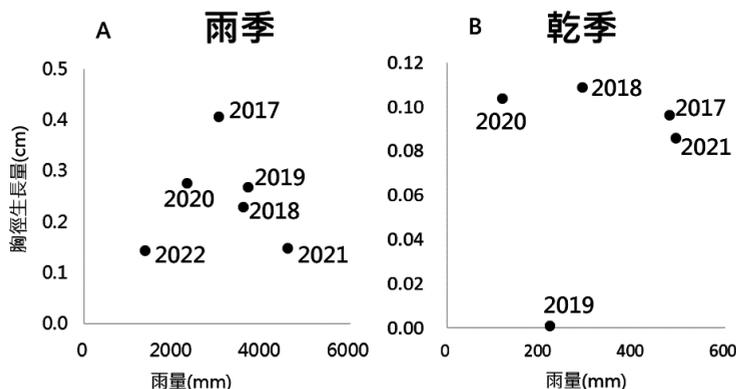


圖3 多納崩塌地樹木胸徑生長量與雨季雨量(A)及乾季雨量(B)間的關係(鍾安晴 製)

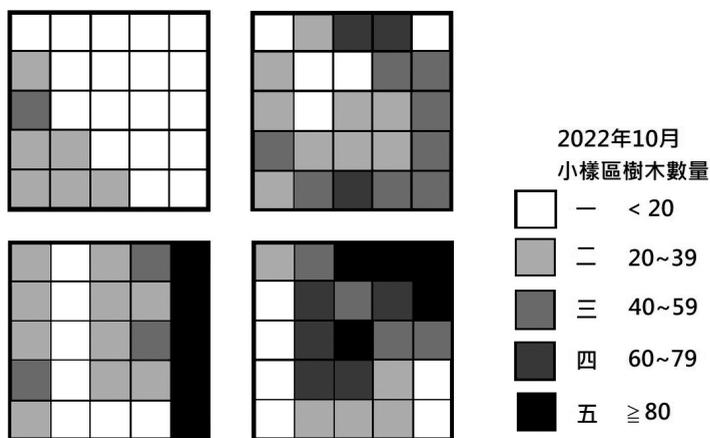


圖4 多納崩塌地1公頃樣區樹木密度示意圖。本研究1公頃樣區共由4個50 m × 50 m之大樣區組成，每個大樣區又各自劃分為25個10 m × 10 m之小樣區(圖中之小方格)。小樣區可依據其範圍內之樹木數量，歸為5個樹木密度等級。第一級： < 20 株/100 m²；第二級： $20\sim 39$ 株/100 m²；第三級： $40\sim 59$ 株/100 m²；第四級： $60\sim 79$ 株/100 m²；第五級： ≥ 80 株/100 m²(鍾安晴 繪)

每株樹木能獲得的資源也較多，因此有利於樹木生長，在樹木密度 < 20 株/100 m²的區域(第一級)，樹木胸徑生長量在雨季時可達到平均0.36 cm，是密林區域(第五級， ≥ 80 株/100 m²)的2倍之高。即便是在較缺水的乾季，空曠區域的樹木平均胸徑生長量也可達0.15 cm，竟然還逼近密林區域樹木在雨季的生長表現(0.17 cm)。而密林區域樹木在乾季幾乎是停止生長了，胸徑生長量平均僅有0.06 cm。

越大的樹長越快？

較高大的樹，獲取資源的能力也比較強，尤其是那些構成樹冠層的大樹，享有滿滿的陽光，光合作用效率比林下的小樹們要高，這會讓大樹的生長量明顯大於小樹嗎？答案也是肯定的。我們將多納崩塌地所有的樹木，依據胸徑分為小徑木(< 5 cm，約2,046株)、中徑木(5~9.9 cm，約639株)、大徑木(≥ 10 cm，約348株)，結果無論是雨季或乾季，大徑木的平均胸徑生長量都顯著高於中、小徑木，且高達2倍之多。

既然我們知道了大樹的確會長得比較快，那麼新的問題來了，依據現場觀察，雖然大、中、小3個徑級的樹在所有樹木密度下都有分布，但空曠處出現大徑木的

比例較高，密林個體則是以小徑木為主。所以，空曠處的平均樹木生長量較大，是因為空曠處本來就有比較多的大徑木嗎？同樣在密林下，大徑木的生長量仍然大於中小徑木嗎？從另一個角度問，同樣是小徑木，會因為在空曠處就長得比較快嗎？那大徑木又是如何呢？

從圖5可看出，無論樹木疏密程度如何，大徑木的生長量都是顯著高於中、小徑木，

而且在雨季及乾季皆如此。雨季時中徑木的生長量也幾乎都顯著高於小徑木(圖5A)，而乾季時中、小徑木的生長量僅在密林區域(第四、五級)有所差異(圖5B)。

無論徑級大小為何，空曠處的樹木胸徑生長量皆明顯高於密林處(圖6)，然而中小徑木生長量會很明顯隨著樹木密度提高而增加；大徑木則是在空曠處生長量最高，但在樹木密度第二~五級間就沒有明顯區別了。這也許說明了，中、小徑木受到競爭的影響較為明顯；而大徑木因為已經達到樹冠層，無論在空曠處或是密林處，其實資源都很多，因此受到競爭帶來的影響較輕微。

誰是崩場地長最快的樹？

多納崩場地樣區目前的66個樹種中，大多種類其實個體數不多，因此我們在此段落僅討論數量前15個樹種的生長量。這15個樹種有的是大喬木，有的是林下小樹，由前段結果我們得知大樹生長比較快，因此在討論樹種生長量時，應也將大、中、小徑木分開討論，才能較精準地解釋。

在數量前15種小徑木中(圖7A)，雨季生長量前3者為菲律賓楠(0.59 cm)、羅氏鹽膚木(0.57 cm)、山胡椒(0.36 cm)。菲律賓楠為耐陰樹種，但在林下卻可以生長快速，甚至超越陽性的羅氏鹽膚木及山胡椒，或許有潛力作為崩場地復育的優良樹種。山黃麻在樣區內有最多的大徑木，然而它的小徑木其實長得很慢，甚至輸給主要為林下小樹之臺灣山桂花。白匏子是樣區內數量最多的樹種，但是它的小徑木生長很慢，可能是多數植株過於密生，雨季之平均生長量僅有0.16 cm。

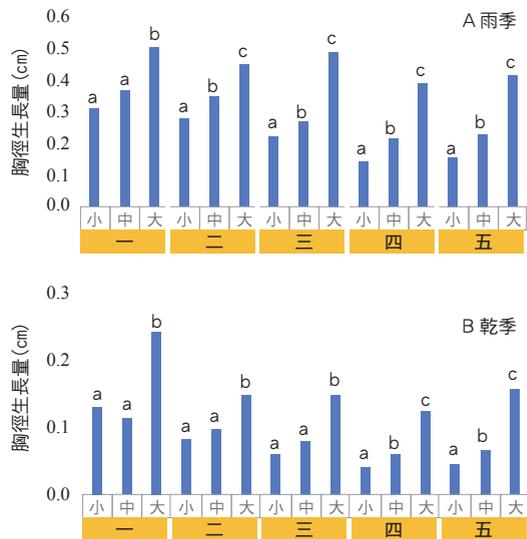


圖5 多納崩場地樹木在雨季(A)及乾季(B)時，各級樹木密度下小、中、大徑木的胸徑生長量比較。胸徑生長量具有不同字母者，具顯著差異(LSD test, $p < 0.05$) (鍾安晴繪)

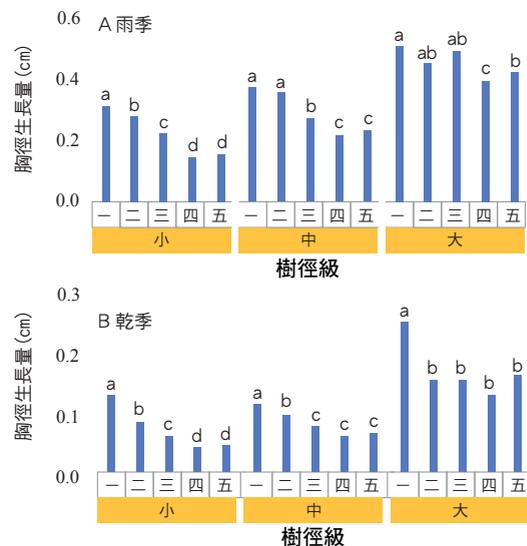


圖6 多納崩場地樹木在雨季(A)及乾季(B)時，小、中、大徑木在各級樹木密度之間的胸徑生長量比較。胸徑生長量具有不同字母者，具顯著差異(LSD test, $p < 0.05$) (鍾安晴繪)

在中徑木中(圖7B), 白栢的雨季生長量(1.42 cm)明顯高出於其他樹種, 然而它在樣區內的數量僅有9株, 難以因生長快速而在崩場地佔有優勢。樣區內僅有4個樹種能長成大徑木(圖7C), 其中羅氏鹽膚木的雨季生長量達1.08 cm, 而山黃麻及白匏子即便是大徑木, 生長量也不算太高, 和許多樹種中徑木的表現差不多。

那麼誰是崩場地長最快的樹? 由圖7可看出, 羅氏鹽膚木在各徑級的生長量都名列前茅, 而且將3類徑級合併來看的話, 它在雨季(0.73 cm)及乾季(0.16 cm)都是生長量最大的樹種。所以在形成十多年的多納崩場地, 羅氏鹽膚木可說是生長速度的冠軍。

崩塌次生林v.s原始森林

多納崩場地在2017年時, 胸高斷面積總和(Basal area, Ba)為 $7.04 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, 2022年時則成長為 $11.29 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, 換算Ba生長速率為 $0.71 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。而在距離多納崩場地約2 km之京大山原始森林1公頃樣區, 於2009年共記錄到51種4,628株樹木, Ba為 $42.94 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; 2019年時記錄到49種4,113株樹木, Ba則成長為 $50.38 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, 換算Ba生長速率為 $0.74 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。

京大山原始森林的物種數逐年略降, 且樹木株數在十年間也明顯降低, 顯示該處的物種組成已趨於穩定, 已經是演替後期的成熟森林, 但樹木之胸徑仍可持續增長, 且略高於崩場地次生林。相較之下, 多納崩場地仍處於演替早期階段, 但物種數較多, 且物種數及植株數量在6年期間都有明顯增加, 若未來不再遭受嚴重擾動, 將可逐漸向演替中、後期森林邁進。

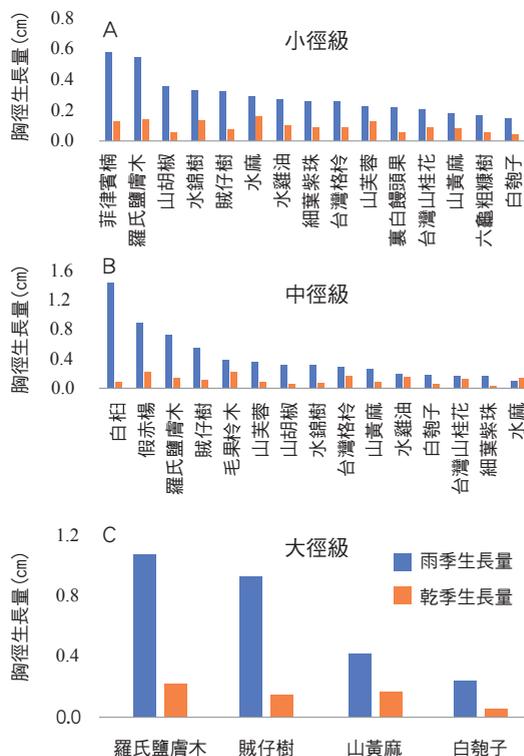


圖7 多納崩場地小(A)、中(B)、大(C)徑級之主要樹種的雨季及乾季胸徑生長量比較 (鍾安晴 繪)

結語

藉由連續6年的監測, 我們得知了演替初期崩場地樹木的生長概況, 雨季的胸徑生長量為乾季的3倍高, 而樹木的生長量會因為胸徑越大而越高、競爭越激烈而越低。羅氏鹽膚木是目前崩場地生長速度最快的樹種, 然而它在樣區內的更新苗數量卻不多, 2022年底僅有38株更新苗木, 未來可能會出現更新斷層。氣象因子與樹木生長量之間的相關性, 目前看來並不明顯, 是否因為僅觀測6年所致? 此仍待更長期之監測方可解釋, 也許下個十年, 又是很不一樣的故事。☀️