

研究報告

臺灣南部多納崩塌地演替初期不同耐陰性樹種組成及優勢度的變化

鍾安晴^{1,3)} 郭耀綸²⁾ 周富三¹⁾ 林文智¹⁾ 陳永修¹⁾

摘要

臺灣南部多納崩塌地於2009年莫拉克颱風時形成，經歷約11年自然演替，已有局部區域形成次生林。本研究之目的為瞭解該崩塌地次級演替8至11年期間，不同耐陰性樹種之成樹及幼齡木的組成及優勢度的變化，並藉林分耐陰性指標值(SSI)量化此林分的演替階段狀況。2017年於該崩塌地設立1 ha樣區，並將林分依垂直高度區分為4個層次。結果顯示該崩塌地樣區於演替11年時(2020年)，共有68種成樹，密度為3677 stems ha⁻¹，陽性樹種重要值指數(IVI) 76.8%最為優勢；中等耐陰及耐陰樹種之IVI值分別為17.6及5.5%。山黃麻為樣區內最優勢樹種，卻缺乏天然更新苗而使族群明顯衰退，未來可能被幼齡木充足的白匏子取代。研究期間發現陽性樹種越往樹冠上層越具優勢，但各垂直分層的IVI值逐年降低。中等耐陰及耐陰樹種越往地被層越具優勢，且在各垂直分層的IVI值逐年增加。2020年樹冠層、次冠層、灌木層及地被層的SSI值分別為1.1、16.0、28.3及44.2%，顯示越往森林下層，SSI值會越高。全林分之SSI值由2017年的10.6%提高為2020年的16.8%，各垂直分層的SSI值亦逐年增加，顯示該崩塌地之林分逐漸往演替中期推進，但與成熟林相比，仍只處於演替早期階段。本研究結果可作為臺灣南部崩塌地種植耐陰樹種以加速演替之依據。SSI可用來當做判斷森林次級演替階段的實用量化工具。

關鍵詞：重要值指數、崩塌地、耐陰樹種、林分耐陰性指標值、演替階段。

鍾安晴、郭耀綸、周富三、林文智、陳永修。2022。臺灣南部多納崩塌地演替初期不同耐陰性樹種組成及優勢度的變化。台灣林業科學37(1):41-60。

¹⁾ 林業試驗所六龜研究中心，844005高雄市六龜區中興里中庄198號 Lioukuei Research Center, Taiwan Forest Research Institute, 198 Zhongzhuang, Chunghsing Village, Lioukuei Dist., Kaohsiung City 844005, Taiwan.

²⁾ 國立屏東科技大學森林系，91201屏東縣內埔鄉學府路1號 Department of Forestry, National Pingtung Univ of Science and Technology, 1 Shuefu Rd., Neipu Township, Pingtung County 91201, Taiwan.

³⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: cac335@tfri.gov.tw

2021年12月送審 2022年6月通過 Received December 2021, Accepted June 2022.

Research paper

Variations in the Composition and Dominance of Tree Species with Different Shade Tolerances During the Early Phase of Succession at the Duona Landslide Site, Southern Taiwan

An-Ching Chung^{1,3)} Yau-Lun Kuo²⁾ Fu-Shan Chou¹⁾

Wen-Chih Lin¹⁾ Yung-Hsiu Chen¹⁾

[Summary]

The Duona landslide site in southern Taiwan was formed during Typhoon Morakot in 2009. It has undergone natural succession for about 10 yr, and secondary forests have been formed in some areas. The purposes of this study were to investigate the dynamics of the composition and dominance of trees and juveniles with different shade-tolerance levels during the 8~11 yr of secondary succession at the Duona landslide site, and we used the stand shade-tolerance index (SSI) to quantify the successional status of the stands. In the beginning of 2017, 1-ha plot was set up at the Duona landslide site. According to the canopy profiles, the stands were divided into 4 vertical layers. Results showed that at the 11th year (2020) of secondary succession, there were 68 tree species with a stand density of 3677 stems ha⁻¹. Shade-intolerant species dominated the composition, and the importance value index (IVI) value was 76.8%. IVI values of mid-tolerant and shade-tolerant species were 17.6 and 5.5%, respectively. The population abundance of *Trema orientalis*, the most dominant shade-intolerant species at this landslide site, significantly declined due to a lack of natural recruits and was replaced by *Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*, which had abundant recruits. In the vertical layers of stands toward the canopy, shade-intolerant species were more dominant, and IVI values of shade-intolerant species in each vertical layer decreased over the years. On the other hand, in the vertical layers toward the understory, mid-tolerant and shade-tolerant species were more dominant, and their IVI values in each vertical layer increased over the years. SSI values of the canopy, sub-canopy, shrub, and understory layers were 1.1, 16.0, 28.3, and 44.2% respectively, in 2020, indicating that SSI values of the vertical layers toward the understory increased. The SSI value of the entire stand increased from 10.6% in 2017 to 16.8% in 2020, and the SSI value of each vertical layer also increased over the years, indicating that the stand at the Duona landslide site had a tendency to gradually advance towards a mid-successional stage. However, compared to mature forests, it was still in the early phase of succession. Results of this study can be used as a basis for planting shade-tolerant species at landslide sites in southern Taiwan to accelerate succession. The SSI value can be used as a practical tool to quantify the succession phases of secondary forests.

Key words: importance value index, landslide site, shade-tolerant species, stand shade-tolerance index, successional status.

Chung AC, Kuo YL, Chou FS, Lin WC, Chen YH. 2022. Variations in the composition and dominance of tree species with different shade tolerances during the early phase of

succession at the Duona Landslide site, southern Taiwan. Taiwan J For Sci 37(1):41-60.

緒言

崩塌(landslide)為臺灣山區常見的自然擾動(disturbance)現象，會造成林地崩落、地貌改變。崩塌過後初期建立的物種通常為性喜高光的草本植物及灌木，並會有先驅樹種進入(Velázquez and Gómez-Sal 2007, Chen et al. 2013)。先驅樹種、陽性草本及灌木為空曠裸露地提供覆蓋，地面照到的光強度降低後，逐漸有耐陰性植物建立，且隨著時間進展，進入之物種的耐陰程度會越加提高(Liu and Su 1983)。如果沒有進一步擾動，早期建立之先驅及陽性樹種終會被成熟森林的樹種取代(Guariguata 1990, Walker 1994)。演替至後期，耐陰樹種成為森林主要的組成(Liu and Su 1983)。因此演替初期崩塌地的林分物種組成及密度，與演替中、後期森林明顯不同，演替初期林分的生物量及斷面積亦顯著低於成熟森林(Guariguata 1990, Dalling 1994, Seiwa et al. 2013)。

崩塌地具有極度異質性的環境條件，並缺乏穩定且肥沃的基質，故崩塌地之先驅性植群組成，與倒木孔隙、火燒和颱風等遭自然擾動之環境差異很大(Guariguata 1990, Myster and Fernández 1995, Walker et al. 1996, Francescato et al. 2001)。崩塌會改變當地之土壤性質和光環境，並嚴重擾動植物群聚(Walker et al. 1996)。崩塌地通常陡峭而土層淺薄，缺乏足夠的土壤基質供植物定根，且坡面仍有滑動之虞，植物在石礫含量較高之處生長不易，故崩塌地形成初期時植物社會通常不易恢復(Chen et al. 2009, Lin et al. 2009)。但是崩塌地初期建立之植群可使土壤總體密度(bulk density)下降，有機質含量增加，改善了植物生長的基質，有利於日後植群的建立及生長(Lin et al. 2009)。

崩塌地環境條件雖不利於植群恢復，但隨著時間進展，不同耐陰性的樹種可在各自適合的微環境條件下更新，形成不同組成與結構的林分(Elias and Dias 2009)。例如先驅樹種的苗木及稚樹常在崩塌初期出現，但在林

下環境卻難有更新(Dalling 1994)。臺灣地區的崩塌地，在演替初期出現的木本植物多為先驅樹種，例如嘉義中埔崩塌地經1.5年後，出現之先驅樹種包括相思樹(*Acacia confusa*)、山芙蓉(*Hibiscus taiwanensis*)、山黃麻(*Trema orientalis*)等(Tien et al. 2005)。高雄扇平林道崩塌後2~4年，樹種組成也是山黃麻、白袍子(*Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*)、血桐(*Macaranga tanarius*)、山芙蓉、羅氏鹽膚木(*Rhus javanica* var. *roxburghiana*)等先驅樹種為主(Chou et al. 2015)。然而，除了先驅及陽性樹種外，崩塌地次級演替初期也可能出現較耐陰的樹種，但其物種數較少。例如雲林草嶺崩塌地，經過2年後出現25種樹種，其中僅有鐵雨傘(*Ardisia cornudentata* subsp. *cornudentata*)為中等耐陰樹種，其餘皆為陽性樹種(Lee et al. 2001)；該崩塌地形成7年後，有香楠(*Machilus zuihoensis* var. *zuihoensis*)、臺灣山桂花(*Maesa perularia* var. *formosana*)、長梗紫麻(*Oreocnide pedunculata*)、鐵雨傘等4種中等耐陰樹種，以及耐陰樹種樟葉槭(*Acer albopurpurascens*)出現，但上述樹種的重要值指數(importance value index, IVI)皆低於2% (Chen et al. 2009)。

崩塌地的演替進程可能會因為土壤基質不佳或缺乏繁殖體等不利因素，導致演替過程緩慢，那麼如何評估崩塌地的林分是處於何種演替階段？Lienard et al. (2015)報導可用林分耐陰性指標值(stand shade-tolerance index, SSI)來量化林分的演替程度。該研究是以累加某林分各組成物種的相對密度與耐陰等級加權值的乘值，來計算SSI值，數值越大則該林分越接近演替後期。Kuo et al. (2021)將此方法稍予修改，用以計算臺灣原生樹種各科別整體性的耐陰性指標值(family shade-tolerance index)。Lienard et al. (2015)提出的SSI值計算方式，可作為評估崩塌地植群處於何種演替階段的實用工具。

臺灣南部高雄多納林道8.7 km處，於2009

年8月莫拉克颱風期間發生多處崩塌，至2020年已經過11年的自然演替。該處局部區域已形成次生林，但某些區域仍然持續滑崩，植物難以生長，呈現裸露的石礫地，因此崩塌地坡面的林分呈鑲嵌狀分布。此崩塌地次生林林分鬱閉程度不高，樹冠層可達8~13 m高，且可區分為數個垂直層次，在林下已有較耐陰之樹種的苗木建立。藉計算林分各組成樹種的IVI值，可瞭解某樹種在該林分的優勢程度，數值越高則越具優勢。本研究目的為探討高雄多納林道崩塌地，林分次級演替8~11年間，不同耐陰等級樹種之成樹及幼齡木的組成及其優勢度的變化，並量化林分SSI值，獲知林分演替階段現況，供後續生態復育造林作業方式或樹種選擇之參考。此外，本研究建立此崩塌地次級演替初期的植群動態變化基礎資料，未來可持續追蹤此林分不同耐陰性樹種之組成及優勢度的變化，提供森林植群生態學在崩塌地次級演替過程的長期案例。針對上述目的，本研究提出的科學問題包括：(1)多納崩塌地次級演替8~11年間，成樹及幼齡木之組成及結構的動態變化如何？(2)多納崩塌地林分不同垂直分層的樹種組成、優勢程度及耐陰性是否有差異？(3)多納崩塌地形成後8~11年間，SSI值有何變化，森林植群演替到達何種程度？

材料與方法

試驗地概述及樣區設置

本研究樣區位於高雄市茂林區多納林道8.7 km處，空間地理位置為北緯22°53'22.7"N，東經120°44'13.2"E，隸屬於林業試驗所六龜研究中心試驗林(Lioukuei Experimental Forest) (Fig. 1A)之多納20林班(compartment) (Fig. 1B)，位於濁口溪上游之溫泉溪流域。此處於2009年8月8日莫拉克颱風時，形成面積約30 ha之崩塌地，坡向為東北東65°，平均坡度25°，地表現況多為大石塊及碎石。土壤pH值5.55，有機質含量7.54%，土壤質地為砂質壤土至砂質粘壤土(六龜研究中心未發表資料)。研究樣區海拔高度約為900~1050 m，屬於楠櫛林帶。本

研究樣區周圍的未崩塌森林，大致可分為臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)人工林、細葉鰻頭果(*Glochidion rubrum*)-白匏子林型之次生林，以及香桂(*Cinnamomum subavenium*)-印度苦槠(*Castanopsis indica*)林型之成熟林(Chen et al. 2018)。依據中央氣象局(CWB)觀測資料查詢系統(CODiS) 2019年之資料，本區域於1986~2018年間之年均溫度19.6°C，平均相對濕度87.9%。年雨量為3535 mm，降雨集中於夏季，有明顯乾雨季之分。雨季在5~9月，累積雨量為3338 mm；乾季為10月至隔年4月，累積雨量為197 mm，僅為全年雨量的6%。

多納林道8.7 km崩塌地，部分區域形成以山黃麻及白匏子為優勢之次生林，部分區域仍為裸露狀態，呈現林分與裸露地鑲嵌的地貌。本研究於2017年3月在該處設立4個0.25 ha (50×50 m)的樣區，以下稱為S1、S2、S3及S4樣區(Fig. 1C)，面積合計1.0 ha。依據Varnes (1978)對於崩塌類型的定義，本研究4個大樣區皆屬於岩屑滑動(debris slide)的崩塌類型。S1及S2樣區位於林道上方，而S3及S4樣區位於林道下方。這4個樣區之坡面基質及植群狀態並不相同，S1樣區坡面多為大石塊及碎石礫，缺乏土壤，植群最為稀疏，因此呈現高光裸露之樣貌。S2、S3及S4樣區土壤堆積相對較多。S2樣區土壤較深厚，植群最茂密，但仍有許多大小石塊散佈其間；S3及S4樣區的土壤含量介於S1與S2樣區之間。S3樣區有部分區域為密集白匏子次生林，其餘區域的樹木較為稀疏，有大量地被層蕨類植物生長。S4樣區亦有部分區域樹木密集，但其餘區域多為岩屑地，散生山黃麻成樹，地被層蕨類植物較不發達。各樣區皆劃分成25個10×10 m的小樣區(small plot) (Fig. 1D)。

植群組成與結構調查

本研究將胸徑≥ 1 cm者視為成樹(adult trees)，胸徑< 1 cm者視為幼齡木(juveniles)，包括稚樹及苗木。於2017年3月設立樣區，將每株成樹以鋁牌標記，記錄其樹種、胸徑、樹高及位置，之後每年予以複查。另於2018及2020年針對幼齡木進行調查，記錄樹種、植株高度及

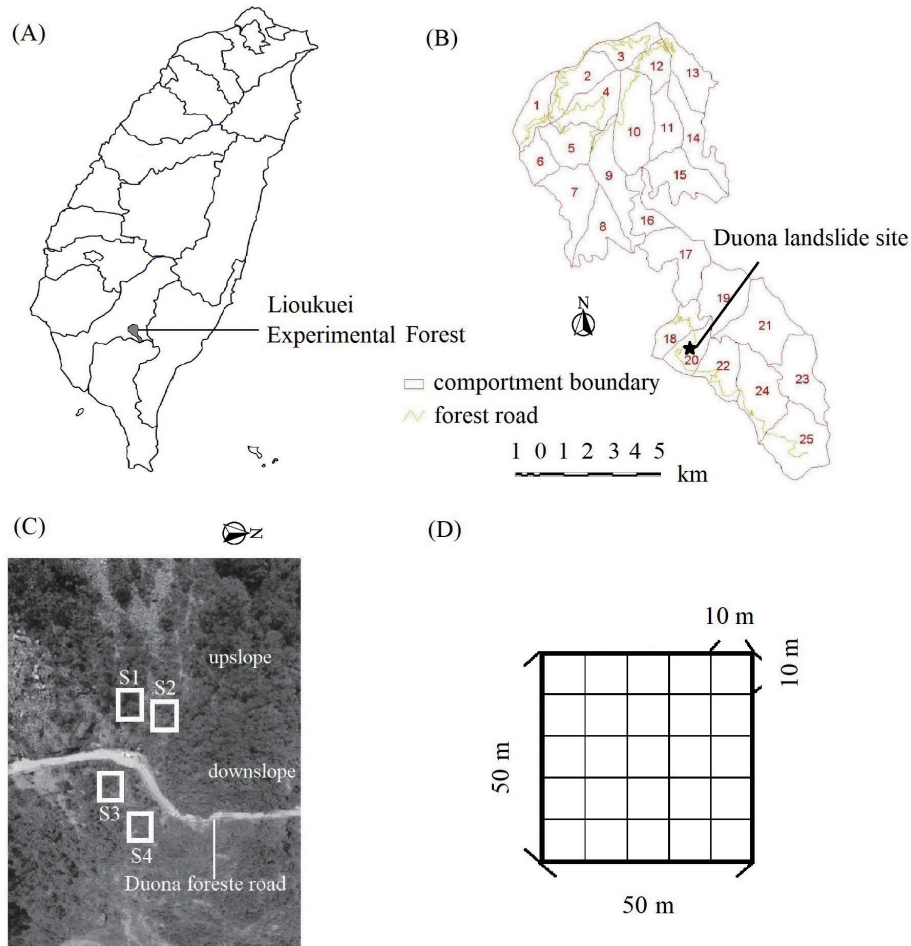


Fig. 1. Location of the Lioukuei Experimental Forest (A), Duona landslide site (B), the 4 plots at the Duona landslide site (C), and small divided plots in each plot (D).

位置。此外也依據林分垂直高度，將林分區分為4層，包括樹冠層(canopy layer, 樹高 ≥ 8 m)、次冠層(sub-canopy layer, 樹高 ≥ 4 m且 < 8 m)、灌木層(shrub layer, 樹高 < 4 m且胸徑 ≥ 1 cm)、地被層(understory layer, 胸徑 < 1 cm, 為所有幼齡木之集合)。

多納崩塌地樣區內各樹種的耐陰等級(shade-tolerance level, STL)是依據Kuo and Yeh (2015)及Kuo et al. (2021)的報導。上述研究是根據樹種的光合潛力(photosynthetic capacity)來區分耐陰性I~V計五等級，各等級樹種的光合潛力範圍分別為：I: ≥ 26.0 , II: $25.9\sim 21.0$, III: $20.9\sim 15.0$, IV: $14.9\sim 12.5$, V: $< 12.5 \mu\text{mol CO}_2$

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ；耐陰等級I為最不耐陰之先驅樹種，相對的，耐陰等級V為極耐陰樹種(Kuo and Yeh 2015)。若為上述研究未報導的樹種，則根據該樹種在本研究樣區內最常出現的光環境供判定其耐陰等級。為了方便分析，本研究將上述五類耐陰等級簡化成陽性、中等耐陰、耐陰三等級。簡化方法為將原本I、II兩級的樹種合併為廣義的陽性樹種(shade-intolerant species)，維持耐陰等級III的中等耐陰樹種(mid-tolerant species)，而耐陰等級VI、V兩級的樹種合併為廣義的耐陰樹種(shade-tolerant species)。本研究植物學名是以2017臺灣維管束植物紅皮書名錄(Editorial Committee of the Red List of

Taiwan Plants 2017)為依據。

樹種重要值指數計算

本研究於2017~2020計4個年度，均分別計算各樣區(0.25 ha)及全林分(1.0 ha)各組成樹種的密度、頻度、斷面積(basal area)，藉以計算其重要值指數(IVI)。密度為該樹種在調查區域出現的株數除以面積(stems ha⁻¹)；相對密度(R_d)為(該樹種之株數/調查區域樹木總株數)×100%。頻度為該樹種在調查區域出現的小樣區數；相對頻度(R_f)為(該樹種之頻度/調查區域所有樹種出現的總小樣區數)×100%。斷面積為該樹種在調查區域出現的所有個體之斷面積總和(cm²)；相對優勢度(R_{do})為(該樹種斷面積總和/調查區域所有樹種之總斷面積)×100%。此外，另以Past 4.09統計軟體中的individual rarefaction功能，繪製4個樣區的rarefaction曲線，以得知各樣區成樹的物種多樣性高低。各樹種成樹在各調查區域的IVI值是以下列公式計算：

$$IVI = (R_d + R_f + R_{do})/3. \dots\dots\dots(1)$$

各樹種幼齡木在調查區域的IVI值計算公式則為：

$$IVI = (R_d + R_f)/2. \dots\dots\dots(2)$$

林分耐陰性指標值計算

本研究也計算多納崩場地樣區全林分、4個大樣區、全林分4個樹冠垂直分層，於調查期間各年度的林分耐陰性指標值(SSI)。SSI值的計算過程需用到兩項參數，包括各樹種在調查區域之優勢度的量化數值，以及各樹種之耐陰等級加權值(ρ) (Lienard et al. 2015, Kuo et al. 2021)。本研究以各樹種在各調查區域計算所得的IVI值當作其優勢度量化數值。此外，依據Kuo et al. (2021)的報導也得知多納崩場地樣區內各組成樹種的耐陰等級，耐陰等級I, II, III, VI, V分別給予0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00的加權值(ρ)。將各樹種的IVI值乘以其ρ值，可計算該樹種的耐陰性指標值(shade-tolerance index, STI)，累加該區域所有組成樹種的STI值即為其SSI值。以公式表示，各調查區域的SSI值計算

方式如下：

$$SSI = \sum_{i=1}^k IVI_i \times \rho_i \dots\dots\dots(3)$$

式中k為調查區域樹種總數，i為某樹種，IVI_i為i樹種的重要值指數數值，ρ_i為i樹種的耐陰等級加權值。因為IVI值的單位為%，故SSI值的單位也是%。若調查區域樹種全都由耐陰等級I的先驅樹種所組成，則ρ_i項之數值均為0，所有樹種累加的SSI值為0%；若調查區域物種全都由耐陰等級V的極耐陰樹種所組成，則ρ_i項之數值均為1，所有樹種累加的SSI值為100%。因此，不同調查區域的SSI值會介於0~100%之間，SSI數值越小表示該林分演替階段越趨近演替早期 (Lienard et al. 2015)。

結果

多納崩場地次級演替成樹與幼齡木組成及結構的動態變化

多納崩場地全林分於2020年10月調查到成樹之物種豐富度(species richness)為68種，密度為3677 stems ha⁻¹，總斷面積為11.02 m² ha⁻¹ (Table 1)。該68種成樹包括廣義的陽性樹種26種，中等耐陰樹種22種，廣義的耐陰樹種20種，三類耐陰性樹種的重要值指數(IVI)合計分別為76.8、17.6、5.5%。IVI值最高的兩個樹種為山黃麻(28.2%)及白匏子(28.1%)，兩者IVI值合計達56.3%，顯示多納崩場地的成樹是以耐陰等級I的先驅樹種最為優勢。此兩樹種的頻度皆非常高，但山黃麻的總斷面積(65273 cm²)為白匏子(24105 cm²)的2.7倍；然而白匏子的株數(1863株)為山黃麻(523株)的3.6倍 (Table 1)。臺灣山桂花的IVI值(8.8%)為全林分第3高者，也是全林分IVI值最高的中等耐陰樹種。

多納崩場地全林分於2020年調查到幼齡木之物種豐富度為58種，密度為890 stems ha⁻¹ (Table 2)。該58種幼齡木包括廣義的陽性樹種14種，中等耐陰樹種19種，廣義的耐陰樹種25種，三類耐陰性樹種的IVI值合計分別為35.0、37.3、27.7%。幼齡木IVI值最高的樹種為臺灣山桂花(13.1%)，其次為先驅性的白匏子(11.3%)及羅氏鹽膚木(11.2%) (Table 2)。上述結果顯示，多納

Table 1. Shade-tolerance level (STL), importance value index (IVI, %), and shade-tolerance index (STI) of adult trees in 2020 at the Duona landslide site. Abbreviations: D, density (stems ha⁻¹); R_d, relative density (%); F, frequency; R_r, relative frequency (%); Ba, basal area (cm²); R_{do}, relative dominance (%); STI = IVI × ρ. ρ denotes the weighted value of the tree species of different STLs, for which levels I~V were set to 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00, respectively

Species	STL	D	R _d	F	R _r	Ba	R _{do}	IVI	STI
<i>Trema orientalis</i> (山黃麻)	I ¹⁾	523	14.2	84	11.2	65273	59.2	28.22	0.0
<i>Mallotus paniculatus</i> var. <i>paniculatus</i> (白匏子)	I	1863	50.7	89	11.9	24105	21.9	28.14	0.0
<i>Maesa peralaria</i> var. <i>formosana</i> (臺灣山桂花)	III	469	12.8	80	10.7	3314	3.0	8.81	4.4
<i>Rhus javanica</i> var. <i>roxburghiana</i> (羅氏鹽膚木)	I	105	2.9	42	5.6	6956	6.3	4.92	0.0
<i>Tetradium glabrifolium</i> (賊仔樹)	II	62	1.7	34	4.5	1798	1.6	2.62	0.7
<i>Callicarpa formosana</i> var. <i>glabrata</i> (六龜粗糠樹)	III	83	2.3	39	5.2	386	0.3	2.60	1.3
<i>Wendlandia uvariifolia</i> (水錦樹)	III	68	1.8	33	4.4	734	0.7	2.30	1.2
<i>Litsea cubeba</i> (山胡椒)	II	53	1.4	24	3.2	1449	1.3	1.99	0.5
<i>Eurya septata</i> (臺灣格柉)	V	58	1.6	28	3.7	417	0.4	1.90	1.9
<i>Glochidion acuminatum</i> (裏白饅頭果)	II	41	1.1	25	3.3	245	0.2	1.56	0.4
<i>Machilus philippinensis</i> (菲律賓楠)	IV	32	0.9	22	2.9	366	0.3	1.38	1.0
<i>Pouzolzia elegans</i> (水雞油)	II	29	0.8	20	2.7	295	0.3	1.24	0.3
<i>Hibiscus taiwanensis</i> (山芙蓉)	I	21	0.6	16	2.1	382	0.3	1.02	0.0
<i>Debregeasia orientalis</i> (水麻)	II	23	0.6	16	2.1	210	0.2	0.98	0.2
<i>Callicarpa pilosissima</i> (細葉紫珠)	II	20	0.5	14	1.9	283	0.3	0.89	0.2
<i>Alniphyllum pterospermum</i> (假赤楊)	III	13	0.4	11	1.5	496	0.5	0.76	0.4
<i>Eurya gnaphalocarpa</i> (毛果柃木)	II*	15	0.4	11	1.5	430	0.4	0.75	0.2
<i>Acer albopurpurascens</i> (樟葉槭)	IV	14	0.4	12	1.6	243	0.2	0.73	0.6
<i>Glochidion rubrum</i> (細葉饅頭果)	II	13	0.4	11	1.5	159	0.1	0.65	0.2
<i>Lagerstroemia subcostata</i> (九芎)	II	13	0.4	11	1.5	120	0.1	0.64	0.2
<i>Sapium discolor</i> (白栢)	I	9	0.2	8	1.1	590	0.5	0.62	0.0
<i>Ficus esquiroliana</i> (黃毛榕)	II	14	0.4	10	1.3	72	0.1	0.59	0.1
<i>Litsea hypophaea</i> (小梗木薑子)	III	12	0.3	9	1.2	67	0.1	0.53	0.3
<i>Boehmeria densiflora</i> (密花芋麻)	III	12	0.3	8	1.1	191	0.2	0.52	0.3
<i>Phyllanthus multiflorus</i> (多花油柑)	II	7	0.2	7	0.9	38	0.0	0.39	0.1
<i>Perrottetia arisanensis</i> (佩羅特木)	II*	13	0.4	5	0.7	100	0.1	0.37	0.1
<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> var. <i>ailanthoides</i> (食茱萸)	I	6	0.2	6	0.8	141	0.1	0.36	0.0
<i>Oreocnide pedunculata</i> (長梗紫麻)	III	6	0.2	6	0.8	109	0.1	0.35	0.2
<i>Fraxinus griffithii</i> (白雞油)	II	7	0.2	6	0.8	37	0.0	0.34	0.1
<i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> (大青)	II	8	0.2	5	0.7	54	0.0	0.31	0.1
<i>Koelreuteria henryi</i> (臺灣欒樹)	III	4	0.1	4	0.5	103	0.1	0.25	0.1
<i>Hydrangea chinensis</i> (華八仙)	V	5	0.1	4	0.5	17	0.0	0.23	0.2
<i>Deutzia pulchra</i> (大葉溲疏)	II	4	0.1	4	0.5	36	0.0	0.22	0.1
<i>Cinnamomum subavenium</i> (香桂)	IV	3	0.1	3	0.4	36	0.0	0.17	0.1
<i>Machilus zuihoensis</i> var. <i>zuihoensis</i> (香楠)	III	2	0.1	2	0.3	65	0.1	0.13	0.1
<i>Neonauclea reticulata</i> (欖仁舅)	III	2	0.1	2	0.3	57	0.1	0.12	0.1
<i>Prunus phaeosticta</i> var. <i>phaeosticta</i> (墨點櫻桃)	III	2	0.1	2	0.3	48	0.0	0.12	0.1
<i>Elaeocarpus sylvestris</i> var. <i>sylvestris</i> (杜英)	III	2	0.1	2	0.3	46	0.0	0.12	0.1
<i>Symplocos formosana</i> (臺灣灰木)	III*	3	0.1	2	0.3	11	0.0	0.12	0.1

con't

<i>Lithocarpus hancei</i> (三斗石櫟)	III	2	0.1	2	0.3	19	0.0	0.11	0.1
<i>Adinandra formosana</i> var. <i>formosana</i> (臺灣楊桐)	IV*	2	0.1	2	0.3	13	0.0	0.11	0.1
<i>Tricalysia dubia</i> (狗骨仔)	IV	2	0.1	2	0.3	8	0.0	0.11	0.1
<i>Neolitsea parvigemma</i> (小芽新木薑子)	IV	2	0.1	2	0.3	4	0.0	0.11	0.1
<i>Lithocarpus cornea</i> (後大埔石櫟)	V	4	0.1	1	0.1	41	0.0	0.09	0.1
<i>Alnus formosana</i> (臺灣赤楊)	II	1	0.0	1	0.1	100	0.1	0.08	0.0
<i>Castanopsis indica</i> (印度苦槠)	IV	2	0.1	1	0.1	59	0.1	0.08	0.1
<i>Helicia formosana</i> (山龍眼)	V	1	0.0	1	0.1	71	0.1	0.07	0.1
<i>Engelhardia roxburghiana</i> (黃杞)	IV	1	0.0	1	0.1	57	0.1	0.07	0.1
<i>Syzygium formosanum</i> (臺灣赤楠)	V	1	0.0	1	0.1	54	0.0	0.07	0.1
<i>Ficus erecta</i> (牛奶榕)	II	1	0.0	1	0.1	52	0.0	0.07	0.0
<i>Aralia bipinnata</i> (裏白櫟木)	II	1	0.0	1	0.1	42	0.0	0.07	0.0
<i>Alstonia scholaris</i> (黑板樹)	II*	1	0.0	1	0.1	37	0.0	0.06	0.0
<i>Celtis formosana</i> (石朴)	III	2	0.1	1	0.1	3	0.0	0.06	0.0
<i>Schima superba</i> var. <i>kankaoensis</i> (港口木荷)	III	1	0.0	1	0.1	33	0.0	0.06	0.0
<i>Diospyros morrisiana</i> (山紅柿)	IV	1	0.0	1	0.1	29	0.0	0.06	0.0
<i>Lithocarpus konishii</i> (小西氏石櫟)	IV	1	0.0	1	0.1	24	0.0	0.06	0.0
<i>Mallotus japonicus</i> (野桐)	I	1	0.0	1	0.1	22	0.0	0.06	0.0
<i>Osmanthus matsumuranus</i> (大葉木犀)	V	1	0.0	1	0.1	20	0.0	0.06	0.1
<i>Celtis sinensis</i> (朴樹)	II	1	0.0	1	0.1	15	0.0	0.06	0.0
<i>Bridelia tomentosa</i> (土密樹)	II	1	0.0	1	0.1	6	0.0	0.06	0.0
<i>Ehretia longiflora</i> (長花厚殼樹)	II*	1	0.0	1	0.1	5	0.0	0.05	0.0
<i>Glycosmis parviflora</i> var. <i>parviflora</i> (石苓舅)	V	1	0.0	1	0.1	4	0.0	0.05	0.1
<i>Archidendron lucidum</i> (頷垂豆)	III	1	0.0	1	0.1	3	0.0	0.05	0.0
<i>Acer kawakamii</i> (尖葉槭)	II*	1	0.0	1	0.1	3	0.0	0.05	0.0
<i>Acer serrulatus</i> (青楓)	III	1	0.0	1	0.1	2	0.0	0.05	0.1
<i>Ardisia cornudentata</i> subsp. <i>morrisonensis</i> (玉山紫金牛)	V	1	0.0	1	0.1	2	0.0	0.05	0.0
<i>Turpinia formosana</i> (山香圓)	V	1	0.0	1	0.1	1	0.0	0.05	0.1
<i>Eurya loquaiana</i> (細枝柃木)	V	1	0.0	1	0.1	1	0.0	0.05	0.1
Total		3677	100	750	100	110205	100	100	16.8

¹⁾ Refers to Kuo et al. (2021).

* The STL was not reported; thus this study judged the level by the light environment where the species was mainly distributed in the plots.

崩塌地全林分在2020年10月時，成樹以廣義的陽性樹種為主要組成，然而幼齡木則是中等耐陰樹種的優勢程度稍高於陽性樹種。

於2020年時4個樣區的木本植物，以S2樣區的物種最多(52種)，S4樣區的物種最少(26種)。成樹植株豐量(abundance)最高者為S4樣區(1324株)，最低者為S1樣區(310株)；地被層植株數量最多者為S2樣區(319株)，最少者為S1樣區(166株) (Table 3)。就林分垂直分層而言，S1樣

區各層的植株數量皆為4個大樣區中最低者；S2樣區的樹冠層與地被層的植株數量皆為所有樣區中最高者；斷面積值最大者為S2樣區(47809 cm²)，最小者為S1樣區(8276 cm²) (Table 3)。藉各樣區成樹的物種豐度與樣本數(specimens)兩介量繪製rarefaction曲線(Fig. 2)，得知在樣本數相同的情況下，例如樣本數為300時，成樹的物種多樣性由高至低依序為S2、S1、S3、S4樣區。

Table 2. Shade-tolerance level (STL), importance value index (IVI, %), and shade-tolerance index (STI) of juveniles (diameter at breast height of < 1 cm) in 2020 at the Duona landslide site. Abbreviations: D, density (stems ha⁻¹); R_d, relative density (%); F, frequency; R_f, relative frequency (%); STI = IVI × ρ. ρ denotes the weighted value of the tree species of different shade tolerance levels, for which levels I~V were set to 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00, respectively

Species	STL	D	R _d	F	R _f	IVI	STI
<i>Maesa perlaria</i> var. <i>formosana</i> (臺灣山桂花)	III ¹⁾	130	14.6	55	11.6	13.08	6.5
<i>Mallotus paniculatus</i> var. <i>paniculatus</i> (白匏子)	I	117	13.1	45	9.5	11.30	0.0
<i>Rhus javanica</i> var. <i>roxburghiana</i> (羅氏鹽膚木)	I	139	15.6	32	6.7	11.17	0.0
<i>Machilus philippinensis</i> (菲律賓蜜楠)	VI	54	6.1	36	7.6	6.82	5.1
<i>Glochidion acuminatum</i> (裏白鰻頭果)	II	57	6.4	30	6.3	6.35	1.6
<i>Litsea hypophaea</i> (小梗木薑子)	III	49	5.5	32	6.7	6.11	3.1
<i>Callicarpa formosana</i> var. <i>glabrata</i> (六龜粗糠樹)	III	42	4.7	22	4.6	4.67	2.3
<i>Wendlandia uvariifolia</i> (水錦樹)	III	39	4.4	22	4.6	4.50	2.3
<i>Acer albopurpurascens</i> (樟葉槭)	IV	24	2.7	20	4.2	3.45	2.6
<i>Eurya septata</i> (臺灣格柵)	V	20	2.2	18	3.8	3.01	3.0
<i>Ardisia virens</i> (黑星紫金牛)	III*	19	2.1	15	3.2	2.64	1.3
<i>Neolitsea parvigemma</i> (小芽新木薑子)	IV	17	1.9	16	3.4	2.64	2.0
<i>Glochidion rubrum</i> (細葉鰻頭果)	II	15	1.7	10	2.1	1.89	0.5
<i>Beilschmiedia erythrophloia</i> (瓊楠)	IV	12	1.3	10	2.1	1.72	1.3
<i>Psychotria rubra</i> (九節木)	IV	14	1.6	6	1.3	1.42	1.1
<i>Hydrangea chinensis</i> (華八仙)	V	14	1.6	6	1.3	1.42	1.4
<i>Glycosmis parviflora</i> var. <i>parviflora</i> (石苓舅)	V	11	1.2	7	1.5	1.35	1.4
<i>Lagerstroemia subcostata</i> (九芎)	II	7	0.8	6	1.3	1.02	0.3
<i>Cinnamomum subavenium</i> (香桂)	IV	6	0.7	6	1.3	0.97	0.7
<i>Elaeocarpus sylvestris</i> var. <i>sylvestris</i> (杜英)	III	11	1.2	3	0.6	0.93	0.5
<i>Boehmeria densiflora</i> (密花芋麻)	III	10	1.1	3	0.6	0.88	0.4
<i>Fraxinus griffithii</i> (白雞油)	II	6	0.7	5	1.1	0.86	0.2
<i>Oreocnide pedunculata</i> (長梗紫麻)	III	6	0.7	5	1.1	0.86	0.4
<i>Ardisia cornudentata</i> subsp. <i>morrisonensis</i> (玉山紫金牛)	V	5	0.6	4	0.8	0.70	0.7
<i>Tricalysia dubia</i> (狗骨仔)	IV	4	0.4	3	0.6	0.54	0.3
<i>Machilus zuihoensis</i> var. <i>zuihoensis</i> (香楠)	III	4	0.4	3	0.6	0.54	0.4
<i>Zanthoxylum ailanthoides</i> var. <i>ailanthoides</i> (食茱萸)	I	3	0.3	3	0.6	0.48	0.0
<i>Debregeasia orientalis</i> (水麻)	II	3	0.3	3	0.6	0.48	0.1
<i>Hibiscus taiwanensis</i> (山芙蓉)	I	3	0.3	3	0.6	0.48	0.0
<i>Lindera communis</i> (香葉樹)	IV	3	0.3	3	0.6	0.48	0.4
<i>Celtis formosana</i> (石朴)	III	3	0.3	3	0.6	0.48	0.2
<i>Prunus phaeosticta</i> var. <i>phaeosticta</i> (墨點櫻桃)	III	3	0.3	3	0.6	0.48	0.2
<i>Murraya euchrestifolia</i> (山黃皮)	IV	3	0.3	3	0.6	0.48	0.4
<i>Castanopsis indica</i> (印度苦槠)	IV	3	0.3	3	0.6	0.48	0.4
<i>Litsea acutivena</i> (銳脈木薑子)	V	3	0.3	2	0.4	0.38	0.4
<i>Ficus nervosa</i> (九丁榕)	III	3	0.3	2	0.4	0.38	0.2
<i>Symplocos formosana</i> (臺灣灰木)	III*	2	0.2	2	0.4	0.32	0.2
<i>Melastoma candidum</i> (野牡丹)	II	2	0.2	2	0.4	0.32	0.1

con't

<i>Ehretia longiflora</i> (長花厚殼樹)	II*	2	0.2	2	0.4	0.32	0.1
<i>Koelreuteria henryi</i> (臺灣欒樹)	III	2	0.2	2	0.4	0.32	0.2
<i>Gardenia jasminoides</i> (山黃梔)	III	2	0.2	2	0.4	0.32	0.2
<i>Litsea akoensis</i> var. <i>akoensis</i> (屏東木薑子)	V	2	0.2	2	0.4	0.32	0.3
<i>Machilus thunbergii</i> (紅楠)	IV	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Engelhardia roxburghiana</i> (黃杞)	IV	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Broussonetia monoica</i> (小構樹)	II*	1	0.1	1	0.2	0.16	0.0
<i>Adinandra formosana</i> (臺灣楊桐)	IV*	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Phyllanthus multiflorus</i> (多花油柑)	II	1	0.1	1	0.2	0.16	0.0
<i>Helicia formosana</i> (山龍眼)	V	1	0.1	1	0.2	0.16	0.2
<i>Acer serrulatus</i> (青楓)	III	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Wikstroemia taiwanensis</i> (臺灣蕘花)	IV	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Itea parviflora</i> (小花鼠刺)	V	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Callicarpa pilosissima</i> (細葉紫珠)	II	1	0.1	1	0.2	0.16	0.0
<i>Deutzia pulchra</i> (大葉溲疏)	II	1	0.1	1	0.2	0.16	0.0
<i>Litsea acuminata</i> (長葉木薑子)	V	1	0.1	1	0.2	0.16	0.2
<i>Syzygium formosanum</i> (臺灣赤楠)	V	1	0.1	1	0.2	0.16	0.2
<i>Schefflera octophylla</i> (江某)	III	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Murraya paniculate</i> (月橘)	III	1	0.1	1	0.2	0.16	0.1
<i>Turpinia formosana</i> (山香圓)	V	1	0.1	1	0.2	0.16	0.2
Total		890	100	476	100	100	44.2

¹⁾ Refers to Kuo et al. (2021).

* The STL was not reported; thus this study judged the level by the light environment where the species was mainly distributed in the plot.

Table 3. Basal area and species richness of all tree species, and abundances in the 4 vertical layers in each of the 4 plots (S1, S2, S3, and S4) at the Duona landslide site in 2020

Parameter	S1	S2	S3	S4
Basal area (cm ²) ¹⁾	8276	47809	28359	25761
Species richness ¹⁾	30	52	34	26
Abundance (stem)				
Canopy layer	5	214	71	39
Sub-canopy layer	162	501	622	863
Shrub layer	143	251	384	422
Sum of the above	310	966	1077	1324
Understory layer	166	319	202	203

¹⁾ Not including the understory layer.

比較各耐陰等級樹種在4個樣區IVI值的差異，發現耐陰等級I的樹種在4個樣區皆為最優勢組成，尤其在S4樣區其IVI值高達64.7%；耐陰等級II的樹種在S4樣區的IVI值最高(17.3%) (Table 4)；耐陰等級III之樹種亦為各大樣區

的重要組成，其IVI值介於11.8% (S4樣區)至24.4% (S2樣區)；耐陰等級VI與V兩類樹種在4個樣區的優勢程度皆低，IVI值皆在6%以下 (Table 4)。在林分耐陰性指標值(SSI)方面，S1與S2樣區有類似的SSI值(18.7, 18.6%)，最低者

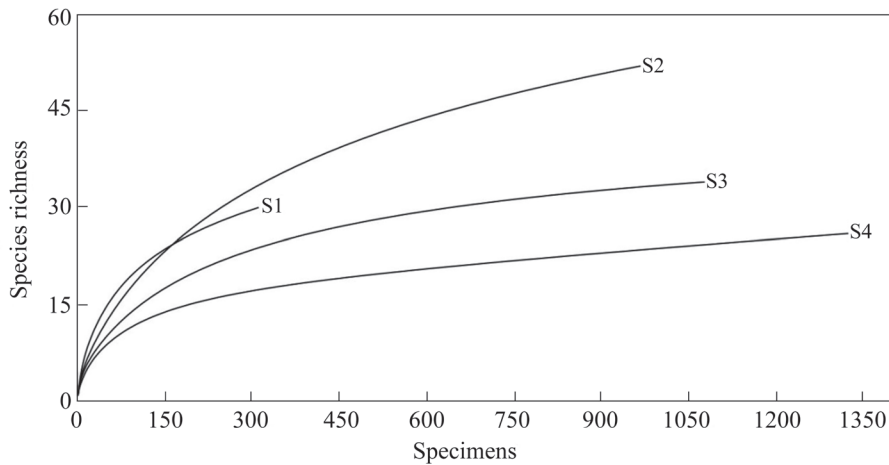


Fig. 2. Rarefaction curves of adult trees in the 4 plots of the Duona landslide site. Species richness includes woody species of the canopy, sub-canopy, and shrub layers.

Table 4. Total importance value index (Σ IVI) of all species in different shade-tolerance levels (STLs) and stand shade-tolerance index (SSI) values in each of the 4 plots (S1, S2, S3, and S4) at the Duona landslide site in 2020

STL and SSI	Σ IVI (%)			
	S1	S2	S3	S4
I. Very intolerant	58.2 ¹⁾	59.1	61.8	64.7
II. Intolerant	15.8	9.7	13.4	17.3
III. Mid-tolerant	19.7	24.4	20.5	11.8
VI. Tolerant	5.2	3.5	2.5	2.4
V. Very tolerant	1.1	3.3	1.8	3.8
SSI	18.7	18.6	17.1	15.3

¹⁾Not including the understory layer.

則是S4樣區(15.3%) (Table 4)。

多納崩塌地林分不同垂直分層的樹種組成、優勢度及耐陰性比較

多納崩塌地於2017~2020年間，林分不同垂直分層各組成樹種IVI值的變化如Table 5所示。於高度 ≥ 8 m的樹冠層，各年度最優勢的樹種都是山黃麻，其IVI值皆 $> 70\%$ ，但有逐年遞減趨勢(Table 5)。樹冠層IVI值次高者為白匏子，在各年度其IVI值均大幅度低於山黃麻。在次冠層(4 m \leq 高度 < 8 m)山黃麻與白匏子也是最優勢樹種，於2017年該兩樹種的IVI值分別為37.0、33.6%，但至2018年白匏子的IVI值

(36.7%)已超過山黃麻(30.2%)，且差距程度逐年增加(Table 5)。於2017年次冠層IVI值前10名之樹種中僅有水錦樹(*Wendlandia uvariifolia*)為中等耐陰樹種，隔年加入了臺灣山桂花，在2020年則又加入屬於耐陰樹種的菲律賓楠(*Machilus philippinensis*)與臺灣格柃(*Eurya septata*) (Table 5)。次冠層的臺灣山桂花於2020年時的IVI值達7.5%，僅次於白匏子及山黃麻。在灌木層(高度 < 4 m)，白匏子及臺灣山桂花在各年度皆為IVI值最高及次高的樹種，白匏子的IVI值有稍降的趨勢，然而臺灣山桂花卻明顯增加，從2017年的12.9%至2020年提高為22.1% (Table 5)。

比較研究期間林分在不同垂直分層樹種之

Table 5. Dynamics of the importance value index (%) of the top 10 dominant tree species in the 3 vertical layers from 2017 to 2020 at the Duona landslide site

Species	Canopy layer				Sub-canopy layer				Shrub layer			
	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020	2017	2018	2019	2020
<i>Trema</i> (山黃麻) ¹⁾	79.6	79.4	74.6	73.3	37.0	30.2	25.0	21.5	9.5	7.0	5.6	2.9
<i>Mallotus</i> (白匏子)	16.9	15.7	17.1	17.7	33.6	36.7	37.1	35.9	37.1	36.1	30.8	34.3
<i>Rhus</i> (羅氏鹽膚木)	2.3	1.9	5.2	5.4	6.0	5.6	5.8	6.5	2.4	3.5	3.6	2.1
<i>Litsea</i> (山胡椒)	1.3	1.3	1.0	1.4	3.4	3.5	3.2	2.8	2.4			
<i>Aralia</i> (裏白櫟木)		0.9	0.7									
<i>Tetradium</i> (賊仔樹)		0.9	1.3	1.7	4.2	3.8	3.4	3.3	2.3			
<i>Alniphyllum</i> (假赤楊)				0.6	1.2	1.3	1.3					
<i>Debregeasia</i> (水麻)					1.6				7.3	5.2	4.4	2.9
<i>Eurya g.</i> (毛果柃木)					1.4	1.3	1.3					
<i>Wendlandia</i> (水錦樹)					1.4	2.2	2.8	2.9	3.8	2.7		
<i>Hibiscus</i> (山芙蓉)					1.2	1.4					2.0	
<i>Maesa</i> (臺灣山桂花)						2.4	5.1	7.5	12.9	17.8	21.3	22.1
<i>Glochidion</i> (裏白饅頭果)							1.2	1.4		2.7		2.2
<i>Machilus</i> (菲律賓楠)								1.4			2.0	2.0
<i>Eurya s.</i> (臺灣格柃)								1.5		2.7	3.9	4.0
<i>Pouzolzia</i> (水雞油)									2.6	2.2	2.8	2.2
<i>Callicarpa</i> (六龜粗糠樹)									1.9	3.8	5.9	6.1

¹⁾ *Trema*, *Trema orientalis*; *Mallotus*, *Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*; *Rhus*, *Rhus javanica* var. *roxburghiana*; *Litsea*, *Litsea cubeba*; *Aralia*, *Aralia bipinnata*; *Tetradium*, *Tetradium glabrifolium*; *Alniphyllum*, *Alniphyllum pterospermum*; *Debregeasia*, *Debregeasia orientalis*; *Eurya g.*, *Eurya gnaphalocarpa*; *Wendlandia*, *Wendlandia uvariifolia*; *Hibiscus*, *Hibiscus taiwanensis*; *Maesa*, *Maesa perlaria* var. *formosana*; *Glochidion*, *Glochidion acuminatum*; *Machilus*, *Machilus philippinensis*; *Eurya s.*, *Eurya septate*; *Pouzolzia*, *Pouzolzia elegans*; *Callicarpa*, *Callicarpa formosana* var. *glabrata*.

物種豐度及植株豐量的變化，發現樹冠層的組成樹種很少，於2017年僅有4種，至2018年增至6種；樹冠層植株豐量於2017年僅有184株，至2020年增至329株 (Table 6)，僅為全林分成樹總株數(3677株)的9%。在次冠層方面，於2017年組成樹種有36種，至2020年提高為56種，且植株豐量在此分層最高，於2020年其植株豐量(2148株)已達全林分成樹總株數的58%。在灌木層方面，於2017年組成樹種有42種，至2020年提高到50種，植株豐量則由2017年的929株，提高至2020年的1200株 (Table 6)，已達全林分成樹總株數的33%。

分析多納崩塌地林分各垂直分層，三類耐陰等級樹種IVI值的分布動態，發現樹冠層樹種於2017~2019年完全都是由陽性樹種組成，

在2020年則開始出現中等耐陰樹種，但其IVI值僅為0.6% (Table 7)。在次冠層方面，各年度仍都以陽性樹種為優勢，但是中等耐陰、耐陰兩類樹種的IVI值則逐年提高，前者於2020年的IVI值可達17.9% (Table 7)。在灌木層方面，各年度仍是以陽性樹種為優勢，但是中等耐陰樹種於2020年的IVI值已提高到33.1%，與次冠層一樣，呈現中等耐陰、耐陰兩類樹種的IVI值逐年提高，陽性樹種的IVI值卻逐年降低的變化趨勢 (Table 7)。在地被層方面，於2018年陽性樹種的IVI值仍有50.7%，但兩年後則減半(25.3%)；地被層的中等耐陰、耐陰兩類樹種，在2020年的IVI值分別高達37.0及27.4% (Table 7)，顯示更新樹苗不再是以陽性樹種的苗木為優勢了。

Table 6. Dynamics of the species richness and abundance in the 4 vertical layers from 2017 to 2020 at the Duona landslide site. Species richness includes woody species of the canopy, sub-canopy, and shrub layers

Parameter and layer	2017	2018	2019	2020
Species richness				
Canopy layer	4	6	6	6
Sub-canopy layer	36	46	52	56
Shrub layer	42	45	43	50
Sum of species	51	59	61	68
Understory layer	- ¹⁾	50	-	58
Abundance (stem)				
Canopy layer	184	219	281	329
Sub-canopy layer	1407	1707	1931	2148
Shrub layer	929	1295	1009	1200
Sum of abundance	2520	3221	3221	3677
Understory layer	-	867	-	890

¹⁾ -, not investigated.

Table 7. Dynamics of the importance value index (%) of species with different shade-tolerance levels (STLs) in the 4 vertical layers from 2017 to 2020 at the Duona landslide site

Layer and STL	2017	2018	2019	2020
Canopy layer				
Shade-intolerant species	100.0	100.0	100.0	99.4
Mid-tolerant species	0.0	0.0	0.0	0.6
Shade-tolerant species	0.0	0.0	0.0	0.0
Sub-canopy layer				
Shade-intolerant species	93.7	89.9	84.3	77.0
Mid-tolerant species	4.7	7.8	11.9	17.9
Shade-tolerant species	1.6	2.3	3.8	5.1
Shrub layer				
Shade-intolerant species	73.2	66.7	59.7	58.6
Mid-tolerant species	21.6	26.5	32.2	33.1
Shade-tolerant species	5.2	6.8	8.1	8.3
Understory layer				
Shade-intolerant species	- ¹⁾	50.7	-	25.3
Mid-tolerant species	-	26.7	-	37.0
Shade-tolerant species	-	22.6	-	27.7

¹⁾ -, not investigated.

多納崩塌地形形成8~11年間林分耐陰性指標值的改變

多納崩塌地樣區全林分SSI值由2017年的10.6%提高到2020年的16.8% (Fig. 3)。就林分不

同分層的SSI值而言，因為隨著分層高度降低，陽性樹種的優勢程度降低，而中等耐陰、耐陰兩類樹種的優勢程度會提高，因此隨著垂直分層高度的降低，SSI值即有增高的表現(Fig. 3)。

此外，各分層的SSI值也都呈現逐年提高的樣式，例如由2017年到2020年，次冠層的SSI值由7.5%增至16.0%；灌木層的SSI值由20.9%增至28.3%；地被層的SSI值則由2018年的36.6%提高到2020年的44.2% (Fig. 3)。

以此林分優勢度最高的10種樹種為對象，分析同一樹種在各垂直分層的株數分布比例，結果發現於2017年山黃麻、白匏子、羅氏鹽膚木、賊仔樹(*Tetradium glabrifolium*)、山胡椒(*Litsea cubeba*)在次冠層的株數分布比例皆高於灌木層 (Fig. 4A)，上述樹種皆為陽性樹種。相反的，臺灣山桂花、六龜粗糠樹(*Callicarpa formosana* var. *glabrata*)、水錦樹、臺灣格柵及裏白饅頭果(*Glochidion acuminatum*)在次冠層的個體株數比例皆低於灌木層 (Fig. 4A)。上述樹種除了裏白饅頭果之外，其餘4種皆不是陽性樹種。至2020年經過3年的生長，臺灣山桂花、六龜粗糠樹、臺灣格柵及裏白饅頭果有許多原本在灌木層的植株長高進入次冠層，故於灌木層的株數比例降低，而於次冠層的比例增加，但這些樹種於灌木層的株數比例仍高於次冠層 (Fig. 4B)。水錦樹也是在灌木層的株數比例降低，次冠層比例增加，但在次冠層比例卻明顯高過灌木層 (Fig. 4B)。於2020年陽性樹種山黃麻、白匏子、羅氏鹽膚木、賊仔樹及山胡椒在樹冠層的株數比例都增加，在次冠層的比例仍是三垂直分層中最高者，但於灌木層的比例卻都明顯降低 (Fig. 4B)。

討論

多納崩場地次級演替成樹與幼齡木組成及結構動態變化

臺灣各地可依據降雨特性劃分為7個水平方向之地理氣候區，分別是夏雨型氣候的東部區、西北區、中西區、西南區及東南區，以及恆濕性氣候的東北區及蘭嶼區 (Su 1985)。本研究樣區屬於西南區，最優勢樹種為山黃麻及白匏子。而在西北區的林口台地 (Wu 1989)、中西區的草嶺 (Lee et al. 2001)、西南區的扇平林道 5.3 km (Chou et al. 2015)、以及東北區的宜蘭海岸 (Chen and Yang 2002) 等處的演替初期崩場地，先驅性之山黃麻、白匏子也都是重要的更新樹種。可見無論降雨多寡，山黃麻及白匏子都是演替初期低海拔崩場地的主要樹種。

本研究發現多納崩場地次生林形成8年時 (2017年)，陽性、中等耐陰及耐陰樹種的重要值指數 (IVI) 分別為 84.0、13.4 及 2.6%；次生林形成11年時 (2020年)，上述三類樹種的IVI值分別改變為 76.8、17.6 及 5.5%，顯示陽性樹種雖仍為樣區最優勢之組成，但其優勢程度逐年降低；中等耐陰及耐陰樹種的優勢程度雖遠不及陽性樹種，卻有逐年增加的趨勢。臺灣的其他崩場地的植群研究，皆為針對崩場地演替初期的植群進行調查，故出現之木本植物亦皆以陽性樹種最為優勢。

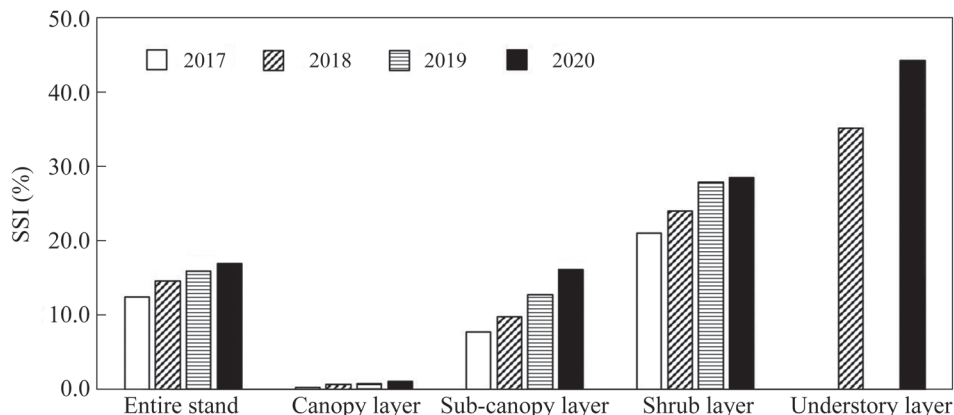


Fig. 3. Annual stand shade-tolerance index (SSI) values of the entire stand and of the 4 vertical layers from 2017 to 2020 at the Duona landslide site.

例如雲林草嶺地區崩塌地形成2年後，IVI值前3高之樹種為山黃麻(45%)、食茱萸(*Zanthoxylum ailanthoides* var. *ailanthoides*) (5%)及血桐(4%)，另有羅氏鹽膚木、相思樹、賊仔樹、山芙蓉、小葉桑(*Morus australis*)、構樹(*Broussonetia papyrifera*)、白匏子、白栢(*Triadica cochinchinensis*)、水雞油(*Pouzolzia elegans*)、水麻(*Debregeasia orientalis*)等陽性或先驅樹種出現(Lee et al. 2001)。石門水庫集水區崩塌地在演替7年後，出現之樹種包括水雞油、山黃麻、羅氏鹽膚木、小葉桑、野桐(*Mallotus japonicus*)、臺灣檉木(*Aralia decaisneana*)、水麻等樹種(Chen et al. 2013)。某些崩塌地則會出現少量中等耐陰或耐陰樹種，例如新北林口台地之崩塌地形成6年後，有香楠、軟毛柿(*Diospyros eriantha*)、大葉楠(*Machilus japonica* var. *kusanoi*)、茜草樹(*Randia cochinchinensis*)等較耐陰的樹種出現，約佔該處林分物種豐度之1/3 (Wu 1989)。南投之溪頭地區崩塌地在形成3年後，亦出現杜英(*Elaeocarpus sylvestris* var. *sylvestris*)、長梗紫麻、錐果櫟(*Quercus longinux*)、薯豆(*Elaeocarpus japonicus*)、昆欄

樹(*Trochodendron aralioides*)、紅楠(*Machilus thunbergii*)、青楓(*Acer serrulatum*)等中等耐陰或耐陰的樹種，但IVI值皆小於3% (Gu et al. 2005)。上述報導顯示臺灣之崩塌地在形成10年內，雖然已有較耐陰的樹種建立，但大致仍是處於以陽性樹種為主要組成之次級演替早期階段。

多納崩塌地的樹種組成與臺灣其他崩塌地的植群並無太大差異，但在地被層小苗的組成上卻有幾項明顯不同之處。首先，山黃麻為多納崩塌地次生林最優勢之樹種，但在樣區內卻未調查到天然更新苗。然而，在形成1年半之雲林草嶺崩塌地，在0.35 ha樣區中卻調查到1193株山黃麻小苗(Lee et al. 2001)。推測可能是因為山黃麻屬於先驅樹種，種子需要在光質為紅光大於遠紅光的高光環境下才得以發芽(Vásquez-Yanes and Smith 1982)，草嶺崩塌地僅形成1年半，可能仍為大面積裸露的高光狀態，故有利於山黃麻種子萌發。相對的，多納崩塌地已形成8~11年，樣區內許多區域已形成次生林，使得林內的光環境不利於山黃麻種子萌發，故無小苗建立。其次，多納崩塌地的山胡椒成樹密度為53 stems ha⁻¹，且數年來皆

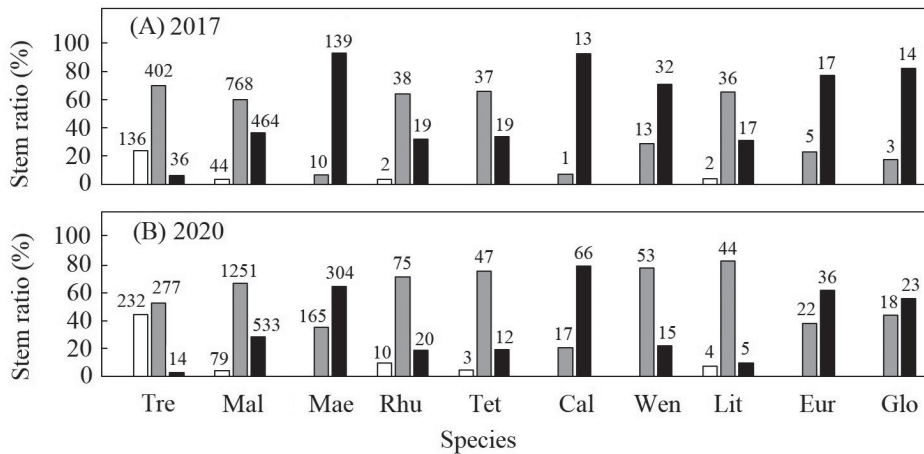


Fig. 4. The abundance ratio among 3 canopy layers of individual tree species in 2017 (A) and 2020 (B) at the Duona landslide site. □ denoted canopy layer, ■ sub-canopy layer, ■ shrub layer. Values above each column refer to the abundance of individuals at each layer. Tre: *Trema orientalis*; Mal: *Mallotus paniculatus* var. *paniculatus*; Mae: *Maesa perlaria* var. *formosana*; Rhu: *Rhus javanica* var. *roxburghiana*; Tet: *Tetradium glabrifolium*; Cal: *Callicarpa formosana* var. *glabrata*; Wen: *Wendlandia uvariifolia*; Lit: *Litsea cubeba*; Eur: *Eurya septate*; Glo: *Glochidion acuminatum*.

觀察到此樹種有開花結實，然而樣區內卻也全無此樹種的天然更新苗。臺灣中部關刀溪森林形成2年之崩塌地，木本小苗數量最多的卻是山胡椒，於68 m²的樣區出現238株(Chen et al. 2003)。推測多納崩塌地的山胡椒缺乏小苗的原因可能與山黃麻類似，也是因為樣區內已非強光環境，故不利於山胡椒種子發芽；關刀溪崩塌地僅形成2年，可能仍為強光環境，故可發現多數山胡椒小苗。

本研究S1、S3、S4三個樣區成樹的物種數很接近，分別有30、34、26種，但此三樣區成樹的數量差異甚大，S3及S4樣區的成樹數量分別為S1樣區(310株)的3.5及4.3倍(Table 3)。S3樣區成樹的物種數多於S1樣區，且S3樣區的成樹數量也多於S1樣區，那麼S3樣區的物種多樣性是否也會高於S1樣區呢？由4個樣區的rarefaction曲線(Fig. 2)可看出，S3樣區的物種多樣性並不高於S1樣區，S1樣區當調查到成樹的數量為300株時，其物種數已接近30種，而S3樣區的物種數才約25種，顯示S1樣區成樹的物種多樣性會高於S3樣區。

多納崩塌地林分不同垂直分層的樹種組成、優勢度及耐陰性比較

本研究在設立樣區時，即觀察到樹冠上層大多由陽性樹種組成，而耐陰樹種主要出現在灌木層及地被層，因此預測若將林分依垂直高度予以分層，應可發現各層的組成樹種之耐陰性會有明顯差異。結果正如預期，多納崩塌地經過11年的次級演替後，隨著林分冠層高度的降低，陽性樹種的優勢程度降低，而較耐陰樹種的優勢程度增大(Tables 5, 7)。多納崩塌地的樹冠層以先驅樹種山黃麻及白匏子為主要組成；次冠層山黃麻的IVI值逐年遞減，從2017年時的33.6%降至2020年時的21.5%，並自2018年起其IVI值為白匏子超越(Table 5)。推測上述趨勢是因為山黃麻有許多植株已由次冠層長高進入樹冠層，然而卻較缺乏灌木層植株補充所致。臺灣其它崩塌地的植群研究亦觀察到山黃麻衰退的情形，例如雲林草嶺崩塌地在形成2年時以山黃麻為最優勢樹種，然而在

形成7年時，山黃麻徑級分布呈鈴形，有逐漸枯損現象，IVI值由67%降至9% (Chen et al. 2009)。Lu et al. (1984)及Wu (1989)亦指出，山黃麻雖為崩塌地次級演替初期之優勢樹種，但枯損率高，小樹逐漸消失，故推測在崩塌地形成20年後即不再保有族群優勢，會被其他樹種取代。因此，多納崩塌地的山黃麻族群可能已處於衰退狀態，日後可能將被稚樹及小苗數量相對較多的白匏子及羅氏鹽膚木所取代。本研究調查期間白匏子亦有許多植株由次冠層長高進入樹冠層，但同時也有許多灌木層的植株長高進入次冠層，故於2017~2020年期間本樹種的IVI值變化並不明顯(Table 5)。中等耐陰的臺灣山桂花於2018年開始進入次冠層，且於2020年成為該層IVI值第3高者，而水錦樹、臺灣格柆及菲律賓楠於次冠層之IVI值亦逐年增加(Table 5)，使得次冠層之SSI值由2017年的7.5%提高至2020年的16.0% (Fig. 3)。山黃麻在灌木層的IVI值逐年降低，從2017的9.5%降至2020的2.9% (Table 5)，除了因許多植株長高進入次冠層外，缺乏地被層幼齡植株的補充也是重要原因。

灌木層方面，臺灣山桂花、六龜粗糠樹、水錦樹、臺灣格柆等較耐陰的樹種於2017年時其灌木層株數分布比例高於次冠層(Fig. 4A)，顯示較耐陰的樹種在崩塌地形成數年後，即可在次生林先驅樹種下方較為遮陰的微環境建立。山黃麻、白匏子、羅氏鹽膚木、賊仔樹等樹種，於2017年時在次冠層株數分布比例高於灌木層(Fig. 4A)，顯示陽性樹種在次級演替早期通常會快速生長為中大型成樹並佔據樹冠層，增加光資源的獲取。臺灣山桂花、六龜粗糠樹、臺灣格柆及裏白饅頭果到了2020年，於灌木層的比例雖然大幅降低，但仍高於次冠層(Fig. 4B)，顯示可能其地被層仍有充足個體能持續補充至灌木層。水錦樹可能因為在灌木層的植株大量進入次冠層，但在地被層的個體來不及補充至灌木層，故於灌木層的植株比例降低，但在次冠層的植株比例卻增加(Fig. 4B)。山黃麻、白匏子、羅氏鹽膚木、賊仔樹及山胡椒等5種陽性樹種在樹冠層的植株比例，於2020年比2017

年時提高，然而其灌木層植株比例卻是大幅降低(Fig. 4B)，顯示上述樹種原本在次冠層的植株逐漸長大進入樹冠層，在灌木層的植株亦大量補充至次冠層，然而卻沒有相對應之幼齡木補充至灌木層，長此以往將無後繼者。

多納崩塌地形成8至11年間林分耐陰性指標值及演替階段的改變

本研究的重要發現為多納崩塌地全林分及各垂直分層的SSI值皆逐年增加，顯示此林分有逐漸往演替中期推進的趨勢。然而決定SSI值的關鍵因素為何？樹木植株數量越多，SSI值就會越高嗎？本研究從4個樣區的樹種組成及豐量狀況，發現並非如此。S1樣區各垂直分層的植株數量雖然為4樣區最少者(Table 3)，但SSI值卻是4樣區最高者(18.7%) (Table 4)。實際上S1樣區大部分區域為少有樹木覆蓋的裸露地，植群整體上相對稀疏，但此樣區南側與茂密之次生林毗鄰，故樣區內南側約15 m寬之範圍樹木密集，且有不少中等耐陰及耐陰樹種聚生該處。更重要的是，S1樣區先驅樹種的IVI值僅58.2%，為4樣區最低者(Table 4)，而耐陰樹種的IVI值卻是最高(5.9%)，導致其SSI值為4個樣區最高者。S4樣區的成樹株數於4樣區中為最多(Table 3)，這主要是因為有部分區域成樹密生，密度高達141 stems 100 m⁻²，且大多為先驅樹種白匏子，所以S4樣區的先驅樹種及陽性樹種的IVI值皆為4個樣區最高者(Table 4)，相對的，其中等耐陰、耐陰樹種的IVI值皆為4個樣區中最低者(Table 4)，導致其SSI值最低。以上結果說明不能僅由樣區的植株數量來判定SSI值，因為縱使是樹木密集，可能因有大量的先驅樹種，而這些先驅樹種並不會對SSI值有貢獻。因此需要得知林分內各耐陰等級樹種的IVI值比例，才能決定一林分的SSI值高低。

在次級演替11年後，多納崩塌地樹冠層的SSI值在各年度皆為各垂直分層中最低者(Fig. 3)，是因為此層的主要組成為陽性的山黃麻及白匏子；次冠層的SSI值雖高於樹冠層，但遠低於灌木層(Fig. 3)，因為次冠層仍以陽性樹種為主要組成(Table 7)。那麼多納崩塌地次生林的林分

組成、結構及SSI值與原始森林有何差異？多納崩塌地次生林在2017年時調查到51樹種，2520株樹木，樹木胸高斷面積總和(BA)為7.04 m² ha⁻¹，SSI值為10.6%。經過3年至2020年10月調查到68種3677株樹木，BA為11.02 m² ha⁻¹，SSI值為16.8%。距離多納崩塌地約2 km之京大山原始林1 ha樣區，於2009年共記錄到51種4628株樹木，BA為42.94 m² ha⁻¹，SSI值為73.7%；該原始林2019年記錄到49種4113株樹木，BA為50.38 m² ha⁻¹，SSI值為74.9%，IVI值最高之樹種為長尾尖葉槲(*Castanopsis cuspidata*) (19.6%)及長葉木薑子(*Litsea acuminata*) (12.1%)，少有先驅或陽性樹種(六龜研究中心未發表數據)。與京大山原始林樣區相比，多納崩塌地樣區的物種豐富度較高，且有逐年增加趨勢。然而，京大山樣區的物種豐富度逐年略降，且樹木株數在10年間亦明顯降低，但BA及SSI值皆增加，顯示該林分的物種豐富度及豐量可能已達飽和，而樹木之胸徑仍持續增長，BA增加速率為0.74 m² ha⁻¹ yr⁻¹，SSI值在10年間僅微幅增加1.2%，顯示該林分之物種組成已趨於穩定，已經是演替後期的成熟森林。相對的，多納崩塌地樣區仍處於演替早期階段，物種豐富度及植株豐量在3年期間均明顯增加，SSI值亦增加6.2%，顯示本崩塌地樣區仍不斷有新的耐陰樹種進入，且優勢程度逐年增高。此外，多納崩塌地次生林的先驅或陽性樹種已出現衰退現象，其IVI值也將會逐年降低，因此可預期多納崩塌地的SSI值將會逐年上升。

目前臺灣的崩塌地治理方式，大多著重於崩塌初期植群重建之水土保持工法，較缺乏重建林分垂直結構、增加樹種多樣性等植群生態復育之施作，若以人為方式引入演替中、後期樹種，將有助於加速崩塌地次級演替至成熟森林狀態(Chiu et al. 2016)。國土綠網及生態復育造林之理念，是現今農委會及林務局的工作重點，因此本研究參考Lienard et al. (2015)的SSI值計算方式，量化多納崩塌地形成8至11年間的演替階段變化情形，探討該崩塌地次生林不同耐陰性樹種的演替消長趨勢，期能作為南部崩塌地進行生態復育造林，加速演替過程之重要

參考。六龜研究中心2018年於本研究之多納崩塌地樣區，人為栽植中等耐陰及耐陰共9樹種的苗木，嘗試加速該崩塌地之林分演替，目前栽植苗木已有良好的存活及生長。本研究之結果可作為上述生態造林之參考，日後可評估在崩塌地人為栽植較耐陰樹種的幼齡木，是否可達到提高SSI值，加速次級演替之成效。

結論

高雄多納林道崩塌後8至11年期間，在面積合計1 ha的4個樣區，木本植物的物種豐度及植株豐量持續增加。成樹以陽性樹種為絕對優勢組成，於2020年其重要值指數(IVI)高達76.8%，但中等耐陰及耐陰兩類樹種也已在此林分較下層建立，其IVI值分別為17.6、5.5%。陽性樹種山黃麻在樹冠層，白匏子則在次冠層與灌木層之優勢度最高。然而，中等耐陰及耐陰兩類樹種在次冠層、灌木層及地被層的IVI值均逐年提高。本研究創新地藉由各組成樹種的IVI值，以及各樹種的耐陰等級加權值(ρ)兩介量，計算林分耐陰性指標值(SSI)，量化全林分的演替程度。結果發現此崩塌地樣區的全林分SSI值由2017年的10.6%，至2020年提高為16.8%，林分各垂直分層的SSI值亦逐年增加，顯示此處林分正由演替早期往中期推進。藉由此量化林分演替程度的方法，可瞭解不同耐陰性樹種組成在森林自然演替過程的動態變化，也可供評估人為生態復育作業成效的指標。

謝誌

本研究承蒙林業試驗所107-109農科-10.2.1-森-G2三年之科技計畫經費補助，謹此致謝。另也特別感謝六龜研究中心崩塌地調查團隊羅榮裕、涂翔議、賴志輝、李光宇先生協助樣區資料收集。

引用文獻

Chen MY, Chen CH, Lin SK. 2003. The

composition of soil seed bank and seedlings in the earthquake landslide-sites of Guandaushi forest ecosystem. *Q J For Res* 25:97-108. [in Chinese with English summary].

Chen TL, Wey TH, Lee J, Lu FY. 2009. Comparison of the natural and artificial regeneration in landslide areas caused by an earthquake in the Chaoling region, central Taiwan. *J Chin Soil Water Conserv* 40:49-65. [in Chinese with English summary].

Chen TY, Yang XH. 2002. Study on southern Ilan County coastal vegetation. *J Natl Ilan Inst Tech* 9:243-57. [in Chinese with English summary].

Chen WC, Tsai ST, Wang CC, Liao KY, Chiu CA. 2013. Vegetation analysis and restoration proposal for landslide on the mid-stream of Shihmen Reservoir watershed. *Q J Chin For* 35:273-94. [in Chinese with English summary].

Chen YH, Lin WC, Chou FS. 2018. Succession series of landslide-site at Duona forest road. In: Ho CK, Chen TH, eds. *Proceedings of 2018 Forest Resource Conservation and Utilization Seminar*. 2018 Sept 13-14; Taipei, Taiwan: Taiwan Forestry Research Institute. p 73-8. [in Chinese].

Chiu CA, Hsu HS, Lin SH, Chen WC. 2016. The trajectory and goal of landslide revegetation: a proposal from the viewpoints of restoration ecology. *J Chin Soil Water Conserv* 47:104-10. [in Chinese with English summary].

Chou FS, Lin WC, Chen YH, Liao CK. 2015. Monitoring the vegetation dynamics of early succession following a landslide on Shanping forest road. *Taiwan J For Sci* 30:217-28.

CWB observation data inquire system. 2019. Central Weather Bureau (CWB) of the Republic of China. Available at <http://e-service.cwb.gov.tw/HistoryDataQuery/index.jsp>.

Dalling JW. 1994. Vegetation colonization of landslides in the Blue Mountains, Jamaica. *Biotropica* 26:392-9.

Editorial Committee of the Red List of Taiwan Plants. 2017. The Red List of Vascular Plants of Taiwan, 2017. Chichi, Nantou, Taiwan: Endemic Species Research Institute, Forestry Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan and Taiwan Society of Plant Systematics. 187 p. [in Chinese].

Elias RB, Dias E. 2009. Effects of landslides on the mountain vegetation of Flores Island, Azores. *J Veg Sci* 20:706-17.

Francescato V, Scotton M, Zarin DJ, Innes JC, Bryant DM. 2001. Fifty years of natural revegetation on a landslide in Franconia Notch, New Hampshire, USA. *Can J Bot* 79:1477-85.

Gu MS, Chuang ST, Chung NJ, Chung SH. 2005. Vegetation analyses of landslides in Chitou area. *Q J Chin For* 38:267-78. [in Chinese with English summary].

Guariguata MR. 1990. Landslide disturbance and forest regeneration in the upper Luquillo Mountains of Puerto Rico. *J Ecol* 78:814-32.

Kuo YL, Lin TY, Yang YY, Chen HL, Yang CK, Yu SY. 2021. Photosynthetic characteristics and shade tolerance of 440 native woody species in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 36:189-220. [in Chinese with English summary].

Kuo YL, Yeh CL. 2015. Photosynthetic capacity and shade tolerance of 180 native broadleaf tree species in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 30:229-43.

Lee CL, Ying SS, Chung NJ. 2001. Study on vegetation colonization of landslides in Chao Ling, central Taiwan. *Q J Chin For* 34:377-92. [in Chinese with English summary].

Lienard J, Florescu I, Strigul N. 2015. An appraisal of the classic forest succession paradigm with the shade tolerance index. *PLOS ONE* 10(2):e0117138.

Lin LL, Tsai YZ, Wang YC, Feng MC. 2009. A study on vegetation recovery and soil properties for the landslide areas. *J Slopeland Hazard Prevent* 8:25-39. [in Chinese with English

summary].

Liu TR, Su HJ. 1983. Forest ecology. Taipei, Taiwan: The Commercial Press. 462 p. [in Chinese].

Lu FY, Ou CH, Liao CC. 1984. The succession of India-charcoal *Trema* vegetation on the alluvium Lau-Dau Brook, Huey-Suen Forest Station (I). *Bull Exp For NCHU* 5:11-24. [in Chinese with English summary].

Meyer B, Hermanns K. 1985. Formaldehyde release from pressed wood products. In: Turoski V, editor. Formaldehyde: analytical chemistry and toxicology. Proceedings of the Symposium at the 187th meeting of the American Chemical Society; 1984 Apr 8-13; St Louis, MO. Washington, DC: American Chemical Society. p 101-16.

Myster RW, Fernández DS. 1995. Spatial gradients and patch structure on two Puerto Rican landslides. *Biotropica* 27:149-59.

Seiwa K, Miwa Y, Akasaka S, Kanno H, Tomita M, Saitoh T, et al. 2013. Landslide-facilitated species diversity in a beech-dominant forest. *Ecol Res* 28:29-41.

Su HJ. 1985. Studies on the climate and vegetation type of the natural forests in Taiwan. (III) A scheme of geographical climate regions. *Q J Chin For* 18(3):33-44. [in Chinese with English summary].

Tien YJ, Deng SL, Lu FY, Ho KY, Chang KC. 2005. Pioneer vegetation in the landslide areas of the low altitude in Chia-yi county. *Q J Chin For* 38:49-65. [in Chinese with English summary].

Varnes DJ. 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ, editors. Landslides--analysis and control. Washington, DC: National Research Council, Transportation Research Board. p 11-33.

Vásquez-Yanes C, Smith H. 1982. Phytochrome control of seed germination in the tropical rain forest pioneer trees *Cecropia ob-*

tusifolia and *Piper auritum* and its ecological significance. *New Phytol* 92:477-85.

Velázquez E, Gómez-Sal A. 2007. Environmental control of early succession on a large landslide in a tropical dry ecosystem (Casita Volcano, Nicaragua). *Biotropica* 39:601-9.

Walker LR. 1994. Effects of fern thickets on woodland development on landslides in Puerto Rico. *J Veg Sci* 5:525-32.

Walker LR. 1996. Ecosystem development and plant succession on landslides in the Ca-

ribbean. *Biotropica* 28:566-76.

Wang YN, Jhou HC, Wang CT, Chen CP. 2010. Study of biomass and carbon storage of *Cryptomeria japonica* D. Don at the Shan-Cha-Luan experimental plot in Xitou. *J Exp For Natl Taiwan Univ* 24:157-67. [in Chinese with English summary].

Wu JH. 1989. Investigation of the dominant vegetation on the landslide scars in Lin-Kou terrace. *J Chin Soil Water Conserv* 20(2):46-54. [in Chinese with English summary].