

國立東華大學自然資源管理研究所

碩士論文

指導教授：張世杰博士

棲蘭山樣區台灣扁柏成熟林與更新林  
附生性苔蘚分布與組成之比較研究

*The Distribution and Composition of  
Epiphytic Bryophytes in a Mature and a Naturally  
Regenerated Cypress Forest at the Chi-Lan Mountain Site*



研究生：朱妍綾

中華民國九十七年七月

## Abstract

The epiphytic bryophytes in two *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* forests of different ages were studied at the Chi-Lan Mountain (CLM) site in northeastern Taiwan. The *C. obtusa* var. *formosana* of the mature forest was about 400 years old, while the naturally regenerated forest had an age of about 40. The bryophytic composition, coverage, and biomass on the stems at different heights and aspects and on the branches were investigated on 3 trees of the mature forest using the single rope technique. The bryophyte data of the young forest were taken from Deng (2005).

The number of species, coverage and biomass of epiphytic bryophytes in the mature forest were higher than those in the naturally regenerated forest. In the mature forest, 49 bryophyte species were found and *Bazzania* was the dominant genus, while in the naturally regenerated forest, only 24 bryophytes species were found and *Bazzania* was also the dominant genus. The highest coverage and biomass of bryophytes were found near the base of trunks in both forests. The coverage and biomass of epiphytic bryophytes on trunks in the mature forest showed a fluctuating vertical distribution pattern. On the contrary, the bryophytic coverage and biomass on trunks of the young forest were found to decrease with increasing height.

In the mature forest, the higher coverage and biomass of bryophytes were found on the trunk surface facing toward the northwest, and the lower were found in southeastern aspect. Compared to the mature forest, the distribution of bryophytes in the young forest was homogeneous in all aspects, which, might result from the more closed canopy in the young forest.

*Bazzania*, *Leucobryum*, *Frullania*, *Anastrophyllum*, *Herbertus*, *Jungermannia* and *Pleurozia* grew on higher positions above ground in the mature forest than in the naturally regenerated forest. The difference in species number, the distribution of coverage and biomass of bryophytes between the two forests might be attributed to the size of phorophytes, different patterns of vertical gradients of light and moisture, and the colonization history of bryophytes.

Key words: Chi-Lan Mountain site, *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*, mature forest, regenerated forest, epiphytic bryophyte, coverage, biomass

## 摘要

為瞭解在不同年齡的森林中同樹種上苔蘚物種組成、覆蓋度與生物量在不同高度區間、不同方位上的差異與分布趨勢，本研究於棲蘭山樣區台灣扁柏成熟林與更新林中各取三棵扁柏上的苔蘚進行研究。研究結果顯示，成熟林附生性苔蘚物種數、覆蓋度與生物量皆高於更新林，成熟林附生性苔蘚物種數 49 種，更新林則為 24 種，兩座森林皆以鞭蘚屬為優勢。比較同屬苔蘚在成熟林與更新林的生長位置，在成熟林的苔蘚生長區域高於更新林。在垂直分布上，不論是在成熟林或更新林，苔蘚物種數、覆蓋度與生物量皆以靠近樹基處為最高，苔蘚覆蓋度與生物量在成熟林的垂直分布趨勢呈現波動趨勢，即隨高度增加苔蘚覆蓋度與生物量隨之遞減，在冠層下方逐漸隨高度上升而增加；而在更新林則呈現隨高度上升而遞減的趨勢。推測隨森林年齡增加，冠層可能為附生性苔蘚重要的棲地。在方位上，成熟林的苔蘚覆蓋度與生物量以西北面為最高，東南面為最低，在更新林則無特定趨勢，可能是成熟林較更新林開闊所造成的現象。推測兩森林中苔蘚物種數、覆蓋度及生物量分布趨勢的差異可能與樣樹大小、樣樹上光度與濕度的變化梯度及苔蘚拓殖時間長短有關。

關鍵字：棲蘭山樣區、台灣扁柏、成熟林、更新林、附生性苔蘚、覆蓋度、生物量。

# 目錄

1. 前言.....	1
1.1 苔蘚在生態系所扮演的角色及其應用性.....	1
1.2 影響苔蘚生長的环境因子.....	2
1.3 附生性苔蘚的定義.....	3
1.4 森林類型與附生性苔蘚.....	4
1.5 宿主植物與附生性苔蘚.....	4
1.6 附生性苔蘚的分布格局.....	5
1.7 附生性苔蘚的調查方法.....	7
1.8 台灣苔蘚植物研究現況.....	8
1.9 棲蘭山樣區的苔蘚物種數.....	8
1.10 研究動機與目的.....	8
2. 研究材料與方法.....	9
2.1 樣區介紹與相關研究.....	9
2.2 研究方法.....	11
2.2.1 樣樹選取.....	11
2.2.2 成熟林樣樹枝條分布.....	12
2.2.3 附生性苔蘚取樣方法.....	12
2.2.4 附生性苔蘚覆蓋度估算.....	15
2.2.5 附生性苔蘚物種鑑定.....	15
2.2.6 附生性苔蘚生物量量測.....	16
2.3 資料處理方式.....	17
2.3.1 統計分析方法.....	18
3. 研究結果.....	19
3.1 苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢.....	19
3.2 苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢.....	23
3.3 台灣扁柏成熟林苔蘚覆蓋度與生物量.....	27
3.4 苔蘚屬的組成與分布.....	30

3.4.1	苔蘚屬的組成.....	30
3.4.2	苔蘚屬的垂直分布.....	34
3.5	台灣扁柏成熟林主幹上苔蘚屬的分布趨勢.....	43
3.6	台灣扁柏成熟林枝條上苔蘚屬的組成.....	48
4.	討論.....	49
4.1	苔蘚覆蓋度、生物量及其空間分布.....	49
4.1.1	苔蘚覆蓋度、生物量.....	49
4.1.2	苔蘚覆蓋度與生物量的分布格局.....	50
4.2	苔蘚覆蓋度與生物量的關係.....	51
4.3	苔蘚物種及其空間分布.....	52
4.3.1	苔蘚物種數與組成.....	52
4.3.2	主幹上苔蘚物種的分布格局.....	56
4.4	成熟林與更新林主幹的苔蘚生物量迴歸式.....	58
5.	結論與建議.....	59
6.	引用文獻.....	61

## 圖目錄

圖 1	樣區位置圖。.....	10
圖 2	成熟林與更新林台灣扁柏與其他樹種樹高分布情形。.....	10
圖 3	成熟林主幹取樣區域劃分方式。.....	14
圖 4	更新林主幹主幹取樣區域劃分方式。.....	14
圖 5	枝條取樣圖。.....	14
圖 6	成熟林與更新林主幹上苔蘚覆蓋度的垂直分布趨勢。.....	20
圖 7	成熟林與更新林主幹上苔蘚生物量的垂直分布趨勢。.....	20
圖 8	成熟林三棵樣樹主幹上苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢。.....	21
圖 9	更新林三棵樣樹主幹上苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢。.....	22
圖 10	成熟林與更新林主幹上苔蘚覆蓋度在不同方位的分布趨勢。.....	24
圖 11	成熟林與更新林主幹上苔蘚生物量在不同方位的分布趨勢.....	24
圖 12	成熟林三棵樣樹主幹苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢。.....	25
圖 13	更新林三棵樣樹主幹苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢。.....	26
圖 14	成熟林主幹上苔蘚覆蓋面積與乾重的關係圖。.....	28
圖 15	成熟林枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重的關係圖。.....	29
圖 16	成熟林與更新林主幹上苔蘚屬數百分比在不同相對高度的分布趨勢。.....	36
圖 17	成熟林與更新林主幹上苔蘚屬數百分比在不同方位的分布趨勢。.....	36
圖 18	成熟林與更新林不同高度上苔蘚屬歧異度。.....	37
圖 19	成熟林與更新林不同高度上苔蘚屬均勻度。.....	37
圖 20	成熟林與更新林不同方位上苔蘚屬歧異度。.....	38
圖 21	成熟林與更新林不同方位上苔蘚屬均勻度。.....	38
圖 22	成熟林與更新林主幹上鞭蘚屬生物量的分布趨勢。.....	39
圖 23	成熟林與更新林主幹上白髮苔屬生物量的分布趨勢。.....	39
圖 24	成熟林與更新林主幹上耳葉蘚屬生物量的分布趨勢。.....	40
圖 25	成熟林與更新林主幹上剪葉蘚屬生物量的分布趨勢。.....	40
圖 26	成熟林與更新林主幹上葉蘚屬生物量的分布趨勢。.....	41
圖 27	成熟林與更新林主幹上挺葉蘚屬生物量的分布趨勢。.....	41

圖 28 成熟林與更新林主幹上紫葉蘚屬生物量的分布趨勢。.....	42
圖 29 成熟林主幹上不同屬的苔蘚垂直分布趨勢。.....	47

## 表目錄

表 1	成熟林附生性苔蘚取樣樣樹資料。	12
表 2	更新林附生性苔蘚取樣樣樹資料。	12
表 3	成熟林與更新林取樣樣樹主幹覆蓋度與生物量。	19
表 4	成熟林三棵樣樹附生性苔蘚覆蓋度與生物量。	28
表 5	成熟林三棵樣樹枝條苔蘚覆蓋度與生物量。	28
表 6	成熟林三棵樣樹不同方位上的枝條數。	29
表 7	成熟林與更新林樣樹主幹優勢屬苔蘚生物量。	31
表 8	台灣扁柏成熟林附生性苔蘚物種組成。	32
表 9	成熟林三棵樣樹枝條上 A、B 取樣點優勢屬生物量。	48
表 10	森林類型與附生性苔蘚物種數。	54
表 11	不同研究地年老與年輕森林附生性苔蘚物種數。	55
表 12	以更新林的迴歸式計算成熟林三棵樣樹主幹的苔蘚乾重、生物量結果與調查值的比較。	58

## 附錄目錄

附錄 1 成熟林調查樹種的株數、平均高度與總胸高斷面積。.....	68
附錄 2 成熟林調查樹種的相對優勢度、相對密度及重要值指數。.....	69
附錄 3 成熟林三棵樣樹周徑與距地高度關係式與資料。.....	70
附錄 4 更新林三棵樣樹附生性苔蘚名錄。.....	71
附錄 5 成熟林主幹上苔蘚覆蓋度、覆蓋面積與乾重。.....	72
附錄 6 成熟林枝條上苔蘚覆蓋度、覆蓋面積與乾重。.....	78
附錄 7 成熟林附生性苔蘚屬名代號表。.....	81
附錄 8 成熟林主幹上不同屬的苔蘚乾重。.....	82
附錄 9 成熟林枝條上不同屬的苔蘚乾重。.....	91

## 1. 前言

附生性苔蘚不論在養分或水循環上皆佔有相當的角色。附生性苔蘚攔截霧水後，除供本身所需的養分與水分外，亦可供給宿主植物額外水分與養分(Rhoades 1995)。另外，附生性苔蘚對空氣污染的敏感度較地被苔蘚(epiliths)來得高，因此可作為監測空氣污染的指標生物。有些苔蘚物種與地衣可為脊椎與無脊椎動物提供食物、庇護、產卵地點、化蛹地點等資源(Gerson 1982)。

由於苔蘚的構造簡單，不具維管束，因此在分布上受基質特性、環境中光度、溼度、溫度影響(Rhoades 1995; Sillett and Rambo 2000; Sillett and Antoine 2004)。微氣候的變化隨垂直高度與方位的不同而有所差異，因此，附生性苔蘚物種組成、覆蓋度與生物量在不同垂直高度或方位上亦有所差異。另外，不同類型的森林內其附生性苔蘚物種數也有所差異(Boudreault *et al.* 2000; Sillett and Rambo 2000; Holz and Gradstein 2005)。

León-Vargas *et al.*(2006)指出，雲霧森林(cloud forest)所提供的環境條件可能接近附生性苔蘚的理想生長需求。棲蘭山樣區年均溫為 13.7 °C，年雨量約為 4000 mm，雲霧籠罩該區佔全年總時數的 38%，為一典型的雲霧森林(吳敏如 2003)。該區的附生性植物即以苔蘚為優勢，且此區內有兩座優勢樹種相同但年齡不同的兩座森林，為探討附生性苔蘚在氣候環境相似，樹種相同但年齡不同的森林中，物種組成、覆蓋度與生物量分布趨勢上的差異，因此，本研究除在台灣扁柏成熟林進行附生性苔蘚的取樣外，另選取更新林附生性苔蘚研究中的原始資料進行研究。

### 1.1 苔蘚在生態系所扮演的角色及其應用性

苔蘚為無維管束植物，大多偏好潮濕的環境，其生物量在森林生態系所佔的比例雖然不大，卻在養份循環與水循環上扮演了重要的角色(Rhoades 1995)。

苔蘚可協助生態系保留養分，在養分較缺乏的季節裡，被苔蘚保留的養分可藉由淋洗方式釋出，以調節生態系中的養分(Nadkarni 1984; Frangi and Lugo 1992; Rhoades 1995)。冠層的苔蘚在死亡後，若無掉落至地上，會成為腐植質堆積在冠層，增加冠層的養分(Coxson and Nadkarni 1995)。棲蘭山樣區的研究顯示，地被苔蘚對 NO<sub>3</sub> 有明顯的攔截現象(劉美娟 2004)。

Pócs(1982)指出，苔蘚能減緩豪雨對森林的衝擊，使雨水緩慢地滲入土壤裡，不直

接衝擊地面。而在鴛鴦湖保留區所做的研究指出，附生性苔蘚每克乾重每小時可攔截 0.63 g 雲霧(Chang *et al.* 2002)。由此可見，苔蘚對養分與水分攔截具相當之貢獻。除此之外，地衣與苔蘚也為脊椎與無脊椎動物提供了食物、棲地等資源(Gerson 1982; Voegtlin 1982)。而在冠層的墊狀苔蘚則能協助附生性維管束植物生長，有助於增加附生性植物的多樣性(Zotz and Vollrath 2003)。

苔蘚對環境變化敏感的特性可做為監測森林變化與評估森林保育重要性的指標(Keddy and Drummond 1996)，同時也可做為監測空氣污染的指標(Larsen *et al.* 2007)。Schintu *et al.*(2005)的研究即發現，在受污染的地中海地區，真苔屬(*Bryum radiculosum*)可做為監測大氣中金屬離子沉降狀況的生物指標。

## 1.2 影響苔蘚生長的環境因子

苔蘚的生理構造簡單沒有複雜組織與器官，因此，苔蘚的生長與分布比起其它植物，更容易受棲地環境的光度、溫度與溼度影響。

光是植物行光合作用的能量來源，而當光能超過光合系統所能利用的量時，光合功能反而下降造成光抑制的現象。地衣與苔蘚在對光的適應上沒有像某些維管束植物一樣有陽性葉與陰性葉等形態上的劃分。不過，大部份的苔蘚在低光照條件下即能進行光合作用。在強光下反而會抑制苔蘚光合作用中光合色素的形成(李燕紅 1998)。然而，在生長在不同光環境下的苔蘚，其光補償點有所差異。一般而言，生長在遮陰處的苔蘚物種，其光補償點低於生長在曝曬處的苔蘚物種(Proctor 1982)。

高溫環境會導致植物體內蛋白質的變性、加速蒸散作用並造成其他代謝的失調，進而導致植物死亡。低溫對苔蘚植物的傷害則取決於降溫方式，若是急速降溫會造成植物體內細胞結冰，導致植物體內的細胞被脹破，因而造成植物的死亡(潘瑞熾 2006)。因此，高溫與低溫的環境皆會影響苔蘚的生長。苔蘚生活的溫度界限主要是指其光合作用的溫度範圍，Proctor(1990)整理文獻後發現，苔蘚在極地與溫帶的光合最適溫度為 5~20 °C。

水分為代謝過程中的反應物質、細胞質的主要成分，同時也是植物對物質吸收和運輸的溶劑，因此，當水分流失過多時，會影響植物體內正常代謝活動(潘瑞熾 2006)。苔蘚不具維管束構造，因此，有些苔蘚物種僅出現於潮濕的棲地。然而，苔蘚在長期演

化後發展出特殊形態與生理特徵以適應乾旱或缺水的環境，有些以葉片捲曲或改變葉片型態或方向以減少水分的散失，或以墊狀、叢狀或毯狀的生活型以減少水分散失 (Mägdefrau 1982)，或是不同物種彼此以不同種生活型聚集在一起生長以減少水分散失 (Mulder *et. al* 2001)。就生理特徵而言，一般苔蘚具有很強的耐旱性，所謂耐旱性即植物從乾燥環境狀態回復到正常生長環境狀態的能力。多數苔蘚物種會發展出變溼性 (poikilohydric) 的生活方式 (Proctor 1982)，變溼性意指植物體內所需的含水量可隨環境中的溼度而變化。當環境變乾燥時，苔蘚植物可將體內含水量降得很低，以休眠狀態生存，當環境再度變潮濕後，又可迅速吸收水分回復正常的代謝活動 (李燕紅 1998)。Proctor (1990) 指出，苔蘚對水的利用情形與環境中水分的變動狀況，為決定苔蘚生長的重要因素。在分布上，苔蘚物種的分布則隨著環境濕度梯度不同而有所差異 (Sillett and Antoine 2004; Steele 1978)。

### 1.3 附生性苔蘚的定義

附生性植物的根群不生長於土壤內，僅附著在其他植物體，仍自行攝取水分及藉光合作用製造本身所需之養分，有別於將根部伸入宿主體內依賴宿主而維生的寄生性植物 (parasites) (劉儒淵 1991)。

附生性植物依維管束的有無，可分為維管束附生性植物及無維管束附生性植物。其中，無維管束附生性植物的研究對象分為三類：地衣 (lichens)、苔蘚 (bryophyte) 及藻類 (free-living algae)，其水分來源為空氣中的水氣，並從降雨或雲霧中攔截無機養分。雖然地衣和苔蘚為兩種截然不同的生物，地衣為藻類與菌類共生的生物，苔蘚則為植物，但二者的生活棲地相似，因此常被放在一起研究 (Rhoades 1995)。

在森林裡，有些苔蘚為避免與地被的維管束植物競爭而以附生在維管束植物的方式生長 (Sillett and Antoine 2004)。根據 Smith (1982) 對附生性苔蘚 (epiphytic bryophytes) 的定義，附生性苔蘚為生長在現存植物體表面的苔蘚，附生性物種可依附生情形而分為必要性附生物種 (obligate species) 與官能性附生物種 (facultative species)。必要性附生物種僅生長在樹皮上，極少出現在其他如土壤、倒木等基質上，而官能性附生物種則除了在樹皮上生長外，還可在其他基質上生長。

## 1.4 森林類型與附生性苔蘚

不同類型的森林中，其附生性苔蘚組成、覆蓋度與生物量也會有所差異。造成不同類型的森林中附生性苔蘚組成差異的原因，可能與森林鬱閉程度、森林演替的連續性、森林中微氣候及微棲地的多樣性、苔蘚與可供拓殖樹種的距離及宿主植物的數量等因素有關(Sarah 1998; Loppi *et al.* 1999; Boudreault *et al.* 2000; Acebey *et al.* 2003; Noäskea *et al.* 2008)。

Acebey *et al.*(2003)的研究顯示，附生性苔蘚物種數在原始雨林(primary rain forest)高於休耕地(4-15-y-old fallows)。Costa(1999)在巴西研究六種不同類型森林的附生性苔蘚後發現，苔蘚物種數在成熟次生山坡雨林(Mature secondary hillside rainforest)及未受干擾的原始林為最高，在次生山坡雨林(Hillside secondary Rainforest)與受過多次干擾的山坡雨林(Highly degraded hillside rainforest)為最低。根據在厄瓜多爾對成熟林、受過干擾的森林以及位於休耕地的森林三類型森林的研究顯示，附生性苔蘚物種數隨森林開闢度增加而有遞減的現象(Noäskea *et al.* 2008)。加拿大魁北克省的研究中，發現附生性苔蘚與地衣在老齡林的物種數較其他年輕的森林高，其中僅在老齡林出現的物種數亦較年輕森林多(Boudreault *et al.* 2000)。Sarah(1998)的研究中比較生長在不同演替時期森林的附生性苔蘚，發現在老齡林的附生性苔蘚物種數約為次生林的兩倍。在哥斯大黎加橡木森林的研究中則發現次生林的附生性苔蘚物種數(74 種)有略高過原始林(61 種)的現象(Holz and Gradstein 2005)。在生物量部分，McCune(1993)指出，隨森林年齡的增長，附生性苔蘚的生物量亦有隨之增加的趨勢。

## 1.5 宿主植物與附生性苔蘚

宿主植物為附生性苔蘚附生的對象，因此，苔蘚組成、覆蓋度會因宿主植物的樹種、年齡、大小與樹皮特性的不同而有所差異(Peck *et al.* 1995; González-Mancebo *et al.* 2004)。

以苔蘚的演替來看，苔蘚在年齡較老樹木的演替時間較長，相較於在年輕的樹木有著更長的時間拓殖，而年齡較老或植株較大的樹，其樹皮結構、樹皮的化學性質與濕度狀況不同於年輕的樹或小樹，相對於年輕的樹或小樹，年老的樹或大樹提供較多樣的微棲地環境(Studlar 1982; Bates 1992; Hazell *et al.* 1998)。

在同種松木(*Quercus pyrenaica*)但樹齡不同的苔蘚研究中發現，附生性苔蘚的物種數與覆蓋度有隨樹齡的增加而增加的情形，其中在年輕樣樹上的苔蘚多為先驅物種(Lara and Mazimpaka 1998)。Kantvilas and Jarman (2004)也發現，隨著樣樹胸高直徑的增加其附生苔蘚的物種豐富度也隨之增加。Quaterman(1949)的研究指出，年齡較大的紅杉比起年齡較小的紅杉有著更多的苔蘚覆蓋。在巴拿馬森林中也發現附生性苔蘚覆蓋度隨樣樹胸高直徑增加而增加(Zotz and Vollrath 2003)。鄧振華(2006)的研究中則發現附生性苔蘚單位面積乾重隨宿主植物胸高直徑增加而增加。而在喜馬拉雅山脈的常綠橡木與松木混合林的研究中發現，苔蘚的生物量隨樣樹胸徑增加而增加(Tewari *et al.* 1985)。

有研究顯示，年齡較大樣樹上的先趨附生物種會朝樹冠方向，向上生長或消失(Lara and Mazimpaka 1998)。Hale(1952)在美國威斯康辛州的研究中，發現老齡林的有些苔蘚物種有往樹冠方向生長的現象。McCune(1993)的研究也顯示，原本是在近地面處生長的苔蘚，隨著時間增加有逐漸朝主幹上方生長的趨勢。

不同樹種其樹皮的粗糙度、吸水力與酸鹼值也有所不同(Culberson 1955; Bates 1992; Kuusinen 1996)，因此，苔蘚物種組成在不同樹種上也有所差異(Palmer 1986; Schmitt and Slack 1990; Peck *et al.* 1995; Berg *et al.* 2002)。

Kuusinen(1996)的研究中發現與該研究中他樹種上的苔蘚相比，苔蘚在松木上的物種豐富度與歧異度是最低的，作者推測可能與松木的樹皮容易片狀脫落有關。Schmitt and Slack(1990)也發現只有少數的苔蘚能附生於在樹皮容易脫落 (peeling bark) 的樺木(*Betula alleghaniensis*)上，隨該樹年齡的增加，樹皮脫落現象減少，此時可見其他種苔蘚附生。

## 1.6 附生性苔蘚的分布格局

苔蘚物種組成、覆蓋度及生物量隨距地高度的不同而有所差異(Hale 1952; McCune *et al.* 2000)，光度與溼度的垂直梯度變化可能是造成苔蘚物種在垂直分布格局有所差異的原因(Peck *et al.* 1995; Ellyson and Sillett 2003)。

根據 Trynoski and Glime(1982)的研究顯示，苔蘚的物種數及覆蓋度在宿主植物的樹基處為最高。Hale(1952)在美國威斯康辛州(Wisconsin)的研究也發現，苔蘚物種密度以樹基為最高。Acebey *et al.*(2003)在玻利維亞森林的研究則發現，主幹下層及中間冠層 (middle canopy)的苔蘚物種豐富度為最高。在美國加州(California)的研究中發現，附生性

苔蘚的物種數隨高度上升而遞減(Ellyson and Sillett 2003)。McCune *et al.*(1997)在美國華盛頓州(Washington)的研究結果指出，苔蘚覆蓋度隨高度上升而下降，苔蘚物種豐富度則隨距地高度不同而有所差異。

蓋亞納低地雨林的研究發現，隨著樹冠高度的增加，附生性苔蘚的物種組成有所差異，在冠層上方(upper canopy)出現的物種多為偏好陽光的物種(sun epiphyte)(Cornelissen and Ter Steege 1989)。台灣棲蘭山樣區台灣扁柏更新林的研究結果(鄧振華 2006)顯示，主幹上附生性苔蘚的物種數有隨距地高度增加而遞減的趨勢，同時，苔蘚的組成在不同距地高度上亦有所差異。該研究也指出，不同苔蘚物種的生物量在不同距地高度也有所差異，鞭蘚屬的生物量隨高度增加而遞減，而真紫葉蘚、耳葉蘚屬、細鱗蘚屬與扁萼蘚屬的生物量則是隨高度增加而增加。

在森林冠層中，光度會隨方位的變化而有所差異(Peck *et al.* 1995)。有些物種會因光度增加而增加其生長速率(Hilmo 2002)，因此在不同的曝曬方位苔蘚物種組成與分布亦有所差異。

在丹麥森林的研究指出，附生性苔蘚的覆蓋度在面向陽光曝曬面高於未受陽光曝曬面(Rasmussen 1975)。在美國密西根州(Michigan)的調查中發現，附生性苔蘚覆蓋度在不同方位上有所差異(Trynoski and Glime 1982)。加拿大針葉林的研究指出，苔蘚在樣樹主幹上的南面與北面的物種組成不同，其組成差異主要由蘚類組成不同所造成(Peck *et al.* 1995)；而在澳洲森林的研究也發現苔蘚物種數在樣樹主幹距地 40 cm 處的南面與北面無差異，但在物種組成上卻是有差異的(Phard and Beattie 2002)。

González-Mancebo *et al.*(2004)在加那利群島的研究指出，苔蘚覆蓋在方位上不具顯著差異，作者推測可能是該森林較為鬱閉而造成的。鄧振華(2006)在台灣扁柏更新林的研究也指出，苔蘚生物量在方位上不具顯著差異，同樣推測可能是更新林較為鬱閉所造成。

## 1.7 附生性苔蘚的調查方法

為了調查整株樣樹上的附生性植物，其首要克服的難題即是如何進入樹冠層取樣。筆者在整理文獻後，茲將調查方式整理如下：

- 利用倒下的樹或樣樹鋸倒方式取樣：

Hale(1952)與 McCune(1993)分別利用因自然因素而倒下的樹進行無維管束植物物種垂直分布格局的調查與附生性地衣苔蘚生物量的研究。鄧振華(2006)利用攀爬與鋸倒方式進行附生性苔蘚之研究。McCune(1993)曾指出，在利用倒下的樹進行調查研究時，可能會發生低估枝條基部的苔蘚生物量的現象，因此若使用此法則應選擇最晚倒下的樹進行調查以減少誤差。

- 利用起重器設備進入冠層取樣：

McCune *et al.* (2000)與 Lyons *et al.* (2000)分別進行附生性地衣苔蘚棲地的研究、附生性苔蘚的空間分布與演替的研究，即是利用起重器進入冠層取樣。起重器藉由起重器塔(tower crane)控制垂直高度的變化，另有一水平支臂可進行 360 度旋轉以擴大調查範圍。利用此法進行研究可降低研究人員進入冠層的危險性。此方式使枯立木或不易攀爬樹種的冠層研究進行更為容易，同時也能減少對樣樹冠層的干擾。但此設備的設置與保養、操作人員的培訓上需有足夠的經費支撐(Wright 1995; Shaw and Bible 1996)。

- 利用攀爬方式取樣

Sillett *et al.* (1995)、Holz and Gradstein(2005)分別以攀爬方式進行附生植物群落的研究。攀樹(Tree Climbing)技術對冠層研究的貢獻具重要性。對大多數學生或小補助的計畫而言，利用繩索攀爬或梯子方式進入冠層較為適當，但相對來講，研究人員所面臨的危險性亦較前兩種方式來的高(Moffett and Lowman 1995)。

## 1.8 台灣苔蘚植物研究現況

台灣目前與苔蘚植物相關的研究大致可包含以下類別：植物分類、物種名錄調查、生活型(蔣鎮宇 1989)、植物生理(Kao *et al.* 1990; Yang *et al.* 1994)、化學組成(陳政樑 1991; 顏郁峻 2000)、垂直分布格局(鄧振華 2006)、養分循環與生物量(鄧振華 2006; 劉美娟 2004)等方面。其中在植物分類部分有蔓苔科、鳳尾苔科、羽蘚屬及綠片蘚科等研究(吳聲華 1984; 楊啟祥及林善雄 1992; 楊玉鳳 2002; 姚奎宇 2007)，物種名錄調查方面則有鴛鴦湖地區、玉山國家公園、陽明山國家公園及墾丁國家公園等調查報告(賴明洲 1986; 林善雄 1990; 賴明洲 1990; 林善雄 1991)。

## 1.9 棲蘭山樣區的苔蘚物種數

目前全世界苔蘚植物約 23000 多種，台灣部份約有 1400 種，其中蘚類(liverwort)有紀錄的為 487 種(林善雄 2000)，苔類(moss)部份有紀錄的則約 900 種(蔣鎮宇 等 2000)。在棲蘭山地區，目前記錄苔蘚植物共 35 科 55 屬 105 種，其中蘚類有 19 科 39 屬 78 種，物種上以指葉蘚科(Lepidoziaceae)中的鞭蘚屬(*Bazzania*)為最多，計有 10 種；苔類則有 16 科 16 屬 27 種(Lai 1977; 林善雄 2000; 劉美娟 2004; 鄧振華 2006)。

## 1.10 研究動機與目的

目前台灣有關苔蘚的研究主要集中在苔蘚的分類、調查與化學組成方面，而在比較不同年齡森林中附生性苔蘚的分布趨勢與物種組成方面並無相關研究。

棲蘭山樣區為台灣典型的雲霧森林，該區的附生性植物以苔蘚為優勢。該樣區在 2006 年已完成台灣扁柏更新林附生性苔蘚的研究，加上筆者在研究樣區現地觀察後，發現台灣扁柏成熟林與更新林的附生性苔蘚在主幹不同距地高度與方位上之分布趨勢有所不同，因此，本研究除在台灣扁柏成熟林進行附生性苔蘚的取樣外，另選取更新林附生性苔蘚研究中的原始資料，以探討附生性苔蘚在氣候環境相似，樹種相同但年齡不同的森林中，物種組成、覆蓋度與生物量分布趨勢上的差異。

## 2. 研究材料與方法

### 2.1 樣區介紹與相關研究

研究樣區位於台灣東北部的棲蘭山區(24°35' N, 121°24' E)太平山事業區 32 林班地，100 號林道 14.5 km 處，距離鴛鴦湖自然保留區約 2.5 km(圖 1)。樣區海拔高度 1400~1800 m，2003 至 2006 年的年平均雨量 3986 mm，年均溫 13.7 °C。樣區受雲霧籠罩時數約全年總時數的 38%，白天吹東南風(谷風)，夜晚吹北風或西北風(谷風)，雲霧通常伴隨著東南風籠罩樣區(吳敏如 2003)，為一典型的雲霧森林。

研究樣區內的兩座森林，分別為未見人為干擾跡象的成熟林及天然下種更新林。兩森林相距不遠，皆以台灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* var. *formosana*)為優勢樹種，成熟林的台灣扁柏的總胸高斷面積約佔所有樹種 86.4%，平均胸高直徑 47.8 cm，平均樹高 24.1 m，樹齡約 300~400 年(附錄 1)。更新林的台灣扁柏的總胸高斷面積約佔所有樹種 81.8%，平均胸高直徑 16.9 cm，平均樹高 9.8 m，樹齡約 10~50 年(陳耀德 2003)。更新林台灣扁柏植株生長較成熟林密集，更新林中台灣扁柏的相對密度為 31.1，成熟林為 6.2(陳耀德 2003; 附錄 2)。在森林的開闊度上，成熟林較更新林開闊(林志偉 2007)。

成熟林中的台灣扁柏與其他樹種的高度差高於更新林(圖 2)。成熟林的台灣扁柏植株高度多分布於 22~26 m，闊葉樹的植株高度約在 8 m 以下，更新林中台灣扁柏的植株高度分布於 8~14 m，而闊葉樹的植株高度約在 10 m 以下。

目前更新林已有地被苔蘚物種調查與附生性苔蘚物種組成、分布與生物量的研究結果。更新林地被苔蘚有 22 科 25 屬 35 種，附生性苔蘚有 17 科 20 屬 26 種(包含附生於枯枝上的苔蘚 1 種)，更新林的苔蘚共有 30 科 36 屬(劉美娟 2004; 鄧振華 2006)。

在附生性苔蘚的研究中，共取 10 棵不同徑級的台灣扁柏為取樣樣樹，其中兩棵以攀爬方式進行附生性苔蘚的取樣，八棵以砍倒方式進行取樣。此研究結果顯示，苔蘚物種數隨樣樹胸高直徑增加而增加，隨距地高度上升而遞減，且物種數主要出現在主幹距地 1 m 以下，物種上以鞭蘚屬為優勢。更新林主幹上苔蘚單位面積乾重隨樣樹胸高直徑增加而呈現指數增加的趨勢( $r^2=0.82$ ,  $n=10$ )，而苔蘚覆蓋度則與樣樹胸高直徑呈顯著正相關( $r^2=0.61$ ,  $p<0.05$ )，另外主幹上苔蘚單位面積乾重與覆蓋度皆隨距地高度增加而遞減，兩者分別在不同距地高度上達顯著差異(單位面積乾重:one-way ANOVA,  $F(6, 86)=19.0$ ,  $p<0.001$ ; 覆蓋度: one-way ANOVA,  $F(11, 80)=18.1$ ,  $p<0.001$ ) (鄧振華 2006)。

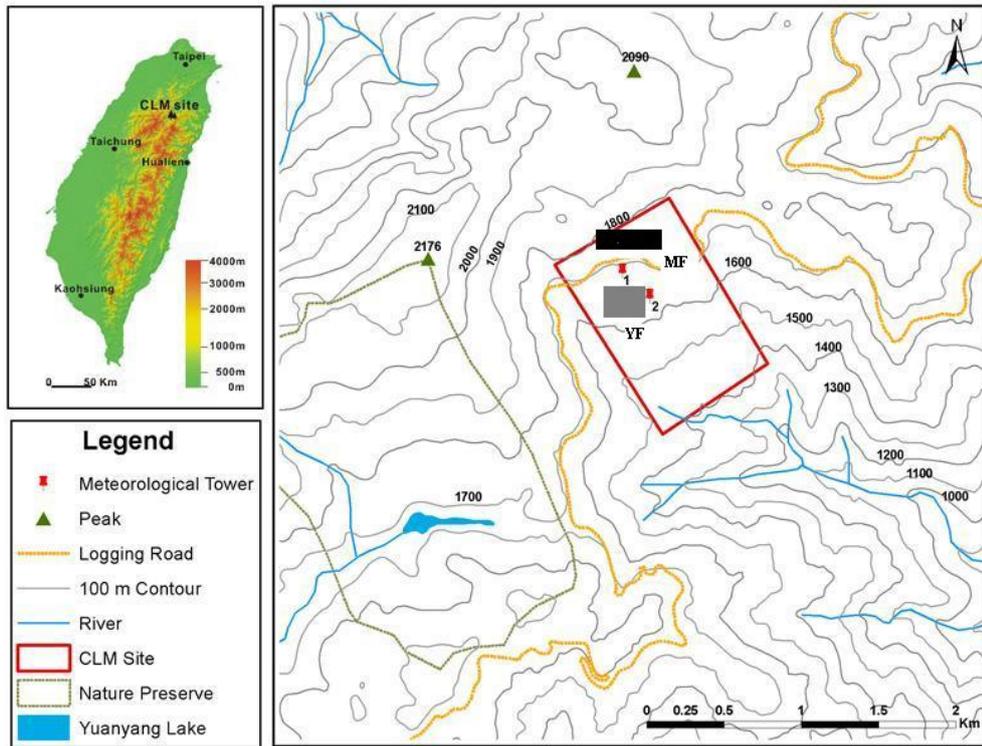


圖 1 樣區位置圖。右為樣區之地形，圖中為灰色方塊(YF)為天然下種更新林；黑色方塊(MF)為成熟林。

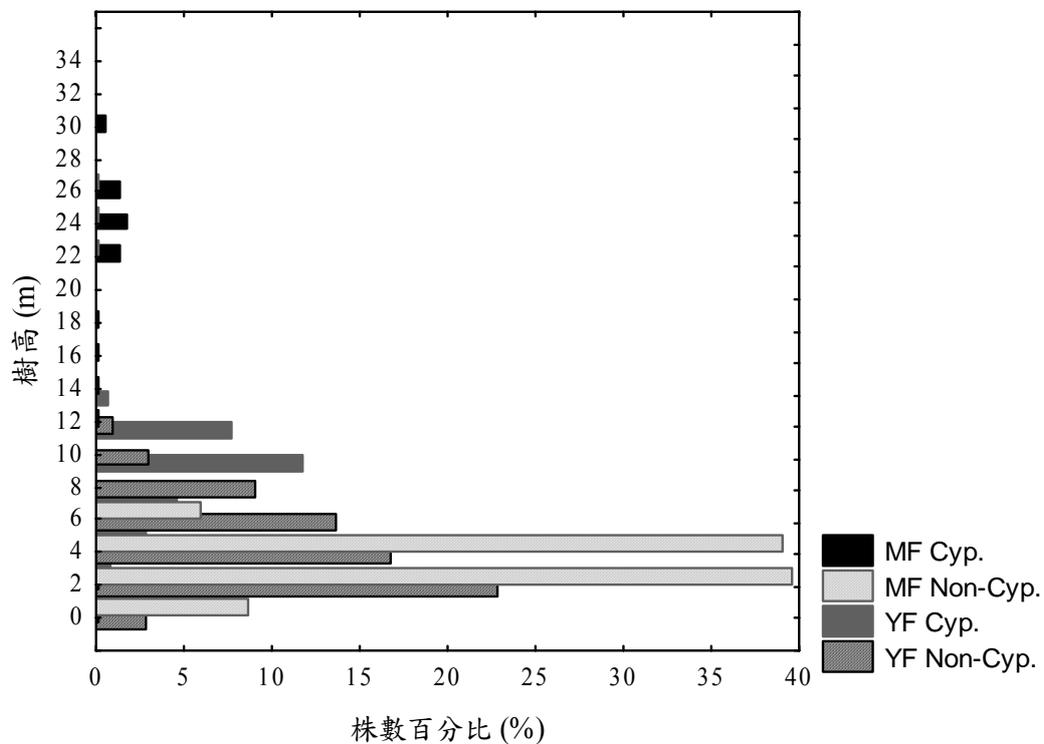


圖 2 成熟林(MF)與更新林(YF)台灣扁柏(Cyp.)與其他樹種(Non-Cyp.)樹高分布情形。

## 2.2 研究方法

現地觀察發現成熟林的台灣扁柏枝條分布趨勢異於更新林，為瞭解成熟林的台灣扁柏枝條分布與主幹不同方位上苔蘚覆蓋度及生物量的相關性，因此，除對附生性苔蘚進行取樣外，亦針對成熟林樣樹上枝條分布情形進行調查。茲將枝條分布與附生性苔蘚研究調查方法分述如下。

### 2.2.1 樣樹選取

成熟林與更新林皆以台灣扁柏為附生性苔蘚的取樣樣樹，以下將敘述成熟林與更新林樣樹選取方式及樣樹資料。

#### ■ 成熟林

成熟林附生性苔蘚的取樣採用繩索攀爬方式進行，因此，在考量採樣人員安全的前提下，成熟林樣樹的選取原則為，先去除成熟林內胸高直徑徑級小於 5 cm 的台灣扁柏，取剩餘台灣扁柏的平均胸高直徑，選取三棵胸高直徑接近此平均胸高直徑且枝條生長情況良好的台灣扁柏，以進行附生性苔蘚的取樣。此三棵成熟林樣樹的平均胸高直徑為 54.4 cm，平均樹高 26 m，平均第一枝下高 15.1 m(表 1)。

#### ■ 更新林

本研究中更新林附生性苔蘚取樣方式是採將樣樹砍倒的方式，進行取樣(鄧振華 2006)。樣樹選取上，以胸高直徑接近更新林台灣扁柏平均胸高直徑為選取原則，共選取樣樹三棵。此三棵更新林樣樹的平均胸高直徑為 18.4 cm，平均樹高為 11.7 m，平均第一枝下高為 5 m(表 2)。

表 1 成熟林附生性苔蘚取樣樣樹資料。

樣樹編碼	樹種	胸高直徑(cm)	樹高(m)	第一枝下高(m)
MT1	台灣扁柏	57.3	27	14.3
MT2	台灣扁柏	52.2	26	14.7
MT3	台灣扁柏	53.8	25	16.2

表 2 更新林附生性苔蘚取樣樣樹資料。

樣樹編碼	樹種	胸高直徑(cm)	樹高(m)	第一枝下高(m)
YT5	台灣扁柏	16	11.7	4.8
YT6	台灣扁柏	18	10.5	3.5
YT8	台灣扁柏	21.3	12.8	6.7

### 2.2.2 成熟林樣樹枝條分布

成熟林樣樹枝條的調查部分，先將樣樹上第一級分枝的活枝條依 01、02、03、04... 順序編碼，量測枝條基部周徑、枝條生長方向、傾斜度並以目測法估算枝條長度。活枝條依枝條上是否仍有綠色葉片為判定原則，若有綠色葉片判別為活枝條，若無則判別為死亡枝條。在枝條的生長方位上，將枝條歸為北(N)、東北(NE)、東(E)、東南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)、西北(NW)八個方位。之後分別將不同方位的枝條數除以該樣樹的總枝條數即為枝條百分比。

### 2.2.3 附生性苔蘚取樣方法

台灣扁柏成熟林主幹及枝條上的苔蘚於 2006 年 7 月至 2006 年 8 月及 2007 年 5 月至 2007 年 7 月間採繩索攀爬方式進行取樣。台灣扁柏更新林附生性苔蘚則於 2005 年 1 月將樣樹鋸倒後進行取樣(鄧振華 2006)。以下針對成熟林與更新林台灣扁柏主幹以及成熟林活枝條的苔蘚取樣方法進行陳述。

- 成熟林主幹

將主幹由地面開始每 2 m 劃為一區間，並於每一高度區間分東南、東北、西北、西南四個方位，分別在不同高度區間上的四個方位進行取樣。在距地面 4 m 以下的主幹以垂直高度為 50 cm，寬為 20 cm，取樣面積為  $50 \times 20 \text{ cm}^2$  的矩形樣方為取樣樣方；距地面 4 m 至 20 m 主幹則以垂直高度為 50 cm，寬為 10 cm，取樣面積為  $50 \times 10 \text{ cm}^2$  的矩形為取樣樣方，距地面高度 22 m 以上則以垂直高度為 50 cm，寬為 4~5 cm 的矩形為取樣樣方(圖 3)。採樣時，除進行樣方內植物的採樣外，另外紀錄樣方內苔蘚覆蓋度。

- 更新林主幹

從地面與主幹接觸點開始測量，每間隔 0.5 m 為取樣區，取樣區域為 0.5~1.0 m，1.5~2.0 m，2.5 m~3.0 m.....以此類推，並將取樣區域細分為東南、東北、西北、西南四個方位(圖 4)。取樣時，除進行取樣區域內植物的採樣外，亦分別量測紀錄每一取樣區域中每個方位的苔蘚覆蓋面積(鄧振華 2006)。

- 成熟林活枝條

將樣樹上活枝條依 01、02、03、04....的順序進行編碼後，原則上以編號為 4 的倍數枝條為取樣枝條，若取樣枝條的取樣處因採樣人員攀爬而遭致破壞，或難以進行採樣時，則將該取樣枝條編號向上或向下調整一個號碼。考量採樣人員安全問題，因此，進行枝條取樣時，僅對枝條由主幹向外約 80 cm 範圍內進行取樣，每一取樣枝條有 1~2 個取樣點，以枝條基部向外至 20 cm 處為枝條取樣 A 點，以枝條基部向外至 80 cm 處為枝條取樣 B 點，枝條上方為採樣區域，枝條上不分方位取樣，以  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  為取樣樣方(圖 5)。取樣時記錄取樣處苔蘚覆蓋度及枝條生長方位。

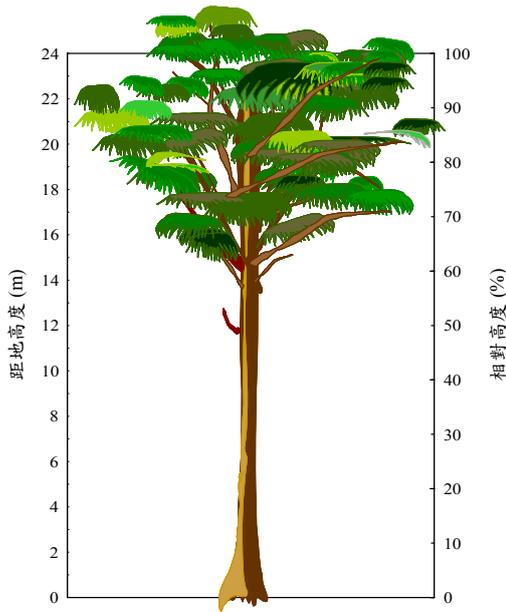


圖 3 成熟林主幹取樣區域劃分方式(圖左方標示為距地高度，右方為相對高度)。

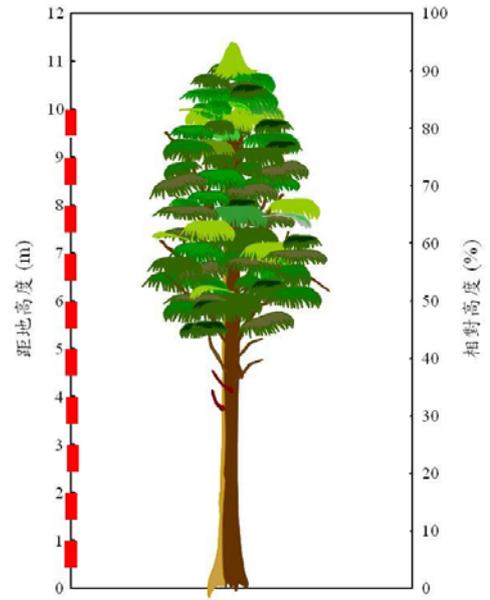


圖 4 更新林主幹主幹取樣區域劃分方(圖左方的方塊為取樣區域;圖左方標示為距地高度，右邊為相對高度)。

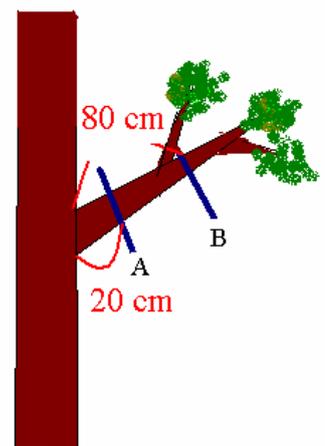


圖 5 枝條取樣圖。

## 2.2.4 附生性苔蘚覆蓋度估算

成熟林苔蘚覆蓋度的估算上不分樣方內苔蘚物種，採目視法估算存活苔蘚在每一樣方內覆蓋面積佔樣方面積的百分比，以此百分比為樣方內的苔蘚的覆蓋度。更新林則以實際以捲尺分別測量每一取樣區域中不同方位內苔蘚覆蓋周長，並計算覆蓋面積。以下為本研究針對樣樹上苔蘚覆蓋度、主幹上不同高度區間及方位上苔蘚覆蓋度時所採用的計算方式。

$$\text{樣樹上苔蘚覆蓋度(\%)} = \frac{\text{主幹與枝條取樣存活苔蘚覆蓋總面積}}{\text{主幹與枝條樣方總面積}} \times 100\% \quad \text{公式 1}$$

$$\text{枝條上苔蘚覆蓋度(\%)} = \frac{\text{枝條取樣存活苔蘚覆蓋總面積}}{\text{枝條樣方總面積}} \times 100\% \quad \text{公式 2}$$

$$\text{主幹上苔蘚覆蓋度(\%)} = \frac{\text{主幹取樣存活苔蘚覆蓋總面積}}{\text{主幹樣方總面積}} \times 100\% \quad \text{公式 3}$$

$$\text{高度區間苔蘚覆蓋度(\%)} = \frac{\text{某高度區間取樣存活苔蘚覆蓋總面積}}{\text{某高度區間之樣方總面積}} \times 100\% \quad \text{公式 4}$$

$$\text{方位上苔蘚覆蓋度(\%)} = \frac{\text{某方位區間取樣存活苔蘚覆蓋總面積}}{\text{某方位區間之樣方總面積}} \times 100\% \quad \text{公式 5}$$

成熟林中，存活苔蘚覆蓋總面積是指將個別紀錄到樣方內存活苔蘚覆蓋度乘上樣方面積後，再將這些值加總而得。在更新林中則直接將取樣區域內量測計算後的苔蘚覆蓋面積加總而得。

## 2.2.5 附生性苔蘚物種鑑定

### ■ 成熟林

將附生植物從成熟林的樣樹取下後，在實驗室內以肉眼，配合 15 倍放大鏡將樣本依下述方式分類：(1)存活的植物體—再細分為苔類、蘚類、蕨類、開花植物。(2)其他的物質—包含地衣、死亡的苔類、蘚類、枯落物、樹皮。分類完畢後，將存活植物體中的苔類與蘚類，依三棵樣樹不同高度區間及不同方位給予編號，並取少許樣本置於封口袋內以作為鑑別標本。再利用 15 倍放大鏡及解剖顯微鏡將鑑別標本依苔蘚植物葉、腹葉的型態、特徵等外型分類。在分類後，挑選同一類的標本 1~3 份做為鑑定的模式標本。將苔蘚模式標本製成玻片標本後，送請東海大學林善雄教授鑑定。

## ■ 更新林

將附生植物取下後，以肉眼將存活植物體分兩階段進行分類，第一階段先依形態、特徵將樣本分為苔蘚、地衣、維管束植物。第二階段，依照苔蘚植物其葉、莖、腹葉等的長度、大小、顏色、型態、特徵等，製作苔蘚玻片標本，並送請東海大學林善雄教授鑑定(鄧振華 2006)。

因物種鑑定至種的層級需藉由光學顯微鏡較能確認，因此，本研究在物種的處理上，除苔蘚名錄上為透過光學顯微鏡的鑑定而列至種外，其餘有關物種的計算與統計分析皆以屬的層級處理。

### 2.2.6 附生性苔蘚生物量量測

Nadkarni(1984)定義生物量(biomass)為在一植物社會中存活物質的乾重，劉崇瑞與蘇鴻傑(2004)則定義生物量為某一時刻生態系中生物質量的總和，通常以單位面積之乾重或能量表示。本研究對附生性苔蘚生物量定義為每單位樹皮面積上存活苔蘚的乾重。因此，將存活的苔類及蘚類進行物種分類後，分別以 60 °C 烘乾 48 小時，並秤重至 0.001 g，以得苔蘚乾重。之後將苔蘚乾重除以取樣面積，以求得苔蘚生物量。而樣樹上苔蘚生物量、主幹上不同高度區間與不同方位苔蘚生物量的計算方式如下。

$$\text{樣樹上苔蘚生物量}(g/m^2) = \frac{\text{主幹與枝條取樣苔蘚總乾重}}{\text{主幹與枝條取樣總面積}} \quad \text{公式 6}$$

$$\text{枝條上苔蘚生物量}(g/m^2) = \frac{\text{枝條取樣苔蘚總乾重}}{\text{枝條取樣總面積}} \quad \text{公式 7}$$

$$\text{主幹上苔蘚生物量}(g/m^2) = \frac{\text{主幹取樣苔蘚總乾重}}{\text{主幹取樣總面積}} \quad \text{公式 8}$$

$$\text{高度區間苔蘚生物量}(g/m^2) = \frac{\text{某高度區間取樣苔蘚總乾重}}{\text{某高度區間之取樣總面積}} \quad \text{公式 9}$$

$$\text{方位上蘚生物量}(g/m^2) = \frac{\text{某方位區間取樣苔蘚總乾重}}{\text{某方位區間之取樣總面積}} \quad \text{公式 10}$$

## 2.3 資料處理方式

本研究除在台灣扁柏成熟林進行附生性苔蘚的取樣外，另選取更新林附生性苔蘚研究中主幹上苔蘚覆蓋面積、物種乾重、物種組成及取樣面積的原始資料，將成熟林與更新林主幹上苔蘚資料進行處理後，進行比較，以了解附生性苔蘚在氣候環境相似，樹種相同但年齡不同的森林中，物種組成、覆蓋度與生物量分布趨勢上的差異。因兩森林枝條取樣劃分方式不同，因此，本研究不針對兩森林中枝條上的苔蘚進行比較。

為進一步探討苔蘚屬在不同高度區間及不同方位的分布情形，以及兩森林內附生性苔蘚屬歧異度、分布均勻程度與相似程度，分別以屬數百分比、歧異度指數及均勻度指數及物種相似性指數為參數，以下介紹本研究所使用的參數：

- 屬數百分比

屬數百分比是指在不同高度區間或方位上苔蘚屬數佔總調查苔蘚屬數的百分比。

- 物種歧異度指數

物種歧異度指數以 Shannon 指數來表示，Shannon 指數的最大值並不固定，物種越多，個體分布越均勻則 Shannon 指數越高(劉崇瑞及蘇鴻傑 2004)。

$$H = -\sum \left( \frac{ni}{N} \right) \log \left( \frac{ni}{N} \right) \quad \text{公式 11}$$

其中 H 為 Shannon 指數，ni 為某物種的生物量總和，N 為所有物種的生物量總和。本研究以屬數替代物種數。

- 物種均勻度指數

均勻度指數(Evenness index)是指在一生物社會中，生物個體在不同種間的分布均勻程度(劉崇瑞及蘇鴻傑 2004)，其公式為：

$$E = \frac{H}{\log S} \quad \text{公式 12}$$

其中 E 為均勻度指數，H 為該植物社會 Shannon 指數，S 為植物社會的物種數，logS 為 S 種的植物社會中，Shannon 指數的可能最大值。本研究中以屬數替代物種數。

- 物種相似性指數

在物種相似性上，採 Jaccard 氏相似性指數為相似性計算方式。Jaccard 氏相似性指數只考慮植物的種數，以物種出現或不出現的種數為計算基礎，為共同種(common species)與所有種數的比值，以百分比表示，其計算方式如下：

$$IS_J = \frac{c}{a+b+c} \times 100 \quad \text{公式 13}$$

式中  $IS_J$  為 Jaccard 氏相似性指數， $c$  為 A 森林與 B 森林之共有種， $a$  為 A 森林之固有物種數目， $b$  為 B 森林之固有物種數目。本研究以屬數替代物種數。

另外，為比較台灣扁柏成熟林與更新林附生性苔蘚物種、覆蓋度與生物量各別在垂直高度上的分布差異，將兩森林中的取樣高度化為相對高度後進行比較。

$$\text{相對高度(RH, \%)} = \frac{\text{每一取樣高度區間的上限高度}}{\text{樣樹最高取樣高度區間上限}} \times 100\% \quad \text{公式 14}$$

其中成熟林三棵樣樹最高取樣區間上限為距地 24 m 處，更新林三棵樣樹的最高取樣區間上限則為距地 10 m 處。

### 2.3.1 統計分析方法

本研究在資料的陳述上以中位數取代平均數，以來表示資料的集中情況。另外，本研究僅對三棵台灣扁柏進行取樣，屬於小樣本資料，因此採用無母數統計中的 Friedman ANOVA 檢驗附生性苔蘚的覆蓋度及生物量分別在台灣扁柏成熟林不同高度區間及方位上是否具顯著差異。

分別將苔蘚覆蓋度與生物量，以及苔蘚覆蓋面積與乾重以 Spearman 等級相關檢驗其相關性，並以線性迴歸分別建立主幹與枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重的關係式。而不同方位上的枝條百分比與主幹上不同方位的苔蘚覆蓋度及生物量亦以 Spearman 等級相關分析，以瞭解枝條生長方位與主幹上台蘚覆蓋度及生物量的相關性。以上皆以統計軟體 Statistica 6.0 (StatSoft Inc.) 進行。

### 3. 研究結果

#### 3.1 苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢

台灣扁柏成熟林主幹上苔蘚覆蓋度與生物量皆高於更新林，在苔蘚覆蓋度上，成熟林主幹上覆蓋度為 37.4%，更新林為 21.5%。而在苔蘚生物量的部份，成熟林樣樹主幹的苔蘚生物量為 54.4 g/m<sup>2</sup>，更新林為 16.6 g/m<sup>2</sup>，成熟林主幹的苔蘚生物量約為更新林的 3 倍(表 3)。

以主幹上苔蘚覆蓋度與生物量的垂直分布情形來看，苔蘚覆蓋度與生物量在成熟林與更新林主幹上皆以相對高度 20%以下為最高。在趨勢上，成熟林主幹上苔蘚覆蓋度垂直分布呈現兩個波峰的變化趨勢。而更新林主幹的苔蘚覆蓋度則隨高度上升而下降的趨勢(圖 6)。成熟林主幹的苔蘚生物量則隨高度增加而呈現三個波峰的波動變化趨勢，在更新林主幹的苔蘚生物量則隨高度增加而遞減(圖 7)。

Friedman ANOVA 分析結果顯示，成熟林主幹的苔蘚覆蓋度在不同高度上具顯著差異( $p < 0.05$ ,  $n=3$ )，更新林主幹的苔蘚覆蓋度在不同高度上亦達顯著差異( $p < 0.005$ ,  $n=3$ )。在苔蘚生物量部分，成熟林主幹的苔蘚生物量在不同高度上不具顯著差異( $p > 0.05$ ,  $n=3$ )，但更新林主幹的苔蘚生物量在不同高度上則具顯著差異( $p < 0.009$ ,  $n=3$ )。

將成熟林及更新林三棵樣樹主幹上苔蘚覆蓋度與生物量的垂直分布趨勢分開細看，發現在成熟林主幹苔蘚覆蓋度與生物量以距地 4 m 以下為最高，之後隨高度上升而下降，而在冠層下方(約距地 10~16 m 處)，覆蓋度與生物量卻又上升，在冠層處(約距地 16~24 m 處)的苔蘚覆蓋度與生物量的分布趨勢則隨冠層高度增加而呈波動變化(圖 8)。

更新林主幹苔蘚覆蓋度與生物量以距地 2 m 以下為最高，其垂直變化趨勢與成熟林略為類似，但在冠層處的苔蘚覆蓋度與生物量則是隨高度上升而遞減(圖 9)。

表 3 成熟林與更新林取樣樣樹主幹覆蓋度與生物量。

	成熟林			更新林		
	MT1	MT2	MT3	YT5	YT6	YT8
覆蓋度(%)	41.0	34.1	37.4	10.4	21.5	33.3
生物量(g/m <sup>2</sup> )	39.5	54.4	55.6	9.0	16.6	19.5

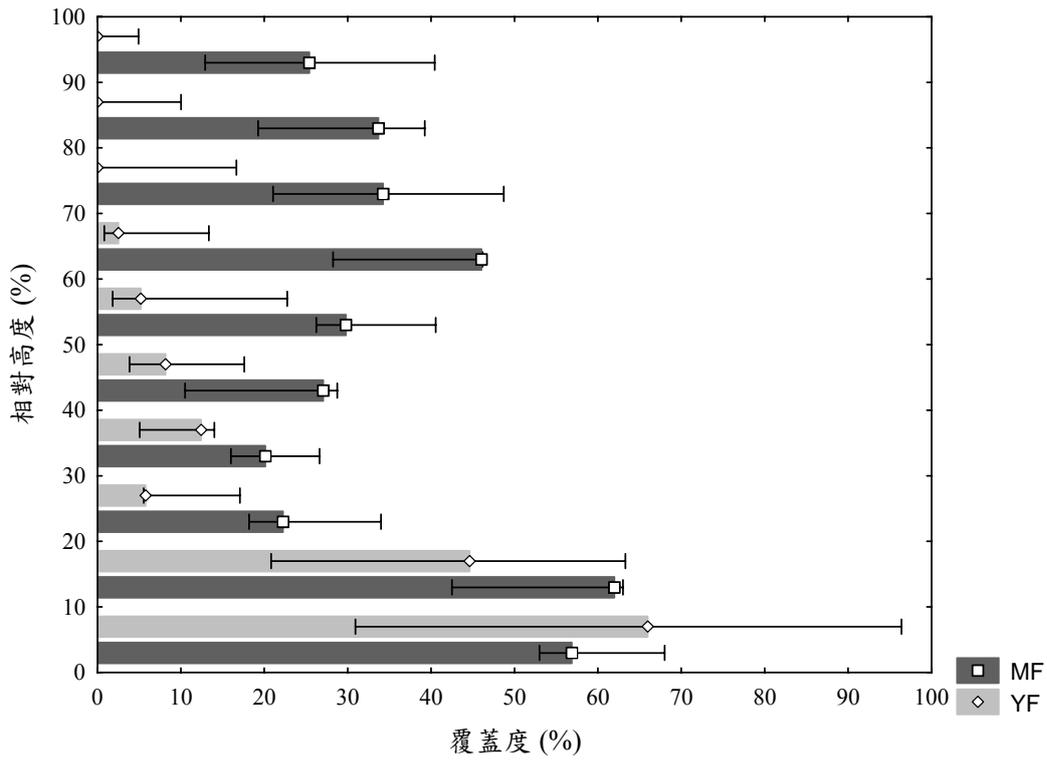


圖 6 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚覆蓋度的垂直分布趨勢(MF: n=3; YF: n=3,  $\square$   $\diamond$ 表 Median, I 表 Min-Max)。

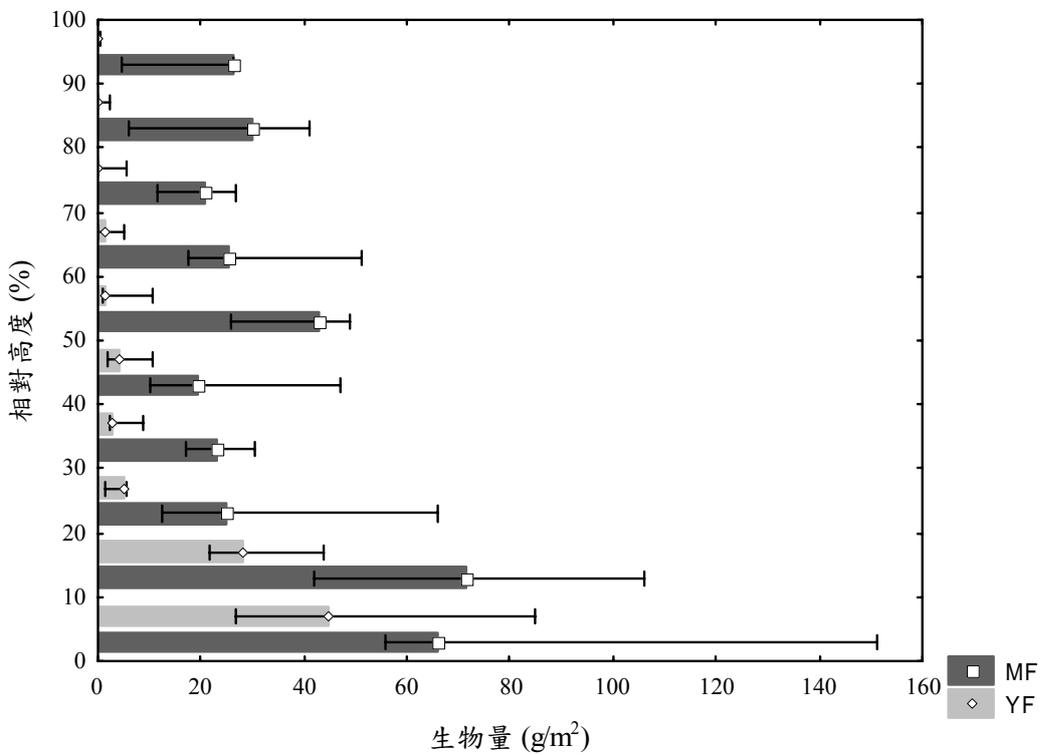


圖 7 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚生物量的垂直分布趨勢(MF: n=3; YF: n=3,  $\square$   $\diamond$ 表 Median, I 表 Min-Max)。

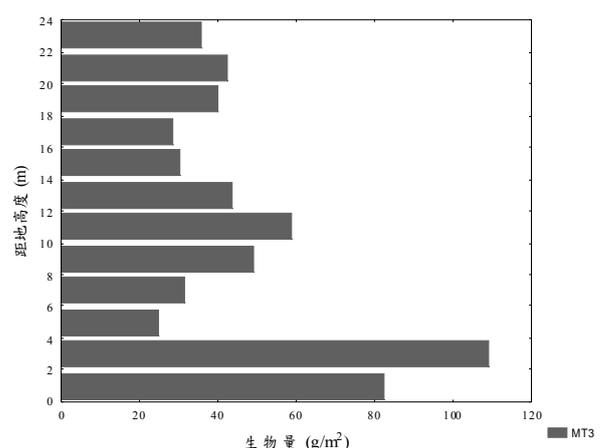
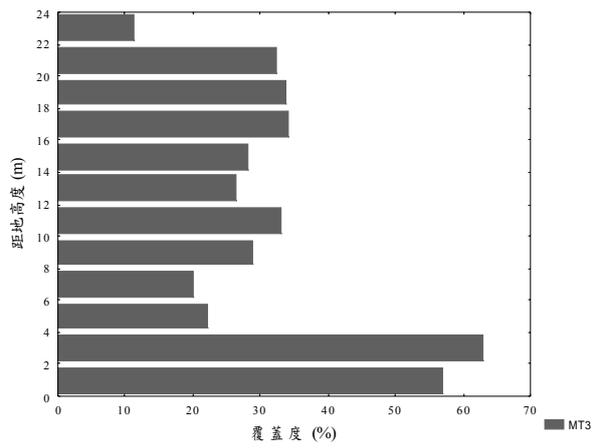
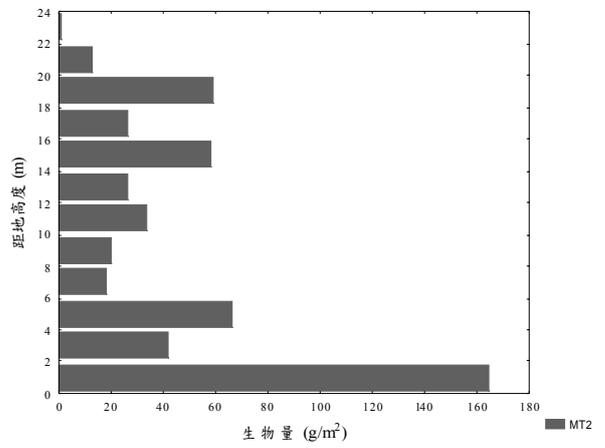
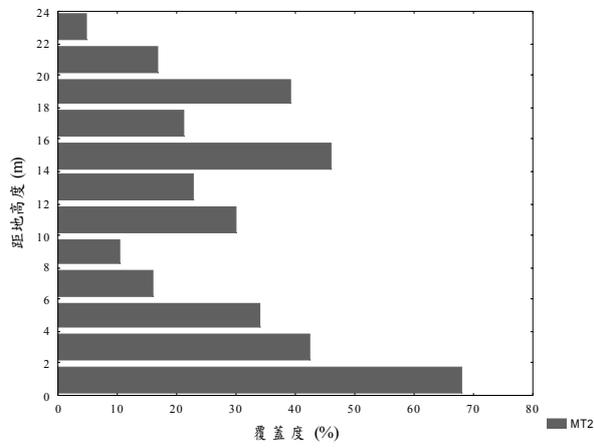
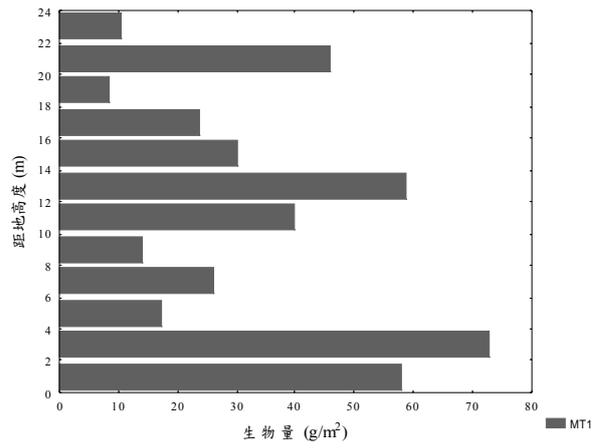
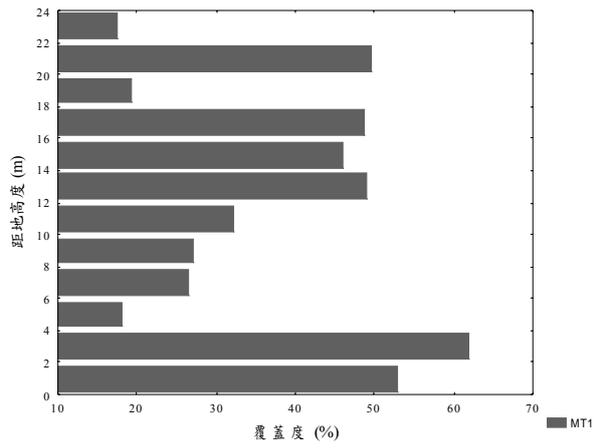


圖 8 成熟林三棵樣樹主幹上苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢。

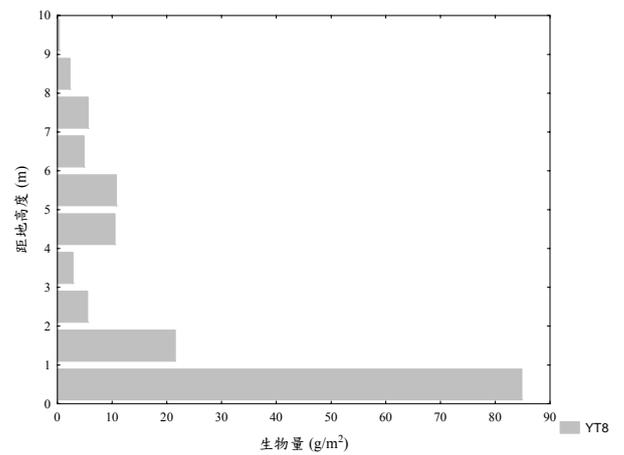
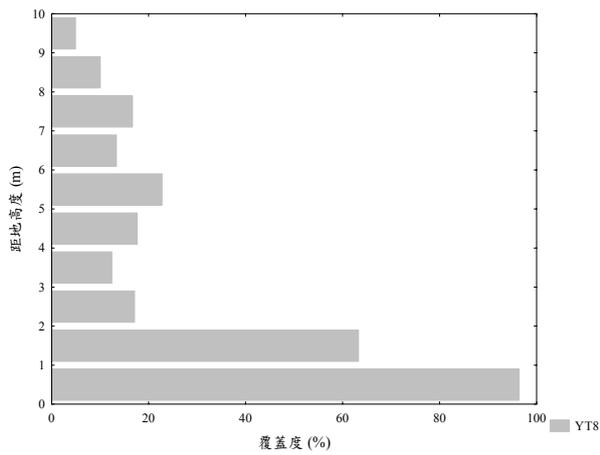
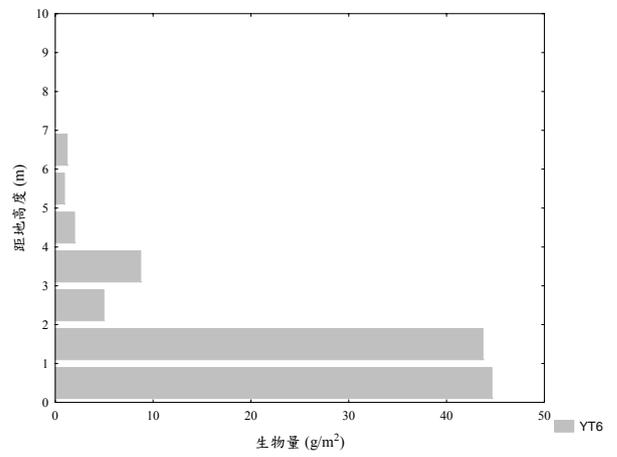
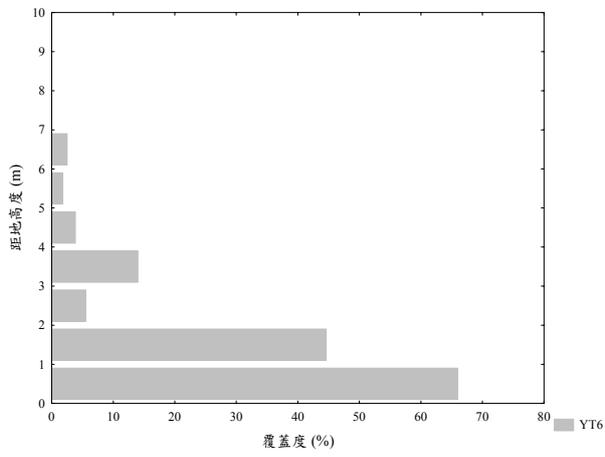
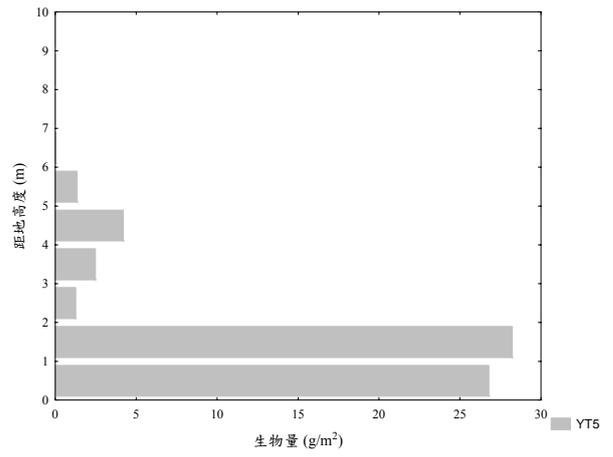
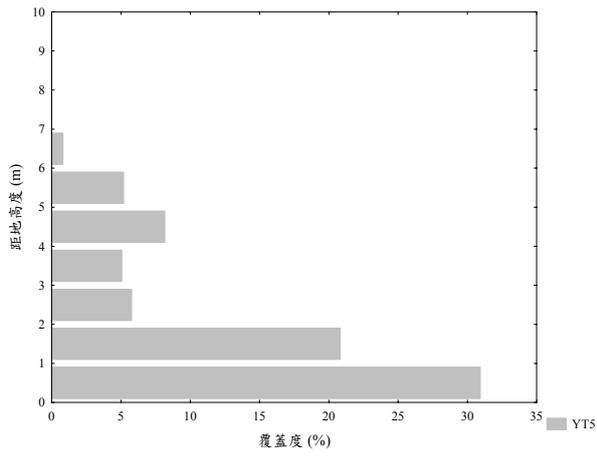


圖 9 更新林三棵樣樹主幹上苔蘚覆蓋度與生物量垂直分布趨勢。

### 3.2 苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢

比較成熟林與更新林主幹上苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位上的差異，發現成熟林主幹東北面、西北面及西南面的苔蘚覆蓋度皆高於更新林，但更新林主幹東南面的苔蘚覆蓋度高於成熟林。而在苔蘚生物量部分，則成熟林主幹上東北面、西北面、西南面及東南面的苔蘚生物量皆高於更新林(圖 10、圖 11)。

在分布趨勢上，成熟林主幹苔蘚覆蓋度與生物量皆以西北面為最高，東南面最低。而在更新林部份，主幹上苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位上的分布趨勢無特定趨勢，隨樣樹而不同(圖 12、圖 13)。

分別將成熟林與更新林主幹不同方位上的苔蘚覆蓋度及生物量以 Friedman ANOVA 進行檢驗，結果顯示成熟林主幹的苔蘚覆蓋度在不同方位上具顯著差異( $p < 0.05$ ,  $n=3$ )，更新林則無顯著差異( $p > 0.05$ ,  $n=3$ )。而苔蘚生物量在成熟林主幹不同方位上具顯著差異( $p < 0.05$ ,  $n=3$ )。在更新林，主幹的苔蘚生物量在不同方位上則不具顯著差異( $p > 0.05$ ,  $n=3$ )。

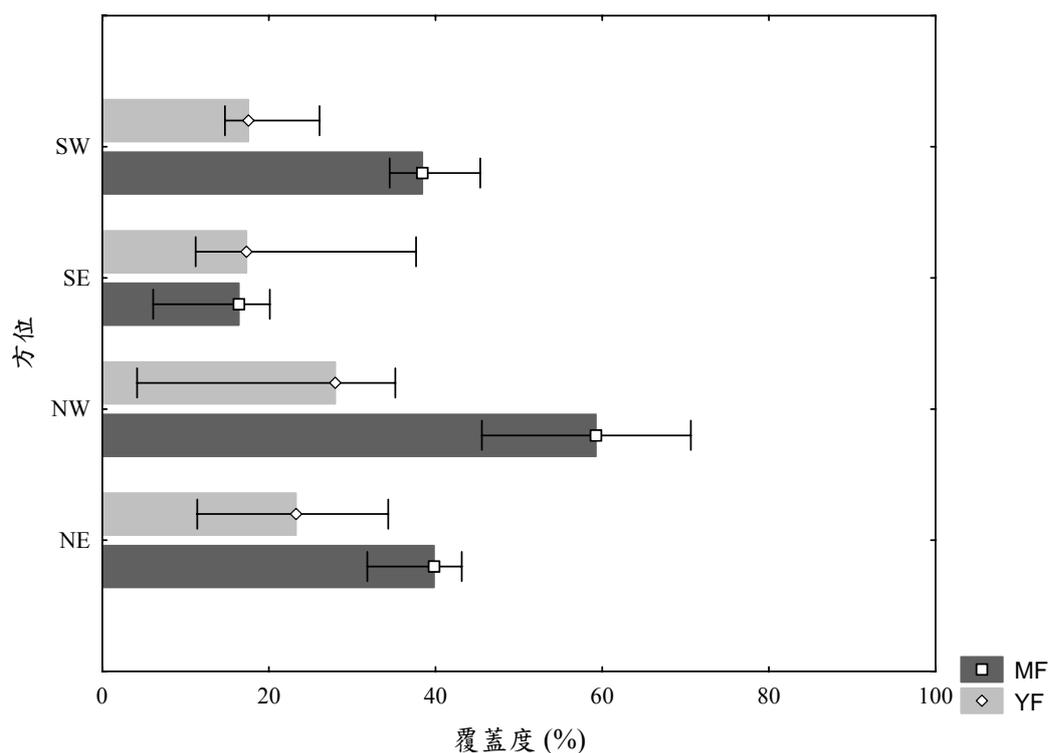


圖 10 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚覆蓋度在不同方位的分布趨勢(MF: n=3; YF: n=3, □◇表 Median, I 表 Min-Max)。

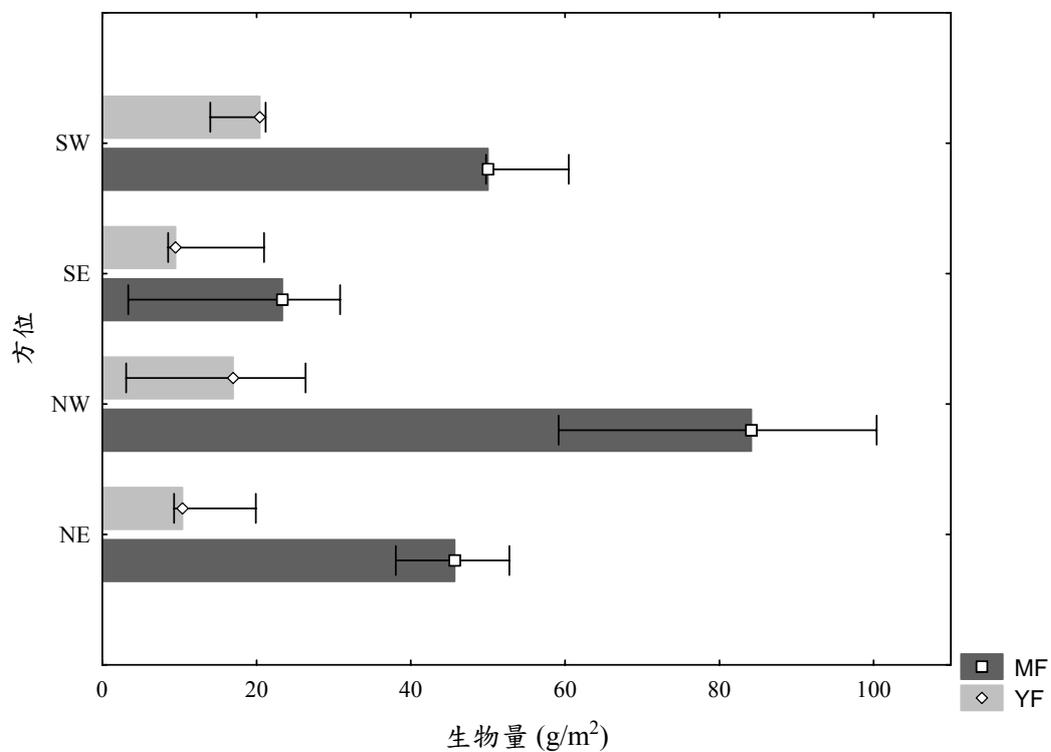


圖 11 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚生物量在不同方位的分布趨勢(MF: n=3; YF: n=3, □◇表 Median, I 表 Min-Max)

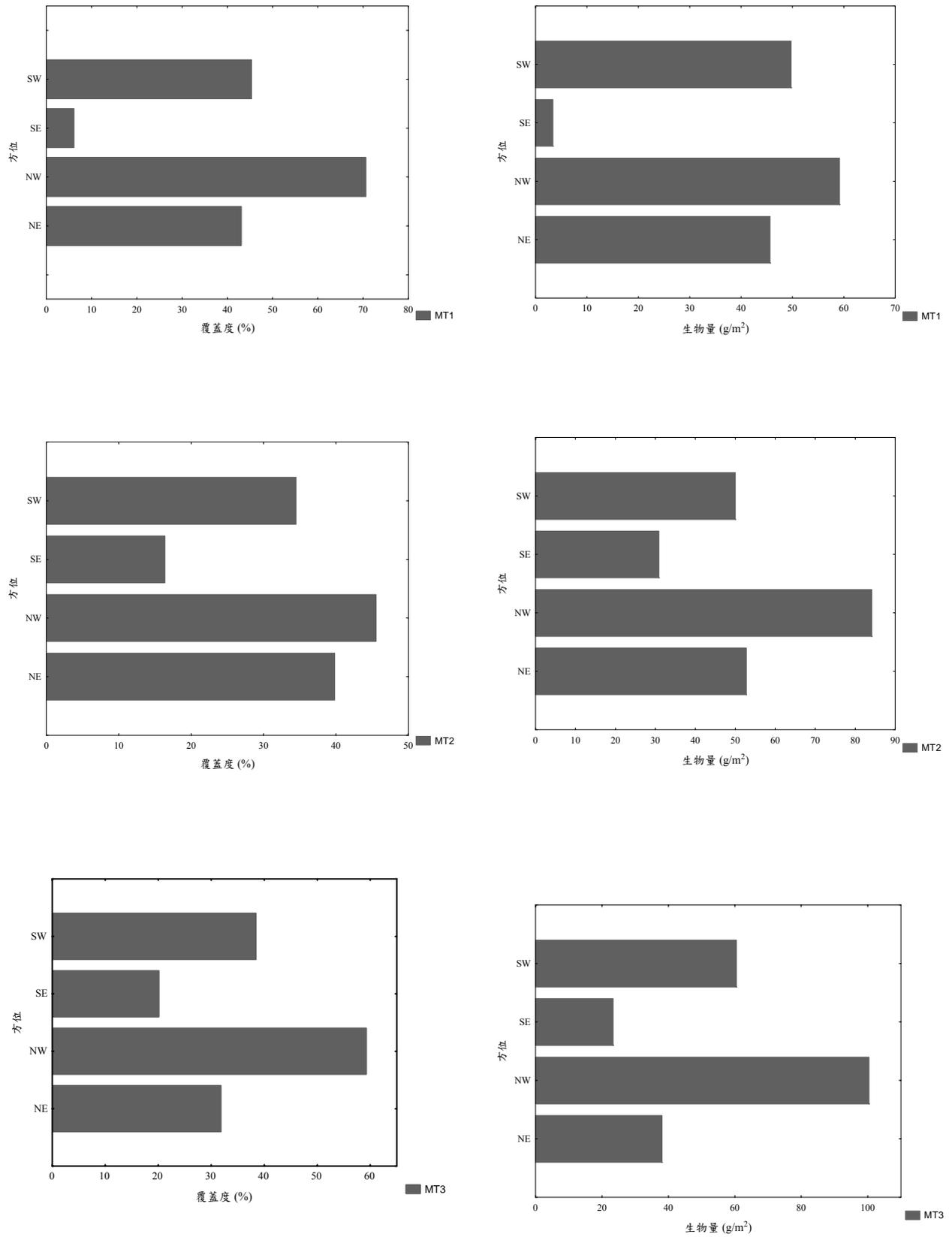


圖 12 成熟林三棵樣樹主幹苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢。

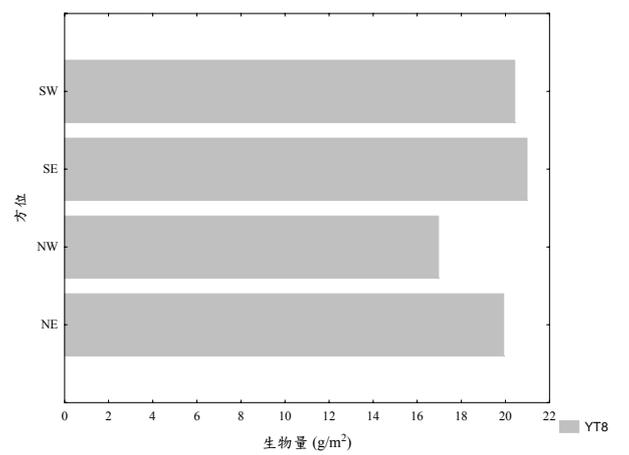
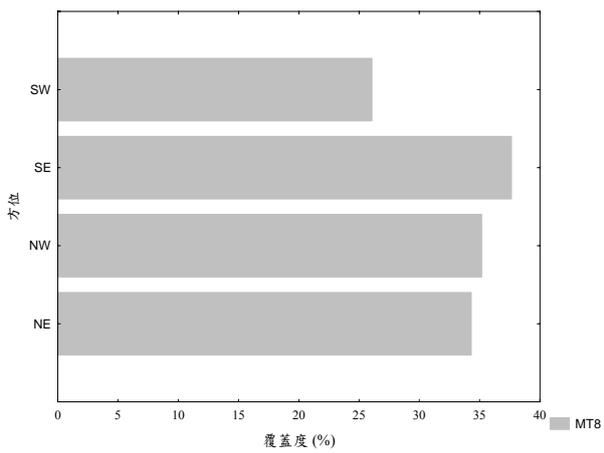
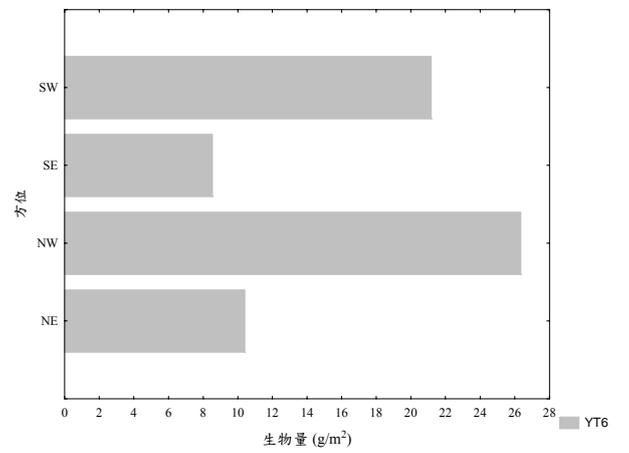
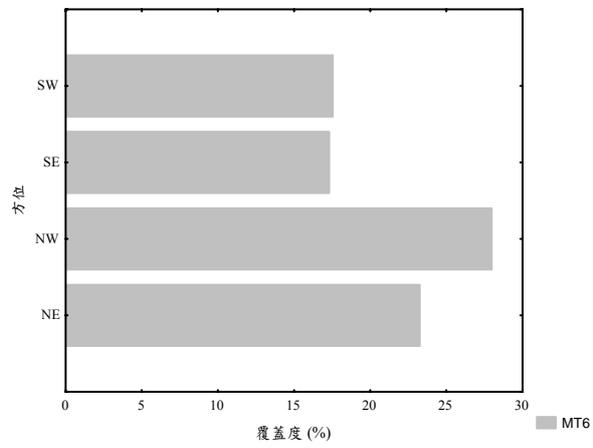
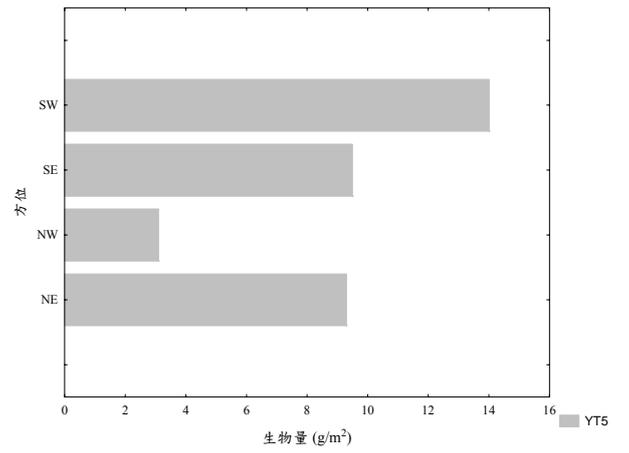
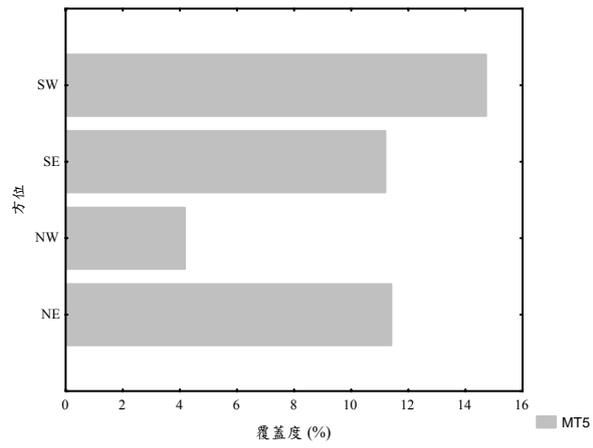


圖 13 更新林三棵樣樹主幹苔蘚覆蓋度與生物量在不同方位的分布趨勢。

### 3.3 台灣扁柏成熟林苔蘚覆蓋度與生物量

- 主幹與枝條的苔蘚覆蓋度及生物量

台灣扁柏成熟林三棵樣樹(主幹+枝條)的苔蘚覆蓋度為 37.3%，生物量為 55 g/m<sup>2</sup>。個別就樣樹主幹與枝條的苔蘚生物量來看，枝條的苔蘚生物量則高於主幹(表 4)。

細看三棵樣樹枝條上苔蘚覆蓋度與生物量，發現枝條 A 取樣點(距主幹 20 cm 處)與 B 取樣點(距主幹 80 cm 處)的苔蘚覆蓋度無特定的趨勢，但在苔蘚生物量部分，枝條上 B 取樣點的苔蘚生物量有高於 A 取樣點的趨勢(表 5)。

- 苔蘚覆蓋度與生物量的相關性

為了解苔蘚覆蓋度與生物量的相關性，將成熟林三棵樣樹主幹與枝條上苔蘚覆蓋度與生物量分別進行 Spearman 等級相關分析，結果顯示主幹上苔蘚覆蓋度與生物量為顯著相關( $r_s=0.85$ ,  $p<0.05$ ,  $n=144$ )。枝條上苔蘚覆蓋度與生物量為顯著相關( $r_s=0.80$ ,  $p<0.05$ ,  $n=43$ )。

而主幹與枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重以 Spearman 等級相關分析的結果顯示，主幹上苔蘚覆蓋面積與乾重為顯著相關( $r_s=0.80$ ,  $p<0.05$ ,  $n=144$ )。枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重為顯著相關( $r_s=0.89$ ,  $p<0.05$ ,  $n=43$ )。另外，由主幹與枝條上的苔蘚覆蓋面積與乾重的線性關係式中發現，枝條的關係式斜率大於主幹(枝條: 147.7174, 主幹: 332.5505)，代表枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重的比值大於主幹，即在同樣的苔蘚覆蓋面積下，枝條上苔蘚乾重大於主幹(圖 14、圖 15)。

- 枝條分布與苔蘚覆蓋度、生物量

成熟林三棵樣樹的枝條調查結果顯示，樣樹上枝條有趨向特定方位生長的現象，在東南方及南方的枝條數較高，以北方的枝條數為最少(表 6)。

雖然成熟林的樣樹的枝條有趨向特定方向生長，但，東北、東南、西北及西南四方位上的枝條數百分比與主幹四方位上的苔蘚覆蓋度無顯著相關(Spearman rank-order correlation,  $p>0.05$ ,  $n=12$ )，與主幹四方位上苔蘚生物量亦無顯著相關(Spearman rank-order correlation,  $p>0.05$ ,  $n=12$ )。

表 4 成熟林三棵樣樹附生性苔蘚覆蓋度與生物量。

	覆蓋度(%)			生物量(g/m <sup>2</sup> )		
	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3
主幹+枝條	40.8	34.2	37.3	42.5	55.0	62.4
主幹	41.0	34.1	37.4	39.5	54.4	55.6
枝條	38.8	37.9	33.4	93.4	58.0	139.5

表 5 成熟林三棵樣樹枝條苔蘚覆蓋度與生物量。

取樣點	覆蓋度(%)			生物量(g/m <sup>2</sup> )		
	MT1	MT2	MT3	MT1	MT2	MT3
A	43.3	29.8	11.8	91.5	17.0	60.7
B	34.2	45.0	55.0	95.4	93.2	218.4

\*A 為枝條上距主幹 20 cm 處的取樣點，B 為枝條上距主幹 80 cm 處的取樣點。

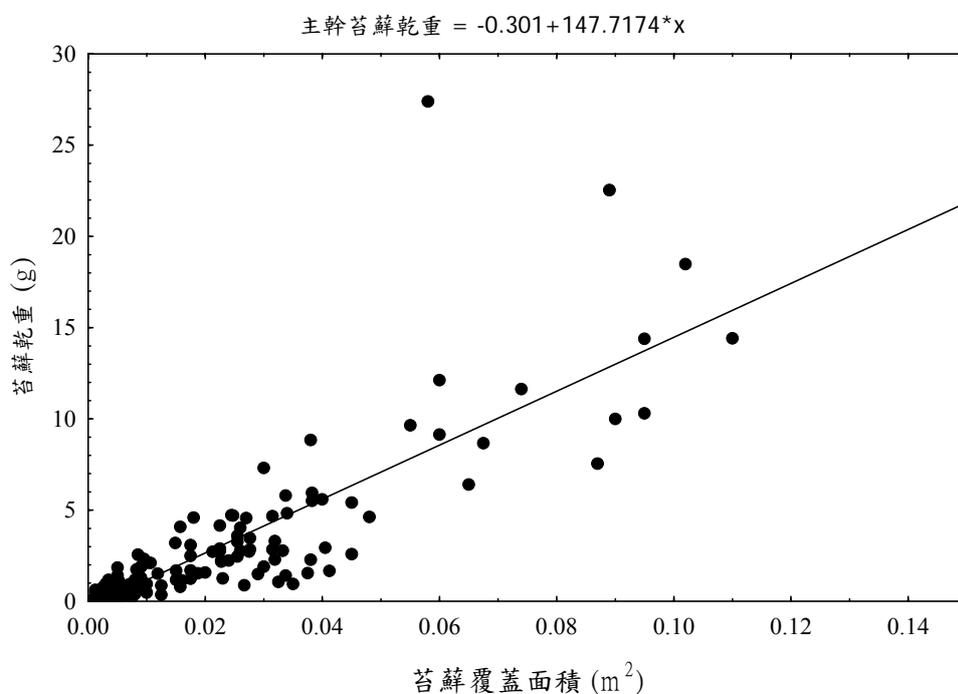


圖 14 成熟林主幹上苔蘚覆蓋面積與乾重的關係圖( $r^2 = 0.6920$ ,  $n=144$ )。

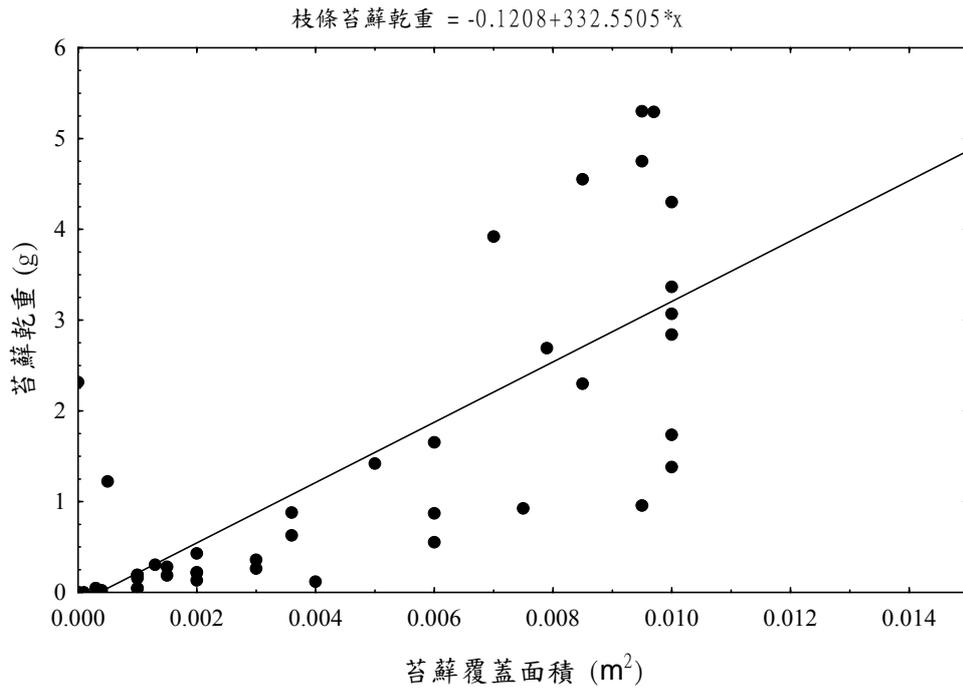


圖 15 成熟林枝條上苔蘚覆蓋面積與乾重的關係圖( $r^2 = 0.5938$ ， $n=43$ )。

表 6 成熟林三棵樣樹不同方位上的枝條數。

方位	MT1 枝條數 (百分比)	MT2 枝條數 (百分比)	MT3 枝條數 (百分比)
N	1 (2.4%)	0 (0.0%)	4 (10.0%)
NE	2 (4.9%)	3 (7.3%)	6 (15.0%)
E	4 (9.8%)	3 (7.3%)	5 (12.5%)
SE	8 (19.5%)	8 (19.5%)	7 (17.5%)
S	8 (19.5%)	11 (26.8%)	6 (15.0%)
SW	5 (12.2%)	5 (12.2%)	4 (10.0%)
W	5 (12.2%)	5 (12.2%)	5 (12.5%)
NW	8 (19.5%)	6 (14.6%)	3 (7.5%)
合計	41	41	40

### 3.4 苔蘚屬的組成與分布

#### 3.4.1 苔蘚屬的組成

台灣扁柏成熟林附生性苔蘚物種數高於更新林。在蘚類與苔類的物種數上，兩森林中皆是蘚類物種數高於苔類，且皆以鞭蘚屬為優勢，其次為挺葉蘚屬(表 7)。台灣扁柏成熟林附生性苔蘚共計 19 科 34 屬 49 種(表 8)，其中蘚類 35 種，苔類 14 種。更新林附生性苔蘚為 17 科 19 屬 24 種(附錄 4)，其中包含蘚類 18 種，苔類 6 種。

綜合兩森林的苔蘚物種來看，在成熟林與更新林皆出現的物種有 13 科 14 屬，包含蘚類 8 科 9 屬，苔類 5 科 4 屬。在科方面有大萼蘚科、剪葉蘚科、耳葉蘚科、葉蘚科、細鱗蘚科、指葉蘚科、羽蘚科、紫葉蘚科、曲尾苔科、灰苔科、白髮苔科、蔓苔科及檜苔科。在屬方面有大萼蘚屬、剪葉蘚屬、耳葉蘚屬、挺葉蘚屬、葉蘚屬、鞭蘚屬、指葉蘚屬、羽蘚屬、紫葉蘚屬、錦葉苔屬、鱗葉苔屬、白髮苔屬、毛扭苔屬及燄苔屬。

僅在成熟林發現有 8 科 20 屬，其中包含蘚類 6 科 12 屬、苔類 2 科 8 屬。在科部份，分別為護蒴蘚科、溪蘚科、擬複叉蘚科、合葉蘚科、歧舌蘚科、絨蘚科、花葉苔科及錦苔科。而在屬方面則為假護蘚屬、三瓣蘚屬、角鱗蘚屬、白鱗蘚屬、細指蘚屬、蟲葉蘚屬、溪蘚屬、睫毛蘚屬、合葉蘚屬、歧舌葉蘚屬、絨蘚屬、廣萼蘚屬、網苔屬、青毛苔屬、曲尾苔屬、粗石苔屬、蔓苔屬、頂苞苔屬、細疣胞苔屬及比賴苔屬。

僅在更新林發現有 4 科 5 屬，包含蘚類 3 科 4 屬、苔類 1 科 1 屬。在科方面，分別為地萼蘚科、叉蘚科、扁萼蘚科及泥炭苔科。在屬方面為異萼蘚屬、細鱗蘚屬、叉蘚屬、扁萼蘚屬、泥炭苔屬。

台灣扁柏成熟林附生性苔蘚以指葉蘚科(Lepidoziaceae)為物種數最多的科別，共包含 12 種物種，其次為葉蘚科(Jungermanniaceae)，包含 5 種物種。而更新林中則以大萼蘚科、指葉蘚科及羽蘚科為物種數最多的科別，各包含 3 種物種。

台灣扁柏成熟林主幹共進行 144 個樣方內苔蘚的取樣，其中僅在 1 個樣方出現的苔蘚屬有 8 屬，分別為睫毛蘚屬、溪蘚屬、合葉蘚屬、錦葉苔屬、蔓苔屬、頂苞苔屬、毛扭苔屬、細疣胞苔屬，佔總屬數的 23.5%。更新林主幹的苔蘚取樣樣方則有 120 個，其中僅在 1 個樣方出現的苔蘚屬有 8 屬中有 3 屬僅出現一次，分別為異萼蘚屬、叉蘚屬及泥炭苔屬，佔總屬數的 15.8%。

表 7 成熟林與更新林樣樹主幹優勢屬苔蘚生物量。

	成熟林			更新林		
	MT1	MT2	MT3	YT5	YT6	YT8
總苔蘚生物量 (g/m <sup>2</sup> )	39.5	54.4	55.6	9.0	16.6	19.6
鞭蘚屬生物量 (g/m <sup>2</sup> )	34.1	48.9	49.5	5.1	13.5	15.3
挺葉蘚屬生物量 (g/m <sup>2</sup> )	1.3	2.1	1.7	3.0	1.8	1.2
其他苔蘚生物量 (g/m <sup>2</sup> )	4.1	3.4	4.3	0.9	1.3	3.1

表 8 台灣扁柏成熟林附生性苔蘚物種組成。

類型	拉丁科名	中文科名	拉丁屬名	中文屬名	種名	中文學名
蘚類	Calypogeiaceae	護蒴蘚科	<i>Metacalypogia</i>	假護蒴蘚屬	<i>sp1</i>	
	Cephaloziaceae	大萼蘚科	<i>Cephalozia</i>	大萼蘚屬	<i>gollanii</i>	革氏大萼蘚
	Herbertaceae	剪葉蘚科	<i>Herbertus</i>	剪葉蘚屬	<i>sp1</i> <i>sp2</i>	
	Jubulaceae	耳葉蘚科	<i>Frullania</i>	耳葉蘚屬	<i>monilata</i> <i>sp1</i>	列胞耳葉蘚
Jungermanniaceae	葉蘚科		<i>Anastrophyllum</i>	挺葉蘚屬	<i>sp1</i>	
			<i>Chandonanthus</i>	廣萼蘚屬	<i>birmesis</i> <i>hirtellus</i>	全緣廣萼蘚 齒鞭廣萼蘚
			<i>Jungermannia</i>	葉蘚屬	<i>sp1</i>	
			<i>Tritomaria</i>	三瓣蘚屬	<i>sp1</i>	
Lejeuneaceae	細鱗蘚科		<i>Drepanolejeunea</i>	角鱗蘚屬	<i>pentadactyla</i> <i>ternatesis</i> <i>vesiculosa</i>	五指角鱗蘚 單齒角鱗蘚 短葉角鱗蘚
			<i>Leucolejeunea</i>	白鱗蘚屬	<i>xanthocarpa</i>	白鱗蘚
			<i>Bazzania</i>	鞭蘚屬	<i>angustifolia</i> <i>bidentula</i> <i>fauriana</i> <i>praerupta</i> <i>sp1</i> <i>sp2</i> <i>sp3</i> <i>tridens</i> <i>vittata</i>	狹葉鞭蘚 雙齒鞭蘚 厚角鞭蘚 東亞鞭蘚 三裂鞭蘚 假肋鞭蘚
Lepidoziaceae	指葉蘚科		<i>Kurzia</i>	細指蘚屬	<i>sp1</i>	
			<i>Lepidozia</i>	指葉蘚屬	<i>sp1</i>	
			<i>Zoopis</i>	蟲葉蘚屬	<i>sp1</i>	
Pelliaceae	溪蘚科		<i>Pellia</i>	溪蘚屬	<i>sp1</i>	
Plagiochilaceae	羽蘚科		<i>Plagiochila</i>	羽蘚屬	<i>sp1</i> <i>sp2</i>	
Pleuroziaceae	紫葉蘚科		<i>Pleurozia</i>	紫葉蘚屬	<i>acinosa</i>	南亞紫葉蘚
Pseudolepicoleaceae	擬複叉蘚科		<i>Blepharostoma</i>	睫毛蘚屬	<i>trichophyllum</i>	睫毛蘚
Scapaniaceae	合葉蘚科		<i>Scapania</i>	合葉蘚屬	<i>sp1</i>	
Schistochilaceae	歧舌蘚科		<i>Schistochila</i>	歧舌蘚屬	<i>sp1</i>	
Trichocoleaceae	絨蘚科		<i>Trichocolea</i>	絨蘚屬	<i>tomentella</i>	絨蘚

類型	拉丁科名	中文科名	拉丁屬名	中文屬名	種名	中文學名
苔類	Calymperaceae	花葉苔科	<i>Syrrhopodon</i>	網苔屬	<i>sp1</i>	
	Dicranaceae	曲尾苔科	<i>Dicranodontium</i>	青毛苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Dicranoloma</i>	錦葉苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Dicranum</i>	曲尾苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Rhabdoweisia</i>	粗石苔屬	<i>sp1</i>	
	Hypnaceae	灰苔科	<i>Taxiphyllum</i>	鱗葉苔屬	<i>sp1</i>	
	Leucobryaceae	白髮苔科	<i>Leucobryum</i>	白髮苔屬	<i>sp1</i>	
	Meteoriaceae	蔓苔科	<i>Meteoriella</i>	蔓苔屬	<i>soluta</i>	小蔓苔
			<i>Aerobryidium</i>	毛扭苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Pyrrhobryum</i>	皺苔屬	<i>sp1</i>	
	Rhizogoniaceae	檜苔科	<i>Pyrrhobryum</i>	皺苔屬	<i>sp1</i>	
	Sematophyllaceae	錦苔科	<i>Acroporium</i>	頂苞苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Clastobryella</i>	細疣胞苔屬	<i>sp1</i>	
			<i>Pylaisiadelpha</i>	比賴苔屬	<i>sp1</i>	
					<i>sp2</i>	

共計 21 科 34 屬 49 種

### 3.4.2 苔蘚屬的垂直分布

以苔蘚屬數百分比的垂直分布來看，成熟林與更新林的苔蘚屬數百分比皆以相對高度 10%以下為最多；成熟林的苔蘚屬數百分比在相對高度 30%以下隨高度增加而減少，之後隨高度增加而增加，呈現波動趨勢；而更新林的苔蘚屬數百分比則隨高度增加而減少(圖 16)。而就苔蘚屬數百分比在不同方位上的分布而言，成熟林以東南面的屬數百分比較低，更新林則以西北面為較低(圖 17)。

另外，由歧異度指數計算得知，更新林主幹上附生性苔蘚物種在屬的層級上的歧異度高於成熟林，更新林的歧異度指數為 0.43，成熟林為 0.27。以主幹上附生性苔蘚的分布情形來看，其更新林苔蘚屬的分布較成熟林平均，更新林的均勻度指數為 0.34，成熟林則為 0.17。在屬的相似性上，兩森林附生性苔蘚屬的相似性為 35.9%。

主幹不同高度的苔蘚屬歧異度與均勻度分布趨勢顯示，成熟林的歧異度與均勻度指數皆在相對高度 20%以上隨高度上升而遞減，更新林則呈波動變化且較大的歧異度與均勻度指數皆出現在相對高度 20~50%之間(圖 18)。主幹不同方位的苔蘚屬歧異度與均勻度分布趨勢則顯示，成熟林的歧異度與均勻度指數在方位上不具明顯的趨勢，更新林的歧異度與均勻度則以西北面為較低(圖 19)。

分別將成熟林與更新林三棵樣樹主幹上同一屬的苔蘚生物量資料混合後，比較成熟林與更新林主幹上鞭蘚屬、白髮苔屬、耳葉蘚屬、剪葉蘚屬、葉蘚屬、紫葉蘚屬及挺葉蘚屬的苔蘚生物量分布情形。其結果如下：

鞭蘚屬不論在成熟林或更新林皆以主幹高度 20%以下的生物量為最高，且在成熟林的鞭蘚屬生物量高於更新林。在垂直分布趨勢上，鞭蘚屬在成熟林主幹上的生物量隨高度上升而呈現波動變化，而在更新林主幹上則隨高度上升而遞減(圖 22)。

白髮苔屬在成熟林與更新林的生物量以主幹高度 10%以下區域為最高。但在成熟林主幹相對高度 40~100%仍可發現白髮苔屬，顯示白髮苔屬在成熟林有向上生長的現象(圖 23)。

在成熟林，耳葉蘚屬的生物量在相對高度 30~50%及 90~100%區域為較高。在更新林則在相對高度 10~30%及 60~70%區域為較高。即耳葉蘚屬在成熟林有向上生長的現象(圖 24)。

剪葉蘚屬的生物量在成熟林主幹上相對高度 90~100%之間較高，在更新林則以相對高度 30~60%之間較高。以剪葉蘚屬生物量在兩座森林主幹的分布趨勢來看，剪葉蘚

屬有向上生長的現象(圖 25)。

葉蘚屬在成熟林主幹上大多分布在相對高度 60~100%之間，在更新林則分布在相對高度 20~40%與 70~80%之間。比較葉蘚屬生物量在兩森林主幹的分布趨勢後，發現葉蘚屬在成熟林有向上生長的現象(圖 26)。

挺葉蘚屬的生物量在成熟林主幹上，以相對高度 50~100%之間較高，在更新林則以在相對高度 20%以下以及 40~50%區域較高。由此趨勢看來，挺葉蘚屬在成熟林的生長區域高於更新林(圖 27)。

紫葉蘚屬生物量在成熟林主幹上，以相對高度 80~100%之間較高，在更新林其生物量以相對高度 70~80%之間較高。紫葉蘚屬生物量在成熟林的生長區域有略高於更新林的趨勢(圖 28)。

綜合以上，發現鞭蘚屬、白髮苔屬、耳葉蘚屬、剪葉蘚屬、葉蘚屬、挺葉蘚屬及紫葉蘚屬在成熟林主幹上分布區域比更新林高。

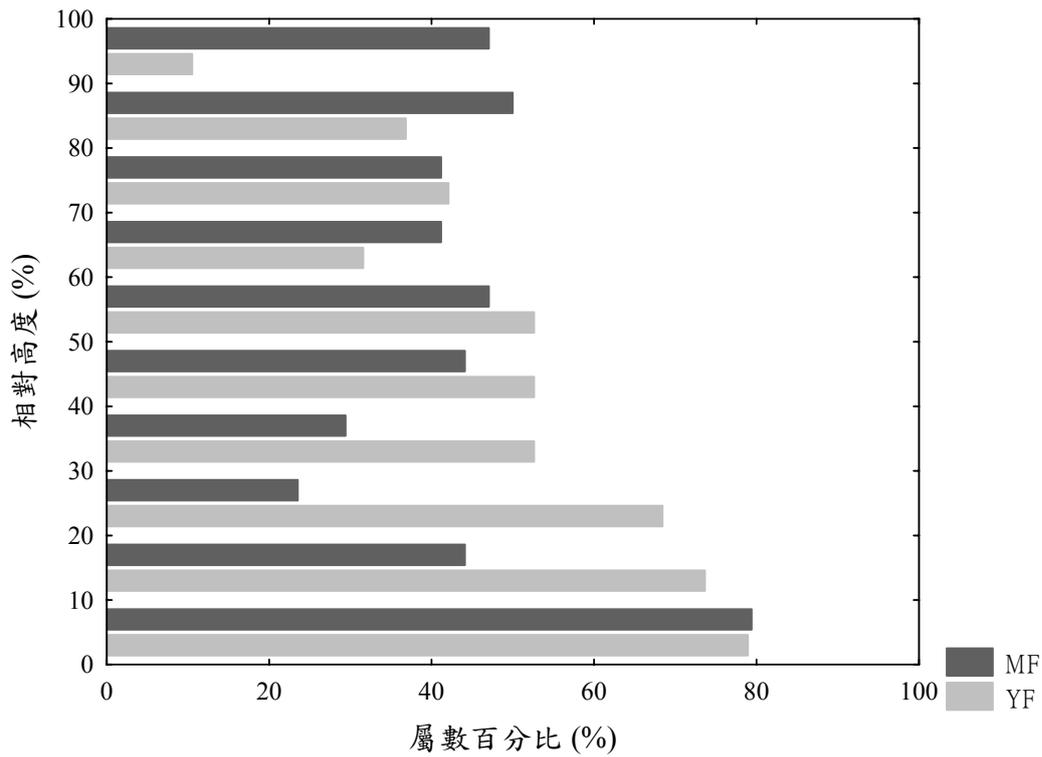


圖 16 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚屬數百分比在不同相對高度的分布趨勢。

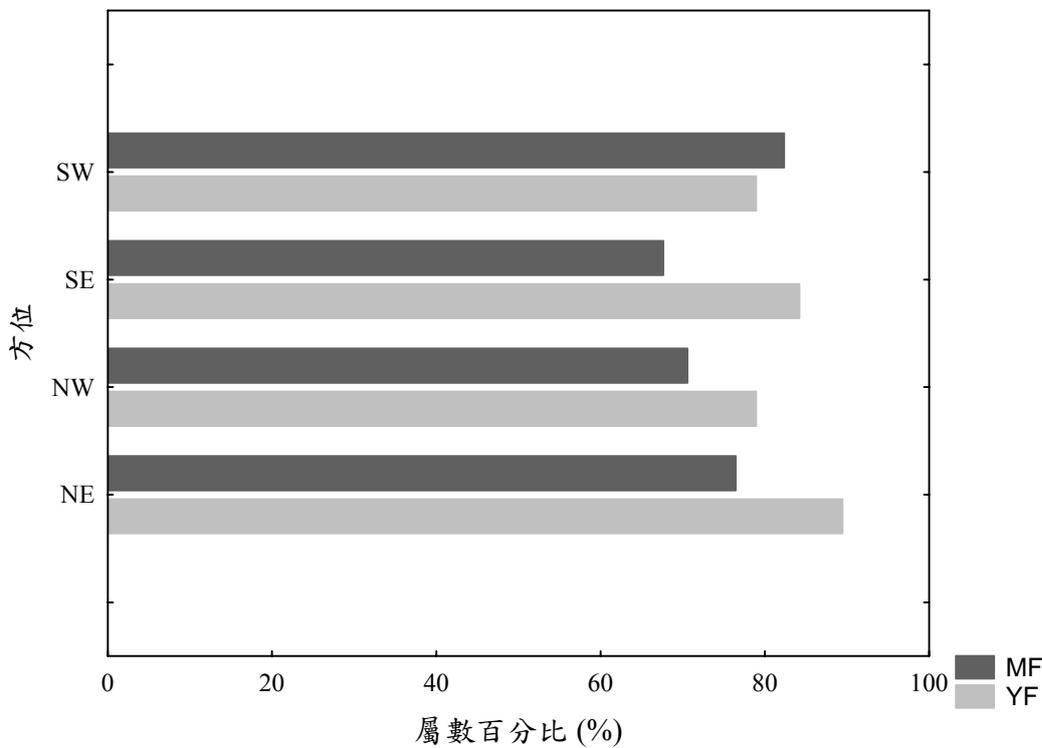


圖 17 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上苔蘚屬數百分比在不同方位的分布趨勢。

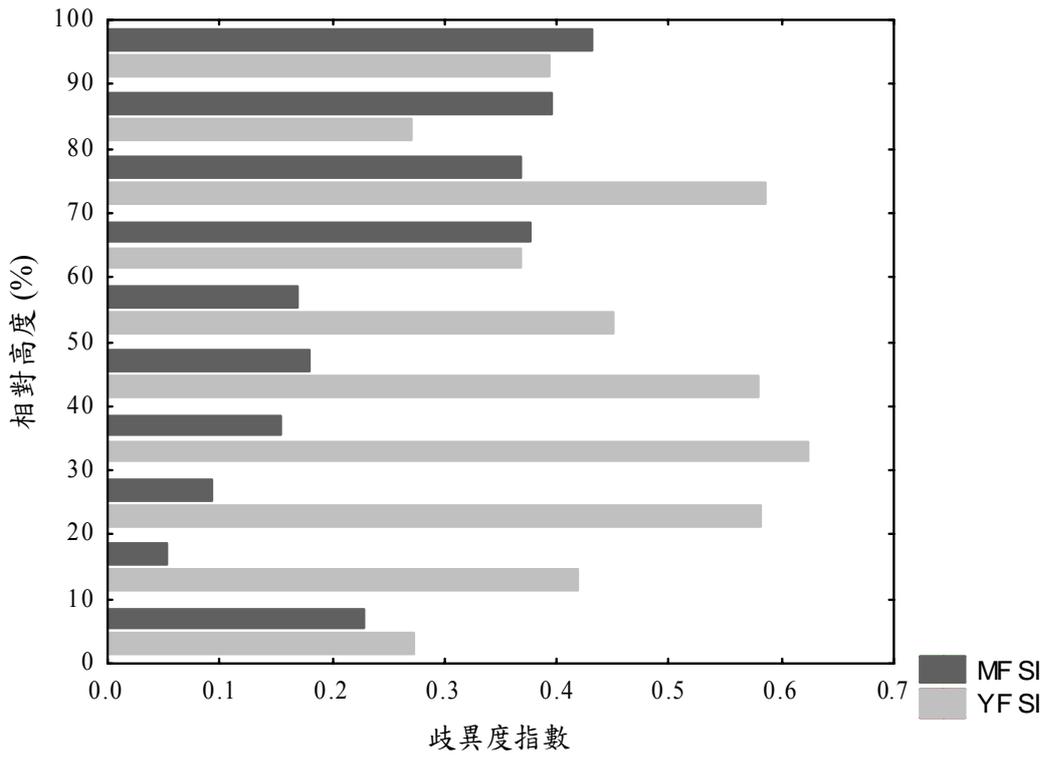


圖 18 成熟林(MF)與更新林(YF)不同高度上苔蘚屬歧異度(SI)。

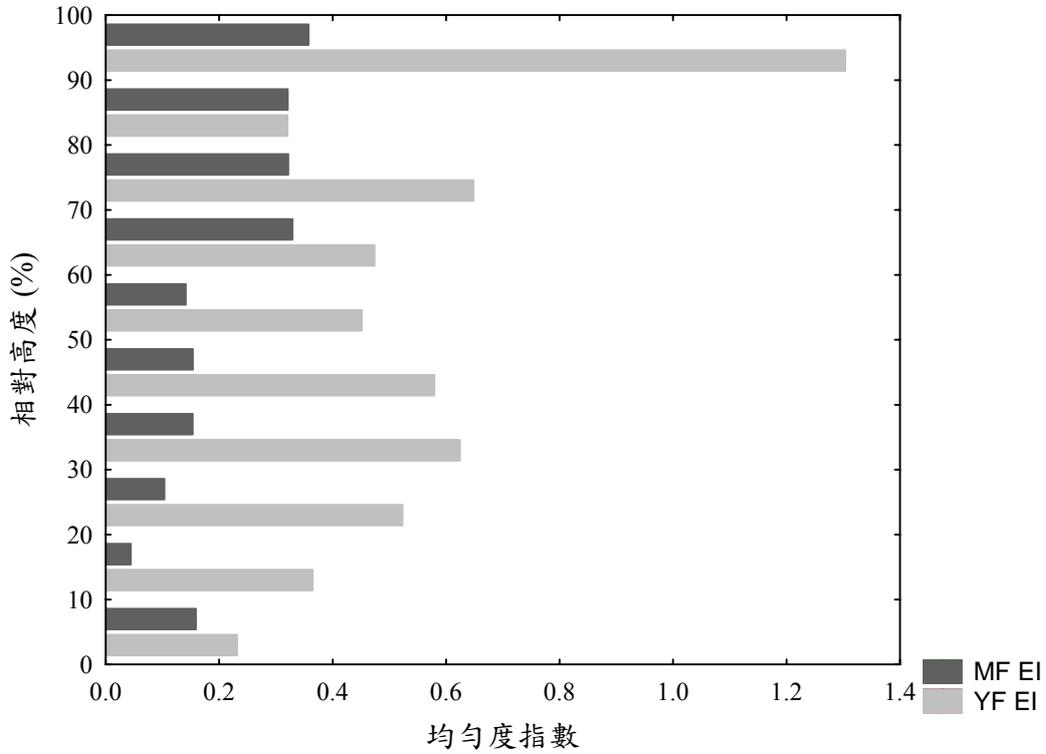


圖 19 成熟林(MF)與更新林(YF)不同高度上苔蘚屬均勻度(EI)。

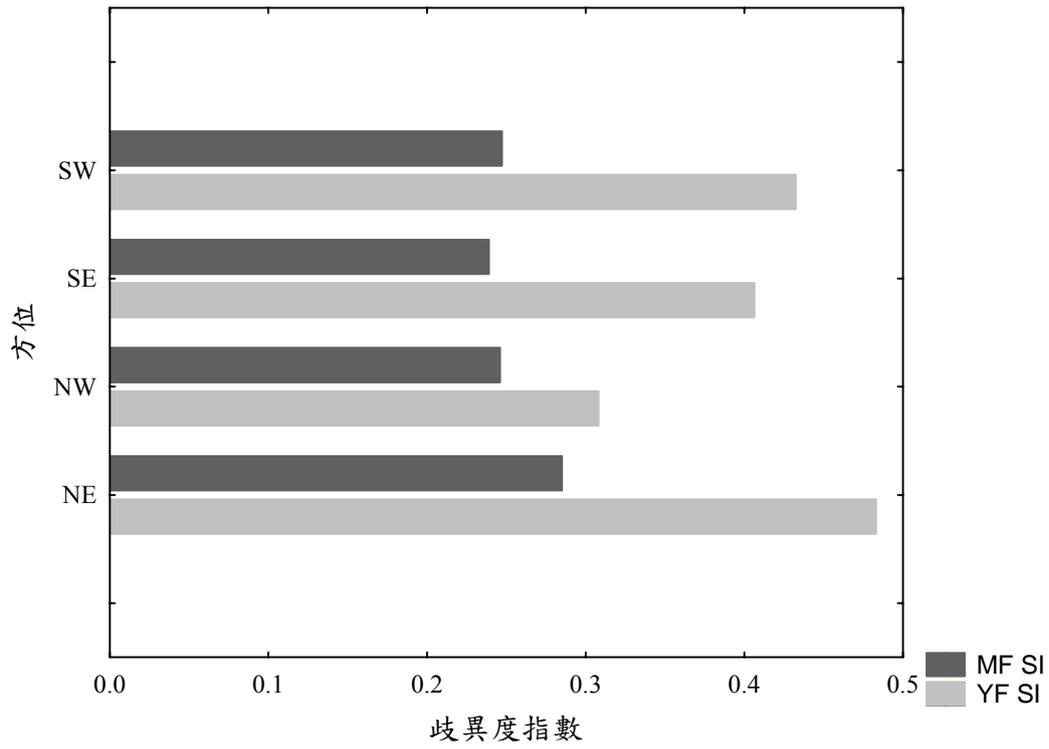


圖 20 成熟林(MF)與更新林(YF)不同方位上苔蘚屬歧異度(SI)。

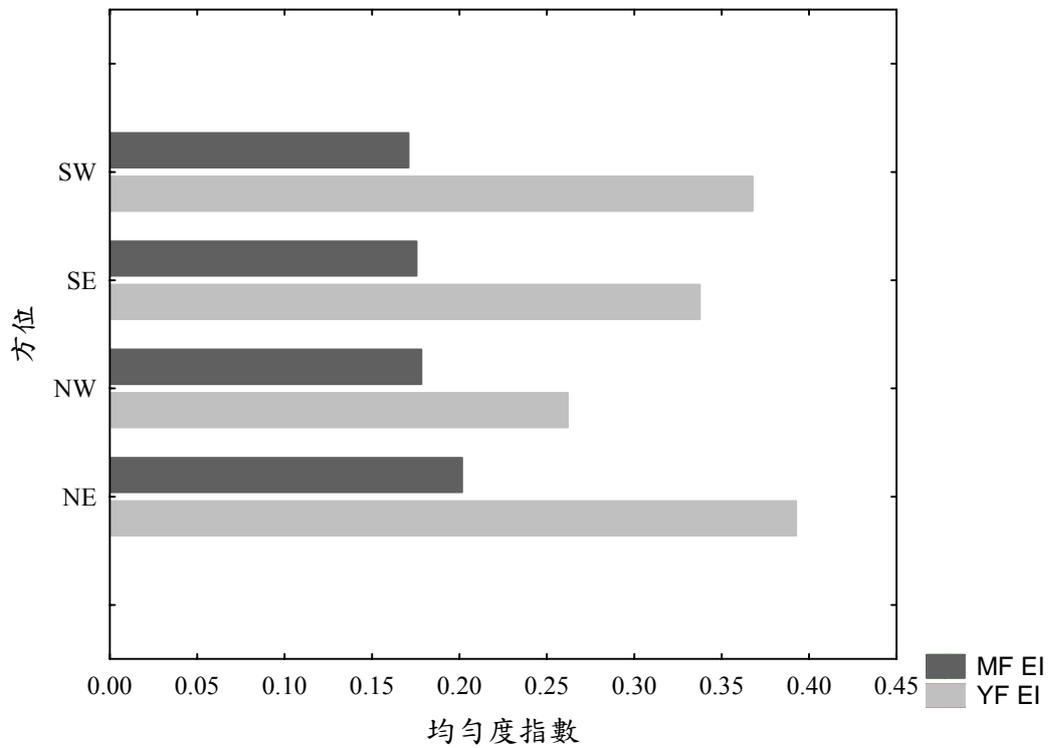


圖 21 成熟林(MF)與更新林(YF)不同方位上苔蘚屬均勻度(EI)。

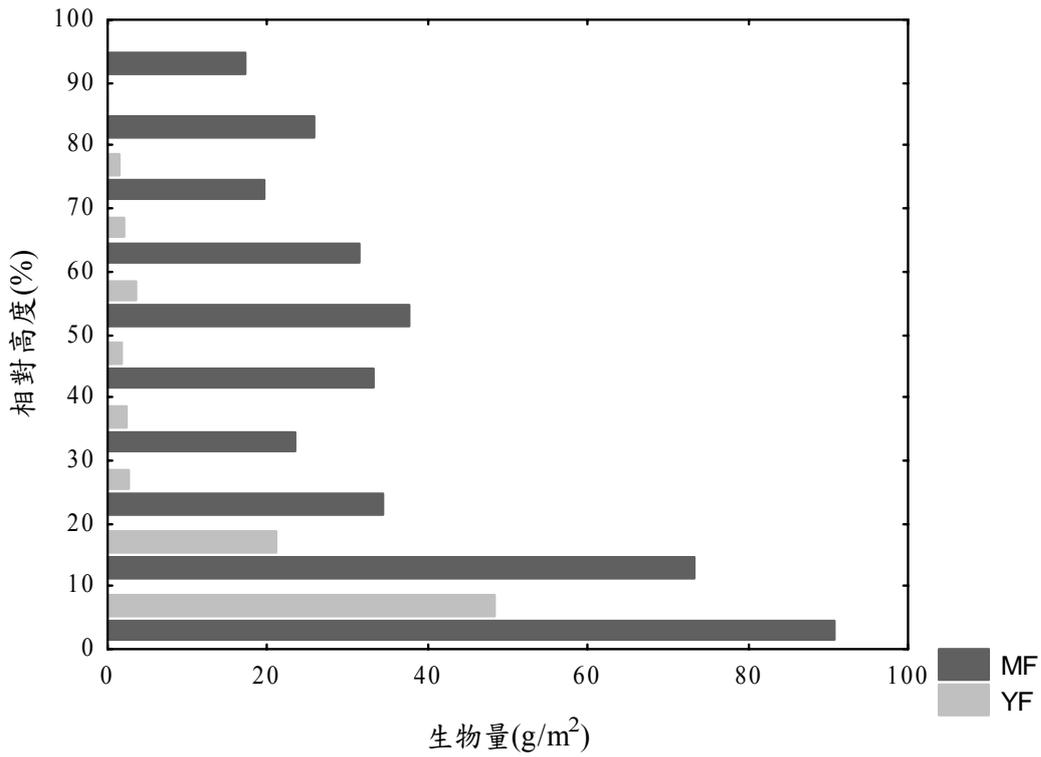


圖 22 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上鞭蕨屬生物量的分布趨勢。

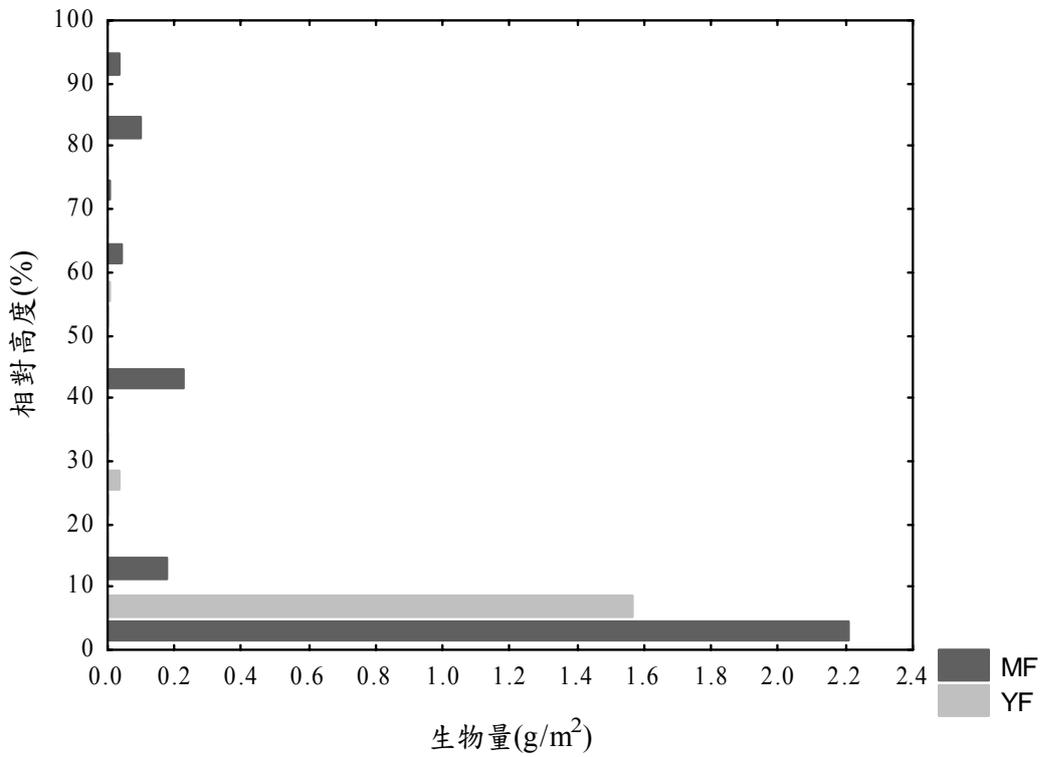


圖 23 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上白髮苔屬生物量的分布趨勢。

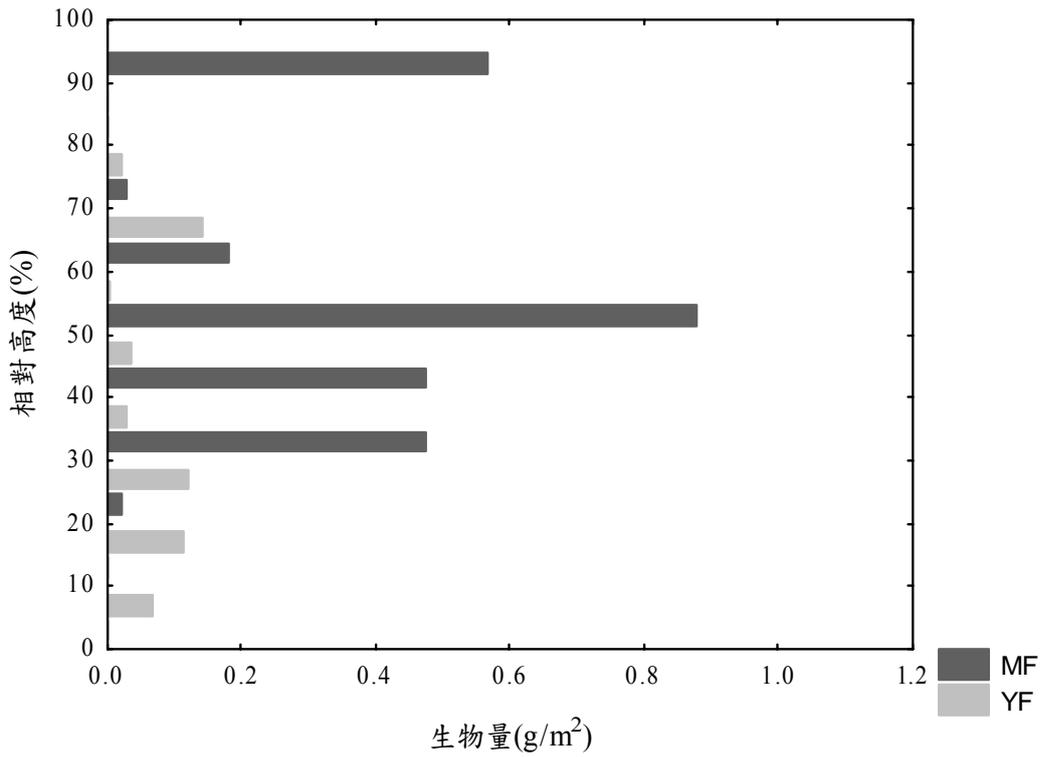


圖 24 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上耳葉蘚屬生物量的分布趨勢。

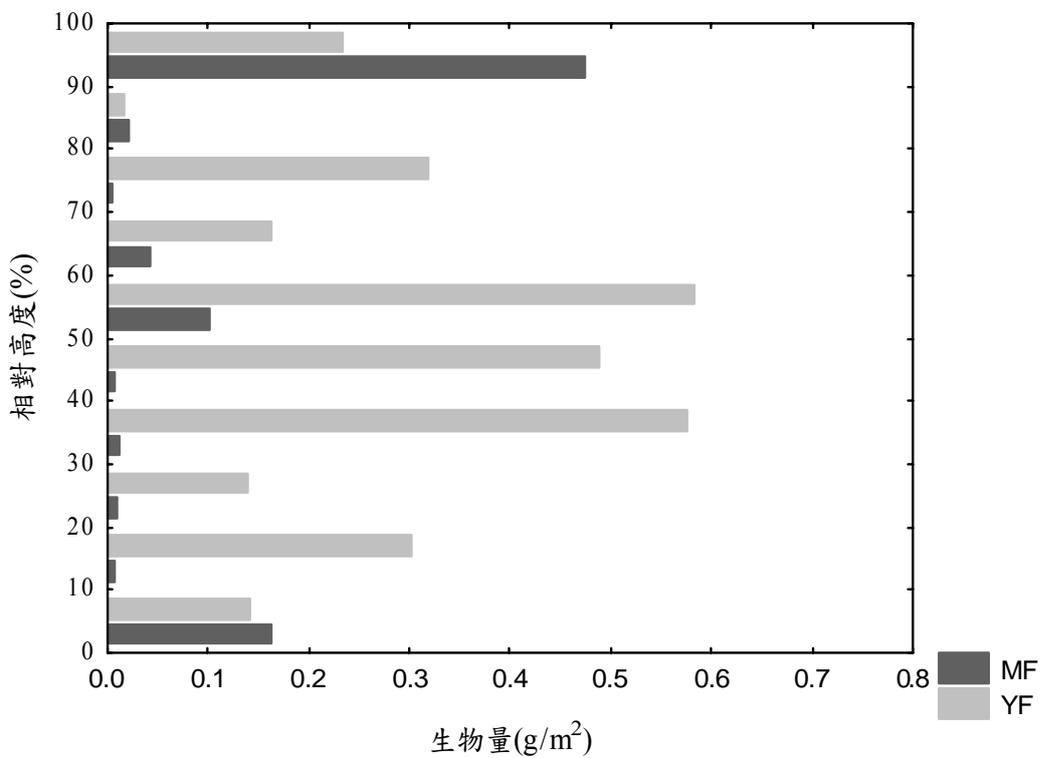


圖 25 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上剪葉蘚屬生物量的分布趨勢。

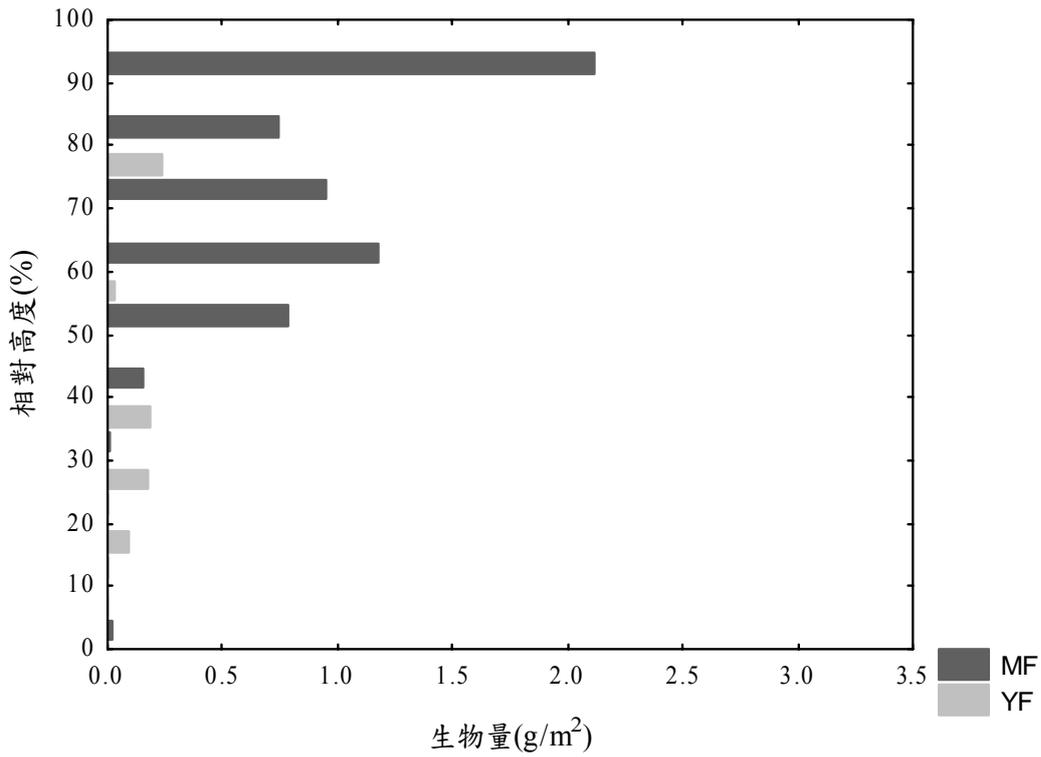


圖 26 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上葉蘚屬生物量的分布趨勢。

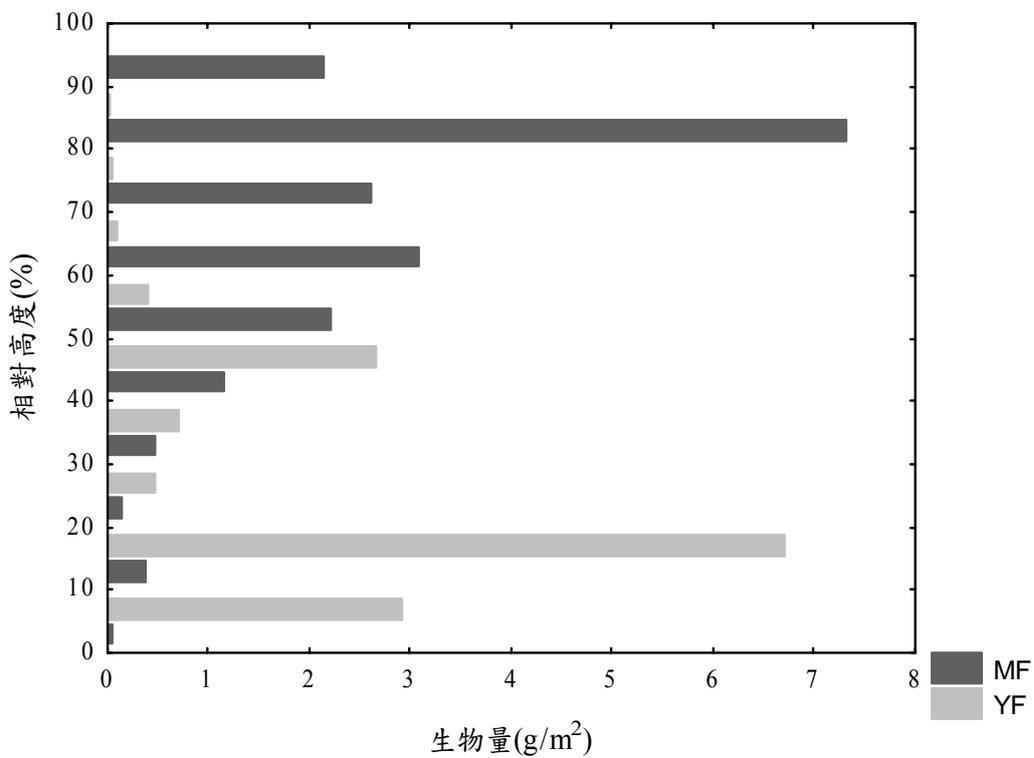


圖 27 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上挺葉蘚屬生物量的分布趨勢。

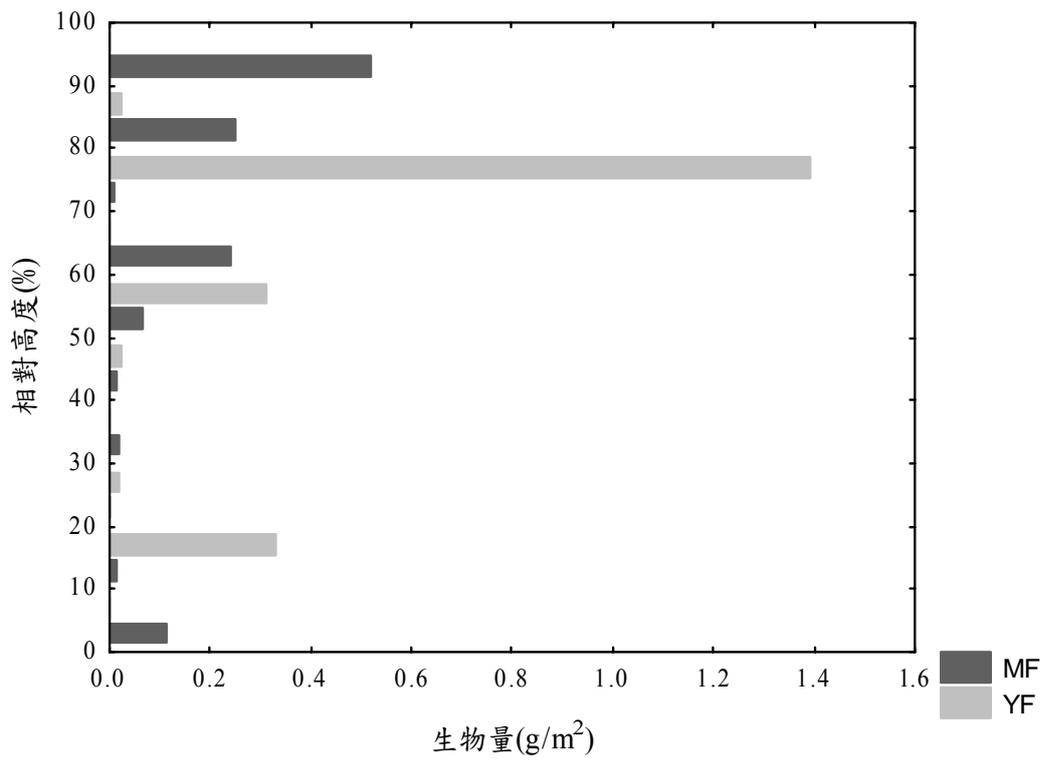


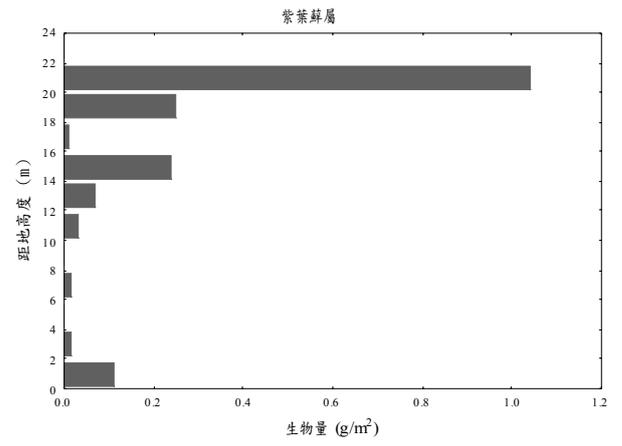
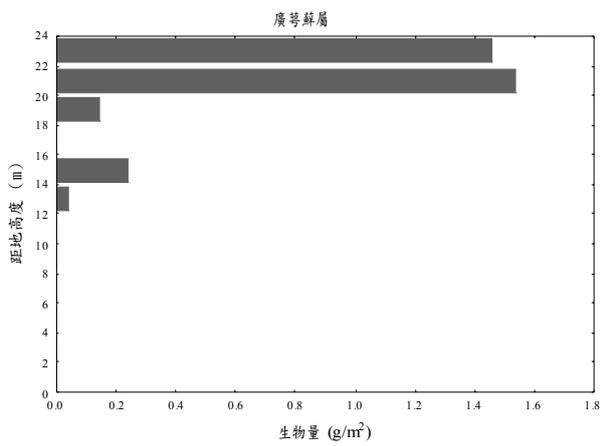
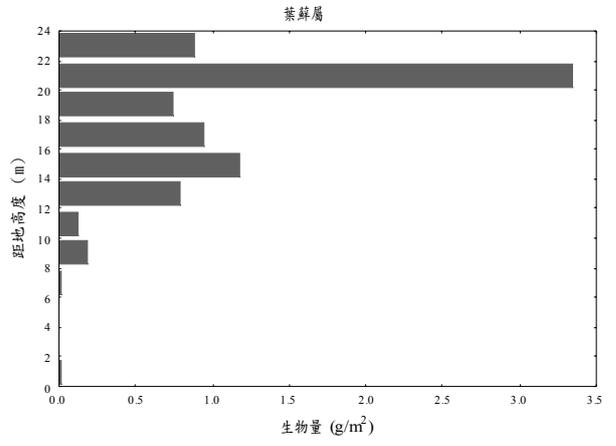
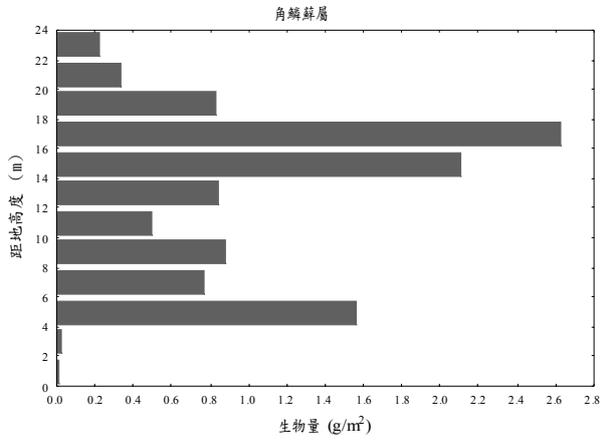
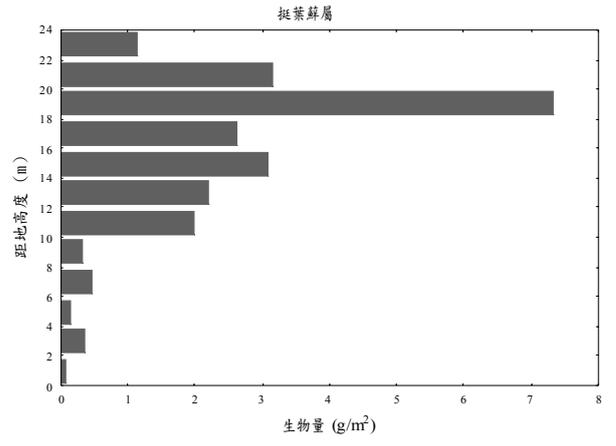
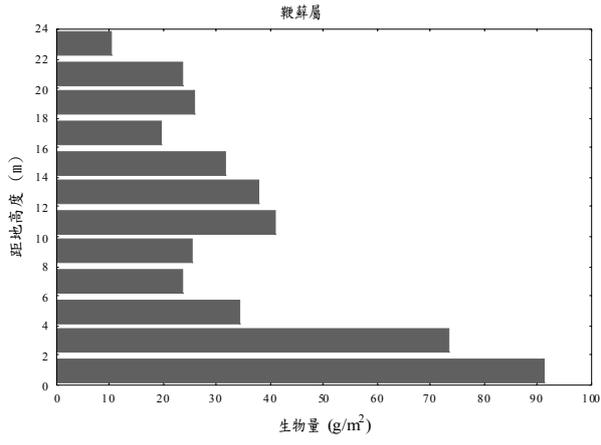
圖 28 成熟林(MF)與更新林(YF)主幹上紫葉蘚屬生物量的分布趨勢。

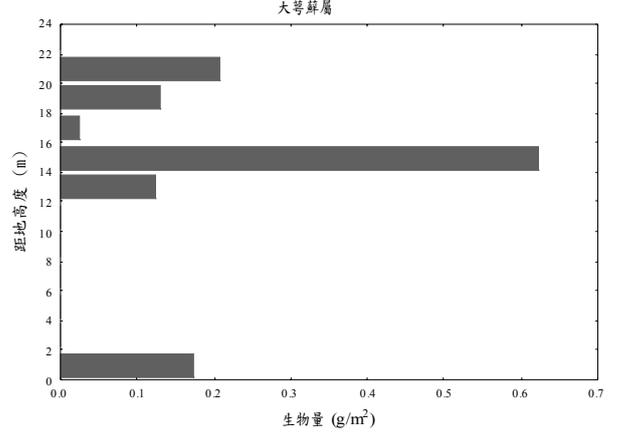
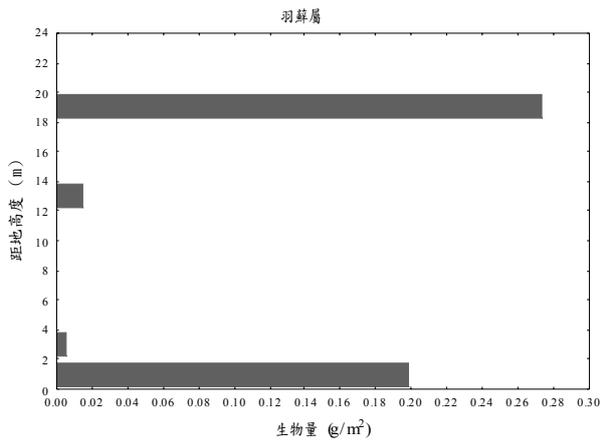
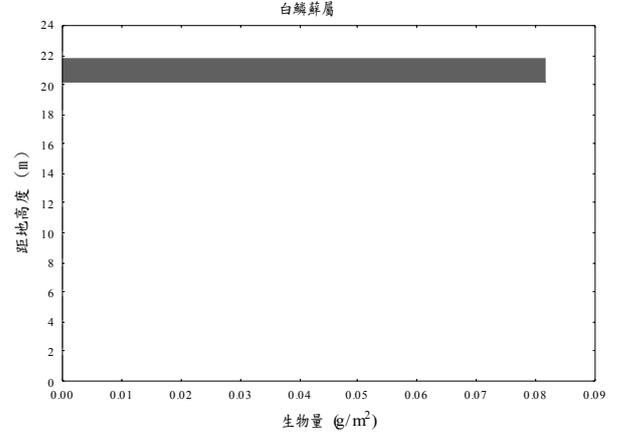
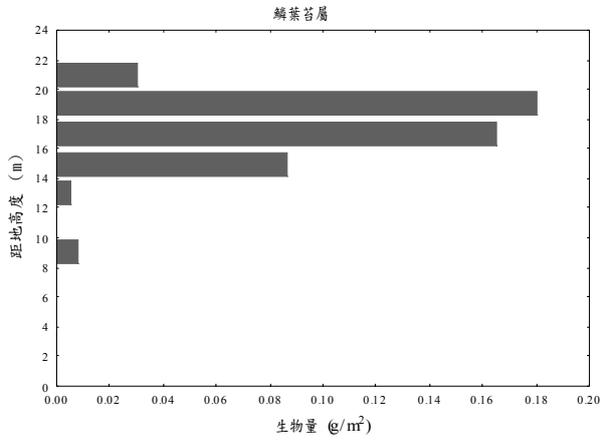
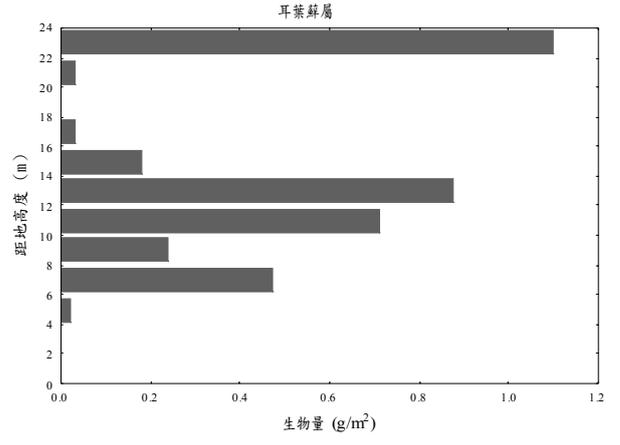
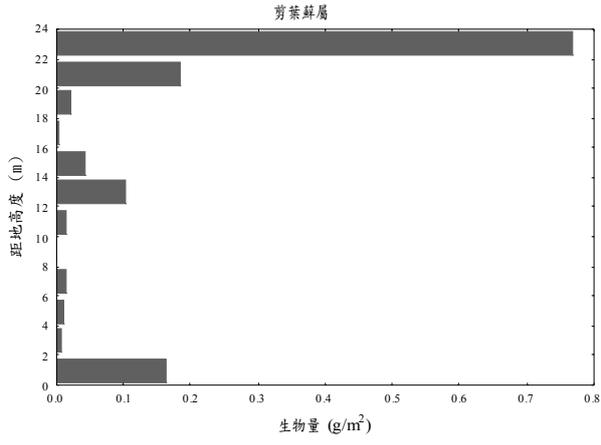
### 3.5 台灣扁柏成熟林主幹上苔蘚屬的分布趨勢

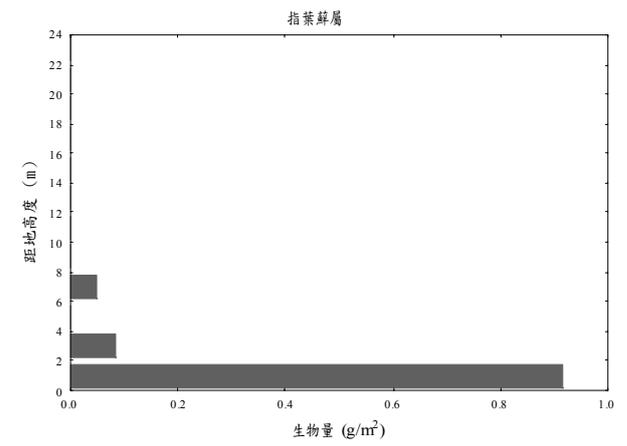
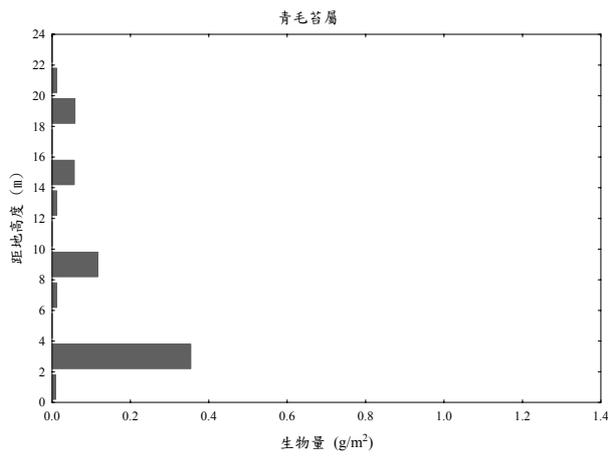
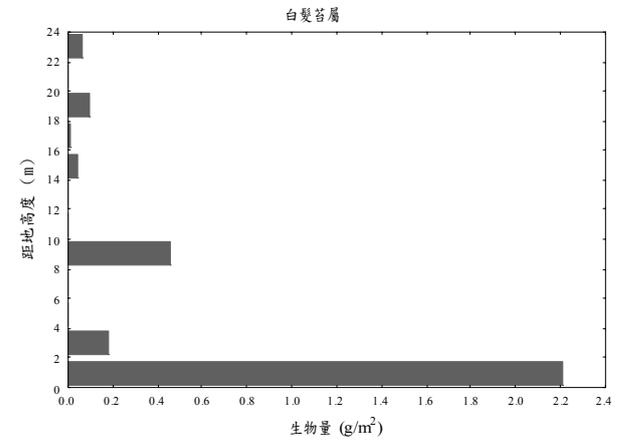
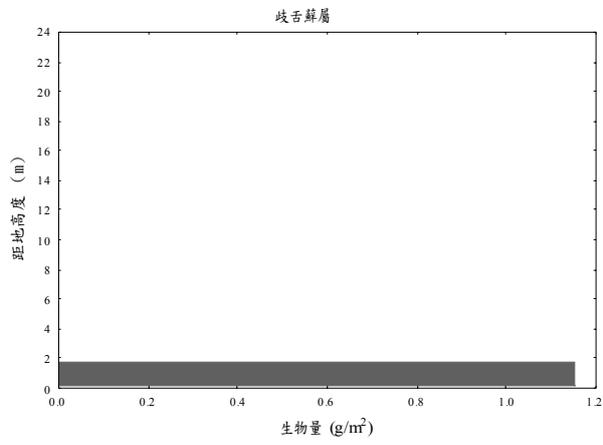
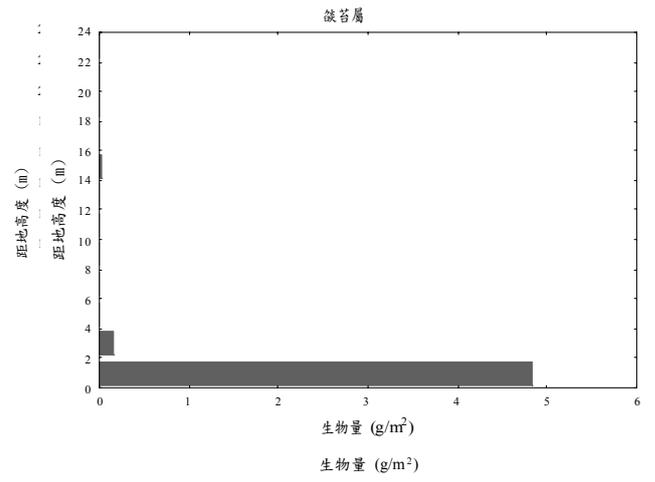
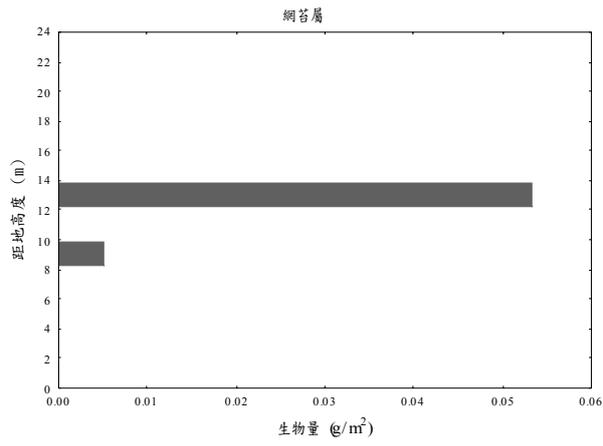
將成熟林三棵樣樹主幹的苔蘚生物量資料混合，分別計算同一苔蘚物種在主幹不同高度區間的生物量。結果發現，苔蘚物種的主要分布區域隨物種而有所不同(圖 29)。

鞭蘚屬在每一高度區間皆可被發現，以樹基(距地 4 m 以下)為主要分布區域；挺葉蘚屬、角鱗蘚屬亦在每一高度區間皆可發現，主要分布於冠層(16~24 m)；葉蘚屬、廣萼蘚屬、紫葉蘚屬、剪葉蘚屬、耳葉蘚屬、鱗葉苔屬、白鱗蘚屬、羽蘚屬大多在冠層(16~24 m)被發現，其中鱗葉苔屬、白鱗蘚屬及羽蘚屬的生物量相當低，且羽蘚屬為不連續分布，研究結果顯示羽蘚屬僅在樹基及冠層發現。

大萼蘚屬與網苔屬主要分布在冠層下方(10~16 m)，其中網苔屬的生物量相當低；燄苔屬、歧舌葉蘚屬、白髮苔屬、青毛苔屬、指葉蘚屬、絨蘚屬、蔓苔屬、粗石苔屬、蟲葉蘚屬、比賴苔屬及三瓣蘚屬主要在樹基處(0~4 m)被發現，其中絨蘚屬、蔓苔屬、粗石苔屬、蟲葉蘚屬、比賴苔屬與三瓣蘚屬的生物量相當低，且比賴苔屬與三瓣蘚屬為不連續分布，即此兩屬僅在樹基及冠層被發現。







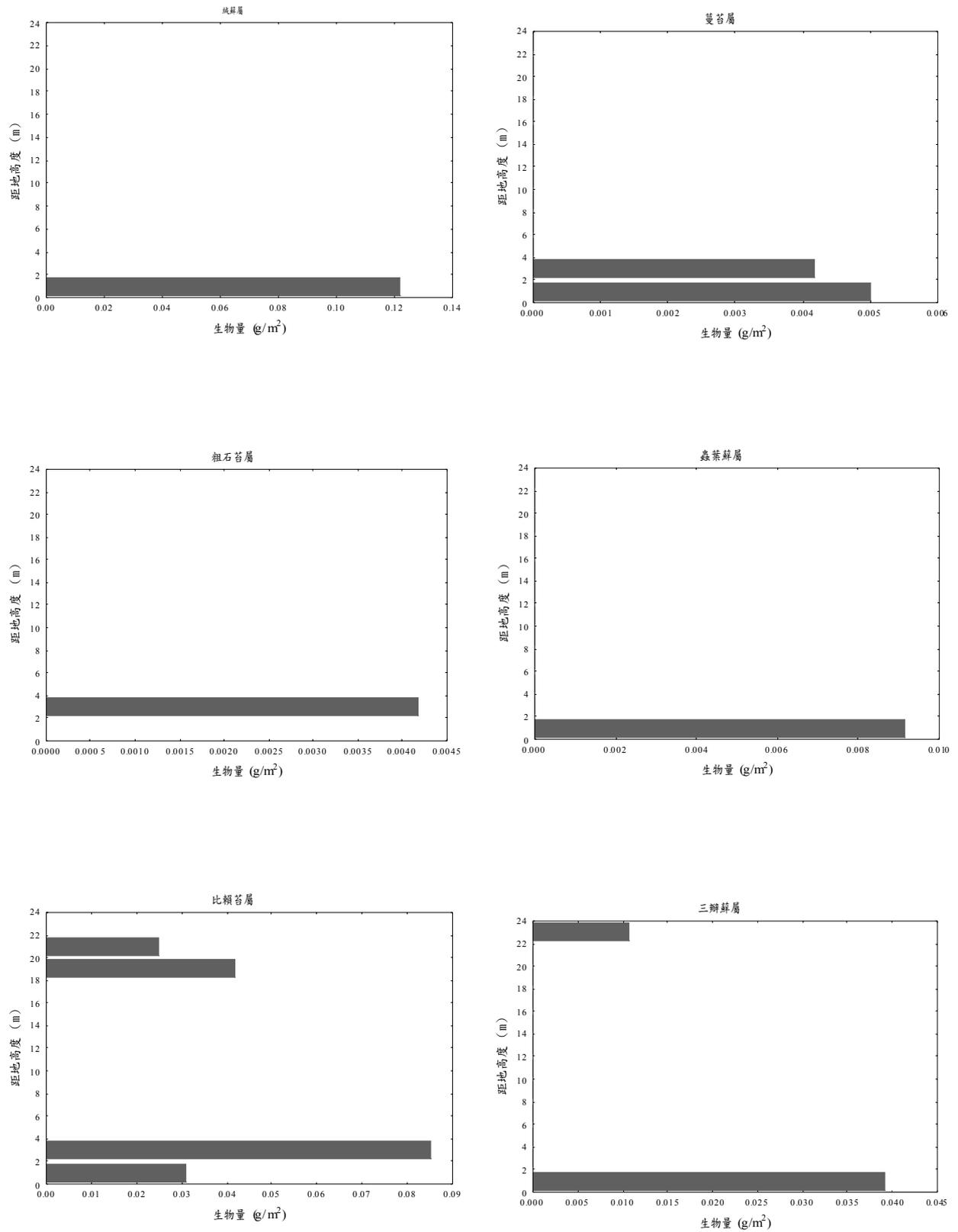


圖 29 成熟林主幹上不同屬的苔蘚垂直分布趨勢。

### 3.6 台灣扁柏成熟林枝條上苔蘚屬的組成

分別就成熟林主幹與枝條上苔蘚屬數來看，主幹的苔蘚屬數高於枝條，主幹部分共調查到 34 屬，枝條部分調查到 19 屬，其中包含蘚類 14 屬，苔類 5 屬。在 MT1 與 MT2 的枝條上以鞭蘚屬為優勢，其次為紫葉蘚屬。在 MT3 的枝條上則以紫葉蘚屬為優勢，其次為鞭蘚屬。

若再將枝條上依取樣 A 點(即距主幹 20 cm 處)與 B 點(距主幹 80 cm 處)來看，在 MT1 的取樣 A 點以鞭蘚屬為優勢，B 點以紫葉蘚屬為優勢。在 MT2 取樣 A 點以紫葉蘚屬為優勢，B 點以鞭蘚屬為優勢。在 MT3 的取樣 A 點及 B 點皆以紫葉蘚屬為優勢(表 9)。

表 9 成熟林三棵樣樹枝條上 A、B 取樣點優勢屬生物量。

	MT1	MT2	MT3
枝條上			
鞭蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	41.5	38.0	30.2
紫葉蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	23.3	23.3	101.4
其他苔蘚生物量(g/m <sup>2</sup> )	29.0	5.0	8.0
A 取樣點			
鞭蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	69.0	15.0	11.3
紫葉蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	13.2	18.6	43.8
其他苔蘚生物量(g/m <sup>2</sup> )	10.0	47.9	5.9
B 取樣點			
鞭蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	14.0	61.1	49.0
紫葉蘚屬生物量(g/m <sup>2</sup> )	33.5	28.0	159.0
其他苔蘚生物量(g/m <sup>2</sup> )	4.1	5.2	10.7

\*A 為枝條上距主幹 20 cm 處的取樣點，B 為枝條上距主幹 80 cm 處的取樣點。

## 4. 討論

### 4.1 苔蘚覆蓋度、生物量及其空間分布

#### 4.1.1 苔蘚覆蓋度、生物量

多數研究指出附生性苔蘚的覆蓋度或生物量有隨森林年齡增加或樣樹胸高直徑增加而增加的趨勢。

美國麻薩諸塞州(Massachusetts)西部的研究中發現老齡林主幹的苔蘚覆蓋度高於次生林(Cooper-Ellis 1998)。McCune(1993)的研究指出，附生性苔蘚的生物量隨森林年齡增加而增加。根據在巴拿馬的研究顯示附生性苔蘚的覆蓋度隨樣樹胸高直徑增加而增加(Zotz and Vollrath 2003)。Hazell *et al.* (1998)在瑞典的研究發現，苔蘚的覆蓋度與宿主植物的胸高直徑成顯著正相關。而台灣扁柏更新林的研究發現，附生性苔蘚生物量隨著樣樹胸高直徑增加而呈現增加(鄧振華 2006)。Tewari *et al.*(1985)的研究結果也指出，苔蘚的生物量隨樣樹胸徑增加而增加。而台灣扁柏成熟林主幹的苔蘚覆蓋度及生物量皆高於更新林，此結果與其他的研究結果相似。

推測成熟林附生性苔蘚的覆蓋度及生物量高於更新林的原因，可能與成熟林的發展時間較更新林長以及兩森林空間結構的差異有關。成熟林的發展時間較更新林長，使得苔蘚有更多的時間往上拓殖、生長。而成熟林空間結構較更新林複雜，使得成熟林的台灣扁柏為苔蘚提供更多樣的棲地環境。

McCune(1993)在美國奧瑞岡州與華盛頓州的研究中發現，枝條與主幹的苔蘚生物量比值隨森林年齡的增加而增加，即枝條上的苔蘚生物量隨森林年齡增加。而台灣扁柏成熟林枝條上苔蘚生物量高於主幹，更新林的研究則顯示枝條上苔蘚每單位面積乾重小於主幹(鄧振華 2006)，此差異顯示隨著森林年齡的增加，枝條上的苔蘚生物量也隨之增加，這與 McCune(1993)的論點相似。

主幹上附生性苔蘚生物量的量值隨不同研究地而有所不同。Wolf(1993)指出，位於哥倫比亞，海拔高度為 3670 m 的熱帶山地雨林中，樹基苔蘚生物量為 1600 g/m<sup>2</sup>(per tree)。哥斯大黎加對胸高直徑為 1.8~2.8 cm 的殼斗科植物(*Quercus copeyensis* Mull)附生性苔蘚的研究結果，顯示其主幹的苔蘚生物量為 13~68 g/m<sup>2</sup>(per tree) (Van Dunné and Kappelle 1998)。而在英國的研究中，其主幹上的生物量為 301±231 g/m<sup>2</sup>(per tree) (Riely *et al.* 1979)。而台灣扁柏成熟林主幹上苔蘚生物量 54.4 g/m<sup>2</sup>(per tree)，其結果較其他森林的研究低。

Sillett *et al.*(1995)在哥斯大黎加選取六棵胸高直徑範圍 150~250 cm 的榕屬植物 (*Ficus tuerckheimii*)為取樣樹，調查樣樹枝條上苔蘚的生物量，結果發現枝條上苔蘚生物量為 72.6~88.1 g/m<sup>2</sup>(per tree)。厄瓜多爾的研究結果則發現在高地森林枝條上苔蘚生物量為 280~710 g/m<sup>2</sup>(per tree)，在低地森林的枝條上苔蘚生物量則為 10~80 g/m<sup>2</sup>(per tree) (Freiberg and Freiberg 2000)。而台灣扁柏成熟林的結果顯示距主幹 80 cm 內枝條上平均苔蘚生物量為 93.4 g/m<sup>2</sup>(per tree)，其結果與哥斯大黎加及厄瓜多爾低地森林的研究結果相近。

#### 4.1.2 苔蘚覆蓋度與生物量的分布格局

多數附生性苔蘚的研究指出，靠近樹基處苔蘚覆蓋度高於樹基上方，在分布趨勢上，附生性苔蘚覆蓋度或生物量有隨高度上升而遞減，或是呈現波動的變化趨勢。

中國廣東省的研究指出，距地 20 cm 處的苔蘚覆蓋度高於 60 cm 處，而空氣濕度的垂直變化梯度可能為造成此現象的主因(Liu *et al.* 2008)。加拿大針葉林的研究發現，苔蘚覆蓋度隨高度上升而有遞減現象(Glime and Hong 2002)。McCune *et al.* (1997)在美國華盛頓州的研究結果顯示，附生性苔蘚覆蓋度隨高度上升而遞減。台灣扁柏更新林主幹上的苔蘚覆蓋度與生物量，亦隨高度上升而遞減(鄧振華 2006)。Pentecost(1998)在烏干達雲霧森林研究中則顯示，苔蘚覆蓋度隨高度增加而呈現波動變化趨勢。

台灣扁柏成熟林主幹上的苔蘚覆蓋度與生物量隨高度增加而呈現波動變化，其苔蘚覆蓋度的波動變化趨勢與烏干達的研究結果相似(Pentecost 1998)。而更新林主幹上苔蘚覆蓋度與生物量隨高度增加而遞減。兩森林苔蘚垂直分布趨勢的差異可能顯示隨森林年齡的增加，冠層也隨之成為附生性苔蘚的重要棲地。

然而，推測造成兩森林苔蘚覆蓋度與生物量垂直變化趨勢差異，可能與森林年齡及兩森林光度與濕度的垂直梯度變化程度有關。成熟林的年齡較老，因此成熟林的苔蘚有充足的時間朝冠層方向拓殖。加上兩森林的植被垂直結構差異可能造成成熟林冠層光度與濕度的變異大於更新林，因而提供比更新林多樣的棲地環境，使更多苔蘚物種得以在此生長，因而造成苔蘚覆蓋度與生物量隨高度變化而呈現明顯的波動變化。

附生性苔蘚覆蓋度在不同方位上是否有所差異可能與森林鬱閉程度、風向及陽光曝曬與否有關。加那利群島(Canary Islands)的研究發現主幹(0~3 m)苔蘚覆蓋度在不同方

位上不具明顯差異，作者推測可能是因森林較為鬱閉，使其光度與濕度在不同方位上變異不大所造成(González-Mancebo *et al.* 2004)。而台灣扁柏更新林主幹的苔蘚覆蓋度在不同方位上亦不具顯著差異，可能也與更新林的鬱閉情形有關(鄧振華 2006)。而根據在美國密西根州的研究指出，主幹的苔蘚覆蓋度在不同方位上有所差異，在樹基以主幹北面的苔蘚覆蓋為最高，推測可能與北面棲地濕度較高有關。中層以南面為最高，可能是南面受日照影響使苔蘚在冬季仍達可生長之溫度使其生長。在胸高處以東面為最高，風向可能為造成此現象之因素(Trynoski and Glime 1982)。

台灣扁柏成熟林主幹的苔蘚覆蓋度在不同方位上達顯著差異，以西北面覆蓋度最高，東南面的覆蓋度最低。雖然樣區白天吹東南風(谷風)，夜晚吹北風或西北風(谷風)，但雲霧通常伴隨著東南風籠罩(吳敏如 2003)。因此，推測因風向而增加東南面樹皮蒸發速率的效應不大，所以風向可能不是造成成熟林附生性苔蘚覆蓋度在不同方位上有所差異的因素。

Bates(1992)在蘇格蘭西部闊葉林的研究中指出，櫟樹(*Quercus*)與柞木(*Fraxinus*)主幹上的方位與直射光的輻射量顯著相關( $p < 0.01$ )。本研究發現在成熟林，台灣扁柏主幹東南面為陽光曝曬面，這可能使得該方位濕度較低，因而造成主幹東南面的苔蘚覆蓋度偏低的現象。

## 4.2 苔蘚覆蓋度與生物量的關係

MuCune(1990)在冷杉林利用苔蘚覆蓋度分級方式估算枝條上附生地衣與苔蘚的生物量與物種豐富度，結果發現覆蓋度與生物量具良好的相關性。台灣扁柏更新林的研究結果也顯示苔蘚乾重與覆蓋面積具顯著相關( $p < 0.0001$ )，苔蘚乾重與物種豐富度也呈顯著相關( $p < 0.002$ ) (鄧振華 2006)。本研究中發現主幹上苔蘚覆蓋度與生物量具顯著相關( $p < 0.05$ )，苔蘚覆蓋面積與乾重亦呈顯著相關( $p < 0.05$ )。

而由主幹與枝條上個別苔蘚覆蓋面積與乾重的關係式顯示在同樣的苔蘚覆蓋面積下，枝條上苔蘚乾重大於主幹上，可能與主幹及枝條上苔蘚物種的形態或生長方式有關，然而，欲證實此推論則有待進一步進行主幹與枝條上苔蘚物種形態、生長方式、覆蓋面積與乾重的研究。

### 4.3 苔蘚物種及其空間分布

成熟林主幹的苔蘚物種數與屬數皆高於更新林，然而，苔蘚屬歧異度指數卻較更新林低。推測成熟林苔蘚歧異度低於更新林的現象可能與苔蘚物種分布的平均程度有關，成熟林主幹的苔蘚屬分布較集中，不像更新林分布較平均，因此，可能造成成熟林附生性苔蘚屬歧異度指數低於更新林，但屬數卻高於更新林的現象。

#### 4.3.1 苔蘚物種數與組成

熱帶森林附生性苔蘚物種數隨研究區域不同而有所差異。與其他研究結果比較，台灣扁柏成熟林附生性苔蘚的物種數與巴西熱帶低地雨林的研究結果相近，但仍低於大多數的熱帶森林(表 10)。多數研究顯示，熱帶與副熱帶山地森林的附生性苔蘚物種中，蘚類的物種數高於苔類(Wolf 1993; Sillett *et al.* 1995; Costa 1999)。而 Peck *et al.* (1995)的研究結果也顯示，附生性蘚類物種數高於附生性苔類，作者認為是因該地的環境潮濕所造成。本研究發現台灣扁柏成熟林與更新林，皆是蘚類的物種數高於苔類，此結果與多數熱帶及副熱帶森林的研究結果相同。台灣扁柏成熟林與更新林氣候潮濕，可能因而造成附生性苔蘚物種中蘚類物種數高於苔類的現象。

在不同年齡森林中的附生性苔蘚研究結果顯示，多數年齡較老的森林與較年輕森林的附生性苔蘚物種數比值介於 1.1~1.7 之間。即在年齡較老的森林中，附生性苔蘚高於較年輕的森林(表 11)。本研究的結果顯示，成熟林附生性苔蘚的物種數高於更新林，約為更新林的 2 倍，此結果與多數研究結果相似。

雖然成熟林與更新林皆以鞭蘚屬為優勢，但兩座森林在其他附生性苔蘚物種組成上仍有差異，比較成熟林與更新林附生性苔蘚的物種組成，有 20 屬僅在成熟林出現，有 5 屬僅在更新林出現。Studlar(1982)從苔蘚演替的角度認為，隨樹齡的不同，苔蘚物種組成會有所差異，因為在苔蘚的演替過程，有些先驅物種會向上拓殖生長或消失，另外，還會有新加入的物種。

筆者推測，成熟林附生性苔蘚物種數高於更新林，而物種組成異於更新林的現象，可能與樣樹大小、樣樹上光度與濕度的梯度變化及苔蘚所能拓殖的時間長短有關。在樣樹大小方面，有研究結果顯示，附生性苔蘚物種數有隨樣樹胸高直徑增加而增加的趨勢(Kantvilas and Jarman 2004; 鄧振華 2006)。成熟林的台灣扁柏較更新林大，因此，比起更新林的台灣扁柏，成熟林的台灣扁柏可能可以攔截到較多的苔蘚孢子，使得成熟林的附生性苔蘚物種數高於更新林。

就光度與濕度梯度變化而言，Williams and Sillett(2007)指出，由曝曬處到遮蔭處所造成環境梯度變化為影響附生物種群落的重要因子。坦尚尼亞的研究結果顯示，苔蘚物種豐富度隨樣樹胸高直徑增加而增加，Kantvilas and Jarman(2004)推測可能是因為隨著樣樹樹齡的增長，增加了主幹上的光度、溫度與溼度梯度變化，因而增加主幹上棲地環境的多樣性，進而增加附生地衣與苔蘚的豐富度。在成熟林，台灣扁柏約高出闊葉樹層 16 m，平均闊葉樹層距扁柏冠層約 7 m，而更新林的台灣扁柏樹高與其闊葉樹層接近。因此，推測成熟林的扁柏從樹基到冠層頂的光度與溼度梯度變化可能大於更新林，使得成熟林的台灣扁柏為苔蘚提供更多樣的棲地環境，所以，附生性苔蘚物種數較高。

以苔蘚的拓殖來看，生長於樹基的苔蘚物種來源可能並非原本就附生在樣樹上的物種，而是由其他基質拓殖過來的(Rasmussen 1975; Trynoski and Glime 1982; Kuusinen 1996; González-Mancebo *et al.* 2004)。白髮苔屬、歧舌蘚屬、絨蘚屬及鞭蘚屬主要生長在地面(劉美娟 2004)。在成熟林，這些物種主要分布在樹基，因此，推測隨著時間的增加，地被苔蘚可能會往樹基拓殖成為附生性苔蘚，進而增加成熟林附生性苔蘚的物種數。

鄧振華(2006)的研究中也發現，真紫葉蘚及剪葉蘚屬有隨樣樹胸高直徑增加，而往樹冠上層增加的趨勢。美國奧瑞岡州(Oregon)與華盛頓州的研究亦發現隨著森林年齡增加，苔蘚有向冠層遷移的趨勢(McCune 1993)。Acebey *et al.* (2003)比較原始林與次生林苔蘚物種的垂直分布趨勢後推測，苔蘚物種垂直移動的原因與苔蘚生長棲地的溫度與濕度有關，隨著時間的變化，有些原本生長在次生林近樹基的苔蘚物種，在原始林需在冠層處才會被發現，推測可能是原始林冠層的微氣候狀況與次生林靠近樹基處相近所造成。而比較成熟林與更新林苔蘚物種的垂直分布格局後，發現鞭蘚屬、白髮苔屬、耳葉蘚屬、剪葉蘚屬、葉蘚屬、挺葉蘚屬及紫葉蘚屬在成熟林主幹的生長區域高於更新林，即這些物種隨樹齡增加而有向上生長的趨勢。

推測本研究有些苔蘚物種在成熟林主幹的生長區域高於更新林，或許是因為在成熟林的苔蘚演替時間比更新林長，隨著時間的增加，附生性苔蘚在成熟林有充足的時間向上拓殖。也可能是在成熟林主幹較高區域的微氣候狀況與物種在更新林主幹上生長區域可能是較相似的，而使得有些物種在成熟林的生長區域高於更新林。然而這些推測則有賴更進一步的研究後，方能證實。

表 10 森林類型與附生性苔蘚物種數。a: trunk 表樣樹主幹，b: canopy 表樣樹冠層，c: No. liverworts:表蘚類的物種數，d: No. mosses:表蘚類的物種數。

Forest type(elevation(m)), Location	Sampling section	No. liverworts <sup>c</sup>	No. mosses <sup>d</sup>	No. bryophytes	Reference
Mountane rainforest(1500 m), Colombia	trunk <sup>a</sup> +canopy <sup>b</sup>	36	22	58	Wolf (1993)
Mountane rainforest(2550 m), Colombia	trunk+canopy	102	33	135	Wolf (1993)
Mountane rainforest(3510 m), Colombia	trunk+canopy	63	19	82	Wolf (1993)
Lowland rainforest(1000-2000 m), Brazil	trunk+canopy	23	20	43	Costa (1999)
Upper montane forest(2900 m), Coata Rica	trunk+canopy	40	21	61	Holz and Gradstein (2005)
Evergreem walaba forest(--), Guyana	trunk+canopy	53	28	81	Cornelisson and Ter Steege (1989)
Mix rain forest(--), Guyana	trunk+canopy	60	28	88	Cornelisson and Ter Steege (1989)
Mountain forest, Ecuador	trunk+canopy	unknown	unknown	30	Noäskea <i>et al.</i> (2008)
Upper montane forest(2800-3700 m), Uganda	trunk	unknown	unknown	14	Pentecost (1998)
Flambeau forest(--), American	trunk	unknown	unknown	26	Hale 1952
Subtropical montane forest(1400-1800 m), Taiwan	trunk+canopy	34	15	49	This study

表 11 不同研究地年老與年輕森林附生性苔蘚物種數。a:附生性苔蘚取樣樣樹樹種。b:( )取樣區域，trunk 表樣樹主幹，canopy 表樣樹冠層。c: L 表蘚類物種數，M 表苔類物種數。d:為年齡較老森林中附生苔蘚物種數與年輕森林附生苔蘚物種數的比值。

Forest type, Location (elevation(m) , rainfall(mm) and temperature(°C))	Sampling trees <sup>a</sup>	Numbers of species of bryophytes			Reference
		Older forest	Younger forest	Older/Younger <sup>d</sup>	
Fir forest, Montana (--, 750mm, Jun.: -5°C July:17°C)	Different species of sampling trees (trunk+lower canopy) <sup>b</sup>	24 (L:21 M:3) <sup>c</sup>	17 (L:16 M: 1)	1.4	A
Lowland rainforest, Brazil (--, 1000~2000mm,annual average temperature: 22°C)	Different species of sampling trees (trunk+canopy)	43 (L:23 M:20)	5 (L:3 M: 2)	8.6	B
Massachusetts (300-600m, 1100mm, Jun.: -5°C July:22°C)	Different species of sampling trees (trunk:0-1.3m)	38	22	1.7	C
Submontane rain forest and fallows, Bolivia (--, 1300-2000mm, annual average temperature: 24-25°C )	Different species of sampling trees (trunk+canopy)	84 (L:53 M:31)	55 (L:42 M:13)	1.5	D
<i>Quercus copeyensis</i> forest, Spanish (1600m, 900m, annual average temperature: 8-9°C)	<i>Quercus pyrenaica</i> (trunk 0m-1.7m)	16 (L:1 M:15)	10 (L:0 M:10)	1.6	E
Upper montane oak forest, Coata Rica (2900m, 3000mm, daily average temperature 11°C)	<i>Quercus copeyensis</i> (trunk+canopy)	61 (L:40 M:21)	74 (L:50 M:24)	0.82	F
Aspen forest, Canada (--, 820mm, annual average temperature: 0.6°C)	<i>Populus tremuloides</i> (trunk: 0-1.5m)	40 (L:7 M:33)	27 (L:4 M:23)	1.5	G
Mountain forest, Ecuador (1800-2000m, 2200mm. mean annual temperature: 16°C )	Different species of sampling trees (trunk+canopy)	30	27	1.1	H
Mountain forest,Taiwan (1400-1800m, 3986mm, annual average temperature: 13.7°C)	Yellow Cypress (trunk+canopy)	49 (L:34 M:15)	25 (L:19 M:6)	2	I

A: Lesica *et al.* (1991) B: Costa(1999) C: Cooper-Ellis(1998) D: Acebey *et al.* (2003) E: Lara and Mazimpaka(1998) F: Holz and Gradstein(2005) G: Boundreault *et al.* (2000) H: Noäskea *et al.* (2008) I: This study

### 4.3.2 主幹上苔蘚物種的分布格局

附生性苔蘚物種多以樹基處較高。Hale(1952)在美國威斯康辛州的研究顯示苔蘚物種密度以樹基為最高。台灣扁柏更新林的研究結果顯示附生性苔蘚物種數主要集中在距地 1 m 以下(鄧振華 2006)。Cooper-Ellis(1998)的研究則顯示，主幹基部的苔蘚物種豐富度高於胸高處。而台灣扁柏成熟林與更新林的附生性苔蘚物種大多集中在靠近樹基處。在分布趨勢上，Hale(1952)的研究結果發現主幹上的物種數隨高度上升而呈現波動變化。本研究結果顯示，苔蘚屬數在更新林台灣扁柏主幹上隨距地高度增加而遞減。在成熟林，主幹的苔蘚屬數則隨主幹距地高度增加而呈現波動變化趨勢，此波動趨勢與Hale(1952)的研究結果類似。

有些研究指出，在不同高度上，苔蘚物種組成有所差異(Bate 1992; Peck *et.al.* 1995; Hale 1952)。台灣扁柏成熟林主幹的苔蘚組成亦有隨高度不同而有所差異。

光度與溼度的變化梯度可能是造成苔蘚物種在垂直分布格局有所差異的原因(Ellyson and Sillett 2003)。樹上的光度、濕度與溫度隨距地高度上升而有所差異。光度與濕度兩者呈反比關係，前者在冠層頂達最大值，後者則在樹基達最大值(Smith 1982)。Ter Steege and Cornelissen(1989)指出，主幹基部可能因有灌木層的遮蔽，因此光度最低，隨距地高度的增加，其光度亦隨之增加。到冠層下方，由於冠層的遮蔽，光度有下降的現象，進入冠層後，光度隨冠層高度上升而增加。McCune *et al.* (1997)在鐵杉林的研究結果顯示，隨著高度上升，光度也隨之增加，約在冠層中間光度會急速下降形成光度過渡帶(light transition zone)，過了過渡帶光度又隨高度增加而增加。而相對濕度則隨冠層高度的增加而降低(Madigosky 2004)。柳杉人工林也發現，光度與溫度在柳杉上隨高度(0~5 m)的增加而增加，濕度則隨之降低(林善雄 2005)。因此，耐陰性物種多出現在樹基，陽性物種則多出現在高於樹基處(Andersson 2005)。

然而，偏好不同棲地區域的物種，其生理特徵亦有所差異。生長於乾燥棲地的苔蘚物種，其滲透壓與耐旱力皆較生長於潮濕棲地物種高(Hosokawa and Kubota 1957)，冠層頂的苔蘚，其光補償點較樹基的苔蘚高(Hosokawa and Odani 1957; Romero *et al.* 2006)。

以台灣扁柏成熟林不同苔蘚屬的垂直分布趨勢來看，鞭蘚屬在每一高度區間皆可被發現，以樹基(距地 4 m 以下)為主要分布區域；挺葉蘚屬、角鱗蘚屬亦在每一高度區間皆可發現，主要分布於冠層(16~24 m)；葉蘚屬、廣萼蘚屬、紫葉蘚屬、耳葉蘚屬多在冠層(16~24 m)被發現；大萼蘚屬主要分布在冠層下方(10~16 m)；蝕苔屬、歧舌葉蘚屬、

白髮苔屬、青毛苔屬、指葉蘚屬主要在樹基處(0~4 m)被發現。

由上述可知，鞭蘚屬廣泛分布於本樣區台灣扁柏主幹上每一高度區間。因此，相較於其他苔蘚物種，鞭蘚屬的拓殖能力似乎優於其他物種。Sollows *et al.* (2001)指出，在加拿大鬱閉的混合林及針葉林，鞭蘚屬(*Bazzania trilobata*)為常見的地被苔蘚，植物體利用彼此交錯的方式使整個群體形成交織狀以減少水分的散失。本研究在棲蘭山樣區也發現鞭蘚屬的植物體彼此交錯重疊的現象，此現象也許能減少鞭蘚屬水分散失的機率，而使得鞭蘚屬分布廣泛。然而，是否有其他因素使得鞭蘚屬在本樣區為優勢屬，則仍須進一步的觀察與研究。

廣萼蘚屬在本研究中主要分布在冠層，Pentecost(1998)在烏干達森林的研究中發現廣萼蘚屬(*Chandonanthus hirtellus*)主要分布在樹幹下層與冠層。紫葉蘚屬在本研究中多在冠層與枝條上出現，根據 Thiers(1993)的論述，紫葉蘚屬在熱帶雨林中為枝條上主要的拓殖者，其囊狀葉的構造使其能儲存水分，以適應冠層空氣濕度的波動變化。

一般而言，耳葉蘚屬為先驅且較耐旱之物種(Quarterman 1949; Studlar 1982; Cornelissen and Ter Steege 1989; Peck *et al.* 1995)。Quarterman(1949)發現耳葉蘚屬(*Frullania eboracensis*)多出現在較年輕的紅杉木(red cedar)上或是在較老但樹皮剝落的紅杉木上。本研究中的耳葉蘚屬主要分布在主幹冠層下方。本研究發現，研究樣區的耳葉蘚屬植物體多呈現紅棕色至橄欖色，且多平貼於樹幹上或與紫葉蘚屬混生。因此，推測相較於其他物種，該物種本身可能對乾旱環境較為適應，且藉由平貼於樹幹的生長方式或與紫葉蘚屬混生的策略來減少植物體本身水分的散失。白髮苔屬在本研究中主要分布在主幹下層及上層。而在蓋亞那低地雨林，白髮苔屬(*Leucobryum martianum*)則主要分布在樹幹下層(Cornelissen and Ter Steege 1989)。

另外，台灣扁柏成熟林主幹上的羽蘚屬、比賴苔屬與三瓣蘚屬生物量相當低，且為不連續分布，即僅在樹基及冠層被發現。是否顯示冠層的環境與樹基的環境較類似，使其僅在冠層與樹基處生長?有待進一步的研究。

#### 4.4 成熟林與更新林主幹的苔蘚生物量迴歸式

台灣扁柏更新林附生性苔蘚的研究指出，附生性苔蘚乾重與台灣扁柏大小成指數關係(鄧振華 2006)，建立附生性苔蘚乾重與台灣扁柏胸高直徑的關係式後，配合樣區內台灣扁柏的調查資料，可估算更新林中附生性苔蘚的生物量。然而，利用更新林附生性苔蘚資料而建立主幹上苔蘚乾重與台灣扁柏胸徑大小的關係式應用在成熟林，則發現有高估主幹上苔蘚乾重與生物量的現象。

利用成熟林三棵樣樹主幹周徑與距地高度的關係式(附錄 3)，個別計算三棵樣樹不同高度區間的樹皮面積後，再將三棵樣樹不同高度區間的苔蘚生物量乘以其樹皮面積即可得不同高度區間的苔蘚乾重，個別將其加總後為總乾重的調查值。

另外，利用更新林十棵樣樹的胸高直徑、主幹上苔蘚總乾重與主幹上生物量所得關係式顯示樣樹胸高直徑分別與主幹的苔蘚總乾重及苔蘚生物量成指數關係( $r=0.9$ ,  $p<0.001$ ,  $n=10$ ;  $r=0.82$ ,  $p<0.004$ ,  $n=10$ )。將成熟林三棵樣樹代入此二指數迴歸式中，求得 MT1、MT2、MT3 主幹的苔蘚總乾重與平均生物量，再與實際調查估算的苔蘚總乾重與平均生物量進行比較，發現利用迴歸式所得的總乾重值為調查值的 30~100 倍，而平均生物量約為調查值的 8~18 倍(表 12)。

以關係式所得成熟林主幹的苔蘚總乾重與平均生物量的值遠大於實際調查值，可能是更新林的台灣扁柏所處的環境較鬱閉所致。因此，若要利用更新林資料所建立的關係式推算成熟林主幹上的苔蘚總乾重與生物量，可能還需要加以修正。

表 12 以更新林的迴歸式計算成熟林三樣樹主幹的苔蘚乾重、生物量結果與調查值的比

較。a: DBH 胸高直徑。b:此計算值以更新林台灣扁柏周徑與主幹上苔蘚乾重之關係式計算(乾重= $1.7368 \times \exp(0.1931 \times \text{DBH})$ )。c:此為本研究結果。d:此計算值以更新林台灣扁柏周徑與主幹上苔蘚平均生物量關係式計算(生物量= $2.8508 \times \exp(0.0959 \times \text{DBH})$ )。e:此為本研究結果。

樣樹 編號	DBH <sup>a</sup> (cm)	總乾重(g) (計算值) <sup>b</sup>	總乾重(g) (調查值) <sup>c</sup>	計算值/調查值	生物量(g/m <sup>2</sup> ) (計算值) <sup>d</sup>	生物量(g/m <sup>2</sup> ) (調查值) <sup>e</sup>	計算值/調查值
MT1	57.3	110932.2	1101.0	100.8	694.1	39.5	17.6
MT2	52.2	41434.3	1399.6	29.6	425.6	54.4	7.8
MT3	53.8	56433.8	1454.4	38.8	496.2	55.6	8.9

## 5. 結論與建議

台灣扁柏成熟林附生性苔蘚物種共有 21 科 34 屬 49 種，蘚類有 35 種，苔類有 14 種，更新林附生性苔蘚為 17 科 19 屬 24 種，其中包含蘚類 18 種，苔類 6 種。兩森林中皆以鞭蘚屬為優勢。鞭蘚屬、白髮苔屬、耳葉蘚屬、剪葉蘚屬、葉蘚屬、挺葉蘚屬及紫葉蘚屬在成熟林的生長區域高於更新林。台灣扁柏成熟林主幹上以鞭蘚屬為優勢，枝條上則以紫葉蘚屬為優勢，推測枝條可能為紫葉蘚屬的主要生長區域。

台灣扁柏成熟林主幹的苔蘚覆蓋度與生物量高於更新林。苔蘚覆蓋度與生物量的垂直分布顯示，兩森林皆以相對高度 20% 以下為較高。成熟林苔蘚覆蓋度與生物量隨高度上升而呈現波動趨勢，更新林則隨高度上升而遞減。在方位上，成熟林苔蘚覆蓋度與生物量皆以西北面為最高，東南面最低。

推測苔蘚物種數、覆蓋度及生物量在兩森林的差異可能與樣樹大小，樣樹上光度與濕度變化梯度趨勢及苔蘚拓殖時間長短有關。

本研究發現苔蘚物種對不同高度區域有所偏好，因此，若能進一步研究物種的生理特性與棲地環境因子的關係，以了解環境因子與苔蘚物種的分布的關係，應是有趣的研究方向。除此之外，本研究也發現枝條上苔蘚生物量高於主幹，但本研究僅取枝條距主幹 80 cm 內的苔蘚，因此無法完整估算整棵樣樹的附生性苔蘚生物量，亦無法更進一步了解完整枝條與主幹的苔蘚生物量比例關係。若能進一步對台灣扁柏冠層枝條上的苔蘚進行完整的研究，應能對台灣扁柏附生性苔蘚有更全面的了解。就筆者觀察，鴛鴦湖保留區台灣扁柏枝條上的苔蘚覆蓋度似乎有高於成熟林的現象，若能再對鴛鴦湖保留區的附生性苔蘚進行研究，並與成熟林與更新林進行比較，應能更完整的瞭解不同森林年齡中，苔蘚物種組成、分布與生物量的差異。

最後，本研究結果顯示，成熟林附生性苔蘚物種組成異於更新林，因此，在林業經營管理上，若能保留不同年齡的森林，相信將有助於保育附生性苔蘚物種。



## 6. 引用文獻

- 吳敏如。 2003。 以微氣候模式估算雲霧森林中台灣扁柏的雲霧沉降量。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 吳聲華。 1984。 台灣產蔓苔科之分類研究。東海大學生物學研究所碩士論文。
- 李燕紅。 1998。 苔蘚植物的生理生態。吳鵬程撰(編)。苔蘚植物生物學 131-147 頁。科學出版社。
- 林志偉。 2007。 鴛鴦湖地區台灣扁柏老齡林及更新林穿落水量之研究。國立東華大學自然資源研究所碩士論文。
- 林善雄。 1988。 苔蘚植物簡介。台灣省立博物館。
- 林善雄。 1990。 玉山國家公園苔蘚植物之調查(一)。玉山國家公園管理處。
- 林善雄。 1991。 玉山國家公園苔蘚植物之調查(二)。玉山國家公園管理處。
- 林善雄。 2000。 臺灣蘚類彩色圖鑑。行政院農業委員會。
- 林善雄。 2005。 人工林不同疏伐強度作業對苔蘚植物之影響。行政院農委會林務局。
- 姚奎宇。 2007。 臺灣產綠片蘚科的分類研究。東海大學生命科學系碩士論文。
- 陳政樑。 1991。 台灣鞭苔植物 *Bazzania tridens* 的化學成分研究。淡江大學化學系碩士論文。
- 陳耀德。 2003。 鴛鴦湖地區森林生態系大氣養分輸入之探討。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 彭令豐。 1988。 棲蘭山檜木更新造林之實施及現況。現代育林 3:20-23。
- 楊玉鳳。 2002。 臺灣羽蘚屬之分類研究。東海大學生物學系碩士論文。
- 楊啟祥、林善雄。 1992。 臺灣產鳳尾苔科之分類研究。玉山生物學報 9:23-87。
- 劉美娟。 2004。 鴛鴦湖森林生態系地表苔蘚植物對森林養分循環之影響。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 劉崇瑞、蘇鴻傑。 2004。 森林植物生態學。台灣商務印書館。
- 劉儒淵。 1991。 溪頭紅檜神木上之依附植物。臺大農學院研究報告 31:105-120。
- 潘瑞熾。 2006。 植物生理學。藝軒。
- 蔣鎮宇。 1989。 玉山苔蘚植物生活型之研究。國立台灣大學植物研究所碩士論文。
- 蔣鎮宇、牟善傑、許再文、陳建志。 2000。 臺灣苔類植物彩色圖鑑。行政院農業委員會。
- 鄧振華。 2006。 鴛鴦湖地區台灣扁柏天然下種更新林附生性苔蘚植物組成、分布及生物量之研究。國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
- 賴明洲。 1986。 墾丁國家公園苔蘚地衣類植物之調查研究。墾丁國家公園管理處。
- 賴明洲。 1990。 陽明山國家公園苔蘚地衣類植物之資源調查。陽明山國家公園管理處。
- 顏郁峻。 2000。 兩種苔類植物奇形羽苔及全緣廣萼苔成份研究。淡江大學化學研究所碩士論文。

- Alder, G.H. (1995) Habitat relations within lowland grassland rodent communities in Taiwan. *Journal of Zoology, London*, 237, 563-576.
- Acebey, A., R. S. Gradstein and T. Krömer. 2003. Species richness and habitat diversification of bryophytes in submontane rain forest and fallows of Bolivia. *Journal of Tropical Ecology* 19:9-18.
- Bates, J. W. 1992. Influence of chemical and physical factors on *Quercus* and *Fraxinus* epiphytes at Loch Sunart, western Scotland: a multivariate analysis. *Journal of Ecology* 80:163-179.
- Berg, A., U. Gädenfors, T. Hallingbäck and M. Norén. 2002. Habitat preferences of red-listed fungi and bryophytes in woodland key habitats in southern Sweden - analyse of data from a national survey. *Biodiversity and Conservation* 11:1479-1503.
- Boudreault, C., S. Gauthier and Y. Bergeron. 2000. Epiphytic lichens and bryophytes on *Populus tremuloides* along a chronosequence in southwestern boreal forest of Québec, Canada. *The Bryologist* 103:725-738.
- Chang, S. C., I. L. Lai and J. T. Wu. 2002. Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a subtropical montane forest ecosystem in northeastern Taiwan. *Atmospheric Research* 64:159-167.
- Cooper-Ellis, S. 1998. Bryophytes in old-growth forests of western Massachusetts. *Journal of the Torrey Botanical Society* 125:117-132.
- Cornelissen, J. H. C. and H. Ter Steege. 1989. Distribution and ecology of epiphytic bryophytes and lichens in dry evergreen forest of Guyana. *Journal of Tropical Ecology* 5:131-150.
- Costa, D. P. D. 1999. Epiphytic bryophyte diversity in primary and secondary lowland rainforest in southeastern Brazil. *The Bryologist* 102:320-326.
- Coxson, D. S. and N. M. Nadkarni. 1995. Ecological roles of epiphytes in nutrient cycles of forest ecosystems. Pages 495-535 in: M. D. Lowman and N. M. Nadkarni (eds.). *Forest canopies*. Academic Press, Inc., London.
- Cullberson, W. L. 1955. The corticolous communities of lichens and bryophytes in the upland forest of northern Wisconsin. *Ecological Monographs* 25:215-231.
- Curtis, J. T. and R. P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* 32:476-496.
- Ellyson, W. J. T. and S. C. Sillett. 2003. Epiphyte communities on Sitka spruce in an old-growth redwood forest. *The Bryologist* 106:197-211.
- Frahm, J. P. 1990. The effect of light and temperature on the growth of the bryophytes of tropical rain-forests. *Nova Hedwigia* 51:151-164.
- Frangi, J. L. and A. E. Lugo. 1992. Biomass and nutrient accumulation in ten year old bryophyte communities inside a flood plain in the Luquillo experimental forest, Puerto Rico. *Biotropica* 24:106-112.

- Freiberg, M. and E. Freiberg. 2000. Epiphyte diversity and biomass in the canopy of lowland and montane forests in Ecuador. *Journal of Tropical Ecology* 16:673-688.
- Gerson, U. 1982. Bryophytes and invertebrates. Pages 306-312 *in*: A. J. E. Smith (ed.) *Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall Ltd, London.
- Glime, J. M. and W. S. Hong. 2002. Bole epiphytes on three conifer species from Queen Charlotte Islands, Canada. *The Bryologist* 105:451-464.
- González-Mancebo, J. M., F. Romaguera, A. Losada-Lima and A. Suárez. 2004. Epiphytic bryophytes growing on *Laurus azorica* (Seub.) Franco in three laurel forest areas in Tenerife (Canary Islands). *Acta Oecologica* 25:159-167.
- Hale, J., M. E. 1952. Vertical distribution of cryptogams in a virgin forest in Wisconsin. *Ecology* 33:398-406.
- Hazell, P., O. Kellner, H. Rydin and L. Gustafsson. 1998. Presence and abundance of four epiphytic bryophytes in relation to density of aspen (*Populus tremula*) and other stand characteristics. *Forest Ecology and Management* 107:147-158.
- Hilmo, O. 2002. Growth and morphological response of old-forest lichens transplanted into a young and an old *Picea abies* forest. *Ecography* 25:329-335.
- Holz, I. and R. S. Gradstein. 2005. Cryptogamic epiphytes in primary and recovering upper montane oak forests of Costa Rica - Species richness, community composition and ecology. *Plant Ecology* 178:89-109.
- Hosokawa, T. and H. Kubota. 1957. On the osmotic pressure and resistance to desiccation of epiphytic mosses from a beech forest, south-west Japan. *The Journal of Ecology* 45:579-591.
- Hosokawa, T. and N. Odani. 1957. The daily compensation period and vertical ranges of epiphytes in a beech forest. *The Journal of Ecology* 45:901-915.
- Kantvilas, G. and S. J. Jarman. 2004. Lichens and bryophytes on *Eucalyptus obliqua* in Tasmania: Management implications in production forests. *Biological Conservation* 117:359-373.
- Kao, W. Y., Y. S. Chiu and W. H. Chen. 1990. Vertical Profiles of CO<sub>2</sub> Concentration and  $\delta^{13}\text{C}$  Values in a Subalpine Forest of Taiwan. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 41:213-218.
- Keddy, P. A. and C. G. Drummond. 1996. Ecological Properties for the evaluation, management, and restoration of temperate deciduous forest ecosystems. *Ecological Applications* 6:748-762.
- Kuusinen, M. 1996. Epiphyte flora and diversity on basal trunks of six old-growth forest tree species in southern and middle boreal Finland. *Lichenologist* 28:443-463.
- Lai, M. J. 1977. Bryoflora of Yuenyang Lake Natueal Reserve, Taiwan. *The Bryologist* 80:153-155.

- Lara, F. and V. Mazimpaka. 1998. Succession of epiphytic bryophytes in a *Quercus pyrenaica* forest from the Spanish Central Range (Iberian Peninsula). *Nova Hedwigia* 67:125-138.
- Larsen, R. S., J. N. B. Bell, P. W. James, P. J. Chimonides, F. J. Rumsey, A. Tremper and O. W. Purvis. 2007. Lichen and bryophyte distribution on oak in London in relation to air pollution and bark acidity. *Environmental Pollution* 146:332-340.
- León-Vargas, Y., S. Engwald and C. F. Proctor. 2006. Microclimate, light adaptation and desiccation tolerance of epiphytic bryophytes in two Venezuelan cloud forests. *Journal of Biogeography* 33:901-913.
- Lesica, P., B. McCune, S. V. Cooper and H. Won Shic. 1991. Differences in lichen and bryophyte communities between old-growth and managed second-growth forests in the Swan Valley, Montana. *Canadian Journal of Botany* 69:1745-1755.
- Levia Jr., D. F. and N. P. Wubben. 2006. Vertical variation of bark water storage capacity of *Pinus strobus* L. (Eastern White Pine) in southern Illinois. *Northeastern Naturalist* 13:131-137.
- Liu, W. Q., X. H. Dai, Y. F. Wang and C. Y. Lei. 2008. Analysis of environmental factors affecting the distribution of epiphytic bryophytes. *Acta Ecologica Sinica* 28:1080-1088.
- Loppi, S., I. Bonini and V. De dominis. 1999. Epiphytic lichens and bryophytes of forest ecosystem in Tuscany. *Cryptogamie Mycologie* 20:127-135.
- Lyons, B., N. M. Nadkarni and M. P. North. 2000. Spatial distribution and succession of epiphytes on *Tsuga heterophylla* (western hemlock) in an old-growth Douglas-fir forest. *Canadian Journal of Botany* 78:957-968.
- Madigosky, S. R. 2004. Tropical microclimate considerations. Pages 24-48 *in*: M. D. Lowman and H. B. Rinker (eds.). *Forest canopies* (2nd). Elsevier Inc., San Diego.
- Mägdefrau, K. 1982. Life-forms of Bryophytes. *in*: A. J. E. Smith (ed.) *Bryophyte Ecology*. Chapman and Hall, New York
- McCune, B. 1993. Gradients in epiphyte biomass in three Pseudotsuga-Tsuga forest of different ages in Western Oregon and Washington. *The Bryologist* 96:405-411.
- McCune, B., K. A. Amsberry, F. J. Camacho, S. Clery, C. Cole, C. Emerson, G. Felder, P. French, D. Greene, R. Harris, M. Hutten, B. Larson, M. Lesko, S. Majors, T. Markwell, K. Pendergrass, E. B. Peterson, E. T. Peterson, J. Platt, J. Proctor, T. Rambo, A. Rosso, R. Turner, M. Widmer, G. G. Parker and D. Shaw. 1997. Vertical profile of epiphytes in a Pacific northwest old-growth forest. *Northwest Science* 71:145-152.
- McCune, B., R. Rosentreter, J. M. Ponzetti and D. C. Shaw. 2000. Epiphyte habitats in an old conifer forest in western Washington, U.S.A. *Bryologist* 103:417-427.
- Moffett, W. M. and M. D. Lowman. 1995. Canopy access techniques. *in*: M. D. Lowman and N. M. Nadkarni (eds.). *Forest canopies*. Academic Press, Inc., San Diego.

- Mulder, C. P. H., D. D. Uliassi and D. F. Doak. 2001. Physical stress and diversity-productivity relationship: The role of positive interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98:6704-6708
- Nadkarni, N. M. 1984. Biomass and mineral capital of epiphytes in an *Acer macrophyllum* community of a temperate moist coniferous forest, Olympic Peninsula, Washington State. *Canadian Journal of Botany* 62.
- Noäskea, N. M., N. Hiltb, F. A. Werner, G. Brehmd, K. Fiedlere, H. J. M. Sipmana and S. R. Gradstein. 2008. Disturbance effects on diversity of epiphytes and moths in a montane forest in Ecuador. *Basic and Applied Ecology* 9:4-12.
- Peck, J. E., W. S. Hong and B. McCune. 1995. Diversity of epiphytic bryophytes on three host tree species, thermal meadow, Hotsprings Island, Queen Charlotte Island, Canada. *The Bryologist* 98:123-128.
- Pentecost, A. 1998. Some observations on the biomass and distribution of cyptogamic epiphytes in the upper montane forest of Rwenzori Mountains, Uganda. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7:273-284.
- Phard, E. J. and A. J. Beattie. 2002. The association between substrate variability and bryophyte and lichens diversity in eastern Australian forests. *The Bryologist* 105:11-26.
- Proctor, M. C. F. 1982. Physiological ecology: water relations, light and temperature response, carbon balance Pages 333-381 *in*: A. J. E. Smith (ed.) *Bryophyte ecology*. Chapman and Hall Ltd., London.
- Proctor, M. C. F. 1990. The physiological-basis of bryophyte production. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104:61-77.
- Pócs, T. 1982. Tropical forest bryophytes. Pages 59-104 *in*: A. J. E. Smith (ed.) *Bryophyte ecology*. Chapman and Hall Ltd., London.
- Quarterman, E. 1949. Ecology of cedar Glades III. Corticolous bryophytes. *Journal of the American Bryological Society* 52:153-165.
- Rasmussen, L. 1975. The bryophytic epiphyte vegetation in the forest, Slotved Skov, Northern Jutland. *Lindbergia* 3:15-38.
- Rhoades, F. M. 1995. Nonvascular epiphytes in forest canopies: worldwide distribution, abundance, and ecological roles. Pages 353-410 *in*: M. D. Lowman and N. M. Nadkarni (eds.) *Forest canopies*. Academic press, Inc., San Diego.
- Riely, J. O., P. W. Richards and A. D. Bebbington. 1979. The ecological role of bryophytes in a north Wales woodland. *Journal of Ecology* 67:497-527.
- Romero, C., P. Francis E and K. Kitajima. 2006. Ecophysiology in Relation to Exposure of Pendant Epiphytic Bryophytes in the Canopy of a Tropical Montane Oak Forest. *Biotropica* 38:35-41.
- Sarah, C. E. 1998. Bryophytes in old-growth forests of western Massachusetts. *Journal of the Torrey Botanical Society* 125:117-132.

- Schintu, M., A. Cogoni, L. Durante, C. Cantaluppi and A. Contu. 2005. Moss (*Bryum radiculosum*) as a bioindicator of trace metal deposition around an industrialised area in Sardinia (Italy). *Chemosphere* 60:610-618.
- Schmitt, C. K. and N. G. Slack. 1990. Host specificity of epiphytic lichens and bryophytes: a comparison of the Adirondack Mountains (New York) and the southern Blue Ridge Mountains (North Carolina). *The Bryologist* 93:257-274.
- Shaw, D. C. and K. Bible. 1996. An overview of forest canopy ecosystem function with reference to urban riparian systems. *Northwest Science* 70:1-5.
- Sillett, S. C. and M. E. Antoine. 2004. Lichens and bryophytes in forest canopies. Pages 151-174 *in*: M. D. Lowman and H. B. Rinker (eds.). *Forest canopies*. Elsevier Inc., San Diego.
- Sillett, S. C., R. Gradstein and D. Griffin. 1995. Bryophyte diversity of *Ficus* tree crowns from cloud forest and pasture in Costa Rica. *The Bryologist* 98:251-260.
- Sillett, S. C. and T. R. Rambo. 2000. Vertical distribution of dominant epiphytes in Douglas-fir forests of the central Oregon Cascades. *Northwest Science* 74:44-49.
- Smith, A. J. E. 1982. Epiphytes and epiliths. Pages 123-166 *in*: A. J. E. Smith (ed.) *Bryophyte ecology*. Chapman and Hall Ltd, London.
- Sollows, M. C., K. A. Frego and C. Norfolk. 2001. Recovery of *Bazzania trilobata* following desiccation. *The Bryologist* 104:421-429.
- Steele, A. 1978. Bryophyte communities of Central Idaho Forests. *Northwest Science* 52:310-322.
- Studlar, S. M. 1982. Succession of epiphytic bryophytes near Mountain Lake, Virginia. *The Bryologist* 85:51-63.
- Ter Steege, H. and J. H. C. Cornelissen. 1989. Distribution and ecology of epiphytic bryophytes and lichens in dry evergreen forest of Guyana. *Journal of Tropical Ecology* 5:131-150.
- Tewari, M., N. Upreti, P. Pandey and S. P. Singh. 1985. Epiphytic succession on tree trunks in a mixed oak-cedur forest, Kumaun Himalaya. *Vegetatio* 63:105-112.
- Thiers, B. M. 1993. A monograph of *Pleurozia* (Hepaticae; Pleuroziaceae). *The Bryologist* 96:517-554.
- Trynoski, S. E. and J. M. Glime. 1982. Direction and height of bryophytes on four species of northern trees. *The Bryologist* 85:pp.281-300.
- Van Dunné, H. J. F. and M. Kappelle. 1998. Biomass-diversity relations of epiphytic bryophytes on small *Quercus copeyensis* stems in a Costa Rican montane cloud forest. *Revista De Biología Tropical* 46:217-223.
- Voegtlin, D. 1982. Invertebrates of the H.J. Andrews Experimental Forest: a survey of arthropods associated with the canopy of old growth *Pseudotsuga menziesii* . . . School of Forestry 4.

- Williams, C. B. and S. C. Sillett. 2007. Epiphyte communities on redwood (*Sequoia sempervirens*) in northwestern California. *The Bryologist* 420-452.
- Wolf, J. H. D. 1993. Diversity Patterns and Biomass of Epiphytic Bryophytes and Lichens Along an Altitudinal Gradient in the Northern Andes. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 80:928-960.
- Wright, S. J. 1995. The canopy Crane. Page 14 *in*: M. D. Lowman and N. M. Nadkarni (eds.). *Forest canopies*. Academic Press, Inc., San Diego.
- Yang, C. M., J. C. Hsu and J. F. Shih. 1994. Response of Chlorophyll a/b Ratios in Yuan-Yang Lake Bryophytes to the Alteration of Light Intensity. *Proceedings of the National Science Council* 18:134-137.
- Zotz, G. and B. Vollrath. 2003. The epiphyte vegetation of the palm *Socratea exorrhiza* - Correlations with tree size, tree age and bryophyte cover. *Journal of Tropical Ecology* 19:81-90.

附錄 1 成熟林調查樹種的株數、平均高度與總胸高斷面積。

樹種(依總胸高斷面積排序)	株數	平均高度(m)	總胸高斷面積(cm <sup>2</sup> )
台灣扁柏	35	24.1	71393.5
台灣鐵杉	3	24.0	7091.5
台灣樹蓼	130	3.9	1300.2
白花八角	109	3.8	760.0
紅淡比	47	3.8	330.2
高山新木薑子	30	4.5	288.8
玉山灰木	31	3.8	241.8
台灣鵝掌柴	20	5.0	232.9
阿里山灰木	12	4.5	154.8
薯豆	8	5.0	124.0
假柃木	23	2.8	118.7
假繡球	21	2.8	108.0
香桂	1	6.2	71.7
深山野牡丹	20	2.5	70.2
圓葉冬青	7	3.6	43.1
香葉樹	2	4.9	37.0
厚葉柃木	6	3.3	32.2
米飯花	4	3.3	27.5
台灣杜鵑	3	3.6	27.3
白花瑞香	6	2.8	23.1
虎皮楠	4	3.0	21.9
薄葉柃木	7	2.9	21.9
深紅茵芋	5	2.6	19.4
大葉越橘	2	4.1	14.7
霧社木薑子	5	2.5	14.2
紅楠	4	2.6	10.9
早田氏冬青	3	2.6	10.1
細枝柃木	1	4.8	10.0
厚皮香	3	3.3	9.3
紅檜	3	2.1	8.4
福建賽衛矛	2	3.4	7.0
玉山杜鵑	2	1.6	5.8
棲蘭山杜鵑	1	3.9	3.9
異葉木犀	1	2.4	2.4

附錄 2 成熟林調查樹種的相對優勢度、相對密度及重要值指數。

樹種(依重要值排序)	相對優勢度(RA, %)	相對密度(RD, %)	重要值指數(IVI)
台灣扁柏	86.4	6.2	92.6
台灣樹蓼	1.6	23.2	24.7
白花八角	0.9	19.4	20.3
台灣鐵杉	8.6	0.5	9.1
紅淡比	0.4	8.4	8.8
玉山灰木	0.3	5.5	5.8
高山新木薑子	0.3	5.3	5.7
假柃木	0.1	4.1	4.2
假繡球	0.1	3.7	3.9
台灣鵝掌柴	0.3	3.6	3.8
深山野牡丹	0.1	3.6	3.6
阿里山灰木	0.2	2.1	2.3
薯豆	0.2	1.4	1.6
圓葉冬青	0.1	1.2	1.3
薄葉柃木	0.0	1.2	1.3
厚葉柃木	0.0	1.1	1.1
白花瑞香	0.0	1.1	1.1
深紅茵芋	0.0	0.9	0.9
霧社木薑子	0.0	0.9	0.9
米飯花	0.0	0.7	0.7
虎皮楠	0.0	0.7	0.7
紅楠	0.0	0.7	0.7
台灣杜鵑	0.0	0.5	0.6
早田氏冬青	0.0	0.5	0.5
厚皮香	0.0	0.5	0.5
紅檜	0.0	0.5	0.5
香葉樹	0.0	0.4	0.4
大葉越橘	0.0	0.4	0.4
福建賽衛矛	0.0	0.4	0.4
玉山杜鵑	0.0	0.4	0.4
香桂	0.1	0.2	0.3
細枝柃木	0.0	0.2	0.2
棲蘭山杜鵑	0.0	0.2	0.2
異葉木犀	0.0	0.2	0.2

附錄 3 成熟林三棵樣樹周徑與距地高度關係式與資料。

MT1 周徑=188.995-5.5624×(距地高度) (n=11, r<sup>2</sup>=0.94, p<0.001)

MT2 周徑=178.46-5.6076×(距地高度) (n=10, r<sup>2</sup>=0.96, p<0.001)

MT3 周徑=178.4-5.1816×(距地高度) (n=12, r<sup>2</sup>=0.97, p<0.001)

樣樹編碼: MT1		樣樹編碼: MT2		樣樹編碼: MT3	
距地高度 (m)	周徑 (cm)	距地高度 (m)	周徑 (cm)	距地高度 (m)	周徑 (cm)
1.3	180.0	1.3	164.0	1.3	169.0
4.4	155.0	5.0	147.2	2.8	157.0
6.5	150.0	6.7	137.0	4.8	147.0
8.8	140.0	8.6	130.0	6.8	142.0
10.7	130.0	10.4	124.0	9.0	138.0
12.6	122.0	13.0	116.0	11.0	125.0
13.8	122.0	13.5	112.0	13.0	122.0
17.2	106.0	18.3	85.0	15.0	108.0
19.0	88.0	21.7	47.5	17.0	98.0
20.3	83.0	24.0	35.0	18.5	84.0
24.0	32.0			20.5	69.0
				22.5	45.0

附錄 4 更新林三棵樣樹附生性苔蘚名錄 (取自鄧振華 2006)。

類型	拉丁科名	中文科名	拉丁屬名	中文屬名	拉丁學名	中文學名
蘚類	Cephaloziaceae	大萼蘚科	<i>Cephalozia</i>	大萼蘚屬	<i>Cephalozia Jamsoniella</i> <i>Cephalozia</i> sp.1 <i>Cephalozia</i> sp.2	
	Geocalyceae	地萼蘚科	<i>Heteroscyphus</i>	異萼蘚屬	<i>Heteroscyphus coalitus</i>	雙齒異萼蘚
	Herbertaceae	剪葉蘚科	<i>Herbertus</i>	剪葉蘚屬	<i>Herbertus</i> sp.	
	Jubulaceae	毛耳葉蘚科	<i>Frullania</i>	耳葉蘚屬	<i>Frullania</i> sp.	
	Jungermanniaceae	葉蘚科	<i>Anastrophyllum</i>	挺葉蘚屬	<i>Anastrophyllum</i> sp.	
			<i>Jungermannia</i>	葉蘚屬	<i>Jungermannia</i> sp.	
	Lejeuneaceae	細鱗蘚科	<i>Lejeunea</i>	細鱗蘚屬	<i>Lejeunea</i> sp.	
	Lepidoziaceae	指葉蘚科	<i>Bazzania</i>	鞭蘚屬	<i>Bazzania</i> sp.1 <i>Bazzania</i> sp.2	
			<i>Lepidozia</i>	指葉蘚屬	<i>Lepidozia</i> sp.	
			<i>Metzgeria</i>	叉蘚屬	<i>Metzgeria</i> sp.	
	Plagiochilaceae	羽蘚科	<i>Plagiochila</i>	羽蘚屬	<i>Plagiochila</i> sp.1 <i>Plagiochila</i> sp.2 <i>Plagiochila</i> sp.3 <i>Eopleurozia</i> <i>giganteoides</i>	
			<i>Pleurozia</i>	紫葉蘚屬		真紫葉蘚
			<i>Radula</i>	扁萼蘚屬	<i>Radula cavifolia</i>	大瓣扁萼蘚
	苔類	Dicranaceae	曲尾苔科	<i>Dicranoloma</i>	錦葉苔屬	<i>Dicranoloma</i> sp.
Hypnaceae		灰苔科	<i>Taxiphyllum</i>	鱗葉苔屬	<i>Taxiphyllum</i> sp.	
Leucobryaceae		白髮苔科	<i>Leucobryum</i>	白髮苔屬	<i>Leucobryum</i> sp.	
Meteoriaceae		蔓苔科	<i>Aerobryidium</i>	毛扭苔屬	<i>Aerobryidium levieri</i>	萊氏毛扭苔
Rhizogoniaceae		檜苔科	<i>Pyrrhobrum</i>	燄苔屬	<i>Pyrrhobrum</i> sp.	
Sphagnaceae		泥炭苔科	<i>Sphagnum</i>	泥炭苔屬	<i>Sphagnum</i> sp.	
總計 17 科 19 屬 24 種						

附錄 5 成熟林主幹上苔蘚覆蓋度、覆蓋面積與乾重。

取樣部位: 主幹		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 2.68				
樣樹編號: MT1		總取樣之苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> ): 1.0974				
取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)	
0-2	NE	65.0	0.1	0.0650	6.400	
	NW	87.0	0.1	0.0870	7.549	
	SE	0.0	0.1	0.0000	0.047	
	SW	60.0	0.1	0.0600	9.139	
2-4	NE	48.0	0.1	0.0480	4.625	
	NW	100.0	0.1	0.1000	14.413	
	SE	0.0	0.1	0.0000	0.003	
	SW	90.0	0.1	0.0900	9.995	
4-6	NE	7.0	0.05	0.0035	0.070	
	NW	63.8	0.05	0.0319	3.302	
	SE	0.0	0.05	0.0000	0.000	
	SW	2.0	0.05	0.0010	0.056	
6-8	NE	31.5	0.05	0.0158	4.085	
	NW	65.0	0.05	0.0325	0.798	
	SE	0.0	0.05	0.0000	0.000	
	SW	10.0	0.05	0.0050	0.381	
8-10	NE	18.0	0.05	0.0090	1.302	
	NW	75.0	0.05	0.0375	1.110	
	SE	10.0	0.05	0.0050	0.000	
	SW	5.3	0.05	0.0026	0.377	
10-12	NE	31.5	0.05	0.0158	1.005	
	NW	45.0	0.05	0.0225	2.156	
	SE	3.0	0.05	0.0015	0.139	
	SW	49.5	0.05	0.0248	4.654	
12-14	NE	76.5	0.05	0.0383	5.908	
	NW	81.0	0.05	0.0405	2.937	
	SE	3.0	0.05	0.0015	0.368	
	SW	35.0	0.05	0.0175	2.491	
14-16	NE	48.0	0.05	0.0240	2.232	
	NW	67.5	0.05	0.0338	1.415	
	SE	5.0	0.05	0.0025	0.094	
	SW	63.8	0.05	0.0319	2.292	

取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
16-18	NE	40.0	0.05	0.0200	1.582
	NW	82.5	0.05	0.0412	1.674
	SE	19.0	0.05	0.0095	0.622
	SW	53.4	0.05	0.0267	0.876
18-20	NE	25.0	0.05	0.0125	0.364
	NW	15.0	0.05	0.0075	0.175
	SE	12.0	0.05	0.0060	0.303
	SW	25.0	0.05	0.0125	0.867
20-22	NE	66.5	0.05	0.0333	2.778
	NW	52.0	0.05	0.0260	4.029
	SE	20.0	0.05	0.0100	0.476
	SW	60.0	0.05	0.0300	1.903
22-24	NE	20.0	0.02	0.0040	0.249
	NW	15.0	0.02	0.0030	0.085
	SE	25.0	0.02	0.0050	0.207
	SW	10.0	0.02	0.0020	0.308

取樣部位: 主幹		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 2.70			
樣樹編號: MT2		總取樣之苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> ): 0.9181			
取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
0-2	NE	74.0	0.1	0.0740	11.626
	NW	58.0	0.1	0.0580	27.002
	SE	38.0	0.1	0.0380	8.8410
	SW	100.0	0.1	0.1000	18.480
2-4	NE	35.0	0.1	0.0350	0.953
	NW	95.0	0.1	0.0950	10.304
	SE	0.0	0.1	0.0000	0.019
	SW	40.0	0.1	0.0400	5.589
4-6	NE	63.0	0.05	0.0315	4.666
	NW	60.0	0.05	0.0300	7.317
	SE	7.0	0.05	0.0035	0.288
	SW	6.0	0.05	0.0030	0.950
6-8	NE	16.0	0.05	0.0080	1.187
	NW	37.5	0.05	0.0188	1.543
	SE	7.5	0.05	0.0038	0.818
	SW	3.0	0.05	0.0015	0.08
8-10	NE	20.0	0.05	0.0100	2.122
	NW	12.0	0.05	0.0060	0.830
	SE	8.0	0.05	0.0040	0.926
	SW	2.0	0.05	0.0010	0.139
10-12	NE	52.0	0.05	0.0260	2.766
	NW	51.0	0.05	0.0255	2.463
	SE	2.5	0.05	0.0013	0.631
	SW	14.0	0.05	0.0070	0.91
12-14	NE	16.5	0.05	0.0083	1.742
	NW	42.5	0.05	0.0213	2.717
	SE	0.0	0.05	0.0000	0.023
	SW	31.5	0.05	0.0158	0.788
14-16	NE	55.3	0.05	0.0276	3.457
	NW	35.0	0.05	0.0175	1.244
	SE	49.0	0.05	0.0245	4.721
	SW	45.5	0.05	0.0228	2.175

取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
16-18	NE	10.0	0.05	0.0050	1.389
	NW	5.0	0.05	0.0025	0.153
	SE	14.3	0.05	0.0071	0.946
	SW	55.0	0.05	0.0275	2.736
18-20	NE	54.0	0.05	0.0270	4.567
	NW	45.0	0.05	0.0225	2.758
	SE	51.0	0.05	0.0255	3.269
	SW	7.0	0.05	0.0035	1.177
20-22	NE	32.0	0.05	0.0160	1.152
	NW	16.0	0.05	0.0080	0.421
	SE	5.0	0.05	0.0025	0.342
	SW	15.0	0.05	0.0075	0.672
22-24	NE	2.0	0.025	0.0005	0.000
	NW	10.0	0.025	0.0025	0.045
	SE	2.0	0.025	0.0005	0.000
	SW	5.0	0.025	0.0013	0.052

取樣部位: 主幹		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 2.70			
樣樹編號: MT3		總取樣之苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> ): 1.0099			
取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
0-2	NE	45.0	0.1	0.0450	2.590
	NW	60.0	0.1	0.0600	12.128
	SE	67.5	0.1	0.0675	8.672
	SW	55.0	0.1	0.0550	9.587
2-4	NE	45.0	0.1	0.0450	5.412
	NW	89.0	0.1	0.0890	22.541
	SE	23.0	0.1	0.0230	1.260
	SW	95.0	0.1	0.0950	14.384
4-6	NE	5.0	0.05	0.0025	0.245
	NW	63.0	0.05	0.0315	2.842
	SE	3.0	0.05	0.0015	0.034
	SW	18.0	0.05	0.0090	1.889
6-8	NE	5.0	0.05	0.0025	0.079
	NW	67.5	0.05	0.0338	5.796
	SE	3.0	0.05	0.0015	0.085
	SW	5.0	0.05	0.0025	0.328
8-10	NE	55.3	0.05	0.0276	2.838
	NW	36.0	0.05	0.0180	4.589
	SE	2.5	0.05	0.0013	0.317
	SW	21.3	0.05	0.0106	2.11
10-12	NE	17.0	0.05	0.0085	2.565
	NW	76.5	0.05	0.0383	5.506
	SE	9.0	0.05	0.0045	0.504
	SW	29.8	0.05	0.0149	3.196
12-14	NE	9.1	0.05	0.0046	0.827
	NW	68.0	0.05	0.0340	4.828
	SE	10.0	0.05	0.0050	0.761
	SW	19.0	0.05	0.0095	2.318
14-16	NE	30.0	0.05	0.0150	1.175
	NW	51.0	0.05	0.0255	3.584
	SE	15.0	0.05	0.0075	0.456
	SW	17.0	0.05	0.0085	0.871

取樣高度區間(m)	方位	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
16-18	NE	45.5	0.05	0.0228	2.243
	NW	76.0	0.05	0.0380	2.278
	SE	5.0	0.05	0.0025	0.075
	SW	10.5	0.05	0.0053	1.109
18-20	NE	35.0	0.05	0.0175	3.089
	NW	23.8	0.05	0.0119	1.523
	SE	18.0	0.05	0.0090	1.892
	SW	58.0	0.05	0.0290	1.490
20-22	NE	45.0	0.05	0.0225	4.149
	NW	35.0	0.05	0.0175	1.694
	SE	20.0	0.05	0.0100	0.949
	SW	30.0	0.05	0.0150	1.685
22-24	NE	5.0	0.025	0.0013	0.478
	NW	10.0	0.025	0.0025	0.456
	SE	10.0	0.025	0.0025	0.760
	SW	20.0	0.025	0.0050	1.857

附錄 6 成熟林枝條上苔蘚苔蘚覆蓋度、覆蓋面積與乾重。

樣樹編號: MT1		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 0.18			
取樣部位: 枝條		總取樣之苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> ): 0.0698			
枝條編碼	取樣點	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
B3	A	100	0.01	0.0100	1.381
B3	B	10	0.01	0.0010	0.191
B7	B	3	0.01	0.0003	
B12	A	60	0.01	0.0060	1.654
B12	B	36	0.01	0.0036	0.879
B17	A	85	0.01	0.0085	2.298
B17	B	79	0.01	0.0079	2.690
B22	A	36	0.01	0.0036	0.628
B22	B	100	0.01	0.0100	3.069
B24	B	30	0.01	0.0030	0.254
B25	A	0	0.01	0.0000	0.000
B31	B	20	0.01	0.0020	0.199
B33	A	75	0.01	0.0075	0.926
B33	B	10	0.01	0.0010	0.133
B35	A	13	0.01	0.0013	0.304
B35	B	20	0.01	0.0020	0.214
B37	A	20	0.01	0.0020	0.131
B40	A	1	0.01	0.0001	

樣樹編號: MT2		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 0.15			
取樣部位: 枝條		總取樣之苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> ): 0.0569			
枝條編碼	取樣點	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
B1	B	100	0.01	0.0100	
B6	A	100	0.01	0.0100	1.736
B6	B	100	0.01	0.0100	3.365
B10	A	95	0.01	0.0095	0.956
B10	B	100	0.01	0.0100	2.839
B20	A	0	0.01	0.0000	0.000
B20	B	40	0.01	0.0040	0.118
B25	A	10	0.01	0.0010	0.043
B25	B	10	0.01	0.0010	0.045
B30	A	4	0.01	0.0004	0.022
B30	B	10	0.01	0.0010	0.154
B36	A	0	0.01	0.0000	0.000
B36	B	0	0.01	0.0000	0.000
B41	A	0	0.01	0.0000	0.000
B41	B	0	0.01	0.0000	0.000

樣樹編號: MT3

總取樣面積(m<sup>2</sup>): 0.24

取樣部位: 枝條

總取樣之苔蘚覆蓋面積(m<sup>2</sup>): 0.0801

枝條編碼	取樣點	苔蘚覆蓋度(%)	取樣面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚覆蓋面積(m <sup>2</sup> )	苔蘚乾重(g)
B1	A	15	0.01	0.0015	0.281
B1	B	95	0.01	0.0095	5.300
B4	A	97	0.01	0.0097	5.294
B4	B	95	0.01	0.0095	4.750
B5	A	0	0.01	0.0000	0.000
B5	B	100	0.01	0.0100	4.299
B8	A	0	0.01	0.0000	0.000
B8	B	70	0.01	0.0070	3.919
B11	A	20	0.01	0.0020	0.428
B11	B	85	0.01	0.0085	4.552
B18	A	5	0.01	0.0005	1.223
B18	B	60	0.01	0.0060	0.552
B20	A	0	0.01	0.0000	0.000
B20	B	15	0.01	0.0015	0.187
B25	A	3	0.01	0.0003	0.048
B25	B	50	0.01	0.0050	1.419
B28	A	0	0.01	0.0000	0.000
B28	B	30	0.01	0.0030	0.358
B32	A	0	0.01	0.0000	0.000
B32	B	0	0.01	0.0000	0.000
B36	A	0	0.01	0.0000	0.000
B36	B	60	0.01	0.0060	0.872
B40	A	1	0.01	0.0001	0.004
B40	B	0	0.01	0.0000	0.000

附錄 7 成熟林附生性苔蘚屬名代號表。

代號	拉丁屬名	中文屬名
1	<i>Acroporium</i>	頂苞苔屬
2	<i>Aerobryidium</i>	毛扭苔屬
3	<i>Anastrophyllum</i>	挺葉蘚屬
4	<i>Bazzania</i>	鞭蘚屬
5	<i>Blepharostoma</i>	睫毛蘚屬
6	<i>Cephalozia</i>	大萼蘚屬
7	<i>Chandonanthus</i>	廣萼蘚屬
8	<i>Clastobryella</i>	細疣胞苔屬
9	<i>Dicranodontium</i>	青毛苔屬
10	<i>Dicranoloma</i>	錦葉苔屬
11	<i>Dicranum</i>	曲尾苔屬
12	<i>Drepanolejeunea</i>	角鱗蘚屬
13	<i>Frullania</i>	耳葉蘚屬
14	<i>Herbertus</i>	剪葉蘚屬
15	<i>Jungermannia</i>	葉蘚屬
16	<i>Kurzia</i>	細指蘚屬
17	<i>Lepidozia</i>	指葉蘚屬
18	<i>Leucobryum</i>	白髮苔屬
19	<i>Leucolejeunea</i>	白鱗蘚屬
20	<i>Metacalypogia</i>	假護蒴蘚屬
21	<i>Meteoriella</i>	蔓苔屬
22	<i>Pellia</i>	溪蘚屬
23	<i>Plagiochila</i>	羽蘚屬
24	<i>Pleurozia</i>	紫葉蘚屬
25	<i>Pylaisiadelphina</i>	比賴苔屬
26	<i>Pyrrhobryum</i>	燄苔屬
27	<i>Rhabdoweisia</i>	粗石苔屬
28	<i>Scapania</i>	合葉蘚屬
29	<i>Schistochila</i>	歧舌蘚屬
30	<i>Syrrhopodon</i>	網苔屬
31	<i>Taxiphyllum</i>	鱗葉苔屬
32	<i>Trichocolea</i>	絨蘚屬
33	<i>Tritomaria</i>	三瓣蘚屬
34	<i>Zoopis</i>	蟲葉蘚屬

附錄 8 成熟林主幹上不同屬的苔蘚乾重。(苔蘚屬名代號、拉丁屬名及中文屬名對照請參見附錄 7)

樣樹編碼: MT1		總取樣面積(m <sup>2</sup> ): 2.68																						
取樣部位: 主幹		總取樣苔蘚乾重(g): 105.841																						
		Genus																						
高度區間	方位	3	4	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33
0-2	NE	0.014	5.983		*						0.071	*					*	0.332						
	NW		7.105						0.048	*	0.038	*			0.079	*	*	0.248			0.005			0.026
	SE		0.042								0.005							*						
	SW	0.005	9.123						0.009		*						*	0.002		*		*		
2-4	NE	*	4.344		*		0.031		*		0.102	0.148					*							
	NW	0.02	14.375					*	*		*			*		0.018	*							
	SE	*	0.003																					
	SW	0.025	9.868						*								0.102							
4-6	NE	*	*				0.06	0.01																
	NW	0.004	2.413				0.879	*	0.006			*												
	SE																							
	SW	0.002	0.05							0.004														
6-8	NE	*	3.899				0.172	0.014																
	NW		0.501				0.019	0.267								0.011								
	SE																							
	SW	*	0.171				0.177	0.004	*		0.029													

高度區間	方位	3	4	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33
8-10	NE	0.011	1.19				*	0.101									*							
	NW	0.003	0.619				0.461	0.027																
	SE																							
10-12	SW	0.018	0.236				0.027	0.014		0.082						*								
	NE	0.031	0.624				0.106	0.217	*	0.027							*					*		
	NW	*	1.978					0.173	*			*				0.005								
12-14	SE		0.048				0.074	0.007		0.01														
	SW	0.006	4.61		*			0.012	0.006	0.007						0.013	*							
	NE	0.145	5.73				0.013		0.003	0.017												*		
14-16	NW	0.072	2.102	0.023			0.153	0.506	0.036	0.009					*	0.036								
	SE	0.012	0.177				0.114	0.002		0.063							*							
	SW	0.323	1.921				0.1	0.019	*	0.128		*												
16-18	NE	0.194	1.175	0.114		*	0.42	0.004		0.244						0.081								
	NW	0.263	0.987	0.013			0.109	*				0.025				*		0.01					0.008	
	SE	*	0.027				0.035	*		0.005		*											0.027	
16-18	SW	0.309	1.315		*	0.156		0.104	0.026	0.344						0.023							0.015	
	NE	0.137	1.24							0.133		0.002			*	*							0.07	
	NW	0.063	0.658		*		0.897	0.013		0.011		0.004				0.007							0.021	
16-18	SE	0.095	0.237				0.127	*	*	0.163			*											
	SW	0.35	0.18				0.186	0.005		0.155		*				*								

高度區間	方位	3	4	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	28	29	30	31	33
18-20	NE	0.031	0.215				0.066					*												0.052
	NW	0.014	0.087				0.059										0.015							
	SE	*	0.292				0.011												*					
	SW	*	0.612				0.151	*		0.009		0.039												0.056
20-22	NE	0.694	1.852						0.034	0.183							0.015							
	NW	0.093	3.772					0.019	0.012	0.115		*												0.018
	SE	0.067	0.307		0.005		0.071			*		*				0.026	*							
	SW	0.213	1.435	0.004			0.13	*	0.034	0.087														*
22-24	NE	0.022	0.004				0.004	0.004	0.215															
	NW	0.01	0.014				0.043	0.018	*															
	SE	0.144						0.058		0.005														
	SW	0.027		0.081			0.015	0.164				0.018												0.003

註:”\*”表該物種有出現，但重量難以量測。

樣樹編碼: MT2

總取樣面積(m<sup>2</sup>): 2.7

取樣部位: 主幹

總取樣苔蘚乾重(g): 146.996

		Genus																									
高度區間	方位	2	3	4	5	6	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	29	31	32	33	34
0-2	NE			10.42				*				0.009			*		0.006	0.011	0.077		0.986					0.094	0.021
	NW		0.004	23.17				0.011		0.01		0.085	0.021	0.215				0.09	0.022	0.037	2.833		0.456		0.052		
	SE		0.023	8.716				*				*								*	0.102						
	SW	*	0.024	18.13	*	0.033						0.039										0.243					
2-4	NE			0.953																		*					*
	NW			10.3						0.002								0.002									
	SE			0.019																							
	SW			5.584																		0.005					
4-6	NE		0.007	4.659																							
	NW		*	7.317																							
	SE		0.033	0.255																							
	SW		0.03	0.916						0.004	*																
6-8	NE		0.025	1.118						0.044																	
	NW			1.543																							
	SE		0.006	0.745					*	0.051		0.008	0.008														
	SW		0.036	0.044																							
8-10	NE		0.034	2.088																							
	NW		0.004	0.804						0.018			0.004														
	SE		0.021	0.848					0.016	0.023			0.018							*							
	SW		0.027	0.109					0.003			*															

高度區間	方位	2	3	4	5	6	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	29	31	32	33	34	
10-12	NE	0.005	2.758							0.003																		
	NW	0.73	1.658							0.054		0.002	0.019															
	SE	0.005	0.613							0.013	*																	
	SW	0.057	0.825					*			0.018		0.01															
12-14	NE	0.295	1.362							0.08	*									0.005								
	NW	0.125	2.562							0.011		0.016						0.003										
	SE	0.005	0.018												*													
	SW	0.111	0.56					0.007		0.011		0.093						0.006										
14-16	NE	0.13	3.058					*		0.269									*									
	NW	0.362	0.709							0.173																		
	SE	0.045	4.501				0.003			0.121		0.009		0.002					0.04									
	SW	0.086	2.014					0.009		0.046		0.02																
16-18	NE	0.005	1.239				0.002			0.143																		
	NW	0.083	0.045					*		0.017															0.008			
	SE	0.253	0.643					*				0.05																
	SW	0.294	2.266							0.145		0.003	0.028		*				*									
18-20	NE	1.283	2.858					*		0.062		0.009	0.181					0.164		0.01								
	NW	0.359	2.275				0.084	0.004		0.033		0.003								*								
	SE	0.954	2.095					0.031				0.004	0.185						*				*					
	SW	0.115	0.984							0.009		0.069																
20-22	NE	0.011	0.024					0.002		*		0.021	1.055			0.039												
	NW		0.364													0.01			0.047									
	SE		0.342																									
	SW	0.018	0.642										0.012															

高度區間	方位	2	3	4	5	6	7	9	11	12	13	14	15	17	18	19	21	23	24	25	26	27	29	31	32	33	34	
22-24	NE										*							*										
	NW			*							0.012		0.033															
	SE																											
	SW										0.052																	

註：“\*”表該物種有出現，但重量難以量測。

樣樹編碼: MT3 總取樣面積(m<sup>2</sup>): 2.7

取樣部位: 主幹 總取樣苔蘚乾重(g): 150.101

高度區間	方位	Genus																									
		1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	26	29	30	31
0-2	NE				2.538										0.011									0.041			
	NW	0.034			9.913											0.77				0.03			0.514	0.867			
	SE				8.184	0.122					*		0.007								0.058	0.037	0.211	0.053			
	SW		0.057		5.81	0.053				0.022			*		0.661	2.651	0.095						0.295	*			
2-4	NE				5.412																						
	NW			0.368	21.542				0.42				*							0.005	0.004		0.202				
	SE				1.26																						
	SW			0.028	14.274				0.005				0.009			0.068											
4-6	NE				0.245																						
	NW			0.003	2.839																						
	SE			0.013	0.021																						
	SW			*	1.889																*						
6-8	NE				0.079																						
	NW			0.16	5.636									*													
	SE			0.056	0.022				0.007																		
	SW				0.328				*					*													
8-10	NE			0.008	2.808				0.012					0.01													
	NW			0.011	4.578																						
	SE			0.035	0.279			*	*													*				0.003	
	SW			0.029	1.749			*	0.055			*	*	*		0.272											0.005

高度區間	方位	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	26	29	30	31	
10-12	NE			0.017	2.522						0.026			*												*		
	NW			0.083	5.423										*													*
	SE			0.035	0.438							0.031		*														
	SW			0.215	2.961							0.02																
12-14	NE			0.031	0.744	0.03	*				*	0.022																
	NW			0.116	4.555	0.045								0.022	0.055											0.032	0.003	
	SE			0.033	0.665	*									0.063													
	SW			0.053	2.239										0.026											*	*	
14-16	NE			0.014	1.128	0.031									*												0.002	
	NW			0.108	3.17	0.209			0.025						0.072													
	SE			0.041	0.225	0.134	0.014					0.031		*	0.011													
	SW			0.292	0.52							0.059		*														
16-18	NE			*	2.243				*			*															*	
	NW			*	2.216							0.034			0.028													
	SE			0.046		0.005						0.024		*									*					
	SW			0.238	0.858	0.01	*					0.003																
18-20	NE			0.462	2.431	0.047						*											0.149					
	NW			0.76	0.661							0.102																
	SE			0.074	1.786	0.032			*						*											*		
	SW			0.341	1.123							0.007							0.019									
20-22	NE			0.047	2.813		0.698								0.039								0.552					
	NW			0.648	0.762	0.03	0.21								0.044													
	SE			0.03	0.919																							
	SW			0.062	1.033	0.094	0.012							0.009	0.475													

高度區間	方位	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	26	29	30	31	
22-24	NE			0.015	0.378		0.072								0.013													
	NW			0.104	0.098	*	0.234					*			0.02													
	SE				0.698										0.062													
	SW				1.721		0.022								0.114													

註：“\*”表該物種有出現，但重量難以量測。

附錄 9 成熟林枝條上不同屬的苔蘚乾重。(苔蘚屬名代號、拉丁屬名及中文屬名對照請參見附錄 7)

		Genus															
枝條編號	取樣點	3	4	6	7	8	9	12	13	14	15	18	23	24	25	31	33
B03	A		1.181											0.200		*	
B03	B	0.014	0.146								0.031						
B07	A								0.009					0.040			
B12	A	0.002	1.588		*		0.003		*					0.061			
B12	B		0.811											0.068			
B17	A	*	1.945					*			*			0.353			
B17	B	0.002	0.140							0.142	0.011			1.981			0.414
B22	A		0.501		0.109	*		*		0.007				0.011			
B22	B	0.040	0.023		0.014			*		0.017	2.533	0.008	0.200	0.234			
B24	B							*		*				0.254			
B31	B	0.000		*				0.006	0.016	0.144				0.033			
B33	A	0.027	0.302				0.007	*			0.057			0.095	0.438		
B33	B								0.026					0.107			
B35	A								0.012					0.292			
B35	B	0.122						0.053	0.005	*	0.034						
B37	A	0.006		0.011				*		0.017		0.097					

		Genus								
枝條編號	取樣點	3	4	7	9	13	15	19	24	33
B06	A	0.001	0.111		*		0.019		1.299	0.306
B06	B		1.572		0.004		*		1.703	0.086
B10	A	*			*					0.020
B10	B		2.685	0.003	*		*		0.095	0.056
B14	A	*								
B20	B		0.019			0.003	0.070	0.019	0.007	
B25	A					0.043				
B25	B					0.045				
B30	A					0.022				
B30	B								0.154	

樣樹編碼: MT3

總取樣面積(m<sup>2</sup>): 0.24

取樣部位: 枝條

總取樣苔蘚乾重(g): 33.846

		Genus															
枝條編號	取樣點	3	4	6	7	9	13	14	15	18	19	21	24	25	29	31	33
B01	A	*	0.239		0.003			*	*				0.039				
B01	B		0.006					*	*				5.294				
B04	A	*	0.186			0.016			*			*	5.092	*			
B04	B	0.068	1.438			0.016		0.011					3.190				0.027
B05	B		3.464			0.000		0.228						0.032	0.575	*	*
B08	B		0.125						*				3.794				
B11	A	0.066	0.222					*		0.039			0.101				
B11	B	0.240	0.202			0.028							4.082				
B18	A	0.039	0.709			0.387		0.025	0.033	*		0.030					
B18	B	0.022	0.121			0.000							0.409				
B20	B		0.187	*													
B25	A					0.023	*	*					0.025				
B25	B												1.419				
B28	B		0.340			*							0.018				
B36	A						*										
B36	B												0.872				
B40	A										0.002		0.002				