

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 Shih-Chieh Chang

臺灣扁柏森林生態系養分存量與枯落物

養分流量之研究

Estimation of nutrient storage and fluxes
of litterfall in a yellow cypress forest
ecosystem



研究生：朱慧君 Hui-Chun Chu

中華民國九十四年七月

謝誌

隨著碩士論文的完成，代表著我即將結束東華的學生生涯，還記得初到花蓮時一切都是那麼的陌生，如今這一切卻再清晰不過。在花蓮的日子裡，感謝指導教授張世杰老師的指導與協助，每當我無助受挫時總是給我最大的鼓勵與支持，當我遇到困難或問題時總是陪著我找出解決的方法，在我開心時也總是與我一起分享，在陸域的這些日子裡，我真的很高興有您一路的支持與陪伴。

感謝王巧萍老師協助我完成實驗的化學分析，並細心的審閱論文初稿，提供寶貴意見。感謝夏禹九老師在過去的日子裡，總是適時的拉我一把。感謝林國銓老師於百忙之中能抽空參與口試，並提出精闢詳細的意見，使本論文更加完善。

感謝實驗室的夥伴：耀德、青峯、振華、敏如、美娟、勻謙、凱欣、桂香、俐如、哲明、昭豪、意婷、志偉、子宏，因為大夥的同心協力，才讓我順利完成這艱辛的任務。感謝同班同學總在我需要幫忙的時候，助我一臂之力，在我說冷笑話時，給我會心的一笑。

感謝行政院退輔會森林保育處對樣區的管理與維護，以及砍樹時給予的幫忙與協助。感謝財哥協助樹種的鑑定。感謝林試所佳雯、馨薇、素媚、楊媽在實驗上的幫忙與協助。感謝 Stefan 在挖根與生物量計算上的幫忙。也謝謝哲榛跟榕榕，因為你們讓我疲憊的身心獲得小小的解脫。

最後感謝一直默默支持我的家人與摯友，因為你們的支持，讓我可以無後顧之憂，放心的去實現我的夢想。

Abstract

In forest ecosystems, litterfall is the main pathway of internal nutrient cycling. The purpose of this study was to estimate the fluxes of litterfall and the nutrient storage in the yellow cypress stand at the Yunayang Lake site in northeastern Taiwan.

The litterfall was collected biweekly from August 2003 to December 2004 using 10 litter traps installed systematically in the stand. The annual litterfall during this period was $5,900 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$, about 80% of which was contributed by yellow cypress. The leaf-fall is the largest portion (73.7%) of litterfall. Typhoon was an important factor of the quantity and quality of the litterfall. During the study period, litterfall was increased by 70% due to the typhoons. There was no significant seasonal variation of the element concentrations in the litterfall. However, when typhoon attacked the site, the nutrient concentrations of the litterfall were raised. The total nutrient fluxes of litterfall were $3,059 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for C, $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for N, $78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for Ca, $9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for K, $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for P, $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for Mg and $0.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ for Na.

The below-ground biomass was investigated by excavating 3 yellow cypress trees and by digging 10 subplots ($L * W * D = 30 \text{ cm} * 30 \text{ cm} * 40 \text{ cm}$). The stand-scale fine root biomass was estimated using the results from the 10 subplots. The stand-scale coarse root biomass was derived from an exponential relationship between DBH and the mass of coarse root of the 3 sample trees. The total below-ground biomass of yellow cypress was $76,600 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of coarse root was $70,400 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of fine root was $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of fine root of yellow cypress tended to decrease with soil depth. The element concentrations of fine root were larger than those of coarse root. The total nutrient storage of below-ground were $36,095 \text{ kg ha}^{-1}$ for C, 163 kg ha^{-1} for N, 135 kg ha^{-1} for Ca, 114 kg ha^{-1} for K, 40 kg ha^{-1} for P, 16 kg ha^{-1} for Mg and 2.96 kg ha^{-1} for Na.

The total above-ground biomass of yellow cypress was $140,400 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of stem was $106,400 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of branch was $16,900 \text{ kg ha}^{-1}$. The biomass of leaf was $17,100 \text{ kg ha}^{-1}$. The total nutrient storage of above-ground were $69,895 \text{ kg ha}^{-1}$ for C, 320 kg ha^{-1} for N, 424 kg ha^{-1} for Ca, 192 kg ha^{-1} for K, 77 kg ha^{-1} for P, 40 kg ha^{-1} for Mg and 2.99 kg ha^{-1} for Na.

The total biomass of yellow cypress was $217,000 \text{ kg ha}^{-1}$. The total nutrient storage of yellow cypress were $107,124 \text{ kg ha}^{-1}$ for C, 512 kg ha^{-1} for N, 570 kg ha^{-1} for Ca, 307 kg ha^{-1} for K, 120 kg ha^{-1} for P, 57 kg ha^{-1} for Mg and 6.6 kg ha^{-1} for Na.

Keywords : above-ground; below-ground; litterfall; root; nutrient; biomass; yellow cypress

摘要

枯落物在養分循環中，為養分流動的主要途徑，故若欲了解整個森林生態系的養分循環，需對於森林生態系中的養分存量與枯落物的養分流量有所了解。故本研究針對地上部枯落物的養分流量與地下部養分存量進行調查，配合相關的地上部生物量研究結果，估算鴛鴦湖地區臺灣扁柏森林生態系的養分存量與枯落物的養分流量。

枯落物的研究從 2003 年 8 月至 2004 年 12 月每兩周收集一次，利用 10 個枯落物收集盤進行收集。枯落物年產量為 $5,900 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ，其中臺灣扁柏的枯落物約占 80% 為最高；落葉約為枯落物的主要組成成分(73.7%)。颱風為影響本研究樣區枯落物量的最主要因子，於研究期間，受颱風侵襲所增加的年枯落物量約為未受颱風侵襲年枯落物量的 1.7 倍。枯落物的各養分濃度，在季節間並無明顯季節性變化，僅在有颱風侵襲的月份，養分濃度會有略微升高的狀況產生。枯落物的總養分流量方面，以碳的流量為最高 $3,059 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；其次為鈣 $78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；氮 $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；鉀 $9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；磷 $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；鎂 $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 與鈉 $0.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。

地下部生物量的研究，利用整棵挖掘法進行 3 棵樣木的挖掘，以所得的粗根生物量與胸高直徑的指數相關來估算本研究樣區的總粗根生物量；利用挖坑法挖掘 10 個 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 深 40 cm 的坑，以所得的細根生物量來估算本研究樣區的總細根生物量。臺灣扁柏地下部總生物量為 $76,600 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中粗根生物量為 $70,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，細根生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ 。臺灣扁柏細根生物量的分布隨土壤深度增加而下降。細根所含的養分濃度會明顯較粗根高。地下部的總養分存量中碳為 $37,229 \text{ kg ha}^{-1}$ 、氮為 192 kg ha^{-1} 、鈣為 146 kg ha^{-1} 、鉀為 115 kg ha^{-1} 、鎂為 17 kg ha^{-1} 、鈉為 3.13 kg ha^{-1} 與磷為 43 kg ha^{-1} 。

地上部的總生物量為 $140,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中樹幹為 $106,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，枝條為 $16,900 \text{ kg ha}^{-1}$ ，葉為 $17,100 \text{ kg ha}^{-1}$ 。地上部的養分存量方面，碳為 $69,895 \text{ kg ha}^{-1}$ ；氮為 320 kg ha^{-1} ；鈣為 424 kg ha^{-1} ；鉀為 192 kg ha^{-1} ；鎂為 40 kg ha^{-1} ；鈉為 2.99 kg ha^{-1} ；磷為 77 kg ha^{-1} 。

臺灣扁柏森林生態系總生物量為 $217,000 \text{ kg ha}^{-1}$ 。總養分存量中碳為 $107,124 \text{ kg ha}^{-1}$ ；氮為 512 kg ha^{-1} ；鈣為 570 kg ha^{-1} ；鉀為 307 kg ha^{-1} ；鎂為 57 kg ha^{-1} ；鈉為 6.6 kg ha^{-1} ；磷為 120 kg ha^{-1} 。

關鍵字：地上部、地下部、枯落物、根、養分、生物量、臺灣扁柏

目錄

1. 前言.....	1
2. 文獻回顧.....	2
2.1 地上部枯落物.....	2
2.2 地下部養分存量.....	3
2.2.1 地下部的重要性.....	4
2.2.2 地下部生物量的影響因子.....	4
2.2.3 地下部生物量之方法評估.....	7
3. 材料與方法.....	9
3.1 樣區概述.....	9
3.2 取樣與分析.....	12
3.2.1 地上部枯落物.....	12
3.2.2 地下部的養分存量.....	13
3.2.3 地上部的養分存量.....	15
4. 結果.....	16
4.1 地上部枯落物的養分流量.....	16
4.1.1 枯落物量的變動.....	16
4.1.2 枯落物養分的變動.....	19
4.2 地下部的養分庫.....	23
4.2.1 整棵挖掘法.....	23
4.2.2 挖坑法.....	29
4.3 地上部養分存量.....	34
5. 討論.....	36
5.1 地上部枯落物養分流量.....	36
5.1.1 枯落物量的變動.....	36
5.1.2 枯落物養分的變動.....	40
5.2 地下部養分存量.....	44
5.2.1 地下部生物量.....	44
5.2.2 地下部養分濃度.....	50
5.2.3 地下部養分存量.....	51

5.3	研究樣區的總養分存量.....	53
5.3.1	地上部與地下部的生物量.....	53
5.3.2	樣區的總養分存量.....	56
6.	結論.....	57
7.	引用文獻.....	58
8.	附錄一 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物的植物名錄.....	68
9.	附錄二 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林各次採樣的枯落物重量.....	69
10.	附錄三 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物所含的養分濃度.....	78
11.	附錄四 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得的根系重量.....	81
12.	附錄五 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得的根系所含養分濃度.....	83

圖目錄

圖 1	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林位置圖	10
圖 2	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物收集盤分布圖	13
圖 3	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物量的季節變動	16
圖 4	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏與其他枯落量的變化	18
圖 5	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物組成成分的季節變化	18
圖 6	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物花與果實及種子的季節變化 ..	19
圖 7	鴛鴦湖地區臺灣扁柏的枯落物中落葉所含養分濃度變化	21
圖 8	鴛鴦湖地區臺灣扁柏的枯落物中枝條所含養分濃度的變化	22
圖 9	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林不同胸高直徑的臺灣扁柏地下部所含養分濃度 差異	28
圖 10	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林不同土壤深度地下部生物量的分布	31
圖 11	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得根系含碳、氮、鈣、鉀、鎂、鈉、 與磷濃度變化	33
圖 12	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所估算的地下部養分存量	34
圖 13	胸高直徑與地下部生物量取對數後的指數相關	48

表目錄

表 1 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林的 0.2 ha 樣區中，臺灣扁柏各徑級的株數分佈	10
表 2 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林土壤的基本性質	11
表 3 從 2003 年 8 月至 2004 年 12 月影響鴛鴦湖地區的颱風基本資料	11
表 4 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法樣木基本資料	14
表 5 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物組成	17
表 6 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物各組成成分的養分濃度	20
表 7 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物的養分流量	23
表 8 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所得三棵樣木的地下部生物量	24
表 9 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法在挖掘過程中斷裂根系的數量	24
表 10 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林根徑與根系生物量的對照表	25
表 11 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法損失的根系生物量。	25
表 12 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林進行整棵挖掘法，使用鏈鋸產生的切面面積與損失生物量。	25
表 13 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林地地下部總生物量的估算	26
表 14 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所求得地下部的平均養分濃度	29
表 15 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所估算的地下部總養分存量	29
表 16 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林土壤的容積密度	29
表 17 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所求得單位體積所含石塊的重量	30
表 18 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所求得的石塊體積百分比	30
表 19 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏地上部的養分濃度	35
表 20 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏地上部的養分存量	35
表 21 臺灣地區枯落物量的相關研究結果	37
表 22 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林 2004 年颱風對枯落物產量的影響	38
表 23 不同地區枯落物組成成分所占的比例	40
表 24 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物與新鮮組織養分濃度的比較	42
表 25 不同地區枯落物的養分流量	43
表 26 不同森林生態系細根生物量	45
表 27 不同森林生態系細根總生物量與地下部總生物量的比值	46

表 28	不同森林生態系地下部總生物量.....	49
表 29	不同森林生態系中細根所含養分濃度.....	51
表 30	鴛鴦湖地區與福山地區粗根(2 mm 至≤ 5 mm)所含養分濃度.....	51
表 31	不同森林生態系的地下部養分存量.....	52
表 32	不同森林生態系根/莖比.....	54
表 33	不同森林生態系地上部與地下部的生物量.....	55
表 34	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏的養分總存量.....	57
表 35	鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林與芬蘭 Scots pine 養分存量的比較.....	57

1. 前言

森林生態系的功能，主要為養分循環、能量循環、水分循環。其中養分循環主要是指礦質養分的移動，可區分為三種類型：地理化學循環(geochemical cycle)，為生態系統間化學物質的交換；生物地理化學循環(biogeochemical cycle)，為生態系統內化學物質的交換；生物化學循環(biochemical cycle)，為生物個體內化學物質的傳遞(transport)與變換(transformation)(Kimmins 1996)。此三種養分循環過程中，不同養分的重要性與循環過程各有不同。

森林生態系的養分循環是相當複雜的，其簡要的架構可分為養分輸入、養分於生態系內部循環、養分輸出加以說明。養分輸入森林生態系主要是藉由大氣沉降(atmospheric deposition)(包含乾、濕沉降)及土壤岩石風化(mineral weathering)為途徑，少部分的氮則尚可透過生物的固定(biological fixation)進入生態系；養分於森林生態系中內部循環時會受到養分吸收(uptake)與同化(assimilation)、養分輸導(nutrient translocation)、枯落物中的養分回歸(return)、森林地被層與土壤中枯落物的分解作用(decomposition)、及養分中有機物質的礦化作用(mineralization)等所控制；養分從森林生態系中輸出主要是發生在淋洗(leaching)與氣態的流失(Burton et al. 1997)。

進入森林生態系的養分，一部分會留存於植物體中，其餘的部分則藉由不同形式進行養分的回歸，每個步驟皆扮演重要的角色。而養分主要儲存於植物體與土壤中，有機質分解所釋放出的養分則藉由枯落物(litter fall)、落木(timber fall)、根分解與養分的釋放、與雨水從植物體所淋洗出的養分等途徑，從植物體回歸至土壤中(Nye 1961)。

臺灣中海拔地區由於雨量豐富、溼度高、且經常為雲霧所籠罩，此種環境適合檜木的生長。檜木林中冠層喬木主要為臺灣扁柏(*Chamaecyparis obtusa* Sieb. & Zucc. var. *formosana* Rehder)與紅檜(*Chamaecyparis formosensis* Matsum)，且林分中樹幹上常有附生植物與苔蘚(劉美娟 2004)。臺灣扁柏為臺灣的特有種，主要分布於臺灣的北部與中部，分布的海拔約在 1,300-2,800 m 之間，常與紅檜混生(Editorial Committee of the Flora of Taiwan 1994)。臺灣扁柏為中海拔霧林的主要樹種，由於木材質地優良，使其亦具高經濟價值，雖臺灣扁柏具高度的生態與經濟價值，但國內目前對於臺灣扁柏森林生態系的相關研究仍十分缺乏。目前關於臺灣扁柏養分存量與枯落物的相關研究方面，僅 Guan 與 Cheng (2003)曾在棲蘭山區，試圖利用臺灣扁柏的地上部特徵，推估臺灣扁柏地下部根系的結構。

國內關於森林枯落物及其養分循環的研究尚屬少數，且每一研究樣區林型皆與本研究相異，如亞熱帶雨林(劉湘瑤 1994)、柳杉人工林(徐正鐘 1981, 姜家華與劉興旺 1989)、孟宗竹林(高毓斌 1985)、暖溫帶雨林(林國銓 1997)、楠櫟櫟林(林世宗 1998)、以及杉木人工林、亞熱帶落葉闊葉林與次生闊葉林(張華洲 1997, 顏江河與陳佳慧 1999, 周育如與顏江河 2003)。由於地上部枯落物對森林生態系養分循環扮演重要角色，故地上部枯落物的研究，對於了解養分循環是不可或缺的。

國外目前針對地下部的研究，相較於地上部研究而言較為缺乏，而國內地下部研究相形之下，則更顯的付之闕如。但地下部對於整個森林生態系，占有相當重要的地位，故若欲了解臺灣扁柏森林生態系的養分存量，需對地下部的生物量有所了解。

本研究試圖了解鴛鴦湖地區臺灣扁柏森林生態系的養分存量與枯落物的養分流量。藉由植物地上部枯落物(aboveground litter)流量與地下部養分存量，配合相關地上部生物量研究結果，求得解整個鴛鴦湖臺灣扁柏森林生態系的養分存量。

2. 文獻回顧

2.1 地上部枯落物

地上部枯落物是養分從植物體到達土壤表面，再分解成有機質與礦質養分的重要途徑(Proctor et al. 1983, Burghouts et al. 1998)。枯落物的累積與分解是植物生長的主要養分來源，也可維持生態系養分的動態平衡(Fisk et al. 1998)。枯落物的流量與化學組成會對土壤中微生物的活動產生影響，進而影響微生物的分解作用(Vogt et al. 1986)。故若欲對森林生態系總產量與養分循環有所了解，枯落物產量與養分含量的量化成為一重要步驟(Rri and Proctor 1986)。枯落物的主要組成為葉、枝條、花、果實、種子等，通常以葉占最大比例(Burton et al. 1997)。

枯落物的養分流量受到許多因子影響，包括枯落物的化學組成、養分的再輸導(nutrient retranslocation)、環境、生物等因子(Berg and McClaugherty 2003)。

▪ 枯落物的化學組成

植物的葉、枝條、莖、及根主要是由微小的有機化合物所組成。植物枯落物與這些活體部位的化學組成大致相同，包含纖維素(cellulose, 15-60%)、半纖維素(hemicellulose, 10-30%)、木質素(lignin, 5-30%)、蛋白質(2-15%)、脂肪(1%)及可溶性化合物如醣、氨基酸、核苷酸、有機酸類等(10%)(Berg 1986)。枯落物化學組成的差異，會對枯落物的養分流量產生影響。

▪ 養分再輸導

養分再輸導作用是指植物組織在脫離植物體之前，植物會將組織中的養分收回至附近的枝條或樹幹中儲存，當植物形成新組織時，這些儲存的養分則再次被利用，而細根在死亡之前也會有類似的狀況產生。故養分再輸導作用的程度，會影響枯落物的化學成分(Nadelhoffer et al. 1985)，進而影響枯落物養分的流量。

▪ 環境因子

森林生態系中地上部的枯落物量受環境因子的影響極大，如氣候、地形、林分性質等。降雨會對枯落物量產生影響，Cuevas et al.(1991)針對波多黎各的 *Pinus caribaea* 人工林與天然次生闊葉林所做的研究指出，在具有乾、濕季變化的地區，乾季時植物為了減少水分的散失、或因水分的不足皆會產生大量的枯落物；雨季時受到風雨的影響，枯落物的量會增加，使一年中產生二個枯落物量的高峰期。緯度對於一區域的地上部枯落物產量會有所影響，隨著緯度的增加地上部枯落物量會降低，兩者間呈現負相關(Bray and Gorham 1964)。例如，在高緯度地區生長季短限制植物生長，導致地上部枯落物量偏低(Berg and McLaugherty 2003)。

Tateno et al. (2004)針對日本中部的冷溫帶闊葉林之生物量與枯落物量進行研究時發現，地形對於地上部枯落物量會產生影響，在上坡處的枯落物量高於下坡處。林分植群的組成、林分的年齡、與林分的經營等，會直接影響枯落物的質與量，也間接對枯落物分解與養分循環速率產生影響(Rogers 2002)。有研究指出常綠的裸子植物地上部枯落物量，會較落葉性的被子植物為高(Bray and Gorham 1964, Vogt et al. 1986)。

▪ 其他影響因子

隨樹齡增加，地上部枯落物量有增加的趨勢(姜家華與劉興旺 1989)。臺灣時常遭受颱風的侵襲，會導致枯倒木的形成，使得尚未成熟的植物體提早掉落，此現象會對枯落物的總量與性質產生影響(林國銓 1997, 林世宗 1998, 周育如與顏江河 2003)。

2.2 地下部養分存量

養分與碳循環中，森林扮演重要的角色，因此評估森林生物量與其中所含養分存量，成為一項重要的研究課題。一般而言，森林生物量有 21% 存於地下部(Cairns et al. 1997)，故若欲了解陸域生態系碳的儲存與生物地理化學的動態，地下部生物量的估計成為最基本的要件(Luo et al. 2005)。地下部所占比例不容忽視，故關於森林生態系中碳與養分動態的相關研究，不能僅針對地上部(Edwards and Harris 1977, McLaugherty et al.

1982, Vogt et al. 1986)。

一般所指的地下部為植物根系，因根系位於土壤當中，無法如葉片般直接調查，使得根系的相關研究相對於地上部而言困難許多，也導致森林生態系中根系的相關研究遠落後於地上部研究(Vitousek 1984, Waisel et al. 2002)。目前關於根的深度(Canadell et al. 1996, Jackson et al. 1996)、細根的產量(Jackson et al. 1997)與根的置換(turnover)(Gill and Jackson 2000)已有較完善的了解，但受限於缺乏標準的評估方法與其他相關影響因子的資訊，使地下部生物量的評估仍充滿不確定性(Vogt et al. 1996, Cairns et al. 1997)。

2.2.1 地下部的重要性

樹木的根系對森林生態系來說相當重要，關於森林生態系總生物量與碳的儲存，根系扮演重要的角色(Grier et al. 1981, Kurz et al. 1996, Makkonen and Helmisaari 1998, Li et al. 2003)。森林生態系中根系的死亡與分解，可提供大量有機質與養分，增加土壤所含的養分，也對森林生態系中養分循環產生影響。根系對林木而言，具固定支撐與吸收養分、水分等功能(Babu et al. 2001, Schmid and Kazda 2002)。

細根占總地下部生物量的比例並不高，Jackson et al.(1997)在回顧地下部研究時指出，細根約占總地下部生物量的 27%。此外，在許多森林生態系中，光合作用的產物有 3-54% 配置於地下部(Keyes and Grier 1981, Nadelhoffer and Raich 1992, Vogt et al. 1996)。故淨初級生產量(net primary production)中有相當大的比例是用於細根的生長與維持(Fogel 1983)。在全球每年淨初級生產量方面，根系占了將近 33% (Jackson et al. 1997)。據估計，全球儲存於細根中的碳量有 19.9×10^9 ton，此值高於大氣中所含碳量的 5%(Jackson et al. 1997)。Grier et al.(1981)針對 *Abies amabilis* 所做的研究指出，在年輕林分中，地下部占總淨初級生產量的 65%；在成熟林分中，地下部占總初級生產量的比例則為 73%。故地下部對整個養分循環來說是極為重要的，而關於地下部養分存量的評估是不可或缺的。

2.2.2 地下部生物量的影響因子

地下部的評估仍充滿不確定性與缺乏標準量測方法，使目前對地下部生物量的生物及非生物影響因子所知甚少(Luo et al. 2005)。植物地下部生物量，隨研究樣區地點與植物的不同，具有不同的影響因子與重要性。大致上，相關的影響因子包含地上部生物量、緯度、溫度、降雨量、樹種、土壤特性(養分與質地)、植物間的競爭與樹齡(Cairns et

al. 1997, Gill and Jackson 2000, Luo et al. 2005)。其中土壤對於木本植物根系的形成與建立具相當大的影響力，而植物根系亦會不斷適應生長環境中溫度與空間的變化。以下針對土壤與其他因子進行探討。

■ 土壤質地

一般而言，細根分布於表土層的比例極高，在適宜的環境條件下活根的比例會大於死根，且細根呈現較細長的狀態(Schulze 2000)。植物位於土壤表層的根系通常會傾向於橫向生長，當生長環境受到改變時，根系生長則產生大幅度的改變。當橫向根系遇到垂直障礙時，通常會沿著障礙物轉向，再依照原本的生長方向生長(Wilson 1967)。根系的成長一般反映其所遭遇到的障礙(如岩石、鄰近莖或根系)，有時橫向根系甚至會變成垂直根系。當向下生長的根系遭遇到無法穿越的狀況時，根系會彎曲往水平方向生長，或沿阻礙物表面生長，一旦再遇到縫隙則會變回原本向下的方向生長(Dexter 1986)。

土壤通氣性不佳會限制氧氣的使用、促進乙烯生成、增加土壤中二氧化碳的濃度，因而對根系的生長產生影響(Puhe 2003)。根系生長深受土壤含水率影響，地下水位會對根系產生阻礙，故地下水位決定根系所能到達的最大深度(Paruelo and Sala 1995, Xu et al. 1997)。若土壤過於乾燥也會降低細根的生長(Puhe 2003)。土壤溼度會對根的配置產生影響，缺水壓力升高會使配置到根的生物量增加(Murphy and Lugo 1986)。在排水不佳的狀況下，植物粗根的比例會下降(Schmid and Kazda 2002)。

植物根系的生長受到土壤密度影響，在密實的土壤狀況下根系生長會明顯受到限制，在密實的土壤中，孔隙數量較少，限制土壤的透氣性，導致細根會有分布不均勻的狀況產生(Harmand et al. 2004)。

■ 土壤養分

植物會藉由改變碳在地上部與地下部的配置，提升資源的效率(Shaver and Melillo 1984)。當植物處於養分較為貧乏的狀況時，會增加地下部生物量的配置以獲取更多養分；當養分充足時，植物則會增加地上部生物量的配置，以利其爭取更多光線(Bloom et al. 1985, Vitousek and Sanford 1986, Schmid and Kazda 2002, Bolte et al. 2004)。在單位重量下細根所含的表面積大於粗根，而根系的表面積直接影響養分及水分的吸收，故林木會藉由增加細根生物量，來增加吸收養分及水分的面積，以獲得充足的養分及水分(Tyree et al. 1998)。植物會利用最少資源來獲得所需的養分與水分，資源配置是以降低水分與養分吸收時的成本為目的。目前關於小苗細根的生物量、根/莖比與養分吸收方面，已有較為完善的研究結果，但關於成年林木細根尺寸、型態及生物量，與養分吸收的相關研

究則較為少數(Joslin et al. 2000)。

酸性土壤會降低根尖分生組織的活性、穿透力、細根生長量(Qian et al. 1998)。土壤酸性也與一些潛在的有毒成份有關(鋁與重金屬等)，根系形式與密度亦會受大氣中氮與硫的大量輸入所影響(Puhe and Ulrich 2001)。當根系暴露於氮過量與酸性土壤中時，細根生長與置換率會降低，細根中氮所占的比例會增加，相對的其他養分則呈現缺乏或不平衡的現象。此現象會導致根系變成淺根系，根吸收力亦會下降，導致淋洗增加。若能減低氮與硫的沉降量，則養分的狀況會趨於穩定，細根的生長也會逐漸恢復(Persson et al. 1998)。Van Noordwijk et al. (1991)針對年輕 Norway spruce 所做的研究指出，在酸性土壤中根系主要分布於表土層。老根遺留下來的孔隙會很快被年輕的根所佔據，因孔隙處土壤的滲透性較佳，所含的有機質亦較多。Leuschner et al.(2004)針對 *Fagus sylvatica* 所做的研究指出，土壤酸性與養分的變化，對於細根尺寸與型態僅有微弱的影響，但對整個根系結構與死亡率有極大的影響。在酸性且養分較為缺乏的土壤條件下，根系根尖密度與死根所占的比例會較高。

土壤含氮量會對地下部的淨初級生產量產生影響，細根產量會隨土壤含氮量降低而增加(Nadelhoffer et al. 1985)。其他研究也指出在溫帶森林中，土壤養分含量或氮的供給量皆與細根生物量呈負相關(Vogt et al. 1987)。但也有例外情況，Brække (1995)針對 Scots pine 所做的研究指出，氮肥的施加會增加林木細根生物量；Jentschke et al.(2001)針對 Norway spruce 所做的研究則指出，酸性土壤中細根生物量小於非酸性土壤。推測此例外可能是由於樹種不同、試驗時間長短與土壤特性等因子有關。

根系對局部的土壤狀況，或暫時性的改變都會有適應的狀況產生。其中以細根產量與置換率對環境的變化最為敏感，當細根遇到不利其生長的環境時，會改變生長的形式，一般會加快置換率(Vogt et al. 1993)。

惡劣的土壤狀況、與林地上所遺留下來的朽根，都可能對垂直根系的建立產生極大影響。在養分貧乏的地區，細根生長會與莖生長成正相關(Helmisaari and Hallbäcken 1999)。在養分充足的地區，細根生物量無明顯的季節性變化；反之則在秋季時達最低點，在春季時達最高點(Helmisaari et al. 2002)。

■ 環境因子

在全球的尺度下，海拔、緯度、植物地上部生物量與地下生物量的比值等，皆會影響一個區域的土壤狀況，同時亦會對該區植物的地下部生物量產生影響(Cairns et al. 1997)。在河谷至山頂等小尺度下，地形改變會影響土壤含氮量、有機質累積與森林結

構等，也影響森林生態系中每年淨初級生產量中碳在地上部與地下部的配置(Tateno et al. 2004)。在坡度較為緩和的區域總生物量較高，其中以樹幹及枝條占大部分；在坡度較為陡峭的區域，地下部所占的比例較高，其中細根生物量會明顯隨坡度增加而增加(Tateno et al. 2004)。

Luo et al.(2005)綜合西藏高原中部的相關研究指出，地下部生物量與月均溫成正相關；年降雨量若小於 1,400 mm 則地下部生物量與降雨量呈正相關，若降雨量大於 1,400 mm 則呈負相關；地下部生物量與緯度呈現負相關。若一地區的溫度較高且降雨量較少時，雨水在降至地面前有絕大部分會先被蒸發，使上層土壤變的乾燥，導致植物根系向下生長(Makkonen and Helmisaari 1998)。

▪ 地上部生物量、樹種、與樹齡

地上部與地下部的關係中，植物地下部生物量與地上部生物量的比值會隨樹齡增加而降低；細根生物量與針葉生物量的比值亦隨樹齡增加而降低(Helmisaari et al. 2002)。粗根生物量會隨地上部生物量增加而增加(Kurz et al. 1996)。不同樹種地下部生物量的分配，具有不同策略。一般而言，在細根生物量占地下部生物量的比例上，被子植物會大於裸子植物(Cairns et al. 1997)。

樹齡與地下部生物量的關係，粗根生物量與地上部生物量的比值會隨樹齡增加而增加(Bolte et al. 2004)。細根生物量占總生物量的比值會隨樹齡增加而降低(Vogt et al. 1981)。粗根生物量高於細根，在成熟林分中，地下部總生物量有極大的比例來自於粗根(Thies and Cunningham 1996)。此外，距離植物樹幹的距離會對地下部根系分布產生影響，距離樹幹愈遠的根系密度與生物量會較低(Neukirchen et al. 1999, Luo et al. 2005)。

2.2.3 地下部生物量之方法評估

進行地下部生物量與養分含量相關研究時，由於地下部位於土壤當中，使地下部的分布、物候、與生長季節等因子難預知，亦使地下部研究困難度倍增。一般在進行地下部生物量評估時，會將地下部根系區分為粗根(直徑大於 2 mm)與細根(直徑小於或等於 2 mm)二部分(Vogt et al. 1983, Roy and Singh 1995)。針對粗根生物量，目前發展較為完善且較無爭議。地下部粗根生長與地上部枝條相似，但每年根的總產量僅有少部分是來自於粗根的生長(Grier et al. 1981)。細根生物量的估計，目前發展出許多評估方法，但尚未有最佳方法出現，所有方法仍需投入大量人力，故目前細根生物量的評估較傾向於利用間接方法去評估。目前關於細根的間接評估方法，主要多利用地上部結構去推估細

根生物量，但細根生物量易受環境因子所影響，且所發展出來的方法也僅限於該區域或該樹種，仍無法供其他研究所使用(Vogt et al. 1996)。

由單一樹種所構成的樣區，對於地下部生物量的估計大多藉由樹種的胸高直徑、樹高等來進行估算。其中不同樹種的相關性很低，且即使是相同樹種也會因為所在區域不同而有所差異，故對於地下部生物量的評估無法有一標準模式(Drexhage and Colin 2001)。

目前在森林生態系的根系研究中，應用最廣泛的野外調查方法有下列三種：

- 挖掘法(excavation method)

將植物的整個根系挖掘出，使根系暴露便於觀察，過程中除用手之外可搭配噴氣或噴水的方法來進行。此法優點在於對各個齡級、各種樣區條件下的林木皆適用；缺點為野外工作量與室內處理的數據量大，執行上較為費時，且所得根系多為粗根，無法從事細根方面的研究。

- 剖面法(profile wall method)

林地中以機械或人工挖掘土槽，槽深約 1-2 m，槽長則依研究目的而異。研究時會將欲觀察的剖面整平，使根系暴露，並將剖面牆劃分為小方格，再針對每一方格進行調查。此法優點在於土層保存完整，可直接於剖面上記錄不同土壤層中根系分布，更可同時進行根樣與土樣採集；此法所求得根系並非某單株林木，而是整個林地的根系，使此數據可用於根系分布與土壤性質的相關分析，還可結合其他環境因子做相關性分析。此法相較於挖掘法，雖野外工作量較小、較不費時，但對林地仍屬較大的破壞性研究，且土槽可能會減低林地穩定性，尤其在淺根系易風倒的林地。

- 根鑽法(soil core method)

利用土鑽在不同土壤深度中鑽取土樣，於室內使用泡水與沖水等方法使根與土壤分離。此法可得較完整的細根與根際土樣，且可直接觀察並計算數量、表面積、特徵等因子，亦可分析化學元素組成、估算全林地根系生物量。但因土鑽體積小，每次取樣所得根系差異較大，故樣區面積不宜太大，且取樣數量必須夠多，而樣區內土壤、林分條件需較為均質，才能增加此法的準確性(胥毅軍 1994, Helmisaari 1995, Cairns et al. 1997, Neukirchen et al. 1999)。

地下部生物量的估計需花費大量人力，故少有研究同時使用不同方法進行評估，這使得在比較地下部研究時，難以相同的方法進行比較。

Vogt(1998)提出，進行地下部取樣應考慮下列幾個因素：取樣時應嘗試得到最完

整的資料，避免大規模的破壞性取樣，對樣區的干擾需降至最低，尤其是預計做長期試驗的樣區；取樣應與植物的物候相配合，降低因生長期所產生的誤差；若欲得到根系季節或年間變化時，需進行長期取樣；在室內應事先釐清研究目的，再考慮要以何種方式進行根的分類，如徑級或功能；取樣前應先了解樣區的環境因子，再考慮樣區的空間異質性，不可預先將樣區假定為均質。此外，若欲了解細根生物量，其挖掘深度至少須達 25 cm 以上，才能降低取樣所產生的誤差(Jackson et al. 1997)。

3. 材料與方法

本研究藉由收集地上部枯落物與挖掘地下部根系，並量測其所含養分，再搭配相關的地上部生物量研究(葉青峯 2004)，試圖瞭解鴛鴦湖地區臺灣扁柏森林生態系的養分存量與枯落物養分流量。

3.1 樣區概述

鴛鴦湖保留區(24°35'N, 121°24'E)位於臺灣的東北部，介於新竹尖石鄉、桃園復興鄉、與宜蘭大同鄉之間，屬於副熱帶山區，海拔大約從 1,650 m 到 2,420 m，年雨量豐沛，約從 2,000 mm 至 5,000 mm 的紀錄皆有，夏季降雨來自於地形雨與颱風，冬季則來自於東北季風，無明顯乾濕季(Chang et al. 2002)。

本研究實驗區屬於蘭陽溪支流的石頭溪集水區(圖 1)，海拔約 1,670 m，距離鴛鴦湖自然保留區約 2.5 km，位於 100 號林道 14.5 km 南方處(24°35'N, 121°25'E)，面積為 1ha (100 m × 100 m)之樣區。此區於 1961 年，進行檜木天然下種更新造林作業，目前樣區上的林木為當時保留下來的臺灣扁柏母株自然下種。本樣區目前已成為以臺灣扁柏為優勢樹種的天然下種更新林，樹齡約在 10-50 年間，林務局劃設此區為永久保存林區(葉青峯 2004)。由 2003 年 3 月至 2004 年 2 月統計，雲霧籠罩時數高達 3,356 小時，占總時數的 38%，具季節與晝夜變化，為典型的雲霧森林(吳敏如 2004)。



圖 1 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林位置圖。圖中實心方塊為樣區所在地，樣區面積為 1 ha。

本樣區有 33 種維管束植物，分屬 17 科 26 屬 33 種，其中以臺灣扁柏為優勢樹種，其總胸高斷面積為 83,028 cm²，占有樹種總胸高斷面積的 81.8%，臺灣扁柏的平均胸高直徑為 14.7 cm(表 1)，平均高度為 9.8 m(陳耀德 2003)。本樣區臺灣扁柏地上部的總生物量為 140,400 kg ha⁻¹，其中樹幹為 106,400 kg ha⁻¹，枝條為 16,900 kg ha⁻¹，葉為 17,100 kg ha⁻¹(葉青峯 2004)。本樣區地被植物種類有 52 科 62 屬 78 種，苔蘚植物有 22 科 25 屬 35 種，占地被植物種數的 45%，其覆蓋度為全部地面的 83%。樣區內地被植物生物量為 835 kg ha⁻¹，苔蘚植物的生物量為 695 ka ha⁻¹，占地被植物總生物量的比例為 83%(劉美娟 2004)。

表 1 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林的 0.2 ha 樣區中，臺灣扁柏各徑級的株數分佈(陳耀德 2003)。

DBH(cm)	1-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
Amounts	64	75	67	84	54	29	5	1

於 2003 年 1 月至 2003 年 9 月間，其他研究曾針對本樣區中的土壤進行調查(表 2) (Matzner and Chang, personal communication)。本樣區的土壤屬酸性，利用 CaCl_2 量測時 pH 值皆低於 4，可知土壤極酸；土壤中約 $170,000 \text{ kg ha}^{-1}$ 的碳位於 0-40 cm 的土壤中，其中養分主要集中於有機層與 A 層，礦質土壤層中的養分明顯偏低。

表 2 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林土壤的基本性質

Depth cm	Horizon	pH		N t ha ⁻¹	Exchangeable cations [kg ha ⁻¹]						
		H ₂ O	CaCl ₂		Al ³⁺	Ca ²⁺	Fe ³⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Mn ²⁺	Na ⁺
15-0	O	3,54	2,83	9.0	46,6	320	37	350	66,5	34,6	n.b.
0-5	Ah-Sg	3,51	2,78	1.0	9,2	16,8	7,4	15,7	3,3	1,2	n.b.
5-25	Sg	3,85	3,03	0,00	30,3	4,4	6,3	n.b.	1,8	n.b.	n.b.
25-40	Sg	4,01	3,17	0,00	28,5	0,9	5,3	n.b.	0,19	n.b.	n.b.

從 2003 年 8 月至 2004 年 12 月，總共有 7 個颱風對鴛鴦湖地區產生影響(表 3)，其中僅有 1 個為輕度颱風，其他 6 個皆為中度颱風。當中具最大風速者為杜鵑颱風的 15.5 m s^{-1} ，具最小風速者為米勒颱風的 4.7 m s^{-1} 。在總降雨量方面，以艾莉颱風的 780 mm 為最高，以米勒颱風的 30 mm 為最低。

表 3 從 2003 年 8 月至 2004 年 12 月影響鴛鴦湖地區的颱風基本資料

Year	Name of typhoon	Storm dates	Storm strength	Max. wind speed (m s ⁻¹)	Total rainfall (mm)
2003	Dujuan	31 Aug.-2 Sep.	Medium	15.5	408
	Melor	2-3 Nov.	Light	4.7	30
	Mindulle	28 Jun.-3 Jul.	Medium	8.6	169
2004	Rananim	10-13 Aug.	Medium	8.9	185
	Aere	23-26 Aug.	Medium	12.7	780
	Nockten	23-26 Oct.	Medium	14.2	404
	Nanmadol	3-4 Dec.	Medium	6.2	243

Note : Storm strength was characterized using the Taiwan Central Weather Bureau rating system. Rainfall and wind speed were recorded within the yellow cypress forest.

本樣區於 100 號林道 14.5 km 南方約 50 m 處搭建一座高 23 m 鐵塔，並在高於樹

冠 10 m 處架設能見度儀(MIRA visibility sensor 3544, Anadaraa instrument, Norway)、風向風速計(wind monitor model 0513, R. M. Young, USA)、溫溼度計(RHT2nl, Delta-T, UK)等氣象儀器，分別量測能見度(visibility)、風速(wind speed)、風向(wind direction)、溫度(temperature)、相對溼度(relative humidity)等氣象資料。於樣區 500 m 外開闢地設置雨量筒，設置於離地面 3 m 的鐵架上；於樣區內設置有 10 個枯落物收集盤。以上相關儀器設施，屬於本樣區長期監測項目，提供本樣區相關氣象與枯落物資料。

3.2 取樣與分析

本實驗取樣與分析，主要區分為三部分：地上部枯落物養分流量、地下部養分存量、與地上部養分存量。

3.2.1 地上部枯落物

本論文地上部枯落物的收集時間為 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。地上部枯落物的收集採用 50 cm × 50 cm 收集盤(trap)，由木材製成，底部由 1 mm 網孔的尼龍網所構成，周邊高約 15 cm。收集盤以鐵架安裝於距離地面約 50 cm 高，裝設時以及每次取樣後，以水平尺調整收集盤面的水平。收集盤的設置採用系統取樣(圖 2)，在距離樣區西側邊界 10 m 處，拉置一條南北向的樣線，於樣線上每隔 10 m 設置一個收集盤，總共設置 10 個收集盤。實驗期間配合樣區其他長期監測項目的收集，每隔二週收集盤中枯落物一次。收集時若遇有部分在盤外的枯枝，則僅取位於盤內的部分。每次收集時，均將 10 個收集盤的枯落物混合成一個樣品，並未分別對 10 個收集盤作分析。所收集到的枯落物帶回實驗室後，先置於室內陰乾再進行分類。分類時先依照樹種進行區分，再細分為葉、枝條、花、果(含種子)、動物(糞便與屍體)、與苔蘚等類別，而無法分辨者則列為其他。待分類後將樣品以 60°C 烘乾後稱重，稱重後先將枯落物置於冰箱中冷藏，待累積至一定量後，將樣品送至林業試驗所進行養分濃度分析。

養分濃度的分析方法採用灰化法(ashing)、與乾燒法(dry combustion method)測量鉀、鈣、鎂、鈉、磷、總氮(total nitrogen, TN)與總碳(total carbon, TC)的濃度。灰化法是取 0.5 g 磨成細粉的枯落物樣本，先以 105°C 烘 24 小時後，利用微程式電腦控制高溫爐(Nabertherm, Nr.82628, Germany)以 490°C 灰化，灰化後使其溶解於 2N 的鹽酸(HCl)中，並定量成 50 ml，再以 0.45 μm 濾膜(cellulose acetate, Millipore, USA)過濾後以感應耦合電漿原子放射光譜儀 (Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy, ICP-OES,

Jobin-Yvon Horiba group, JY2000, Edison USA) 進行鉀、鈣、鎂、鈉、磷等元素濃度的測定。乾燒法是以錫囊包取 2 至 4 mg 粉末狀樣本，利用元素分析儀 (Elemental analyzer, EA, Thermo Finnigan NA1500, Bremen Germany) 進行總碳與總氮濃度的測定。

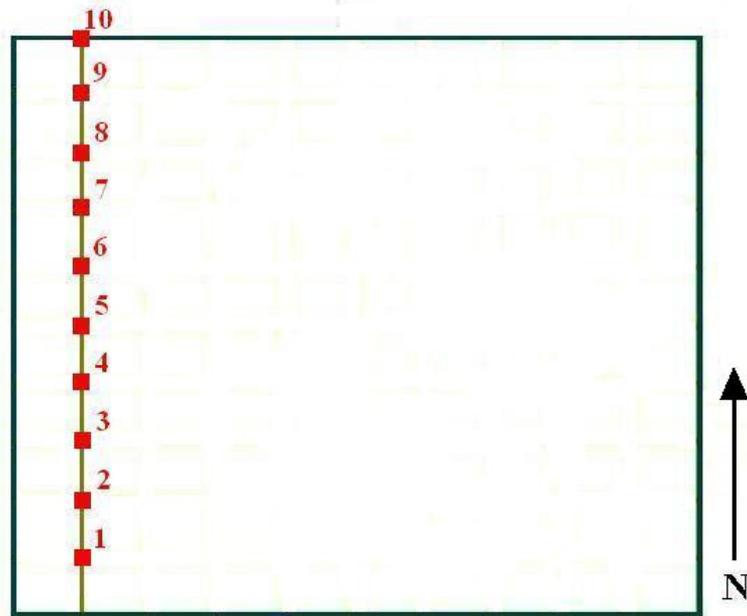


圖 2 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物收集盤分布圖。在距離樣區西側邊界 10 m 處，拉置一條南北向樣線，於樣線上每隔 10 m 設置一個收集盤，總共設置 10 個收集盤。

3.2.2 地下部的養分存量

關於地下部養分存量的取樣與分析，粗根(直徑大於 2 mm)生物量的估算是採用整棵挖掘法，細根(小於或等於 2 mm)生物量則採用挖坑法來估算。

■ 整棵挖掘法

於 2004 年 8 月至 2005 年 2 月間，於靠近樣區的臺灣扁柏天然下種更新林中，選取三棵灣扁柏樣木(表 4)，進行整棵挖掘。取樣時先將樣木地上部移除，同時並量測地上部生物量(葉青峯 2004, 陳凱欣 2005)，待地上部完全移除後，徒手小心把樣木整個根系挖出，所挖掘出的根系全數帶回實驗室，並置於冰箱中冷藏。處理根系樣品時以水小心將根系上的泥土洗淨，洗淨的根系則依照根徑區分為： ≤ 2 mm、2 mm 至 ≤ 5 mm、5 mm 至 ≤ 10 mm、10 mm 至 ≤ 50 mm、與 > 50 mm 的五種徑級。樣本以 60°C 烘乾稱

重後，各徑級取 10 g 的根系 5 份，進行養分測定，養分含量的分析方法與地上部枯落物的分析方法相同。

表 4 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法樣木基本資料。資料來源：葉青峯(2004)與陳凱欣(2005)。

Tree	Height	DBH	Above-ground biomass		
	m	cm	Stem	Branch	Leaf
kg					
1	7.8	7.8	7.6	0.9	0.8
2	9.6	12.0	29.8	3.2	3.4
3	11.6	16.0	47.3	6.7	5.9

由於取樣區域中含大量石塊與倒木，因此在根系挖掘過程中，經常遭遇石塊或倒木阻隔。原則上會設法將石塊或倒木移除，但若遇巨大石塊或倒木所阻隔，而無法將其移除而根系徑級又較小時，則將根系切斷，並量測切斷處根級，再利用根徑與生物量的關係推估所損失生物量。此外，在挖掘過程中，若有根系斷裂的狀況產生時，則紀錄斷裂根系徑級，同樣利用根徑與生物量的關係推估損失生物量。於 2004 年 8 月所挖掘的樣木胸高直徑為 7.8 cm，該樣木徑級較小，且所處區域較為平坦，較利於挖掘工作的進行，使挖掘過程中所損失生物量極低，故此損失生物量的估算僅針對 2005 年 2 月所挖掘的 2 棵樣木進行。

對損失生物量的推估，是利用完整根系與生物量，求出根徑與生物量的關係，再以此關係估算每棵樣木在挖掘過程中所損失生物量。因所損失根系徑級並未超過 10 mm，故針對每株樣木各選取 3 個徑級為 10 mm 的完整根系進行相關的推估，過程中將 2-10 mm 的根系，以徑級 1 mm 為單位，分別測量小於各徑級的根重量；而徑級 0-2 mm 的根系，則以 0.5 mm 為單位。

此外，在挖掘過程中為方便作業，會利用鏈鋸將粗大根系鋸開，此步驟會因鏈鋸的使用而產生生物量損失。此生物量損失的估算是以切面面積與木屑的關係來求得。推估時分別收集 3 處鏈鋸所產生的木屑，測量木屑濕重與 60°C 烘乾後的重量，再利用影像與繪圖軟體求出鏈鋸在根系上所產生的切面面積，以切面面積搭配所產生的木屑重量，求出兩者間的相關，再利用此一關係估算使用鏈鋸所損失生物量。

▪ 挖坑法

本研究於 2004 年 10 月至 2005 年 1 月間進行挖坑法取樣。在樣區中挖掘 30 cm × 30 cm 深 40 cm 的坑，深度每隔 10 cm 作一分層，總共進行 10 個坑的取樣，取樣時於研究樣區附近的臺灣扁柏天然下種更新林中，隨機選取 10 個區域進行取樣，每個取樣點均距離附近林木至少 1 m。本研究於 2004 年 10 月 15 日完成 3 個坑的挖掘；於 2004 年 11 月 12 日完成 4 個坑的挖掘；於 2005 年 1 月 7 日完成最後 3 個坑的挖掘。

挖掘過程中先利用工具定出坑的邊界，再徒手將每 10 cm 為一分層的根系與土石挖出，並分別裝入夾鏈袋中帶回實驗室。其中直徑大於 5 mm 的石塊僅測量重量不將其帶回實驗室，挖掘過程中若遇石塊橫越在層與層間或石塊超出坑的範圍時，則估計比例換算成重量。於實驗室中將岩石、土壤與根系分開，其中小石塊(粒徑大於 2 mm 者)僅量測重量；泥土(粒徑小於 2 mm)則以 105°C 烘乾後稱重；根系則置於 1 mm 網目的尼龍網中，徒手小心把附著於根系上的土石清洗乾淨，並分別依照根系的型態特徵(morphological characteristic)、彈性(elasticity)、脆性(friability)、表皮的附著度與顏色等，把根系分類為死根與活根。再利用解剖顯微鏡搭配根系的型態特徵、顏色與表皮粗糙度等，把屬於臺灣扁柏的根系挑出，並依徑級把根系分為細根與粗根，並以 60°C 烘乾稱重後，針對不同的坑，依照各分層、樹種與徑級進行養分測定，此處根系養分含量的分析與地上部枯落物的分析方法相同。此外，關於樣區石塊密度的測定，共選取 5 個石塊，稱重後將石塊置入水中，求取石塊體積，再利用重量與體積求出石塊的密度。

3.2.3 地上部的養分存量

鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林地上部生物量的估計，是採用葉青峯(2004)針對本樣區臺灣扁柏生物量所估計的結果。該研究於樣區中選取各徑級的樣木，並搭配相對生長公式(allometric equation)求出本樣區相對生長公式的回歸係數，再將此回歸係數帶入相對生長公式中，並搭配陳耀德(2003)調查樣區中 0.2 ha 臺灣扁柏胸徑分布資料，以此估計樣區中臺灣扁柏樹幹、葉與枝條生物量，並以此推估 1 ha 臺灣扁柏林分各部位的總生物量。

臺灣扁柏地上部養分存量，是利用上述的生物量資料，乘上本研究所測得的養分濃度。關於臺灣扁柏地上部養分濃度的測定，本研究平均選取樣區中 5 處臺灣扁柏樹幹、枝條與葉的樣本，並將 5 個樣本混合成一個樣品，以 60°C 烘乾後，利用與地上部枯落物相同的分析方法進行養分含量分析。

4. 結果

4.1 地上部枯落物的養分流量

4.1.1 枯落物量的變動

- 枯落物的季節變化

枯落物收集時間為 2003 年 7 月 25 日至 2005 年 1 月 6 日，為了以月份來表示枯落物量，本研究分析將兩星期一次的枯落物量整併換算成月份資料。因臺灣扁柏是樣區中的優勢樹種，故除了總枯落物量的分析外，同時將臺灣扁柏的枯落物獨立出來進行分析。從 2004 年 1 月至 12 月，鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林的枯落物年產量為 5,900 kg ha⁻¹ y⁻¹。枯落物的季節變化情形(圖 3)，於研究期間共有三個高峰出現，一在 2003 年 9 月，月枯落物量為 1,000 kg ha⁻¹；一在 2004 年 8 月，月枯落物量為 1,800 kg ha⁻¹；另一則在 2004 年的秋末冬初(10-12 月)，平均月枯落物量為 700 kg ha⁻¹。

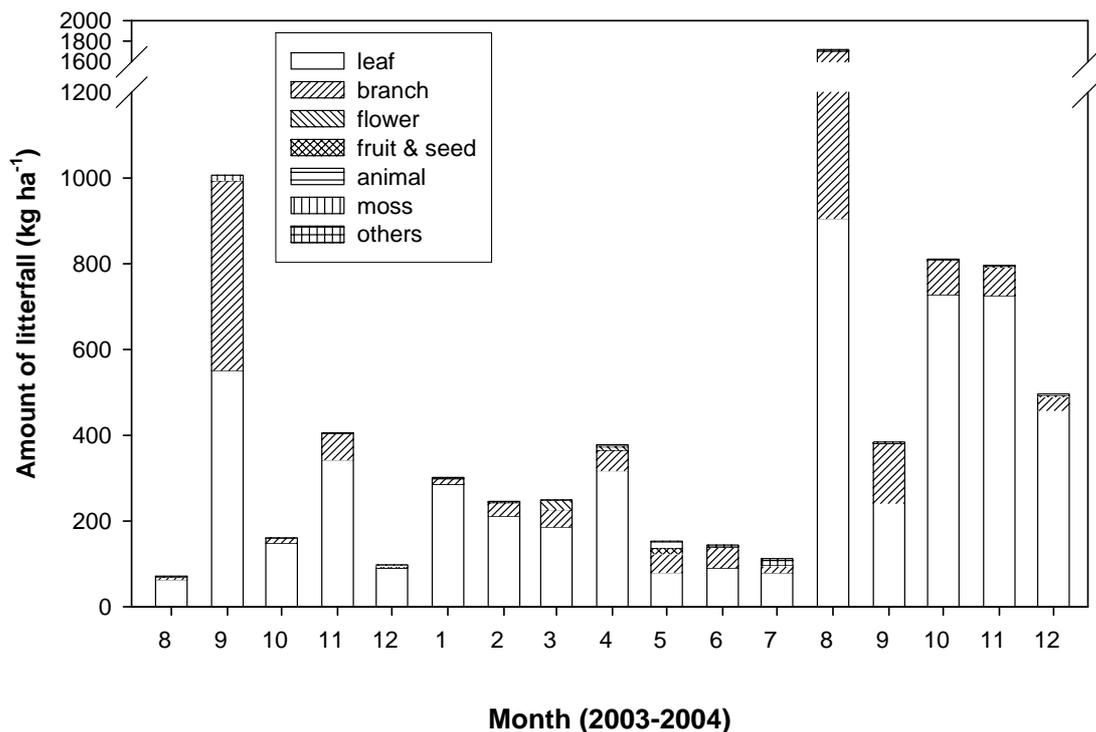


圖 3 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物量的季節變動。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

- 枯落物各組成成分所占的比例

鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林的枯落物年產量為 5,900 kg ha⁻¹ y⁻¹，其中各組成

成分的比例分配中(表 5)，以葉為 $4,306 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ，占全部的 73.7 % 為最高，其餘依序為枝條、其他、花、果實與種子、動物殘骸、苔蘚，以動物殘骸為 $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ，占全部的 0.1 % 為最低。在枯落物的總組成成分中，以落葉所占比例為最大。

表 5 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物組成

	Leaf	Branch	Flower	Fruit & Seed	Animal	Moss	Others
Amounts kg ha⁻¹ y⁻¹	4,306	1,356	33	27	7	31	85
%	73.7	23.2	0.6	0.4	0.1	0.5	1.5

■ 臺灣扁柏枯落物量的季節變化

臺灣扁柏在研究樣區中為枯落物的主要來源(圖 4)，其枯落物產量為 $5,100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ，約占總枯落物產量的 86%。而臺灣扁柏枯落物量的季節性變化，在研究期間共有三個高峰出現。一在 2003 年 9 月，枯落物量為 612 kg ha^{-1} ；一在 2004 年 8 月，枯落物量約為 $1,533 \text{ kg ha}^{-1}$ ；另一則在 2004 年 10-11 月，平均月枯落物量約為 633 kg ha^{-1} 。

■ 臺灣扁柏枯落物組成成分的季節性變化

臺灣扁柏枯落物的組成成分(圖 5)，以葉所占的比例最高；枝條則有三個高峰出現，分別為 2003 年 9 月、2004 年 8 月與 2004 年 9 月；花的高峰主要出現於 2004 年 3-4 月與 8 月；果實與種子的高峰主要出現於 11-2 月間(圖 6)。

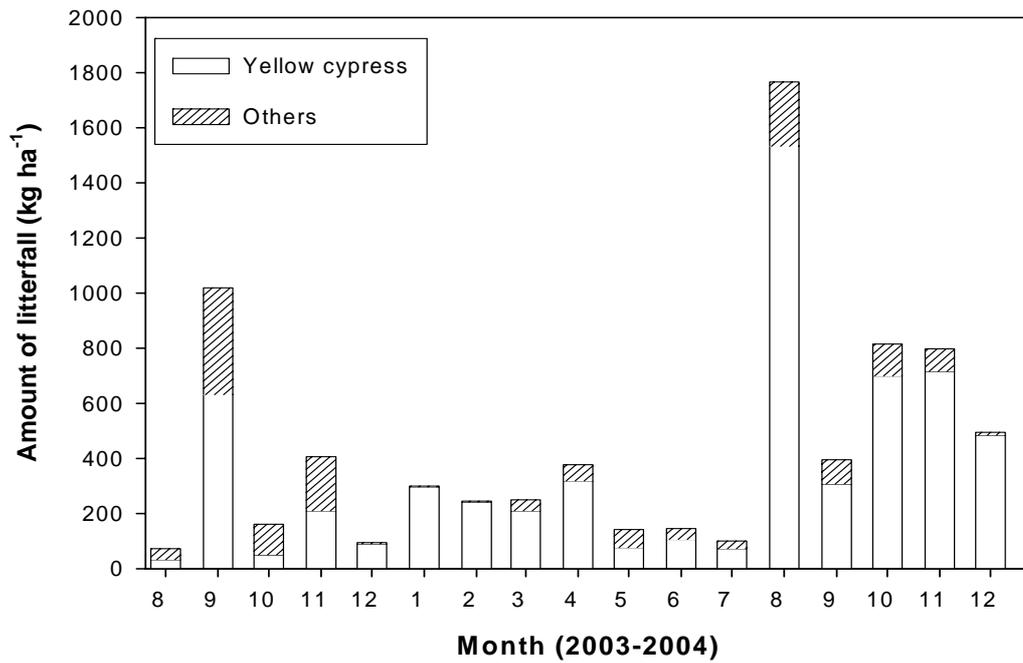


圖 4 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏與其他枯落量的變化。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

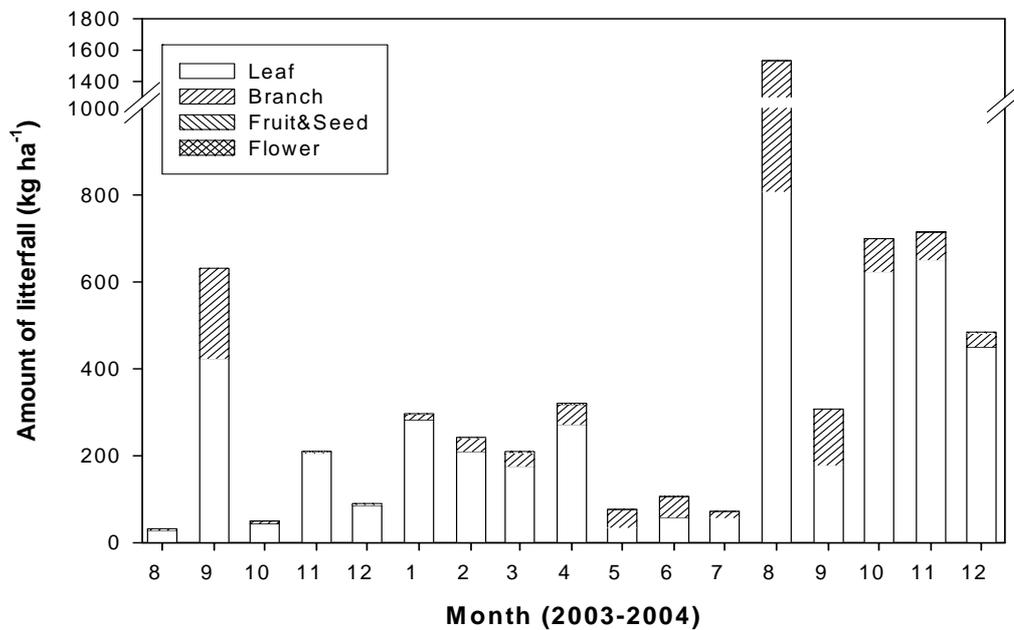


圖 5 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物組成成分的季節變化。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

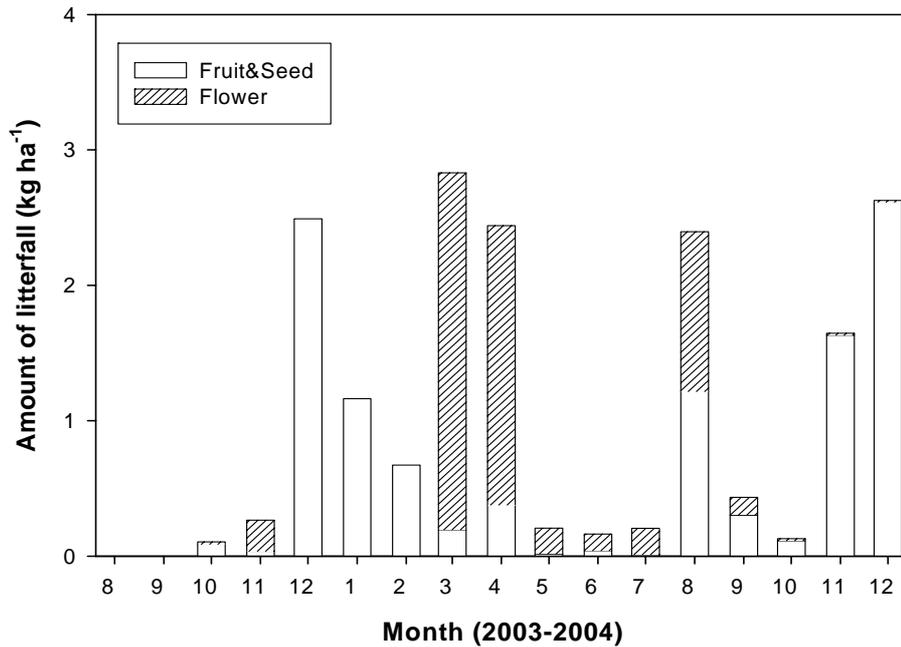


圖 6 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物花與果實及種子的季節變化。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

4.1.2 枯落物養分的變動

- 枯落物各組成成分的養分濃度

鴛鴦湖地區枯落物的養分濃度(表 6)，整體而言，碳濃度，以葉所含濃度最高為 522.29 mg g^{-1} ，以苔蘚 442.82 mg g^{-1} 為最低；氮濃度，以花所含濃度 20.04 mg g^{-1} 為最高，以枝條 6.58 mg g^{-1} 為最低；鈣濃度，以葉濃度 14.51 mg g^{-1} 為最高，以果實與種子濃度為 1.94 mg g^{-1} 為最低；鉀濃度，以花所含濃度 10.11 mg g^{-1} 為最高，以枝條所含濃度為 0.63 mg g^{-1} 為最低；鎂濃度，以花所含養分為 2.16 mg g^{-1} 為最高，以枝條濃度為 0.48 mg g^{-1} 為最低；鈉濃度，以花濃度為 0.08 mg g^{-1} 為最高，以葉濃度為 0.03 mg g^{-1} 為最低；磷濃度，以花濃度為 7.52 mg g^{-1} 為最高，以枝條濃度為 0.9 mg g^{-1} 為最低。各組成成分的養分濃度變化中，以氮、磷、鉀與鈣的差異較為明顯；而鎂濃度差異較小，主要介於 $0.4\text{-}2.2 \text{ mg g}^{-1}$ 之間；至於鈉濃度則偏低，其濃度介於 $0\text{-}0.08 \text{ mg g}^{-1}$ 之間。

臺灣扁柏枯落物的組成成分濃度，在碳部分，花與葉的濃度最高，枝條的濃度最低；在氮部分，花的濃度最高，果實與種子的濃度最低；在鈣部分，葉的濃度最高，果實與種子的濃度最低；在鉀部分，果實與種子的濃度最高，枝條的濃度最低；在鎂部分，

葉的濃度最高，枝條的濃度最低；在鈉部分，果實與種子的濃度最高，葉的濃度最低；在磷部分，花的濃度最高，枝條的濃度最低。當中氮、鈣與鉀的差異較大。

表 6 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物各組成成分的養分濃度

Species	Component	Amounts	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
		kg ha ⁻¹ y ⁻¹							
Yellow cypress	Leaf	3,803	524.45	8.09	15.46	1.59	1.28	0.02	1.36
	Branch	1,247	497.62	7.03	7.51	0.72	0.56	0.05	1.02
	Flower	7	526.42	10.34	4.19	1.60	0.65	0.04	1.80
	Fruit & Seed	8	504.04	5.84	2.94	2.61	0.87	0.07	1.46
Others	Leaf	503	511.31	14.23	9.73	3.77	2.42	0.08	2.55
	Branch	109	498.31	4.99	2.72	0.32	0.21	0.02	0.50
	Flower	26	492.01	22.45	5.63	12.23	2.53	0.09	8.94
	Fruit & Seed	19	498.67	10.00	1.36	5.83	0.96	0.02	3.78

■ 枯落物中臺灣扁柏葉與枝條養分濃度的季節變化

由於本研究樣區中臺灣扁柏為最主要優勢樹種，且經過分類之後，其他各樹種的枯落物量過低，無法進行每兩週一次的養分含量測量，故本研究僅針對枯落物中臺灣扁柏的葉與枝條進行季節性的變化測量。

關於樣區中臺灣扁柏枯落物落葉與枝條的養分濃度變化(圖 7 與圖 8)，落葉所含磷與鉀的濃度，在 9 月時有高峰出現，其餘養分則無較為明顯的變化產生；枝條所含鈣、磷、鉀與鎂的濃度，於 10-11 月時有高峰出現，其他養分則無較為明顯的變化產生。

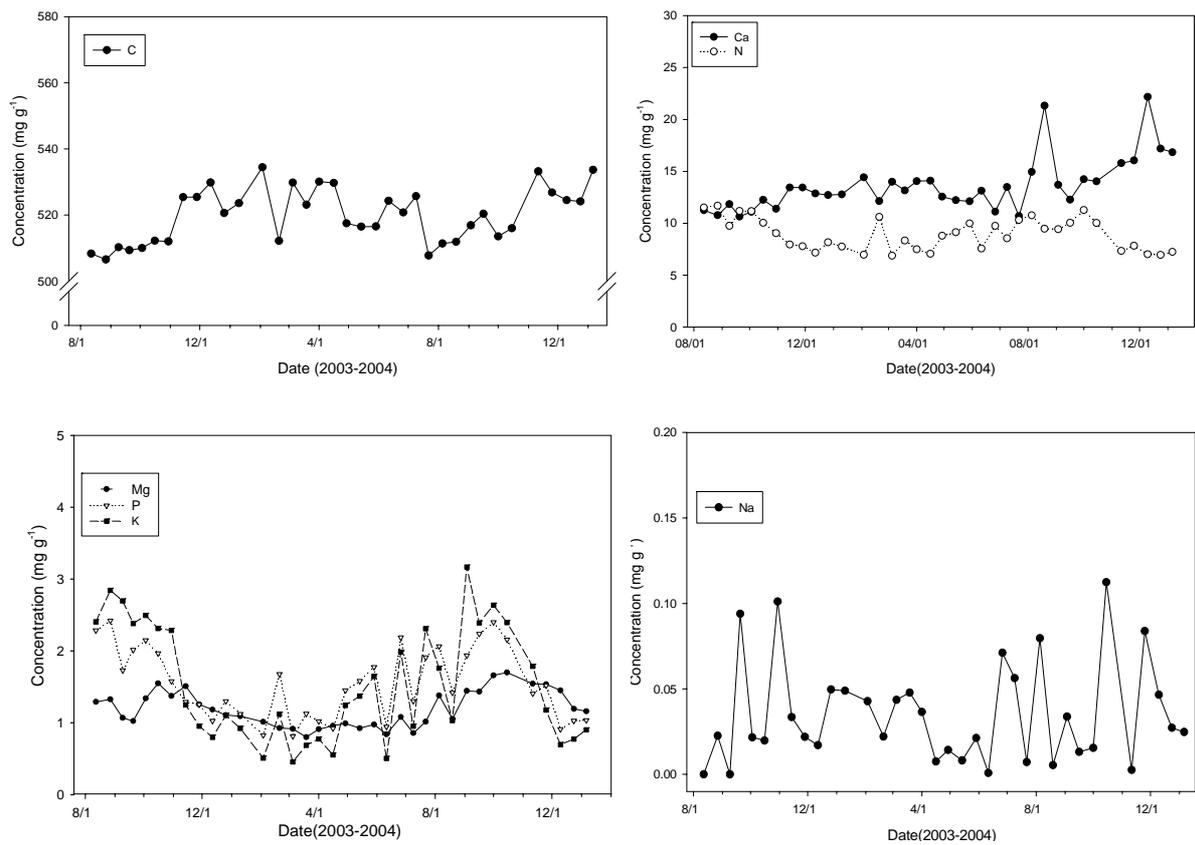


圖 7 鴛鴦湖地區臺灣扁柏的枯落物中落葉所含養分濃度變化。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

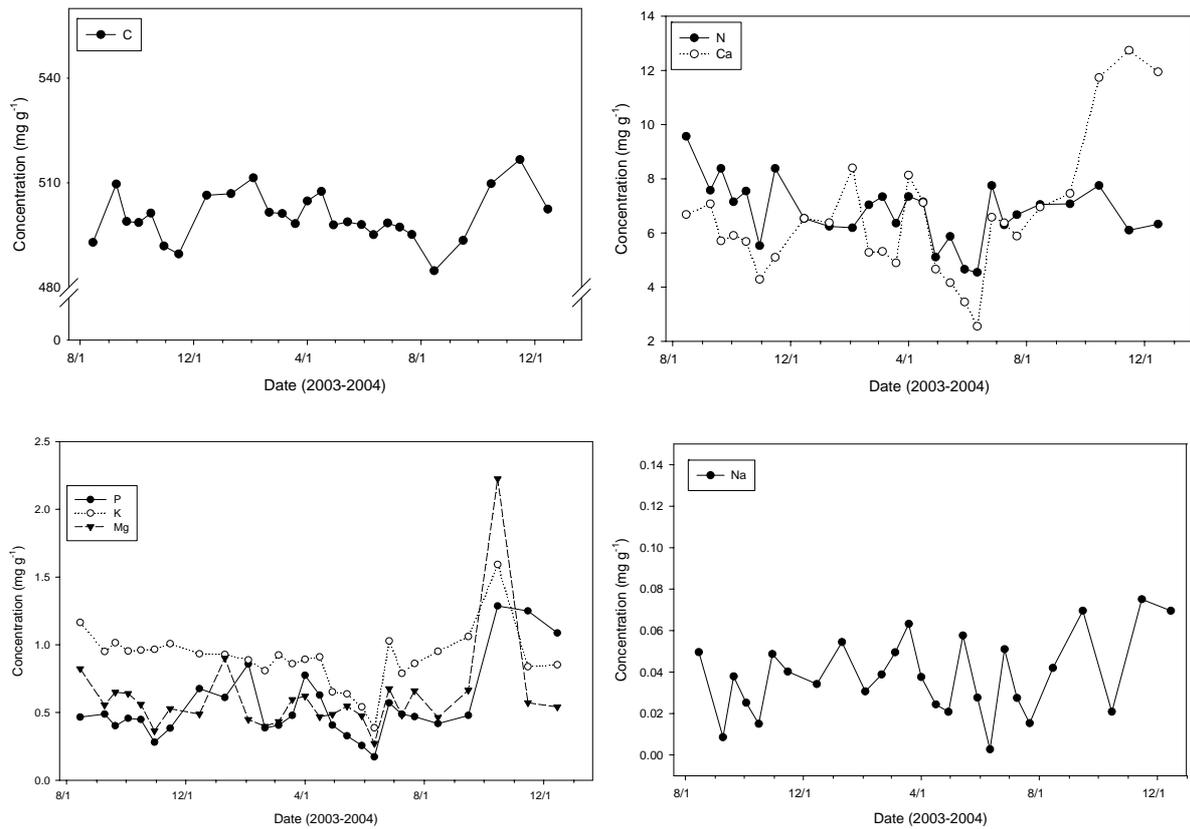


圖 8 鴛鴦湖地區臺灣扁柏的枯落物中枝條所含養分濃度的變化。資料來源 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。

■ 枯落物的養分流量

枯落物養分流量的估算，是藉由枯落物的養分濃度與枯落物量之乘積所求得。樣區年枯落物的養分流量，則是將各次所得的結果加以累積而求得。鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物的養分年流量中(表 7)，枯落物所含的養分大多來自於臺灣扁柏，就總養分流量而言，以碳的流量為最高 3,059 kg ha⁻¹ y⁻¹；其次為鈣 78 kg ha⁻¹ y⁻¹；氮 50 kg ha⁻¹ y⁻¹；鉀 9 kg ha⁻¹ y⁻¹；磷 8 kg ha⁻¹ y⁻¹；與鎂 7 kg ha⁻¹ y⁻¹，以鈉 0.2 kg ha⁻¹ y⁻¹ 為最低。

表 7 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物的養分流量

Species	Component	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
		kg ha ⁻¹ y ⁻¹						
Yellow cypress	Leaf	2,038.4	30.6	62.3	5.8	5.0	0.1	5.1
	Branch	622.6	8.7	9.6	0.9	0.7	0.1	1.3
	Flower	3.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fruit & Seed	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Others	Leaf	257.9	7.2	4.9	1.9	1.2	0.0	1.2
	Branch	54.9	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1
	Flower	13.6	0.6	0.2	0.3	0.1	0.0	0.3
	Fruit & Seed	9.5	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
	Moss	7.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
	Animal	3.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	Others	43.2	1.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.2
Total		3,058.5	49.7	78.1	9.4	7.2	0.2	8.3

4.2 地下部的養分庫

4.2.1 整棵挖掘法

- 整棵挖掘法所得根系的生物量

進行整棵挖掘法的三棵樣木各部位生物量分布(表 8)，在包含利用推估所得挖掘損失生物量的狀況下，細根生物量約占總地下部生物量的 5.7-8.6%；根徑 2 mm 至 ≤ 5 mm 的生物量占總地下部生物量的 0.6-12.7%；根徑 5 mm 至 ≤ 10 mm 的生物量占總地下部生物量的 1.7-3.5%；根徑 10 mm 至 ≤ 50 mm 的生物量占總地下部生物量的 11.9-33.9%；根徑 > 50 mm 的生物量占總地下部生物量的 51.5-80.0%。

表 8 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所得三棵樣木的地下部生物量。%：
占總地下部生物量的百分比，a、b：葉青峯(2004)與陳凱欣(2005)。

Tree	Height ^a	DBH	Above-ground biomass ^b	Root biomass					total
				< 2	2-5	5-10	10-50	> 50	
	m	cm	g	g (%)					
1	7.8	7.8	9,327	390 (8.6)	155 (3.4)	122 (2.7)	1,538 (33.9)	2,337 (51.5)	4,541 (100)
2	9.6	12.0	36,468	764 (7.9)	1,236 (12.7)	343 (3.5)	2,332 (24.1)	5,022 (51.8)	9,698 (100)
3	11.6	16.0	59,903	1,965 (5.7)	222 (0.6)	586 (1.7)	4,119 (11.9)	27,627 (80.0)	34,520 (100)

▪ 斷裂根系損失生物量的估算

挖掘過程中斷裂根系的數量(表 9)，根徑 ≤ 2 mm 者共有 400 處，根徑 2 mm 至 ≤ 5 mm 者共有 92 處，根徑 5 mm 至 ≤ 10 mm 者共有 6 處。

藉由完整根系所求得的根徑與生物量的關係(表 10)，搭配斷裂根系的數量，可估算出挖掘過程中損失的根系生物量(表 11)。則編號 2 的樣木損失的總根系生物量為 344.0 g；編號 3 的樣木損失的總根系生物量為 282.1 g。

表 9 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法在挖掘過程中斷裂根系的數量

Tree	Amounts of broken roots		
	< 2 mm	2-5 mm	5-10 mm
2	252	48	3
3	148	44	3
Total	400	92	6

表 10 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林根徑與根系生物量的對照表。(n)：該徑級的取樣數。

Root diameter	Average biomass	Root diameter	Average biomass
mm (n)	g ± S.E.	mm (n)	g ± S.E.
10 (7)	34.06 ± 7.50	4 (9)	5.57 ± 0.87
9 (8)	32.61 ± 4.93	3 (21)	2.72 ± 0.35
8 (5)	23.38 ± 2.23	2 (17)	1.10 ± 0.27
7 (7)	24.21 ± 4.09	1.5 (11)	0.55 ± 0.25
6 (5)	13.79 ± 3.79	1 (15)	0.23 ± 0.05
5 (11)	10.16 ± 0.92	0.5 (9)	0.03 ± 0.01

表 11 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法損失的根系生物量。

Tree	Loss of biomass (g)			
	< 2 mm	2-5 mm	5-10 mm	Total
2	119.8	150.2	74	344.0
3	70.4	137.7	74	282.1

▪ 使用鏈鋸損失根系生物量的估算

收集木屑烘乾秤重後，求得木屑與切面面積關係為 0.402 g cm^{-2} 。以此數值配合所求得的總切面面積，估算使用鏈鋸所損失的根系生物量(表 12)，則編號 2 的樣木總切面面積為 279 cm^2 ，損失生物量為 112 g，編號 3 的樣木總切面面積為 $3,241 \text{ cm}^2$ ，損失生物量為 1,303 g。

表 12 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林進行整棵挖掘法，使用鏈鋸產生的切面面積與損失生物量。

Tree	Area (cm^2)		Loss of biomass (g)		Total
	10-50 mm	> 50 mm	10-50 mm	> 50 mm	
2	15	264	6	106	112
3	--	3,241	--	1,303	1,303

▪ 地下部總生物量的估算

針對地下部總生物量的估算，是以整棵挖掘法所得數值，搭配陳耀德(2003)針對樣區中 0.2 ha 所進行的每木調查結果而求得。因本研究僅針對三棵樣木，進行地下部生物量的挖掘，在總生物量估算上容易產生誤差。故本研究分別求取樹高、胸高直徑、地上部生物量與地下部生物量的線性與指數相關，並以此相關求取地下部生物量(表 13)。

整棵挖掘法所得三棵樣木根系約占總生物量的 30%，利用樹高估算的地下部總生物量較三棵樣木低，故不予以採用；而利用地上部生物量與胸高直徑估算的地下部總生物量，與利用胸高直徑與地下部生物量的指數關係，所估算的數值其 r^2 為 0.93，較其他估算的 r^2 高，故本研究將利用胸高直徑與地下部生物量的指數相關來推估樣區的地下部總生物量，而所求得的細根的總生物量為 3,800 kg ha⁻¹；粗根的總生物量為 70,400 kg ha⁻¹；地下部的總生物量為 74,200 kg ha⁻¹。

表 13 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林地下部總生物量的估算。AB：地上部生物量、DBH：胸高直徑、H：樹高、B：生物量、%：占總生物量的百分比。

		y								
		Fine root			Coarse root			Total root		
x	Equation	r ²	B kg ha ⁻¹	%	r ²	B kg ha ⁻¹	%	r ²	B kg ha ⁻¹	%
		AB y = ax - b	0.89	4,300	3.0	0.84	73,200	34.3	0.85	77,500
	kg y = a x ^b	0.88	3,000	2.1	0.84	54,000	27.8	0.84	56,900	28.9
	DBH y = ax - b	0.91	3,100	2.2	0.86	51,400	26.8	0.87	54,600	28.0
	cm y = a x ^b	0.96	3,800	2.7	0.93	70,400	33.4	0.93	74,200	34.6
	H y = ax - b	0.93	2,400	1.7	0.89	37,600	21.1	0.89	40,000	22.2
	m y = a x ^b	0.98	2,300	1.6	0.97	33,100	19.1	0.97	54,800	28.1

■ 三棵樣木根系的養分濃度

整棵挖掘法所得樣木地下部所含養分濃度差異(圖 9)，碳濃度與胸高直徑間無明顯相關性，隨根徑增加含碳濃度有下降的趨勢。胸高直徑為 12 cm 與 16 cm 的樣木，其含氮濃度的差異不大，胸高直徑為 6.8 cm 者，含氮濃度則高於另外兩棵樣木，含氮濃度與根徑呈現負相關的趨勢。鈣的濃度，與胸高直徑間無明顯相關性；胸高直徑為 12 cm 與 16 cm 的樣木，其含鈣的濃度有隨根徑增加而下降的趨勢，胸高直徑為 6.8 cm 者則無此現象產生。胸高直徑為 12 cm 與 16 cm 的樣木所含鉀的濃度明顯高於胸高直徑為 7.8 cm 者；而根徑的變化對所含鉀的濃度並無明顯影響。隨胸高直徑的增加所含的鎂濃度有增加的趨勢；隨根徑增加，大致上所含鎂的濃度有下降的趨勢產生。胸高直徑與根徑的改變對所含磷的濃度，均無明顯相關性。鈉的濃度，與胸高直徑間無明顯相關性；而各樣木含鈉的濃度均偏低，且隨根徑增加含鈉的濃度有下降的趨勢產生。

■ 地下部的養分濃度

整棵挖掘法所得地下部所含養分濃度(表 14)，細根所含各養分濃度明顯較粗根高，但粗根生物量明顯高於細根，故粗根對地下部養分濃度會產生重大的影響。

■ 地下部總養分存量的估算

依整棵挖掘法所測得的根系養分濃度，搭配相關式所求得的地下部總生物量，可估算出地下部總養分存量(表 15)。關於地下部總養分存量，碳為 $36,095 \text{ kg ha}^{-1}$ 、氮為 163 kg ha^{-1} 、鈣為 135 kg ha^{-1} 、鉀為 114 kg ha^{-1} 、鎂為 16 kg ha^{-1} 、鈉為 2.96 kg ha^{-1} 與磷為 40 kg ha^{-1} 。

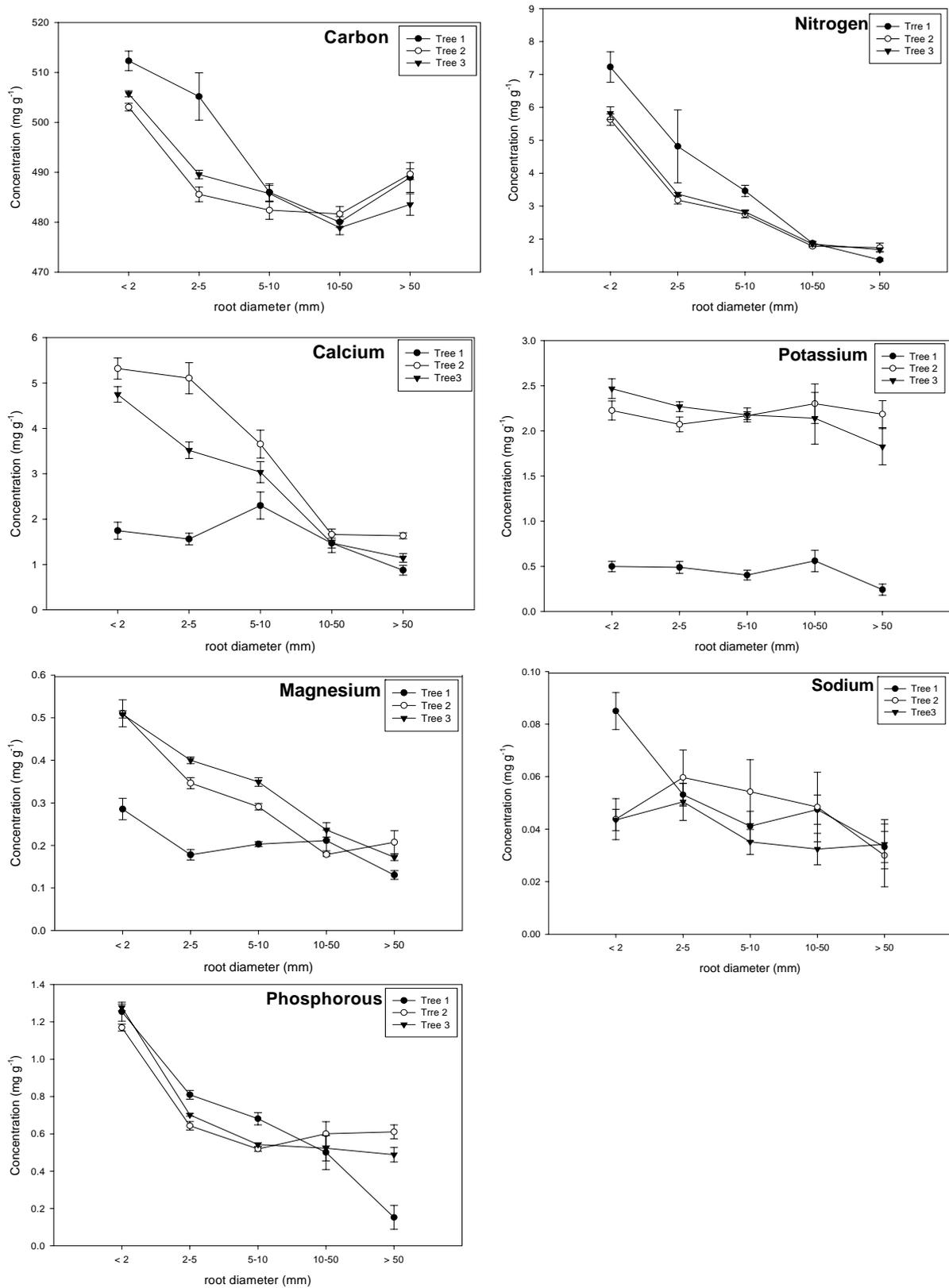


圖 9 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林不同胸高直徑的臺灣扁柏地下部所含養分濃度差異。樣木 1 的 DBH 為 7.8 cm，樣木 2 的 DBH 為 12 cm，樣木 3 的 DBH 為 16 cm。

表 14 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所求得地下部的平均養分濃度

	biomass	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
	kg ha ⁻¹	mg g ⁻¹						
Fine root	3,800	507.03	6.23	3.94	1.73	0.43	0.06	1.23
Coarse root	70,400	485.30	1.98	1.70	1.52	0.20	0.04	0.50

表 15 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林整棵挖掘法所估算的地下部總養分存量

	biomass	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹						
Fine root	3,800	1,927	24	15	7	1.7	0.22	5
Coarse root	70,400	34,165	139	120	107	14	2.73	35
Total root	74,200	36,095	163	135	114	16	2.96	40

4.2.2 挖坑法

- 土壤的基本性質

本研究測得鴛鴦湖地區土壤容積密度(表 16)，本樣區土壤容積密度偏低，且數值與土壤深度無明顯相關性。且依取樣點不同，土壤容積密度會有所差異，但整體而言，其值均偏低。

表 16 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林土壤的容積密度

plot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
depth										
cm	g cm ⁻³									
0-10	0.008	0.008	0.025	0.520	0.012	0.034	0.023	0.020	0.018	0.023
10-20	0.015	0.016	0.054	0.535	0.003	0.012	0.016	0.020	0.038	0.075
20-30	0.006	0.004	0.094	0.625	0.003	0.010	0.017	0.013	0.102	0.124
30-40	0.023	0.004	0.560	0.454	0.014	0.034	0.024	0.003	0.109	0.124

本樣區所求得石塊密度為 $2.29 \pm 0.07 \text{ g cm}^{-3}$ 。石塊於本樣區的分布情形(表 17 與表 18)，從所測得的數值可知，本研究樣區含石率相當高，且隨深度的增加，含石率有升高的趨勢。

表 17 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所求得單位體積所含石塊的重量

plot depth	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
cm	g cm ⁻³									
0-10	1.23	0.15	0.26	0.02	1.18	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00
10-20	2.19	0.35	1.63	0.18	0.71	0.40	0.62	1.19	0.49	1.19
20-30	0.24	2.16	0.22	0.64	2.13	2.07	1.72	2.01	0.98	1.12
30-40	1.00	1.86	1.16	0.69	2.20	2.09	2.15	1.81	1.79	2.01

表 18 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所求得的石塊體積百分比

plot depth	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
cm	%									
0-10	53.72	6.40	11.24	0.97	51.58	0.03	0.02	5.74	0.08	0.07
10-20	95.69	15.43	71.28	7.71	31.13	17.60	27.01	52.09	21.25	51.74
20-30	10.60	94.23	9.80	27.75	92.84	90.26	74.96	87.88	42.87	48.92
30-40	43.75	81.20	50.49	30.12	96.15	91.26	93.77	78.83	78.06	87.54

■ 根系的生物量

藉由挖坑法所求得的根系生物量中，臺灣扁柏細根總生物量為 $6,177 \text{ kg ha}^{-1}$ ；臺灣扁柏粗根總生物量為 $13,222 \text{ kg ha}^{-1}$ ；其他植物細根總生物量為 674 kg ha^{-1} ；其他植物粗根總生物量為 $2,015 \text{ kg ha}^{-1}$ 。不同土壤深度中根系的分布(圖 10)，臺灣扁柏細根主要分布於有機層($2,079 \pm 337 \text{ kg ha}^{-1}$)，與 0-10 cm($2,590 \pm 1,205 \text{ kg ha}^{-1}$)深的土壤中，隨土壤深度增加生物量有逐漸下降的趨勢；其他樹種細根分布與臺灣扁柏相同，主要根系亦分布於有機層($244 \pm 51 \text{ kg ha}^{-1}$)，與 0-10 cm($218 \pm 72 \text{ kg ha}^{-1}$)深的土壤中，隨土壤深度增加生物量亦呈現下降的趨勢；關於臺灣扁柏粗根的分布，最大值出現於土壤深度為 0-10

cm($6,288 \pm 1,723 \text{ kg ha}^{-1}$)之間，隨土壤深度增加生物量有下降趨勢；而其他樹種粗根分布，最高值亦出現於土壤深度為 0-10 cm($1,517 \pm 938 \text{ kg ha}^{-1}$)之間，但隨土壤深度增加生物量並無明顯的變化產生。

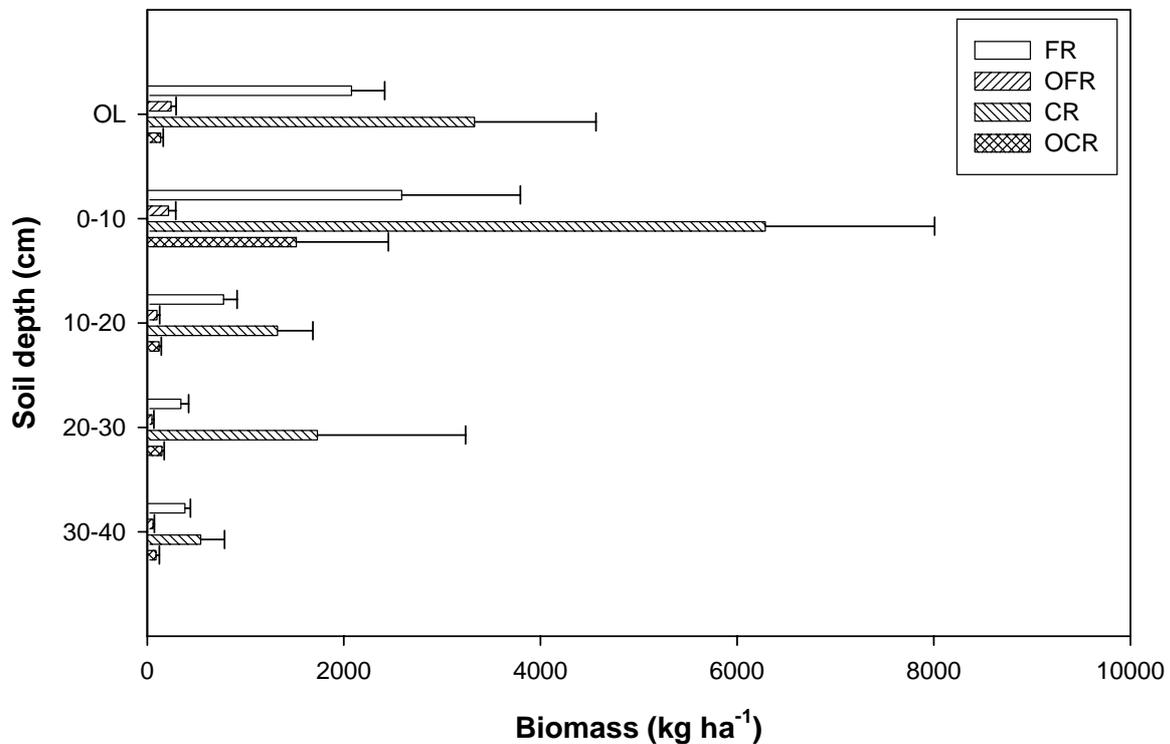


圖 10 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林不同土壤深度地下部生物量的分布。FR：臺灣扁柏細根；OFR：其他植物細根；CR：臺灣扁柏粗根；OCR：其他植物粗根。

■ 根系的養分濃度

挖坑法所得養分濃度(圖 11)，碳濃度，根系中以臺灣扁柏細根含碳濃度為最高，依次為臺灣扁柏粗根、其他植物細根，以其他植物粗根為最低。其中臺灣扁柏細根含碳濃度的最高值發生在有機層中，隨土壤深度增加濃度有下降的趨勢；臺灣扁柏粗根含碳濃度最高值發生於有機層，隨深度增加含碳濃度無明顯變化產生；其他植物細根含碳濃度以土深 0-20 cm 的值較高，其他深度則較低無明顯變化；其他植物粗根含碳濃度在土深 20-30 cm 時出現最高值，其他深度則無明顯差異與變化。

關於根系含氮濃度，細根明顯較粗根高。其中臺灣扁柏細根與粗根隨土壤深度增加濃度並無明顯差異，細根含氮濃度約在 $8-9 \text{ mg g}^{-1}$ 間，粗根含氮濃度則約在 $4-5 \text{ mg g}^{-1}$ 間；至於其他植物細根與粗根間則呈現相反的濃度變化，細根在土深 20-30 cm 時出現

最高值，粗根則在土深 20-30 cm 時出現最低值。

根系含鈣濃度，以其他植物粗根為最高，依次為其他植物細根、臺灣扁柏細根，以臺灣扁柏粗根為最低。其中臺灣扁柏細根與粗根的最高值皆出現在有機層，隨土壤深度增加含鈣濃度有下降的趨勢；關於其他植物根系含鈣濃度，粗根含鈣濃度明顯偏高，最高值出現在有機層，隨土壤深度增加含鈣濃度整體上出現下降的趨勢，細根含鈣濃度最大值出現在土深 20-30 cm，與其他根系有所差異。

根系含鉀濃度，其他植物根系所含的鉀濃度明顯高於臺灣扁柏的根系；在同樹種的狀況下，粗根含鉀濃度大於細根；大致上含鉀濃度的最高值皆出現於有機層中。

根系含鎂濃度，其他植物根系所含的鎂濃度明顯高於臺灣扁柏根系。其中臺灣扁柏細根高於粗根，濃度隨土壤深度增加而下降，大致上界於 0.5 mg g^{-1} 左右；其他樹種，粗根與細根最高值出現於有機層中，在土深 10 cm 以上時粗根大於細根，在土深 10 cm 以下時則相反，粗根濃度低於細根。

關於根系含鈉濃度，其他植物根系含鈉濃度高於臺灣扁柏根系，其中細根濃度高於粗根。臺灣扁柏根系濃度偏低，隨土壤深度增加並無明顯變化；其他植物濃度最高值出現在有機層中，在其他土壤深度中無明顯變化。

關於根系含磷濃度，細根高於粗根。隨土壤深度變化臺灣扁柏根系含磷濃度變化小於其他樹種，並無明顯最高值；其他樹種細根含磷濃度在土深 20-30 cm 時出現最高值，粗根最高值則出現於有機層中。

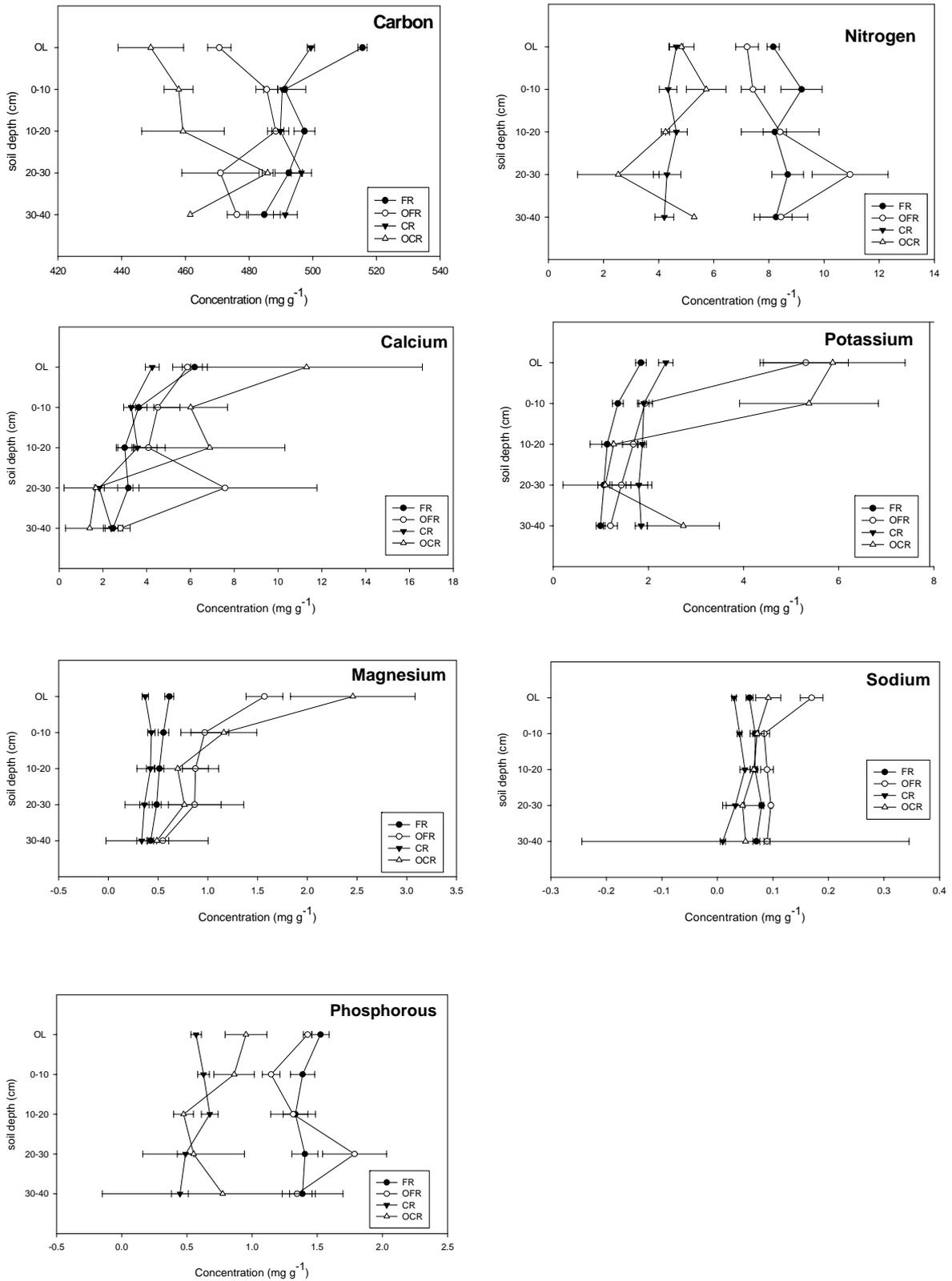


圖 11 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得根系含碳、氮、鈣、鉀、鎂、鈉、與磷濃度變化。FR：臺灣扁柏細根；OFR：其他植物細根；OCR：其他植物粗根；CR：臺灣扁柏粗根。

- 根系的養分存量

挖坑法所得根系的養分存量估算，是藉由根系的養分濃度與生物量的乘積所求得(圖 12)。根系的養分存量上，臺灣扁柏較其他植物高，粗根的養分存量會大於細根。各養分存量方面，大致上以碳為最高，依序為氮、鈣、磷、鉀、與鎂，以鈉的存量為最低。當中亦有例外產生，在臺灣扁柏的粗根養分存量中，鉀的存量較磷與鎂為高；在其他植物的養分存量中，磷的存量則較鉀低。

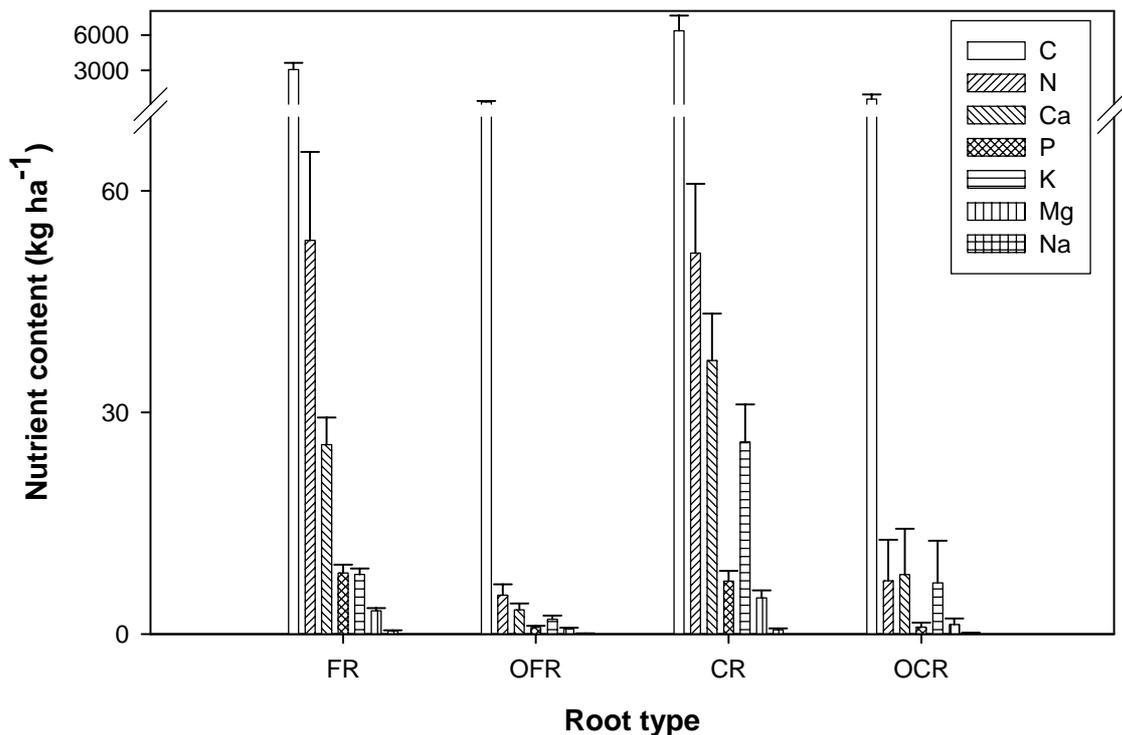


圖 12 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所估算的地下部養分存量。FR：臺灣扁柏的細根；OFR：其他植物的細根；CR：臺灣扁柏的粗根；OCR：其他植物的粗根。

4.3 地上部養分存量

- 地上部生物量

鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林地上部生物量的估計，是利用葉青峯(2004)對本樣區臺灣扁柏地上部生物量所估算的結果，臺灣扁柏林分總地上部生物量為 140,380 kg ha⁻¹，其中葉生物量為 17,110 kg ha⁻¹、枝條生物量為 16,870 kg ha⁻¹、樹幹生物量為 106,400 kg ha⁻¹。

▪ 地上部養分濃度

樣區中地上部所含養分濃度(表 19)，除鈉濃度以樹幹為最高，其次為枝條，以葉為最低之外；在碳、氮、鈣、鉀、鎂與磷的濃度，皆以葉為最高，其次為枝條，以樹幹為最低。

表 19 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏地上部的養分濃度

	biomass	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
	kg ha ⁻¹	mg g ⁻¹						
Leaf	17,110	503.72	8.03	12.54	4.52	1.10	0.030	1.71
Branch	16,870	498.04	2.47	2.76	1.49	0.28	0.023	0.72
Stem	106,400	496.94	1.32	1.53	0.84	0.15	0.024	0.33

▪ 地上部養分存量

地上部養分存量的估算，是地上部養分濃度與生物量的乘積(表 20)。樣區中地上部碳存量為 69,895 kg ha⁻¹；氮存量為 320 kg ha⁻¹；鈣存量為 424 kg ha⁻¹；鉀存量為 192 kg ha⁻¹；鎂存量為 40 kg ha⁻¹；鈉存量為 3.46 kg ha⁻¹；磷存量為 77 kg ha⁻¹。

表 20 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏地上部的養分存量

	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
	kg ha ⁻¹						
Leaf	8,619	137	215	77	19	0.51	29
Branch	8,402	42	46	25	5	0.39	12
Stem	52,874	141	163	90	16	2.56	35
Total	69,895	320	424	192	40	3.46	77

5. 討論

5.1 地上部枯落物養分流量

5.1.1 枯落物量的變動

- 枯落物的總流量

Vogt et al.(1986)彙整世界各地的森林枯落物量指出，暖溫帶常綠針葉林枯落物流量約為 4,200-4,700 kg ha⁻¹ y⁻¹，本研究所得的枯落物量為 5,900 kg ha⁻¹ y⁻¹，此結果高於 Vogt et al.(1986)彙整的平均值。若將本研究所得結果與國內其他區域研究相比較(表 21)，鴛鴦湖地區枯落物的流量大致上較其他研究區域的結果高，但因各樣區的林相、地理位置、海拔等皆有差異性存在，故較難針對枯落物流量的差異做進一步比較。Proctor et al.(1983)在回顧相關文獻時指出，收集盤的尺寸、材質、數量與設置，取樣頻度與分類方式等，會對所收集到的枯落物量產生影響。收集盤的尺寸會影響所收集到枯落物的尺寸，若收集盤的尺寸過小則無法收集到枝條等體積較大的枯落物；收集盤的材質會影響枯落物在林內的狀況，若排水不良會導致枯落物腐壞，若收集盤的網目過大，則可能造成細小枯落物的損失；收集盤的數量多寡，會影響枯落物總量的估算，若數量太少則可能受極端值所影響；收集盤的設置方面，須均勻的分布，若過度集中或分散，會受特定區域的植物所影響；取樣的頻度方面，太過頻繁會對收集盤附近的植物產生干擾，若時間過長則可能會增加枯落物腐壞或被動物啃食的機會；枯落物的分類項目若太過於粗糙，在估算時會有高估或低估的狀況產生。上述的相關因子皆會對枯落物的量產生影響，本研究針對枯落物收集盤的設計、取樣頻度與分類方式，均與其他研究相類似。故推測枯落物量高於其他研究樣區，可能是受其他因子所影響。

此外，天然林的枯落物量明顯高於人工林，其原因可能為天然林所產生的枯落物含有較豐富的養分，使枯落物的分解速度較人工林快，而林地有機物質的循環速率亦隨之增加，使天然林產生較大量的枯落物(Xu and Hirata 2002)。

表 21 臺灣地區枯落物量的相關研究結果

Ecosystem	Altitude m	Litterfall kg ha ⁻¹ y ⁻¹	Year	Reference		
<i>Cryptomeria japonica</i> (32y), Wushe	1,200-1,350	6,600	1980-1981	1		
China-fir(38y), Wushe		5,400				
<i>Phyllostachys pubescens</i> , Hsitou	800	2,300-2,700	1983-1984	2		
<i>Cryptomeria japonica</i> (12y), Hsitou	1,340	500	1984	3		
<i>Cryptomeria japonica</i> (17y), Hsitou	1,260	600				
<i>Cryptomeria japonica</i> (23y), Hsitou	1,250	1,000				
<i>Cryptomeria japonica</i> (32y), Hsitou	1,320	1,300				
<i>Cryptomeria japonica</i> (50y), Hsitou	1,250	1,900				
<i>Cryptomeria japonica</i> (71y), Hsitou	1,220	2,300				
Subtropical rain forest, Nanjenshan	300-330	5,200			1992	4
		5,900			1993	
Warm temperate broadleaf forest, Fushan	400-1,400	5,700	1992	5		
		5,700	1993			
		9,000	1994			
Warm temperate evergreen hardwood forest, Chilanshan	1,200	5,100	1996-1997	6		
Natural hardwood stand, Huisun	700-1,300	5,500	2001	7		
China-fir plantation stand, Huisun		1,000				
Secondary hardwood stand, Huisu		3,700				
Yellow cypress, Yunayang lake	1,670	5,900	2003-2004	8		

Reference : 1 : 徐正鐘(1981)、2 : 高毓斌(1985)、3 : 姜家華與劉興旺(1989)、4 : 劉湘瑤(1994)、5 : 林國銓(1997)、6 : 林世宗(1998)、7 : 周育如與顏江河(2003)、8 : 本研究。

Keyes 與 Grier(1981)在美國針對 40 年生 Douglas-fir 所做的研究指出，枯落物年產量約占葉總生物量的 20%。鴛鴦湖地區枯落物量為 5,900 kg ha⁻¹ y⁻¹，樣區葉總生物量為 17,110 kg ha⁻¹，則枯落物年產量約占葉總生物量的 33.9%，此數值較 Keyes 與 Grier(1981)的研究結果為高，此原因可能為取樣期間有多個颱風侵襲樣區，導致枯落物產量大增；若將本研究樣區枯落物產量扣除因颱風所增加的枯落物量，本研究樣區枯落物產量約為 2,200 kg ha⁻¹ y⁻¹，則枯落物年產量約占總葉生物量的 13%，此數值低於 Keyes 與 Grier(1981)的研究結果，可知颱風對本研究樣區枯落物量的影響極大。

姜家華與劉興旺(1989)調查柳杉的研究中，指出柳杉的枯落物有隨樹齡增加而逐漸上升的趨勢。南部南仁山區在春季有西南季風所形成的焚風、夏季有颱風、冬季有東北季風等，均會影響枯落物量(劉湘瑤 1994)。

Cuevas et al.(1991)提出在成熟穩定的森林中，枯落物量在年度間應無明顯差異。臺灣位於季風區的海島，受颱風侵襲的頻率高，在相關森林生態系研究上，颱風成為不可忽略的重要因子，其中臺灣東部及東北部受颱風侵襲的頻度又高於其他區域，故本研究樣區地上部枯落物總量與性質深受颱風所影響。1994 年臺灣東北部地區遭受 5 個中度以上的颱風侵襲，使福山天然闊葉林該年度枯落物量驟增為前兩年的 2 倍(林國銓 1997)；霧社 32 年生柳杉受颱風影響枯落物量亦高達同年生柳杉的 5 倍(林世宗 1998)。

本研究樣區 2004 年枯落物產量約為 $5,900 \text{ kg ha}^{-1}$ ，推估若未受颱風侵襲，該年度枯落物產量約為 $2,200 \text{ kg ha}^{-1}$ ，受颱風侵襲所增加的枯落物量約為 $3,700 \text{ kg ha}^{-1}$ ，則受颱風侵襲枯落物量約為正常枯落物量的 2.7 倍(表 22)。故颱風對本樣區枯落物產量具相當大的影響，而本樣區時常遭受颱風所侵襲，推測颱風為本研究樣區枯落物產量的最主要影響因子。

表 22 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林 2004 年颱風對枯落物產量的影響。Normal litterfall：受颱風侵襲月份的枯落物，是取前兩次所收集到枯落物的平均值，若連續兩個月份皆遭受颱風侵襲，則以未受颱風侵襲前兩次所收集到枯落物量平均值做為此兩月份的值；Litterfall from typhoon：受颱風影響所增加的枯落物量，為當次所收集到的枯落物量減去估算的一般值。

Year	Litterfall	Normal litterfall	Litterfall from typhoon
	$\text{kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$		
2004	5,900	2,200	3,700

■ 枯落物總流量的季節變化

關於枯落物總流量的季節變化(圖 3)，於研究期間(2003 年 8 月至 2004 年 12 月)共有 2 個高峰出現。一為 2003 年 9 月，主要是受到中度颱風杜鵑侵襲鴛鴦湖地區所影響；另一為 2004 年 8 月至 12 月，主要原因是在此期間共有蘭寧、艾利、納坦與南瑪督等 4 個中度颱風侵襲鴛鴦湖地區所導致。

Binkley et al.(1992)曾提出枯落物一年有二個以上高峰期的季節變化，在森林生態

系中十分常見，差別僅在於所形成的原因有所不同。春季時由於大量的新葉取代老葉，會導致枯落物增加(Nye 1961)。在具有乾、濕季變化的地區，乾季時植物為了減少水分散失、或因水分不足皆會產生大量的枯落物；雨季時受風雨影響，枯落物量會增加，使一年中產生二個枯落物量的高峰期(Rri and Proctor 1986, Cuevas et al. 1991)。但亦有研究指出，降雨量與枯落物量的相關性尚未成一定論，且可能完全無關(Tanner 1980)，這方面則有待更多的研究來證實。

本研究樣區年雨量豐沛，約從 2,000 mm 至 5,000 mm 的紀錄皆有，夏季降雨來自於地形雨與颱風，冬季則來自於東北季風，無明顯乾濕季(Chang et al. 2002)。故本研究樣區枯落物產量受土壤水分所影響的機會較低，枯落物產量的變化主要應是受其他因子所影響。而本研究樣區中，在受颱風侵襲的月份，枯落物量均明顯增加；而未受颱風侵襲的月份，枯落物量並無明顯變化，故推測颱風為本樣區枯落物量產生高峰的主要影響因子。

- 枯落物組成成分的比例

本研究所得枯落物組成成分，若與國內其他地區研究相比較(表 23)，因各研究樣區樹種、地形、與氣候等皆有所差異，故所得的數值亦有所差異，其中各成分所占的比例雖有高低之分，但大致上所占的比例是相似的。各成分中均以落葉所占的比例為最高。

有研究指出枯落物中以落葉量占總量的 60-75% 為最高；其餘部分約有 30% 為木材、1-20% 為花、果實、及種子(Bray and Gorham 1964, Burton et al. 1997)。此結果與本研究所得比例相一致，本研究以葉占枯落物量的 73.6% 為最高，枝條約占 23.1%，其他部分則占 3.3%。Bray 與 Gorham (1964) 在統合全球相關文獻時提出，地上部枯落物中非葉枯落物所占比例可從 2.8% 至 55%，平均所占的比例約為 27-31%。本研究非葉枯落物占 26.4%，與 Bray 與 Gorham (1964) 所得的結果大致上相符合，但臺灣其他地區的研究，非葉枯落物所占的比例低於 Bray 與 Gorham (1964) 的結果。Nye (1961) 針對熱帶潮濕林所做的研究指出，枝條枯落物易受收集盤尺寸與收集時間所影響，若欲降低此影響因子，收集盤尺寸需較大，且須進行長期枯落物的收集。枯落物的流量會受樹齡、地形、氣候與取樣等因子所影響，若進行長期研究，則枯落物各組成成分所占的比例會維持定值，不易有太大的變化產生。

表 23 不同地區枯落物組成成分所占的比例

Site Component(%)	Nanjenshan	Chilanshan	Yunayang lake	Hsitou	Huisun	Fushan
Leaf	75.0	78.0	73.6	59.4-73.4	60.4-71.4	78.7
Branch	16.0	11.0	23.1	12.9-19.1	12.5-15.9	14.1
Flower	2.0	2.7	0.7	6.9-20	4.5-14.4	
Fruit	3.5	2.3	0.5			7.2
Others	3.5	6.0	2.0	0.8-7.7	8.2-14.4	
Reference	1	2	3	4	5	6

Reference : 1 : 劉湘瑤(1994)、2 : 林世宗(1998)、3 : 本研究、4 : 姜家華與劉興旺(1989)、5 : 周育如與顏江河(2003)、6 : 林國銓(1997)

枯落物組成成分所占的比例，會受到外來干擾所影響。若研究期間樣區遭受颱風侵襲，颱風挾帶強風豪雨，會導致新鮮組織與大枝條掉落，對枯落物組成成分所占比例會產生影響。以 2003 年 9 月 9 日本研究樣區受杜鵑颱風侵襲為例，落葉所占比例從 73.6% 下降為 53%；枝條所占比例從 23.1% 增加至 45%。受颱風侵襲時，枯落物落葉所占比例會下降，其他部分所占比例會上升，其中以枝條上升的狀況最為明顯，故推測落葉與枝條的比例深受颱風所影響。

Nye (1961)針對熱帶溼林所做的研究指出，在小面積的研究樣區中，很難對於地上部枯落物中木材的部分進行測量，且掉落量相當不穩定，常會受到突發狀況所影響，如單一樣木枝幹的掉落，故對地上部枯落物的估算會有高或低估的狀況產生。本研究僅收集一年半的枯落物，且研究期間樣區又受到數個颱風所侵襲，故本研究僅能呈現枯落物流量與比例的概況，至於詳細流量的推估，則仍需要進行更長期的研究。

5.1.2 枯落物養分的變動

■ 枯落物養分濃度

根據本研究的結果，枯落物的濃度中以碳濃度最高，其次為氮、鈣、磷、鉀與鎂，以鈉的濃度最低。在枯落物的組成成分中，濃度依不同養分有不同的變化。在碳濃度中，以葉為最高，苔蘚為最低；在氮濃度中，以花為最高；在鈣濃度中，以葉為最高；在鉀濃度中，以花為最高；在鎂濃度中，以花為最高；在鈉濃度中，以花為最高；在磷濃度中，以花為最高。綜合本研究結果，大致上以花與葉所含養分濃度較高，Lin et al.(2003)

針對福山亞熱帶林所做的研究亦顯示，枯落物中以葉的養分濃度為最高，小枝條次之，以大枝條為最低，而花、果實、種子與動物殘骸等所含的養分濃度則與葉相近。

Mengel 與 Kirkby (1987)指出植物各器官鈣的供應會影響蒸散強度(transpiration intensity)高低，繁殖體的蒸散強度通常較葉低，且留存在植物體上的時間也較葉短，故枯落物中葉的鈣濃度會高於繁殖體。此結果與本研究所得的結果相一致，本研究所得葉的含鈣濃度為 14.51 mg g^{-1} ，明顯的高於其他枯落物。

關於枯落物所含養分濃度，鈣、鉀與磷有季節性變化；碳、氮、鎂與鈉無明顯季節性變化。枯落物的濃度受許多因子所影響，包含落葉性質(老葉或新葉)、開花期、萌芽期、結實期、及颱風等。此外，林木養分的再輸導現象亦是一重要因子，Attiwill et al.(1978)針對桉樹屬 *E. Obliqua* 的研究指出，枯落物在掉落前，約有 70%的磷與鉀、50%的鈉與 35%的鎂會發生再輸導現象，而鈣則不會發生，故鈣相對於其他元素而言濃度較高。Helmisaari (1995)針對 Scots pine(*Pinus sylvestris*)所做的研究也顯示，林木地上部生長時，約有 17-42%的氮、磷與鉀來自於養分的再輸導現象。

將本研究所得臺灣扁柏的枯落物與新鮮組織養分濃度加以比較(表 24)，葉的部分，僅鉀、磷與鈉濃度為新鮮葉高於枯落物中的葉，以鉀濃度最為明顯；枝條部分，僅碳與鉀濃度為新鮮枝條高於枯落物的枝條。此結果與 Attiwill et al. (1978)與 Helmisaari(1995)的研究結果有所差異，本研究所得結果僅鉀與磷的養分再輸導現象較為明顯，其他養分則較不明顯或無此現象產生。推測與樹種差異或進行研究期間樣區遭遇數個颱風侵襲有關。

不同樹種所含養分濃度會有所差異，養分的再輸導也會因樹種不同而產生差異；而颱風會導致樣區中大量臺灣扁柏的新鮮組織提早掉落，使枯落物養分濃度增加。但 Lin et al.(2003)針對福山亞熱帶林所做的研究指出，受颱風影響所增加的枯落物，其養分濃度與未受侵襲時的枯落物並無極大的差異，故本研究在進行枯落物養分測量時，雖未將新鮮與枯黃的組織分開，但是否會對枯落物養分濃度產生影響則仍有待商榷，且因本研究僅收集一年多的枯落物，並無法了解枯落物的年間變化，因此對於枯落物養分濃度的變動，仍須進行更長期的觀測。

表 24 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏枯落物與新鮮組織養分濃度的比較

Category	Component	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
		mg g ⁻¹						
Fresh	Leaf	503.72	8.03	12.54	4.52	1.10	0.03	1.71
	Branch	498.04	2.47	2.76	1.49	0.28	0.02	0.72
Litterfall	Leaf	524.45	8.09	15.46	1.59	1.28	0.02	1.36
	Branch	497.62	7.03	7.51	0.72	0.56	0.05	1.02
	Flower	526.42	10.34	4.19	1.60	0.65	0.04	1.80
	Fruit & Seed	504.04	5.84	2.94	2.61	0.87	0.07	1.46

■ 枯落物的養分流量

鴛鴦湖枯落物的養分流量與其他地區研究結果相比較(表 25)，碳的養分流量為 3,059 kg ha⁻¹ y⁻¹，較其他研究樣區的流量高，與惠蓀林場天然闊葉林的 2,250 kg ha⁻¹ y⁻¹ 較為相近；氮的養分流量為 49.7 kg ha⁻¹ y⁻¹，此數值介於各研究之間，與惠蓀林場次生闊葉林的 45.8 kg ha⁻¹ y⁻¹ 較為相近；磷的養分流量為 8.3 kg ha⁻¹ y⁻¹，較其他地區所得的結果高，與惠蓀林場天然闊葉林的 7.5 kg ha⁻¹ y⁻¹ 相近；鉀的養分流量為 9.4 kg ha⁻¹ y⁻¹，此值介於相關研究間，與惠蓀林場杉木人工林的 5.8 kg ha⁻¹ y⁻¹ 較為相近；鈣的養分流量為 78.1 kg ha⁻¹ y⁻¹，此數值較其他地區高，與棲蘭山楠櫨櫟林的 55.6 kg ha⁻¹ y⁻¹ 較為接近；鎂的養分流量為 7.2 kg ha⁻¹ y⁻¹，此值介於各研究之間，較天然林為低，較人工林為高；鈉的養分流量為 0.2 kg ha⁻¹ y⁻¹，總流量明顯的偏低。

於枯落物組成中，落葉所含的養分濃度較其他成分高，且落葉所占的枯落物比例偏高，使落葉成為林木養分回歸的主要途徑。Pedersen 與 Bille-Hansen (1999)亦提出相同結論，其指出在枯落物組成中，落葉占極高比例，落葉的養分流動控制總枯落物的養分流量。但落葉的總量與養分含量具明顯季節變化，易受氣候與干擾等因子所影響。於本研究中，颱風對枯落物所形成的干擾，使枯落物中落葉所占比例下降，枝條等其他組成成分所占比例增加，同時亦使樣區的養分流量產生重大變化。

颱風所攜帶的大量降雨與強風，易造成樹木的風倒、與植物新鮮組織的提早掉落，包括新鮮葉、嫩枝條、與未成熟花果等，這些受颱風影響而掉落的組織，含許多易流動的養分(氮、磷、鉀等)，且含量較自然落下的枯落物高，故颱風對林地養分循環會產生巨大且直接的影響(Xu and Hirata 2002)。

綜合各研究結果，本研究所得的養分流量有高於其他研究的現象，推論主要受颱風所影響，因颱風使樣區中枯落物量驟增，導致在估算枯落物總流量時，所求得的養分流量會呈現較高的現象。且因颱風所增加的枯落物中包含新鮮的組織，新鮮組織會導致部分養分的流量增加。

此外，本研究尚有低估枯落物所含養分的可能，第一，本研究所使用的收集盤，收集的網目為 1 mm²，無法收集到體積較為細小的枯落物；第二，枯落物的收集時間為每兩週收集一次，於這段期間內會有部分的枯落物腐壞或養分受到雨水所淋洗；第三，本研究所收集到的枝條並未區分粗細，因粗枝條所含的養分較低，所以以平均值進行估算，會有低估的可能。

表 25 不同地區枯落物的養分流量

Ecosystem	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Reference
	kg ha ⁻¹ y ⁻¹							
<i>Cryptomeria japonica</i> (12y), Hsitou	--	5.1	0.4	0.4	7.5	0.36	--	1
<i>Cryptomeria japonica</i> (17y), Hsitou	--	6.2	0.5	0.5	11.2	0.36	--	
<i>Cryptomeria japonica</i> (23y), Hsitou	--	11.6	0.7	1.1	20.3	1.1	--	
<i>Cryptomeria japonica</i> (32y), Hsitou	--	14.5	1.1	1.2	15.1	1.1	--	
<i>Cryptomeria japonica</i> (50y), Hsitou	--	18	1.4	1.9	43.3	1.3	--	
<i>Cryptomeria japonica</i> (71y), Hsitou	--	20.3	1.9	2.6	44.9	1.9	--	
Subtropical rain forest, Nanjenshan	--	35.4	1.6	17.6	19.7	9.9	--	2
Warm temperate broadleaf forest, Fushan	--	120.6	6.5	21.5	51.7	10.3	--	3
Warm temperate evergreen hardwood forest, Chilanshan	--	74	4.1	24	55.6	14	5	4
Natural hardwood stand, Huisun	2,250	85.3	7.5	55.6	49.8	14.3	--	5
China-fir plantation stand, Huisun	418	11.9	1	5.8	5.5	2.1	--	
Secondary hardwood stand, Huisu	1,499	45.8	3	27.6	13.8	9.5	--	
Yellow cypress, Yunayang lake	3,059	49.7	8.3	9.4	78.1	7.2	0.2	6

Reference：1：姜家華與劉興旺(1989)、2：劉湘瑤(1994)、3：林國銓(1997)、4：林世宗(1998)、5：周育如與顏江河(2003)、6：本研究。

5.2 地下部養分存量

5.2.1 地下部生物量

本研究針對地下部生物量的估算，分別採用整棵挖掘法與挖坑法來進行，以期能估算出正確的地下部總生物量。

■ 整棵挖掘法與挖坑法的比較

整棵挖掘法可得到樣木完整的地下部生物量，但對樣區會產生較大規模的破壞，且需要大量的人力。挖坑法可得到完整的細根生物量，且可知根系在土壤中的深度分布。但因細根易受到外在環境條件所影響(Nadelhoffer et al. 1985, Vogt et al. 1987, Vogt et al. 1993)，而粗根生物量的比例較不易受影響(Grier et al. 1981, Keyes and Grier 1981, Helmisaari et al. 2002)。在相關的研究中多利用挖坑法或根鑽法進行細根生物量的量測(Helmisaari 1995, Cairns et al. 1997, Neukirchen et al. 1999)，故本研究以挖坑法來估算臺灣扁柏地下部細根總生物量。此外，因挖坑法無法獲得較大根徑的地下部，故本研究以整棵挖掘法搭配胸高直徑的相關式，對本樣區臺灣扁柏地下部生物量進行估算。

■ 細根生物量

目前針對細根生物量的相關估計方法，大多利用土壤鑽的方式進行，但由於本研究樣區中土壤的含石率相當高，使土壤鑽法在此區不適用，因此本研究對細根總生物量的估算，是採用挖坑法來進行估算。本研究透過挖坑法所得臺灣扁柏細根總生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ 。若將本研究結果與相關研究做比較(表 26)，本樣區細根總生物量 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ 與福山亞熱帶闊葉林的 $6,800 \text{ kg ha}^{-1}$ 較為相近，略高於溫帶針葉林的 $5,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ，明顯較其他區域或林相高。

關於臺灣扁柏細根在土壤中的分布(圖 10)，其細根生物量在土壤中，會隨土壤深度增加而逐漸下降，彼此間呈現負相關。相關研究亦指出，細根生物量會隨土壤深度增加而降低(Persson 1978, Babu et al. 2001)。Edwards 與 Harris (1977)在美國田納西州 50 年生 *Liriodendron tulipifera* L. 所做的研究指出，細根分布約有 70-90% 分布於土壤上層 20 cm，比例隨樹齡增加而有下降趨勢。Lin et al. (2005)針對福山亞熱帶闊葉林所做的研究結果也顯示，有 48% 的細根分布於 0-5 cm 深的土壤中；有 63% 的細根分布於 0-30 cm 深的土壤中。另外，針對細根密度所進行的相關研究也指出，若不考慮土壤酸性與養分含量，細根密度會隨土壤深度增加而降低(Leuschner et al. 2004)。但也有例外，Babu et al.(2001)針對 *Pinus kesiya* 所做的研究，僅有 6 年生 *Pinus kesiya* 細根生物量會隨土深增

加而下降，而 15 年生與 23 年生 *Pinus kesiya* 則無此趨勢。而本研究所得的結果與相關研究相似，有將近 55% 的細根生物量分布於 0-20 cm 的土壤中。

表 26 不同森林生態系細根生物量

Ecosystem	Fine root biomass	Reference
	kg ha ⁻¹	
Subtropical broadleaf forest, Taiwan	6,800	1
Yellow cypress forest, Taiwan	6,200	2
Warm temperate needleleaf evergreen	5,100	3
Temperate coniferous forest	5,000	4
Old-growth beech forest(>100y), Germany	3,200-4,700	5
Temperate deciduous forest	4,400	6
Broadleaf secondary forest, Puerto Rico	3,600	7
Scots pine stand(37y) , Finland	3,500	8
Scots pine stand(15-20y), central Sweden	1,400	9
Stika spruce(15y), Britain	1,100	10
<i>Pinus caribaea</i> plantation(11y), Puerto Rico	700	11

Reference : 1 : Lin et al.(2005), 2 : This study, 3 : Vogt et al.(1996), 4 : Jackson et al.(1997), 5 : Leuschner et al (2004), 6 : Jackson et al.(1997), 7 : Cuevas et al.(1991), 8 : Makkonen and Helmisaari (1998), 9 : Persson (1980), 10 : McKay and Malcolm (1988), 11 : Cuevas et al.(1991)

相關研究亦指出，有機層中含有高比例的細根分布。Makkonen 與 Helmisaari (1998) 研究指出，將近 75% 的細根分布於有機層。原因可能為有機層不斷有新有機質累積，可持續提供養分與空間供細根生長，使有機層中細根生物量增加(Vogt et al. 1981, Finér et al. 1997)。此外，有機層的厚薄會對細根密度產生影響，有機層較厚時，細根密度會較高，反之則較低(Leuschner et al. 2004)。本研究所得結果中，僅有將近 34% 的細根分布於有機層中，此值雖低於 Makkonen 與 Helmisaari 所做的研究，但相較於其他深度的土壤，此分布比例已算高。

除土壤深度會對細根生物量產生影響外，不同林分也可能對細根生物量產生影

響。Cuevas et al.(1991)針對波多黎各次生林與人工林所做的研究指出，在相同土壤深度中，次生林細根生物量約為人工林的 4 倍。本研究樣區為臺灣扁柏天然下種更新林，故細根生物量亦可能較其他林相細根生物量高。

若將不同森林生態系細根占地下部的總生物量比例相互比較(表 27)，其中 Cairns et al.(1997)曾提出細根總生物量與地下部總生物量的比值會介於 0.01-0.71 間，平均值約 0.23，其中被子植物的比值一般會大於 0.2，裸子植物的比值則會小於 0.2。本研究所得臺灣扁柏的比值為 0.08，此值較其他研究所得的結果低，但與 Cairns et al.的研究結果相符合，所得的比值仍介於 0.01-0.71 間，且小於 0.2。

表 27 不同森林生態系細根總生物量與地下部總生物量的比值

Ecosystem	Fine root / Total root	Reference
Review 27 forest ecosystems	0.23	1
Angiosperms	> 0.2	2
Gymnosperms	< 0.2	3
Acacia polyacantha, Cameroon	0.32	4
Senna siamea, Cameroon	0.57	5
Eucalyptus camaldulensis, Cameroon	0.28	6
Review 126 forest ecosystems	0.27	7
Warm temperate needleleaf evergreen	0.15	8
Temperate evergreen forest	0.19	9
Yellow cypress forest, Taiwan	0.08	10

Reference : 1 : Cairns et al. (1997), 2 : Cairns et al. (1997), 3 : Cairns et al. (1997), 4 : Harmand et al.(2004), 5 : Harmand et al.(2004), 6 : Harmand et al.(2004), 7 : Jackson et al.(1997), 8 : Vogt et al.(1996), 9 : Jackson et al.(1997), 10 : This study

影響細根生物量的因子繁多，且彼此間的相互關係十分複雜與多變。在估算細根生物量時，很難將各項因子全納入考量，隨取樣方法不同，對所得結果皆會產生極大的影響，這也導致估算時會有低估或高估的狀況產生(Vogt et al. 1998)。本研究進行挖坑法時，因採樣時間集中，無法將細根的季節性變化納入考量，可能會造成細根生物量估算上的誤差，但有其他研究指出，細根生物量並無明顯的季節性變化(McClaugherty et al.

1982, Makkonen and Helmisaari 1998)，故本研究在進行細根生物量的估算時，可將因取樣時間所產生的生物量誤差降至最低。

本研究藉由挖坑法所得細根生物量，因調查深度僅達土深 40 cm，故超過 40 cm 深的細根生物量並無法得知，使本研究尚有低估細根總生物量的可能。本研究樣區土壤含石率極高，且土壤多分布於上層，易使根系變成淺根系(Persson et al. 1998)，故所低估細根生物量會較少。而相較於其他研究所得的細根總生物量，本研究樣區細根總生物量高於其他區域或林相，推測主要原因可能為土壤質地與土壤養分。本研究樣區土壤含石率極高，且土壤多分布於上層；且土壤的酸性強，易發生淋洗作用，使土壤養分含量較低；再加上本地區常遭受颱風侵襲，颱風所帶來的強風，會造成枯落物量驟增，颱風所帶來的大雨，會增加淋洗現象的產生。這些因子皆可能導致本樣區土壤中所含的養分降低，導致樣區中林木增加細根生物量，以獲取充足的養分供應生長之所需。

▪ 地下部生物量

Kurz et al.(1996)和 Drexhage 與 Colin (2001)指出可利用胸高直徑與地下部生物量取對數後的線性關係，來估算一地區的地下部總生物量。本研究所求得的數值與 Drexhage 與 Colin (2001)相比較(圖 13)。臺灣扁柏胸高直徑與地下部生物量的相關，與其他樹種差異不大，其數值介於相關研究的結果間。

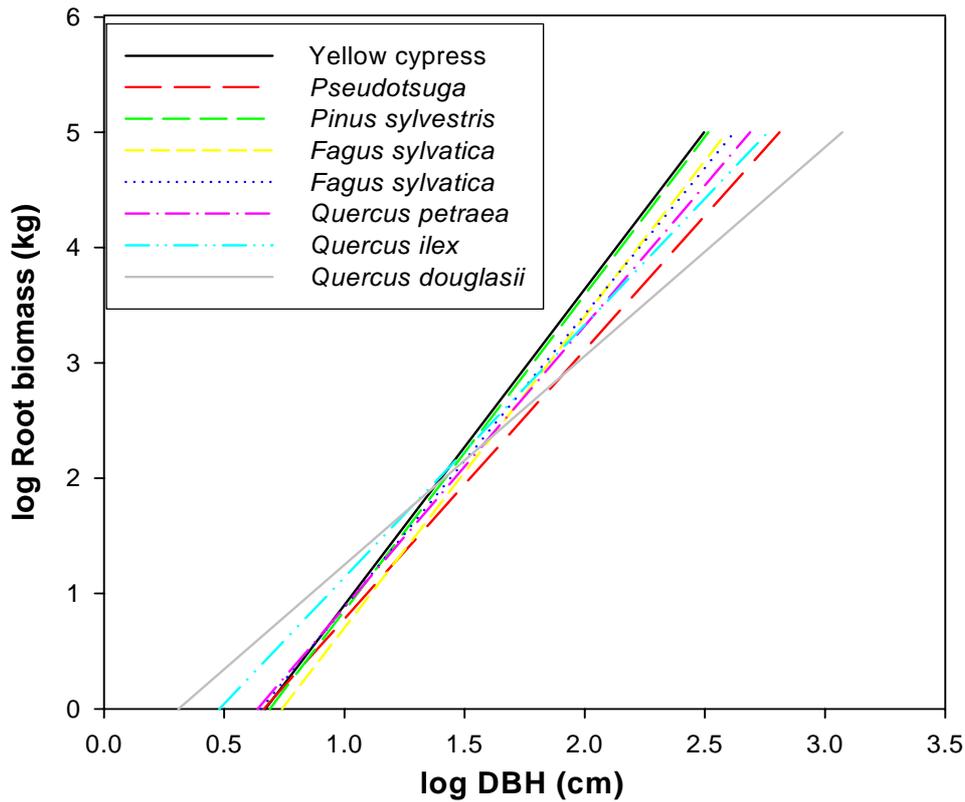


圖 13 胸高直徑與地下部生物量取對數後的指數相關。修改自 Drexhage 與 Colin (2001)。

相關研究均指出地下部生物量中，粗根占絕大部分。本研究利用整棵挖掘法搭配胸高直徑的指數關係進行地下部生物量的估算，所求得粗根總生物量為 $70,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，而利用挖坑法所得細根總生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ ，故本研究樣區中地下部的總生物量為 $76,600 \text{ kg ha}^{-1}$ 。若將本研究所得結果與其他地區比較(表 28)，本研究樣區地下部總生物量明顯高於其他地區。此現象可能受氣候、地形與樹種等差異所導致，但最大的因素則是由於取樣方法不同，其他研究大多使用土壤鑽的方法進行估算，此方法無法量測根徑較粗的地下部，故會低估地下部生物量的狀況產生，也導致本研究所得地下部總生物量數值明顯偏高。

表 28 不同森林生態系地下部總生物量

Ecosystem	Method	Root biomass	Reference
		kg ha ⁻¹	
Miscanthus crop, Germany	Soil core	12,000	1
Acacia polyacantha, Cameroon	Soil pit	28,300	2
Senna siamea, Cameroon	Soil pit	21,500	3
Warm temperate needleleaf evergreen	Soil core & Soil pit & Excavation	34,000	4
Eucalyptus camaldulensis, Cameroon	Soil pit	19,200	5
Alpine sprucefir forests, Central Tibetan Plateau	Soil core & Soil pit & Excavation	21,000-49,000	6
Yellow cypress forest, Taiwan	Excavation	76,600	7

Reference : 1 : Neukirchen et al.(1999), 2 : Harmand et al.(2004), 3 : Harmand et al.(2004), 4 : Vogt et al.(1996), 5 : Harmand et al.(2004), 6 : Luo et al.(2005), 7 : This study

地下部取樣的深度與方法會對地下部生物量產生一定程度的偏差(Luo et al. 2005)。故對地下部的研究若未能將評估方法標準化，則生物量的估計會有誤差產生，也會導致相關研究所得的結果充滿差異，其中以取樣深度最為明顯。Canadell et al.(1996)指出樹木根系平均深度可達 5 m。本研究細根僅挖掘 0-40 cm 的根系，粗根的挖掘受樣區環境限制無法將深的根系挖出，故本研究對於地下部生物量的估算仍可能有低估。

有研究指出粗根的主要功能為支持作用，非養分吸收，故粗根大多集中於養分較為貧乏的土壤下層(Stone and Kalisz 1991)；相對的主要功能為養分及水分吸收的細根，主要分布於養分較為豐富的上層土壤(Edwards and Harris 1977, Persson 1978, Babu et al. 2001)。Neukirchen et al.(1999)針對德國 *Miscanthus* 所做的研究亦指出，地下部生物量會隨著土壤深度增加而有下降的趨勢產生。故植物地下部密度最大值會出現於上層的土壤(0-30 cm)(Böhm 1979)。Harmand et al.(2004)於 Cameroon 針對 *Acacia polyacantha* 所做的研究，有 94% 的根系位於 0-20 cm。本研究樣區細根生物量大多分布於上層土壤中，但細根總生物量占地下部總生物量的比例偏低(8%)，而相關研究又指出地下部生物量大多分布於土壤上層，再加上本研究樣區土壤含石率高，故推測樣區中臺灣扁柏地下部的分

布會大多分布於上層土壤中。故關於上述論及，因挖掘深度不夠而導致可能低估樣區中地下部生物量得可能性將隨之降低。

5.2.2 地下部養分濃度

關於地下部所含養分的研究指出，地下部養分濃度受到許多因子所影響。地下部養分含量會隨土壤的養分狀況而改變，當土壤的養分含量降低時，根系所含的養分濃度會隨之下降(Burke and Raynal 1994)。Neukirchen et al.(1999)針對 *Miscanthus* crop 所做的研究結果顯示，當土壤中氮、磷與鉀的含量較高，位於此土壤中的根系氮、磷與鉀的含量亦較高。Harmand et al.(2004)對 *Acacia polyacantha* 所做的研究也指出，土壤中約有 90% 的養分集中於土壤深度 0-60 cm 間，其中位於土壤深度 0-20 cm 中的養分約占 80%。綜合上述的研究結果，可推測根系的養分主要累積於上層土壤中。

本研究所得臺灣扁柏細根養分濃度，平均含碳濃度為 507 mg g^{-1} 、平均含氮濃度為 6.2 mg g^{-1} 、平均含磷濃度為 1.2 mg g^{-1} 、平均含鉀濃度為 1.7 mg g^{-1} 、平均含鈣濃度為 3.9 mg g^{-1} 、平均含鎂濃度為 0.3 mg g^{-1} 、平均含鈉濃度為 0.06 mg g^{-1} 。若與其他研究相比較(表 29)，本研究所得結果含碳濃度略高於其他地區；含磷濃度較福山地區低，略高於其他森林生態系的平均值；含鉀與鈣濃度，較其他森林生態系的平均值低，略高於福山地區；含氮與含鎂濃度，較其他區域低；含鈉濃度則明顯偏低。

本研究關於臺灣扁柏根徑 2 mm 至 $\leq 5\text{mm}$ 的粗根養分濃度，若與福山地區的亞熱帶闊葉林相比較(表 30)，除含鈣濃度外，此徑級的臺灣扁柏粗根所含養分濃度，皆較福山地區低。

Lin et al.(2005)針對福山地區的亞熱帶闊葉林所做的研究指出，細根所含碳、氮與磷的養分濃度會大於粗根，但細根所含鉀與鈣的濃度較低，而細根與粗根的鎂則是相類似情形。而本研究所得結果，除了鎂濃度為粗根大於細根之外，其他碳、氮、磷、鉀、鈣與鈉養分濃度，皆為細根大於粗根，此結果與 Lin et al.(2005)所得結果有差異產生，推測產生差異的原因除受樹種、林相、地形與氣候等因子所影響外，主要應是受不同取樣方法所導致。Lin et al.取樣時所採用的方法為挖坑法(30 cm × 30 cm，深 30 cm)與土壤鑽法(內徑 10 cm，長 15 cm)，此方法無法得到根徑較大的根系，而根徑較粗的根系所含的養分濃度較低(Nambiar 1987, Harmand et al. 2004)，故 Lin et al.所測得根系所含的養分濃度會與本研究有所差異。

Jackson et al.(1997)在綜合全球相關的研究之後指出，細根中所含碳：氮：磷的比

值約為 450:11:1。本研究細根中所含碳:氮:磷的比值約為 423:5:1，此結果與 Jackson et al.所得的結果有所差異，其主要由於本樣區中細根所含的氮濃度明顯偏低所導致。

表 29 不同森林生態系中細根所含養分濃度

Ecosystem	C	N	P	K	Ca	Mg	Reference
	mg g ⁻¹						
Review 126 forest ecosystems	488	11.7	1.1	3.0	4.1	1.4	1
Subtropical broadleaf forest, Taiwan	505	23.7	1.4	1.6	2.0	1.2	2
Yellow cypress, Taiwan	507	6.2	1.2	1.7	3.9	0.4	3

Reference : 1 : Jackson et al. (1997), 2 : Lin et al.(2005), 3 : This study

表 30 鴛鴦湖地區與福山地區粗根(2 mm 至≤ 5 mm)所含養分濃度

Ecosystem	C	N	P	K	Ca	Mg	Reference
	mg g ⁻¹						
Subtropical broadleaf forest, Taiwan	491	12.7	0.8	1.9	2.9	1.2	1
Yellow cypress, Taiwan	488	3.4	0.7	1.9	4.5	0.3	2

Reference : 1 : Lin et al. (2005), 2 : This study

5.2.3 地下部養分存量

一般來說，地下部所含養分濃度會隨根徑增加而下降(Nambiar 1987, Harmand et al. 2004)。本研究所得的地下部總生物量為 76,600 kg ha⁻¹，其中粗根生物量為 70,400 kg ha⁻¹，細根生物量為 6,200 kg ha⁻¹。由於細根生物量所占比例較低，故雖然其養分濃度較高，但對於整體的養分存量影響較低；而粗根生物量所占比例較高，故地下部的養分存量，主要是受到粗根所影響。

若將本研究所得的地下部養分存量與其他研究地區相比較(表 31)，臺灣扁柏磷與

鉀的養分存量較其他地區高；氮與鎂的養分存量較 *Acacia polyacantha* 低，而高於其他區域；鈣的養分存量則較其他區域低。當中由於 *Acacia polyacantha* 為固氮的樹種，故此樹種地下部的含氮量明顯高於其他樹種。Harmand et al.(2004)針對三種林木所做的研究結果顯示，不同樹種、土壤特性與取樣方法等，皆會對地下部生物量與養分含量產生影響，本研究所得臺灣扁柏細根與粗根的養分濃度較低，且粗根生物量的估算是以整棵挖掘法進行，導致所得的生物量較高，故在估算林分的總地下部養分存量時，會使地下部的養分存量較高。

表 31 不同森林生態系的地下部養分存量

Ecosystem	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Reference
	kg ha ⁻¹							
Miscanthus crop, Germany	--	109.2	10.6	92.5	--	--	--	1
<i>Acacia polyacantha</i> , Cameroon	--	342	15.8	102	206	31.7	--	2
<i>Senna siamea</i> , Cameroon	--	165	12.0	101	179	15.9	--	3
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , Cameroon	--	106	6.7	47	256	12.3	--	4
Yellow cypress, Taiwan	37,229	192	43.3	115.1	146	17.2	3.13	5

Reference : 1 : Neukirchen et al.(1999), 2 : Harmand et al.(2004), 3 : Harmand et al.(2004), 4 : Harmand et al.(2004), 5 : This study

5.3 研究樣區的總養分存量

5.3.1 地上部與地下部的生物量

根據本研究估算的結果顯示，臺灣扁柏地上部的生物量為 $140,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中樹幹生物量為 $106,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，枝條生物量為 $19,900 \text{ kg ha}^{-1}$ ，葉生物量為 $17,100 \text{ kg ha}^{-1}$ (葉青峯 2004)；根據本研究結果顯示，地下部生物量為 $76,600 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中粗根生物量為 $70,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，細根生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ 。若將地下部總生物量除以地上部總生物量則可求得臺灣扁柏的根/莖比(root / shoot ratio)。將臺灣扁柏的根/莖比與其他森林相比較(表 32)，其中 Cairns et al. (1997)綜合 24 個國家相關研究時提出，熱帶森林根/莖比約為 0.24，溫帶森林根/莖比約為 0.26，北方森林根/莖比約為 0.27。臺灣扁柏的根/莖比為 0.55，明顯高於其他相關研究。此差異可能受到許多因子所影響，如氣候、環境因子等。而 Helmisaari et al.(2002)曾提出植物根/莖比會隨年齡增加而有下降的趨勢產生。臺灣扁柏根/莖比偏高的原因，可能是因為研究樣區中土壤所含養分偏低，導致地下部生物量較高；且樣區中臺灣扁柏樹齡約 40 年，其地下部所占比例會較成熟林分高；而其他研究可能是利用不同取樣與估算方法，此外，本研究的根/莖比是以 3 棵樣木所得的數值所求得，因樣本數少易受個體變異所影響，這些因子皆可能增加臺灣扁柏地下部生物量，導致臺灣扁柏根/莖比偏高。

而本研究求得臺灣扁柏根/莖比為 0.55，此值明顯高於其他地區，推測本研究樣區地下部所占比例較高。但 Vogt et al.(1996)與 Cairns et al. (1997) 在相關研究中分別發現因海拔、溫度、降雨、樹齡、氣候、森林類型與土壤等差異，根/莖比並無明顯模式可循。故在進行生物量估算時，並不能完全仰賴植物根/莖比，應注意相關影響因子，設法找出最適合的方法進行生物量估算。

表 32 不同森林生態系根/莖比

Ecosystem	Root / shoot ratio	Reference
Tropical forests	0.24	1
Temperate forests	0.26	2
Boreal forests	0.27	3
Mixed beech-spruce stands, northwest Germany (coarse root / shoot)	spruce : 0.16 beech : 0.1	4
Warm temperate needleleaf evergreen	0.15	5
Yellow cypress, Taiwan	0.55	6

Reference : 1 : Cairns et al. (1997), 2 : Cairns et al. (1997), 3 : Cairns et al. (1997), 4 : Bolte et al.(2004), 5 : Vogt et al.(1996), 6 : This study

若針對林木各部位生物量占總生物量的比例進行比較(表 33)。Babu et al.(2001)針對 *Pinus kesiya* 進行地下部研究時，提出粗根生物量會隨樹齡增加而增加。在其他研究中亦有相類似的結果，如 Bolte et al.(2004)針對 European beech 與 Norway spruce 進行研究時，指出粗根生物量與地上部生物量的比值會隨樹齡增加而增加。不過 Helmisaari et al.(2002)針對 Scots pine 所做的研究指出，隨樹齡增加，總生物量中葉、枝條、細根所占的比例會下降，樹幹所占的比例會增加，而粗根所占的比例則無明顯變化。Keyes 與 Grier(1981)在美國針對 40 年生 Douglas-fir 所做研究結果亦顯示，在低生產力與高生產力林地狀況下，Douglas-fir 的粗根生物量雖有顯著差異，但粗根所占總生物量的比例仍是相近的。Grier et al.(1981) 在美國針對 23 與 180 年生 *Abies amabilis* 進行研究，結果也顯示在樹齡不同的狀況下，粗根所占總生物量並無明顯不同。故針對臺灣扁柏地下部中粗根所占的比例方面，雖本研究僅針對 3 棵樣木進行試驗，且其粗根生物量有所差異，但仍可藉由前述相關研究結果進行推測，臺灣扁柏粗根生物量約占地下部總生物量的 92%。

Grier et al.(1981) 針對 *Abies amabilis* 所做研究指出，在 23 年生林分中，細根生物量占總地下部生物量的 34%；在 180 年生林分中，細根生物量則僅占總地下部生物量的 9%，可知細根生物量所占的比例會隨樹齡增加而下降。Vogt et al.(1981)亦針對 *Abies amabilis* 做相關研究，其結果也顯示細根生物量會隨著樹齡增加而降低。此外，Helmisaari (1995)針對芬蘭 Scots pine 所做研究指出，地下部及地上部生物量的比值；細根與粗根

生物量的比值，皆會隨樹齡增加而降低。而本研究藉由整棵挖掘法所求得三棵樣木中，因缺乏樹齡的相關資訊，故無法與上述研究結果相比較。

表 33 不同森林生態系地上部與地下部的生物量

Ecosystem	Above-ground biomass (kg ha ⁻¹)(%)			Below-ground biomass (kg ha ⁻¹)(%)		Reference
	Stem	Branch	Leaf	Coarse root	Fine root	
Scots pine(15y), Finland	4,900 (33)	5,000 (33)	1,300 (9)	1,600 (11)	2,200 (15)	1
Scots pine(35y), Finland	28,900 (54)	8,700 (16)	4,600 (9)	7,700 (14)	3,600 (7)	2
Scots pine(100y), Finland	101,300 (73)	14,100 (10)	5,800 (4)	15,900 (11)	2,600 (2)	3
Douglas-fir(40y),U.S.A (low productivity)	221,500 (72)	17,100 (6)	10,000 (3)	49,300 (16)	8,300 (3)	4
Douglas-fir(40y),U.S.A (high productivity)	424,000 (76)	27,700 (5)	16,000 (3)	85,400 (15)	2,700 (1)	5
<i>Abies amabilis</i> (23y), U.S.A.	27,700 (38)	7,800 (11)	14,000 (18)	15,500 (21)	9,200 (12)	6
<i>Abies amabilis</i> (180y), U.S.A.	356,100 (61)	67,800 (12)	22,000 (4)	124,900 (21)	12,800 (2)	7
Cool-temperate broad-leaved deciduous forest, central Japan		156,200 (80)		33,200 (17)	6,500 (3)	8
Yellow cypress, Taiwan	106,400 (49)	16,900 (8)	17,100 (8)	70,400 (32)	6,200 (3)	9

Reference : 1 : Helmisaari et al.(2002), 2 : Helmisaari et al.(2002), 3 : Helmisaari et al.(2002), 4 : Keyes and Grier(1981), 5 : Keyes and Grier(1981), 6 : Grier et al.(1981), 7 : Grier et al.(1981), 8 : Tatenno et al.(2004), 9 : This study

Leuschner et al.(2004)針對 beech 老齡林所做的研究指出，細根總生物量與葉總生物量相似，此結果與其他研究結果有所差異。Grier et al.(1981) 針對 *Abies amabilis* 所做的研究指出，葉生物量約為細根生物量的 1.7 倍；Helmisaari et al. (2002)針對 Scots pine

所做的研究則指出，葉生物量與細根生物量間並無明顯相關性；而本研究所求得臺灣扁柏葉生物量約為細根生物量的 2.8 倍。根據 Helmisaari et al. (2002) 研究結果顯示，葉生物量與細根生物量間並無一固定相關性可依循，故本研究所得的數值，僅能代表本樣區此林齡的比例。

Kurz et al.(1996)綜合相關研究指出，針葉樹地下部生物量約占總生物量的 18.8%；而闊葉樹地下部生物量則占總生物量的 17.1-36.2%。本研究臺灣扁柏地下部生物量占總生物量的 35%，較 Kurz et al.(1996)所得的結果高。Tateno et al.(2004)在日本針對冷溫帶落葉闊葉林所做的研究指出，隨土壤含氮量降低，地下部的淨初級生產量會隨之增加。Keyes and Grier (1981)在美國針對 Douglas-fir 所做的研究指出，在生產力較低林分中，細根生物量約為高生產力林分的 3 倍。而本研究樣區中土壤所含養分較低，會使光合作用產物分配在地下部的比例增加，因而導致臺灣扁柏地下部生物量占總生物量的比例高於其他地區。

從相關數據中可發現，細根根徑雖小，但所占總生物量的比例並不一定較低，且細根所含養分濃度會較粗根高，故在總養分存量估算時，細根的養分存量不容忽視。

5.3.2 樣區的總養分存量

整個森林生態系中，大量的養分儲存於土壤與植物體中，其中儲存於植物體中的養分含量較不易測量與估算，但此養分存量對整個森林生態系是重要的，故本研究針對林木各部位，分別採用不同方法進行取樣與估算，試圖求出本研究樣區的總養分存量(表 34)。臺灣扁柏總細根生物量占總生物量比例雖較其他部位低，但其所含養分存量所占比例卻不一定偏低，故可知細根除養分與水分的吸收功能外，在養分存量中亦占重要的角色。

若將本研究所得的總養分存量與 Helmisaari (1995)在芬蘭針對 35 年生 Scots pine 所做的研究相比較(表 35)，本研究樣區養分總存量較 Scots pine 高，推測可能是受到樹種、地形與氣候等因子所影響，不過因地下部生物量的研究方面，仍缺乏標準的評估方法與相關影響因子的資訊，使地下部生物量的評估仍充滿不確定性(Vogt et al. 1996, Cairns et al. 1997)，因此取樣方法亦可能是導致本樣區養分總存量較高的原因。本研究估算的地下部生物量所占的比例較高，會對總養分存量產生影響。此外，碳在地上部與地下部的配置亦是一相當複雜的平衡關係，受到相當多因子所影響(Raich and Nadelhoffer 1989)，故地下部總養分存量的估算仍充滿不確定性。

表 34 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林臺灣扁柏的養分總存量

		biomass	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ (%)						
Above-ground	Leaf	17,100	8,619	137	215	77	19	0.5	29
		(8)	(8)	(27)	(38)	(25)	(33)	(8)	(24)
	Branch	16,900	8,402	42	46	25	5	0.4	12
		(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(9)	(6)	(10)
	Stem	106,400	52,874	141	163	90	16	2.6	35
		(49)	(49)	(28)	(29)	(29)	(28)	(39)	(29)
Below-ground	Fine root	6,200	3,064	53	26	8	3	0.4	8
		(3)	(3)	(10)	(5)	(3)	(6)	(6)	(7)
	Coarse root	70,400	34,165	139	120	107	14	2.7	35
		(32)	(32)	(27)	(21)	(35)	(24)	(41)	(29)
Total	217,000	107,124	512	570	307	57	6.6	120	
	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	

表 35 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林與芬蘭 Scots pine 養分存量的比較

Ecosystem	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Reference
	kg ha ⁻¹							
Scots pine(35y), Finland	--	134.7	21.2	79.9	61.0	19.9	--	1
Yellow cypress, Taiwan	107,124	512.3	120.3	307.1	569.7	57.2	6.59	2

Reference : 1 : Helmisaari (1995), 2 : This study

6. 結論

本研究枯落物的收集從 2003 年 8 月至 2004 年 12 月。枯落物流量為 5,900 kg ha⁻¹ y⁻¹，其中臺灣扁柏的枯落物約占 80%。關於枯落物的組成，葉占 73.7%；枝條占 23.2%；花占 0.6%；果實與種子占 0.4%；動物殘骸占 0.1%；苔蘚占 0.5%；其他占 1.5%。枯落物組成成分以落葉所占的比例為最大。

本研究在未遭受颱風侵襲的狀況下，枯落物流量約為 2,200 kg ha⁻¹ y⁻¹，受颱風侵襲所增加的枯落物量則約為 3,700 kg ha⁻¹ y⁻¹，故受颱風侵襲所增加的枯落物量約為正常流量的 1.7 倍。

枯落物的養分濃度方面，以碳為最高，其次為氮與鈣，各養分濃度在季節間並無明顯季節性變化，僅在有颱風侵襲的月份養分濃度有略微升高的狀況產生。針對枯落物的總養分流量，以碳的流量為最高 $3,059 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；其次為鈣 $78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；氮 $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；鉀 $9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；磷 $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ ；鎂 $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 與鈉 $0.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ 。

地下部生物量的估算，同時利用整棵挖掘法與挖坑法進行。整棵挖掘法共挖掘 3 棵胸高直徑為 7.8 cm、12 cm 與 16 cm 的樣木，利用地下部生物量搭配胸高直徑，取對數求其線性相關後，利用此相關式估算臺灣扁柏地下部粗根生物量，所求得臺灣扁柏地下部粗根總生物量為 $70,400 \text{ kg ha}^{-1}$ 。挖坑法共挖掘 10 個 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 深 40 cm 的坑，每隔 10 cm 做一分層，最後估算出臺灣扁柏地下部細根生物量為 $6,200 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中藉由挖坑法可知，臺灣扁柏細根生物量的分布會隨土壤深度增加而下降，彼此呈負相關。則臺灣扁柏地下部總生物量為 $76,600 \text{ kg ha}^{-1}$ 。

地下部所含養分濃度，細根所含養分濃度明顯高於粗根。地下部總養分存量方面，碳為 $37,229 \text{ kg ha}^{-1}$ 、氮為 195 kg ha^{-1} 、鈣為 146 kg ha^{-1} 、鉀為 115 kg ha^{-1} 、鎂為 17 kg ha^{-1} 、鈉為 3.13 kg ha^{-1} 與磷為 43 kg ha^{-1} 。雖然細根的養分濃度較粗根高，但細根生物量僅占總地下部生物量的 8%，故地下部所含養分主要儲存於粗根中。

地上部生物量根據葉青峯(2004)針對本樣區所做的研究指出，地上部總生物量為 $140,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，其中樹幹為 $106,400 \text{ kg ha}^{-1}$ ，枝條為 $16,900 \text{ kg ha}^{-1}$ ，葉為 $17,100 \text{ kg ha}^{-1}$ 。將上述結果配合本研究所測得的地上部養分濃度，可知地上部養分存量，碳為 $69,895 \text{ kg ha}^{-1}$ ；氮為 320 kg ha^{-1} ；鈣為 424 kg ha^{-1} ；鉀為 192 kg ha^{-1} ；鎂為 40 kg ha^{-1} ；鈉為 3.46 kg ha^{-1} ；磷為 77 kg ha^{-1} 。

最後可求出臺灣扁柏森林生態系總生物量為 $217,000 \text{ kg ha}^{-1}$ ；總養分存量方面，碳為 $107,124 \text{ kg ha}^{-1}$ ；氮為 512 kg ha^{-1} ；鈣為 570 kg ha^{-1} ；鉀為 307 kg ha^{-1} ；鎂為 57 kg ha^{-1} ；鈉為 6.6 kg ha^{-1} ；磷為 120 kg ha^{-1} 。

7. 引用文獻

- 吳敏如. 2004. 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. 碩士論文.
- 周育如與顏江河. 2003. 惠蓀林場三種林分2001年枯落物及養分迴歸量研究. 林業研究季刊 25:15-24.
- 林世宗. 1998. 棲蘭山闊葉林枯落物及養分之變動. 中華林學季刊 31:115-130.

- 林國銓. 1997. 福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化. 台灣林業科學 12:135-144.
- 姜家華與劉興旺. 1989. 樹齡與季節對柳杉枯枝葉量及養分含量之影響. 台大實驗林研究報告 3:1-20.
- 胥毅軍. 1994. 森林根系研究在生態系統研究中之重要性及主要野外方法之討論. 台灣林業 20:15-20.
- 徐正鐘. 1981. 柳杉、杉木枯落物量及養分含量季節變化之研究. 國立中興大學. 碩士論文.
- 高毓斌. 1985. 台灣孟宗竹之乾物生產與生物性養分循環. 國立台灣大學. 碩士論文.
- 張華洲. 1997. 惠蓀林場三種林分枯枝落葉量及其養分含量之季節變動. 國立中興大學. 碩士論文.
- 陳凱欣. 2005. 鴛鴦湖台灣扁柏森林生物量與冠層結構. 國立東華大學. 碩士論文.
- 陳耀德. 2003. 鴛鴦湖森林生態系大氣養分輸入之探討. 國立東華大學. 碩士論文.
- 葉青峯. 2004. 台灣扁柏森林的生物量及雲霧沉降量估算. 國立東華大學. 碩士論文.
- 劉美娟. 2004. 鴛鴦湖森林生態系地表苔蘚植物對養分循環之影響. 國立東華大學. 碩士論文.
- 劉湘瑤. 1994. 南仁山區亞熱帶雨林凋落物量及其養分含量之研究. 國立台灣大學. 碩士論文.
- 顏江河與陳佳慧. 1999. 惠蓀林場三種不同林分枯枝落葉量與枝葉層分解速率之季節性變化. 林業研究季刊 21:57-64.
- Attiwill, P. M., H. B. Guthrie, and R. Leuning. 1978. Nutrient cycling in a *Eucalyptus obliqua* (L'Hérit.) forest. I Litter production and nutrient return. Australian Journal of Botany 26:79-91.
- Babu, J., H. N. Pandey, and R. S. Tripathi. 2001. Vertical distribution and seasonal changes of fine and coarse root mass in *Pinus kesiya* Royle Ex. Gordon forest of three different ages. Acta Oecologica 22:293-300.
- Berg, B. 1986. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils - a mini review. Scandinavian Journal of Forest Research 1:359-369.
- Berg, B., and C. McClaugherty. 2003. Plant Litter. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

- Binkley, D., K. A. Dunkin, D. Debell, and M. G. Ryan. 1992. Production and nutrient cycling in mixed plantations of *Eucalyptus* and *Albizia* in Hawaii. *Forest Science* **38**:393-408.
- Bloom, A. J., F. S. Chapin, and H. A. Mooney. 1985. Resource limitation in plants - an economic analogy. *Annual Review of Ecology and Systematics* **16**:363-392.
- Böhm, W. 1979. *Methods of Studying Root Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Bolte, A., T. Rahmann, M. Kuhr, P. Pogoda, D. Murach, and K. v. Gadow. 2004. Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Plant and Soil* **264**:1-11.
- Brække, F. H. 1995. Response of understorey vegetation and Scots pine root system to fertilization at multiple deficiency stress. *Plant and Soil* **168-169**:179-185.
- Bray, J. R., and E. Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research* **2**:101-157.
- Burghouts, T. B. A., N. M. Van Straalen, and L. A. Bruijnzeel. 1998. Spatial heterogeneity of element and litter turnover in a Bornean rain forest. *Journal of Tropical Ecology* **14**:477-506.
- Burke, M. K., and D. J. Raynal. 1994. Fine root phenology, production and turnover in a northern hardwood forest ecosystem. *Plant and Soil* **162**:135-146.
- Burton, V. B., R. Z. Donald, R. D. Shirley, and H. S. Stephen. 1997. *Forest Ecology*, 4 edition. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Cairns, M. A., S. Brown, E. H. Helmer, and G. A. Baumgardner. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* **111**:1-11.
- Canadell, J., R. B. Jackson, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, O. E. Sala, and E. D. Schulze. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* **108**:583-595.
- 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.

- Cuevas, E., S. Brown, and A. E. Lugo. 1991. Above- and belowground organic matter storage and production in a tropical pine plantation and a paired broadleaf secondary forest. *Plant and Soil* **135**:257-268.
- Dexter, A. R. 1986. Model experiments on the behavior of roots at the interface between a tilled seed-bed and a compacted sub-soil. *Plant and Soil* **95**:149-161.
- Drexhage, M., and F. Colin. 2001. Estimating root system biomass from breast-height diameters. *Forestry* **74**:491-497.
- Editorial Committee of the Flora of Taiwan. 1994. *Flora of Taiwan*, 2 edition. Department of Botany, National Taiwan University, Taipei.
- Edwards, N. T., and W. F. Harris. 1977. Carbon Cycling in a mixed deciduous forest floor. *Ecology* **58**:431-437.
- Finér, L., C. Messier, and L. De Grandpré. 1997. Fine-root dynamics in mixed boreal conifer-broad-leaved forest stands at different successional stages after fire. *Canadian Journal of Forest Research* **27**:304-314.
- Fisk, M. C., S. K. Schmidt, and T. R. Seastedt. 1998. Topographic patterns of above- and belowground production and nitrogen cycling in alpine tundra. *Ecology* **79**:2253-2266.
- Fogel, R. 1983. Root turnover and productivity of coniferous forests. *Plant and Soil* **71**:75-85.
- Gill, R. A., and R. B. Jackson. 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *The New Phytologist* **147**:13-31.
- Grier, C. C., K. A. Vogt, M. R. Keyes, and R. L. Edmonds. 1981. Biomass distribution and above- and below-ground production in young and mature *Abies amabilis* zone ecosystems of the Washington Cascades. *Canadian Journal of Forest Research* **11**:155-167.
- Guan, B. T., and Y.-J. Cheng. 2003. Ground level diameter as an indicator of sapling structural root characteristics for *Chamaecyparis obtusa* var. *formosana* in northeastern Taiwan. *Forest Ecology and Management* **173**:227-234.
- Harmand, J.-M., C. F. Njiti, F. Bernhard-Reversat, and H. Puig. 2004. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. *Forest Ecology and Management* **188**:249-265.

- Helmisaari, H.-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* **168-169**:327-336.
- Helmisaari, H.-S., and L. Hallbäcken. 1999. Fine-root biomass and necromass in limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *Forest Ecology and Management* **119**:99-110.
- Helmisaari, H. S., K. Makkonen, S. Kellomäki, E. Valtonen, and E. Mälkönen. 2002. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* **165**:317-326.
- Jackson, R. B., J. Canadell, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, O. E. Sala, and E. D. Schulze. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* **108**:389-411.
- Jackson, R. B., H. A. Mooney, and E. D. Schulze. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **94**:7362-7366.
- Jentschke, G., M. Drexhage, H.-W. Fritz, E. Fritz, B. Schella, D.-H. Lee, F. Gruber, J. Heimann, M. Kuhr, J. Schmidt, S. Schmidt, R. Zimmermann, and D. L. Godbold. 2001. Does soil acidity reduce subsoil rooting in Norway spruce (*Picea abies*)? *Plant and Soil* **237**:91-108.
- Joslin, J. D., M. H. Wolfe, and P. J. Hanson. 2000. Effects of altered water regimes on forest root systems. *The New Phytologist* **147**:117-129.
- Keyes, M. R., and C. C. Grier. 1981. Above- and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Canadian Journal of Forest Research* **11**:599-605.
- Kimmins, J. P. 1996. *Forest Ecology*, 2 edition. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Kurz, W. A., S. J. Beukema, and M. J. Apps. 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* **26**:1973-1979.

- Leuschner, C., D. Hertel, I. Schmid, O. Koch, A. Muhs, and D. Hölscher. 2004. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forest as a function of precipitation and soil fertility. *Plant and Soil* **258**:43-56.
- Li, Z., W. A. Kurz, M. J. Apps, and S. J. Beukema. 2003. Belowground biomass dynamics in the carbon budget model of the Canadian forest sector: recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP. *Canadian Journal of Forest Research* **33**:126-136.
- Lin, K.-C., S. P. Hamburg, S.-I. Tang, Y.-J. Hsia, and T.-C. Lin. 2003. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest. *Canadian Journal of Forest Research* **33**:2184-2192.
- Lin, K.-C., C.-P. Wang, and F.-C. Ma. 2005. Distribution and nutrient contents of fine roots in the Fushan subtropical broadleaf forest in Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science* **20**:1-11.
- Luo, T., S. Brown, Y. Pan, P. Shi, H. Quyang, Z. Yu, and H. Zhu. 2005. Root biomass along subtropical to alpine gradients: global implication from Tibetan transect studies. *Forest Ecology and Management* **206**:349-363.
- Makkonen, K., and H.-S. Helmisaari. 1998. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. *Forest Ecology and Management* **102**:283-290.
- McClagherty, C. A., J. D. Aber, and J. M. Melillo. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology* **63**:1481-1490.
- McKay, H. M., and D. C. Malcolm. 1988. A comparison of the fine root component of a pure and a mixed coniferous stand. *Canadian Journal of Forest Research* **18**:1416-1426.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*, 4 edition. International potash Inc., Switzerland.
- Murphy, P. G., and A. E. Lugo. 1986. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica* **18**:89-96.
- Nadelhoffer, K. J., J. D. Aber, and J. M. Melillo. 1985. Fine roots, net production, and soil nitrogen availability: a new hypothesis. *Ecology* **66**:1377-1390.

- Nadelhoffer, K. J., and J. W. Raich. 1992. Fine root production estimates and belowground carbon allocation in forest ecosystem. *Ecology* **73**:1139-1147.
- Nambiar, E. K. S. 1987. Do nutrients retranslocate from fine roots? *Canadian Journal of Forest Research* **17**:913-918.
- Neukirchen, D., M. Himken, U. Czypionka-Krause, and H.-W. Olf. 1999. Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. *European Journal of Agronomy* **11**:301-309.
- Nye, P. H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil* **14**:333-346.
- Paruelo, J. M., and O. E. Sala. 1995. Water losses in the Patagonian steppe: a modelling approach. *Ecology* **76**:510-520.
- Pedersen, L. B., and J. Bille-Hansen. 1999. A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest Ecology and Management* **114**:55-70.
- Persson, H. 1978. Root dynamics in a young Scots pine stand in central Sweden. *Oikos* **30**:508-519.
- Persson, H. 1980. Spatial distribution of fine-root growth, mortality and decomposition in a young Scots pine stand in central Sweden. *Oikos* **34**:77-87.
- Persson, H., K. Ahlström, and A. Clemensson-Lindell. 1998. Nitrogen addition and removal at Gardsjön — effects on fine-root growth and fine-root chemistry. *Forest Ecology and Management* **101**:199-205.
- Proctor, J., J. M. Anderson, S. C. L. Fogden, and H. W. Vallack. 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak: II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. *The Journal of Ecology* **71**:261-283.
- Puhe, J. 2003. Growth and development of the root system of Norway spruce (*Picea abies*) in forest stands — a review. *Forest Ecology and Management* **175**:253-273.
- Puhe, J., and B. Ulrich. 2001. *Global Climate Change and Human Impacts on Forest Ecosystems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.

- Qian, X. M., I. Kottke, and F. Oberwinkler. 1998. Influence of liming and acidification on the activity of the mycorrhizal communities in a *Picea abies* (L.) Karst. stand. *Plant and Soil* **199**:99-109.
- Raich, J. W., and K. J. Nadelhoffer. 1989. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology* **70**:1346-1354.
- Rogers, H. M. 2002. Litterfall, decomposition and nutrient release in a lowland tropical rain forest, morobe province, Papua New Guinea. *Journal of Tropical Ecology* **18**:449-456.
- Roy, S., and J. S. Singh. 1995. Seasonal and spatial dynamics of plant-available N and P pools and N-mineralization in relation to fine roots in a dry tropical forest habitat. *Soil Biology and Biochemistry* **27**:33-40.
- Rri, S. N., and J. Proctor. 1986. Ecological studies on four rainforests in Karnataka, India: II. litterfall. *The Journal of Ecology* **74**:455-463.
- Schmid, I., and M. Kazda. 2002. Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management* **159**:37-47.
- Schulze, E. D. 2000. *Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Shaver, G. R., and J. M. Melillo. 1984. Nutrient budgets of marsh plants: efficiency concepts and relation to availability. *Ecology* **65**:1491-1510.
- Stone, E. L., and P. J. Kalisz. 1991. On the maximum extent of tree roots. *Forest Ecology and Management* **46**:59-102.
- Tanner, E. V. 1980. Litterfall in montane rain forests of Jamaica and its relation to climate. *The Journal of Ecology* **68**:833-848.
- Tateno, R., T. Hishi, and H. Takeda. 2004. Above- and belowground biomass and net primary production in a cool-temperate deciduous forest in relation to topographical changes in soil nitrogen. *Forest Ecology and Management* **193**:297-306.
- Thies, W. G., and P. G. Cunningham. 1996. Estimating large-root biomass from stump and breast-height diameters for Douglas-fir in western Oregon. *Canadian Journal of Forest Research* **26**:237-243.

- Tyree, M. T., V. Velez, and J. W. Dalling. 1998. Growth dynamics of root and shoot hydraulic conductance in seedlings of five neotropical tree species: scaling to show possible adaptation to differing light regimes. *Oecologia* **114**:293-298.
- Van Noordwijk, M., Widiyanto, M. Heinen, and K. Hairiah. 1991. Old tree root channels in acid soils in the humid tropics: Important for crop root penetration, water infiltration and nitrogen management. *Plant and Soil* **134**:37-44.
- Vitousek, P. M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* **65**:285-298.
- Vitousek, P. M., and R. L. Sanford. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* **17**:137-167.
- Vogt, K. A., R. L. Edmonds, and C. C. Grier. 1981. Seasonal changes in biomass and vertical distribution of mycorrhizal and fibrous-textured conifer fine roots in 23- and 180-year-old subalpine *Abies amabilis* stands. *Canadian Journal of Forest Research* **11**:223-229.
- Vogt, K. A., C. C. Grier, C. E. Meier, and M. R. Keyes. 1983. Organic matter and nutrient dynamics in forest floors of young and mature *Abies amabilis* stands in western Washington, as affected by fine-root input. *Ecological Monographs* **53**:139-157.
- Vogt, K. A., C. C. Grier, and D. J. Vogt. 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and belowground detritus in world forest. *Advances in Ecological Research* **15**:303-377.
- Vogt, K. A., D. A. Publicover, J. Bloomfield, J. M. Perez, D. J. Vogt, and W. L. Silver. 1993. Belowground responses as indicators of environmental change. *Environmental and Experimental Botany* **33**:189-205.
- Vogt, K. A., D. J. Vogt, and J. Bloomfield. 1998. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant and Soil* **200**:71-89.
- Vogt, K. A., D. J. Vogt, E. E. Moore, B. A. Fatuga, and M. R. Redlin. 1987. Conifer and angiosperm fine-root biomass in relation to stand age and site productivity in Douglas-fir forests. *The Journal of Ecology* **75**:857-870.

- Vogt, K. A., D. J. Vogt, P. A. Palmiotto, P. Boon, J. O'Hara, and H. Asbjornsen. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. *Plant and Soil* **187**:159-219.
- Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi. 2002. *Plant roots: the hidden half*, 3 edition. Marcel Dekker Inc., New York.
- Wilson, B. F. 1967. Root growth around barriers. *Botanical Gazette* **128**:79-82.
- Xu, X. N., and E. Hirata. 2002. Forest floor mass and litterfall in *Pinus luchuensis* plantations with and without broad-leaved trees. *Forest Ecology and Management* **157**:165-173.
- Xu, Y.-J., E. Röhrig, and H. Fölster. 1997. Reaction of root systems of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) and Norway spruce (*Picea abies* Karst.) to seasonal waterlogging. *Forest Ecology and Management* **93**:9-19.

8. 附錄一 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物的植物名錄

樹種	學名
臺灣扁柏	<i>Chamaecyparis obtusa</i> Sieb. & Zucc. var. <i>formosana</i> (Hayata) Rehder
阿里山菝契	<i>Smilax arisanensis</i> Hayata
山櫻花	<i>Prunus campanulata</i> Maxim.
高山新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i> (Hayata) Kanehira & Sasaki
薯豆	<i>Elaeocarpus japonicus</i> Sieb. & Zucc.
紅楠	<i>Machilus thunbergii</i> Sieb. & Zucc.
月桂葉灰木	<i>Symplocos wikstroemifolia</i> Hayata
鐵釘樹	<i>Lindera erythrocarpa</i> Makino
臺灣紅榨槭	<i>Acer rubescens</i> Hayata
霧社木薑子	<i>Litsea elongata</i> (Wall. ex Nees) Benth. & Hook. f. var. <i>mushaensis</i> (Hayata) J. C. Liao
臺灣土伏苓	<i>Smilax lanceifolia</i> Roxb.
香桂	<i>Cinnamomum subavenium</i> Miq.
白花八角	<i>Illicium anisatum</i> L.
臺灣樹蓼	<i>Dendropanax dentiger</i>
越橘	<i>Vaccinium</i> spp.
早田氏冬青	<i>Ilex hayataiana</i> Loes.
山胡椒	<i>Ilex hayataiana</i> Loes.
昆欄樹	<i>Trochodendron aralioides</i> Sieb. & Zucc.
厚葉柃木	<i>Eurya glaberrima</i> Hayata
鞍馬山越橘	<i>Vaccinium kengii</i> Chang
深紅茵芋	<i>Skimmia reevesiana</i> Fortune
朱紅水木	<i>Ilex micrococca</i> Maxim.
銳葉新木薑子	<i>Neolitsea acuminatissima</i> (Hayata) Kanehira & Sasaki

9. 附錄二 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林各次採樣的枯落物重量

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2003.08.12	山櫻花	葉	1.245	2003.08.27	鐵釘樹	花	0.001
2003.08.12	月桂葉灰木	葉	0.364	2003.08.27	鐵釘樹	葉	0.324
2003.08.12	白花八角	葉	1.285	2003.09.09	山胡椒	葉	0.097
2003.08.12	朱紅水木	葉	0.562	2003.09.09	山櫻花	枝條	23.84
2003.08.12	其他		0.263	2003.09.09	山櫻花	葉	9.095
2003.08.12	阿里山菝契	葉	0.093	2003.09.09	月桂葉灰木	葉	2.165
2003.08.12	紅楠	葉	0.17	2003.09.09	白花八角	葉	0.99
2003.08.12	苔蘚		0.002	2003.09.09	早田氏冬青	葉	0.179
2003.08.12	香桂	葉	0.174	2003.09.09	朱紅水木	葉	2.818
2003.08.12	高山新木薑子	葉	0.084	2003.09.09	其他	枝條	32.577
2003.08.12	動物殘骸		0.157	2003.09.09	其他	葉	0.316
2003.08.12	臺灣扁柏	枝條	0.038	2003.09.09	其他		3.083
2003.08.12	臺灣扁柏	葉	4.42	2003.09.09	阿里山菝契	果實.種子	0.047
2003.08.12	臺灣紅榨槭	葉	0.073	2003.09.09	紅楠	葉	1.12
2003.08.12	臺灣樹蓇	葉	0.071	2003.09.09	苔蘚		1.079
2003.08.12	薯豆	葉	0.59	2003.09.09	高山新木薑子	葉	0.245
2003.08.12	霧社木薑子	葉	0.13	2003.09.09	動物殘骸		1.586
2003.08.12	鐵釘樹	葉	0.425	2003.09.09	越橘	葉	0.296
2003.08.27	山櫻花	葉	1.395	2003.09.09	臺灣土伏苓	枝條	1.282
2003.08.27	月桂葉灰木	葉	0.183	2003.09.09	臺灣土伏苓	葉	0.142
2003.08.27	未知	葉	0.064	2003.09.09	臺灣扁柏	枝條	51.221
2003.08.27	白花八角	葉	0.702	2003.09.09	臺灣扁柏	葉	102
2003.08.27	早田氏冬青	葉	0.002	2003.09.09	臺灣紅榨槭	葉	0.274
2003.08.27	朱紅水木	葉	0.088	2003.09.09	臺灣樹蓇	葉	0.25
2003.08.27	其他	枝條	0.496	2003.09.09	薯豆	葉	1.227
2003.08.27	其他	葉	0.02	2003.09.09	霧社木薑子	葉	0.495
2003.08.27	其他		0.043	2003.09.09	鐵釘樹	果實.種子	0.031
2003.08.27	阿里山菝契	果實.種子	0.065	2003.09.09	鐵釘樹	枝條	0.93
2003.08.27	阿里山菝契	葉	0.118	2003.09.09	鐵釘樹	葉	4.116
2003.08.27	動物殘骸		0.095	2003.09.20	山櫻花	葉	2.479
2003.08.27	臺灣土伏苓	葉	0.147	2003.09.20	月桂葉灰木	葉	0.554
2003.08.27	臺灣扁柏	枝條	0.689	2003.09.20	白花八角	葉	0.241
2003.08.27	臺灣扁柏	葉	2.596	2003.09.20	早田氏冬青	葉	0.018
2003.08.27	臺灣紅榨槭	葉	0.198	2003.09.20	朱紅水木	葉	1.151
2003.08.27	臺灣樹蓇	葉	0.074	2003.09.20	其他	枝條	0.259

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2003.09.20	其他	葉	0.029	2003.10.16	動物殘骸		0.043
2003.09.20	其他		0.242	2003.10.16	深紅茵芋	葉	0.137
2003.09.20	苔蘚		0.029	2003.10.16	臺灣土伏苓	葉	0.015
2003.09.20	高山新木薑子	葉	0.104	2003.10.16	臺灣扁柏	枝條	0.319
2003.09.20	動物殘骸		0.249	2003.10.16	臺灣扁柏	葉	5.448
2003.09.20	臺灣土伏苓	葉	0.156	2003.10.16	臺灣樹蓼	葉	0.029
2003.09.20	臺灣扁柏	枝條	0.454	2003.10.16	薯豆	葉	0.109
2003.09.20	臺灣扁柏	葉	3.13	2003.10.16	鐵釘樹	葉	2.018
2003.09.20	臺灣樹蓼	葉	0.278	2003.10.30	山櫻花	葉	9.076
2003.09.20	鐵釘樹	葉	0.682	2003.10.30	月桂葉灰木	葉	0.188
2003.10.03	山櫻花	葉	2.311	2003.10.30	白花八角	葉	0.132
2003.10.03	月桂葉灰木	葉	0.025	2003.10.30	朱紅水木	葉	1.901
2003.10.03	未知	葉	0.008	2003.10.30	其他	葉	0.007
2003.10.03	白花八角	葉	0.115	2003.10.30	其他		0.013
2003.10.03	朱紅水木	葉	0.279	2003.10.30	紅楠	葉	0.219
2003.10.03	其他	枝條	0.014	2003.10.30	高山新木薑子	葉	0.151
2003.10.03	其他		0.04	2003.10.30	動物殘骸		0.038
2003.10.03	阿里山菝契	葉	0.109	2003.10.30	深紅茵芋	葉	0.064
2003.10.03	高山新木薑子	葉	0.014	2003.10.30	臺灣扁柏	果實.種子	0.022
2003.10.03	動物殘骸		0.065	2003.10.30	臺灣扁柏	枝條	1.119
2003.10.03	臺灣土伏苓	葉	0.035	2003.10.30	臺灣扁柏	葉	3.251
2003.10.03	臺灣扁柏	枝條	0.486	2003.10.30	薯豆	葉	0.162
2003.10.03	臺灣扁柏	葉	2.046	2003.10.30	鐵釘樹	葉	1.893
2003.10.03	臺灣樹蓼	葉	0.131	2003.11.14	山櫻花	葉	10.484
2003.10.03	薯豆	葉	0.168	2003.11.14	月桂葉灰木	葉	0.232
2003.10.03	鐵釘樹	葉	0.98	2003.11.14	白花八角	葉	0.117
2003.10.16	山櫻花	葉	4.794	2003.11.14	朱紅水木	葉	5.087
2003.10.16	月桂葉灰木	葉	0.695	2003.11.14	其他	枝條	14.812
2003.10.16	白花八角	葉	0.305	2003.11.14	其他	葉	0.013
2003.10.16	朱紅水木	葉	1.101	2003.11.14	其他		0.088
2003.10.16	其他	果實.種子	0.017	2003.11.14	昆欄樹	葉	0.093
2003.10.16	其他	枝條	0.299	2003.11.14	苔蘚		0.094
2003.10.16	其他	葉	0.009	2003.11.14	高山新木薑子	葉	0.141
2003.10.16	其他		0.025	2003.11.14	越橘	葉	0.077
2003.10.16	紅楠	葉	0.056	2003.11.14	臺灣土伏苓	葉	0.058
2003.10.16	苔蘚		0.003	2003.11.14	臺灣扁柏	枝條	0.766

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2003.11.14	臺灣扁柏	花	0.062	2003.12.26	朱紅水木	葉	0.116
2003.11.14	臺灣扁柏	葉	24.601	2003.12.26	其他		0.003
2003.11.14	臺灣紅榨槭	葉	0.215	2003.12.26	動物殘骸		0.035
2003.11.14	臺灣樹蓼	葉	0.524	2003.12.26	臺灣土伏苓	葉	0.001
2003.11.14	鐵釘樹	花	0.018	2003.12.26	臺灣扁柏	果實.種子	0.553
2003.11.14	鐵釘樹	葉	14.249	2003.12.26	臺灣扁柏	枝條	0.241
2003.11.28	山櫻花	葉	1.356	2003.12.26	臺灣扁柏	葉	4.315
2003.11.28	朱紅水木	葉	0.077	2003.12.26	臺灣樹蓼	葉	0.051
2003.11.28	其他	枝條	0.916	2003.12.26	鐵釘樹	葉	0.006
2003.11.28	其他	葉	0.008	2004.01.10	月桂葉灰木	葉	0.007
2003.11.28	其他		0.106	2004.01.10	其他		0.002
2003.11.28	紅楠	葉	0.09	2004.01.10	紅楠	葉	0.028
2003.11.28	苔蘚		0.043	2004.01.10	苔蘚		0.094
2003.11.28	高山新木薑子	葉	0.103	2004.01.10	動物殘骸		0.036
2003.11.28	臺灣扁柏	果實.種子	0.006	2004.01.10	臺灣扁柏	果實.種子	0.155
2003.11.28	臺灣扁柏	枝條	0.029	2004.01.10	臺灣扁柏	枝條	0.693
2003.11.28	臺灣扁柏	葉	26.349	2004.01.10	臺灣扁柏	葉	8.013
2003.11.28	臺灣樹蓼	葉	0.348	2004.01.10	臺灣樹蓼	葉	0.086
2003.11.28	薯豆	葉	0.218	2004.02.03	山櫻花	葉	0.287
2003.11.28	鐵釘樹	葉	2.756	2004.02.03	月桂葉灰木	葉	0.044
2003.12.12	山櫻花	葉	0.17	2004.02.03	其他	枝條	0.036
2003.12.12	月桂葉灰木	葉	0.008	2004.02.03	其他	葉	0.036
2003.12.12	朱紅水木	葉	0.11	2004.02.03	其他		0.058
2003.12.12	其他	葉	0.005	2004.02.03	紅楠	葉	0.154
2003.12.12	其他		0.003	2004.02.03	動物殘骸		0.035
2003.12.12	厚葉柃木	葉	0.003	2004.02.03	臺灣扁柏	果實.種子	0.214
2003.12.12	動物殘骸		0.001	2004.02.03	臺灣扁柏	枝條	3.193
2003.12.12	臺灣土伏苓	葉	0.046	2004.02.03	臺灣扁柏	葉	74.617
2003.12.12	臺灣扁柏	果實.種子	0.021	2004.02.03	臺灣樹蓼	葉	0.167
2003.12.12	臺灣扁柏	枝條	0.014	2004.02.03	鐵釘樹	葉	0.011
2003.12.12	臺灣扁柏	葉	16.797	2004.02.20	山櫻花	葉	0.028
2003.12.12	臺灣樹蓼	葉	0.169	2004.02.20	其他	枝條	0.049
2003.12.12	薯豆	葉	0.162	2004.02.20	其他		0.099
2003.12.12	鐵釘樹	葉	0.154	2004.02.20	苔蘚		0.007
2003.12.26	山櫻花	葉	0.158	2004.02.20	動物殘骸		0.005
2003.12.26	白花八角	葉	0.033	2004.02.20	臺灣扁柏	果實.種子	0.113

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.02.20	臺灣扁柏	枝條	0.432	2004.04.01	苔蘚		0.039
2004.02.20	臺灣扁柏	葉	9.004	2004.04.01	動物殘骸		0.003
2004.03.05	山櫻花	花	0.361	2004.04.01	越橘	葉	0.165
2004.03.05	山櫻花	葉	0.009	2004.04.01	臺灣扁柏	果實.種子	0.028
2004.03.05	月桂葉灰木	葉	0.208	2004.04.01	臺灣扁柏	枝條	2.975
2004.03.05	其他		0.079	2004.04.01	臺灣扁柏	花	0.714
2004.03.05	厚葉柃木	葉	0.012	2004.04.01	臺灣扁柏	葉	22.801
2004.03.05	苔蘚		0.089	2004.04.01	臺灣樹蓼	葉	0.003
2004.03.05	越橘	葉	0.03	2004.04.01	薯豆	葉	0.362
2004.03.05	臺灣扁柏	果實.種子	0.044	2004.04.01	鐵釘樹	花	0.131
2004.03.05	臺灣扁柏	枝條	10.919	2004.04.01	鐵釘樹	葉	0.004
2004.03.05	臺灣扁柏	葉	53.121	2004.04.16	山櫻花	花	0.641
2004.03.05	臺灣樹蓼	葉	0.045	2004.04.16	山櫻花	葉	0.194
2004.03.05	鞍馬山越橘	葉	0.039	2004.04.16	月桂葉灰木	葉	0.337
2004.03.19	山櫻花	花	1.865	2004.04.16	未知	葉	0.391
2004.03.19	山櫻花	葉	0.003	2004.04.16	白花八角	葉	0.083
2004.03.19	未知	葉	0.125	2004.04.16	其他	葉	0.23
2004.03.19	其他		0.073	2004.04.16	其他		0.239
2004.03.19	厚葉柃木	葉	0.089	2004.04.16	厚葉柃木	葉	4.005
2004.03.19	苔蘚		0.014	2004.04.16	紅楠	葉	0.799
2004.03.19	臺灣扁柏	果實.種子	0.007	2004.04.16	苔蘚		0.015
2004.03.19	臺灣扁柏	枝條	1.086	2004.04.16	動物殘骸		0.027
2004.03.19	臺灣扁柏	葉	3.97	2004.04.16	深紅茵芋	葉	0.026
2004.03.19	臺灣樹蓼	葉	0.038	2004.04.16	越橘	葉	0.087
2004.03.19	薯豆	葉	0.209	2004.04.16	臺灣土伏苓	枝條	0.133
2004.04.01	山櫻花	枝條	2.584	2004.04.16	臺灣扁柏	果實.種子	0.091
2004.04.01	山櫻花	花	2.971	2004.04.16	臺灣扁柏	枝條	10.8
2004.04.01	山櫻花	葉	0.073	2004.04.16	臺灣扁柏	花	0.442
2004.04.01	月桂葉灰木	葉	0.442	2004.04.16	臺灣扁柏	葉	62.291
2004.04.01	未知	葉	0.138	2004.04.16	臺灣樹蓼	葉	0.768
2004.04.01	白花八角	葉	0.016	2004.04.16	薯豆	葉	0.397
2004.04.01	早田氏冬青	葉	0.015	2004.04.16	鐵釘樹	花	0.306
2004.04.01	其他	葉	0.382	2004.04.16	鐵釘樹	葉	0.035
2004.04.01	其他		0.176	2004.04.29	山櫻花	花	0.044
2004.04.01	厚葉柃木	葉	0.131	2004.04.29	山櫻花	果實.種子	0.378
2004.04.01	紅楠	葉	0.327	2004.04.29	山櫻花	葉	0.217

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.04.29	月桂葉灰木	葉	0.184	2004.05.14	臺灣扁柏	枝條	0.321
2004.04.29	未知	葉	0.321	2004.05.14	臺灣扁柏	花	0.039
2004.04.29	白花八角	果實.種子	0.004	2004.05.14	臺灣扁柏	葉	3.437
2004.04.29	白花八角	葉	0.279	2004.05.14	臺灣樹蔘	葉	1.291
2004.04.29	朱紅水木	葉	0.011	2004.05.14	薯豆	葉	0.187
2004.04.29	其他	葉	0.207	2004.05.14	霧社木薑子	葉	0.204
2004.04.29	其他		0.171	2004.05.14	鐵釘樹	花	0.082
2004.04.29	紅楠	葉	0.882	2004.05.14	鐵釘樹	葉	0.376
2004.04.29	苔蘚		0.013	2004.05.29	山櫻花	果實.種子	2.1
2004.04.29	高山新木薑子	葉	0.016	2004.05.29	山櫻花	葉	0.111
2004.04.29	動物殘骸		0.027	2004.05.29	月桂葉灰木	葉	0.299
2004.04.29	深紅茵芋	葉	0.563	2004.05.29	未知	葉	0.139
2004.04.29	越橘	葉	0.041	2004.05.29	白花八角	葉	0.91
2004.04.29	臺灣扁柏	果實.種子	0.001	2004.05.29	朱紅水木	葉	1.305
2004.04.29	臺灣扁柏	枝條	0.439	2004.05.29	其他		0.416
2004.04.29	臺灣扁柏	花	0.016	2004.05.29	紅楠	葉	0.399
2004.04.29	臺灣扁柏	葉	3.34	2004.05.29	苔蘚		0.17
2004.04.29	臺灣樹蔘	葉	1.088	2004.05.29	動物殘骸		0.039
2004.04.29	薯豆	葉	0.054	2004.05.29	深紅茵芋	葉	1.093
2004.04.29	鐵釘樹	花	0.174	2004.05.29	越橘	葉	0.031
2004.04.29	鐵釘樹	葉	0.006	2004.05.29	臺灣土伏苓	葉	0.013
2004.05.14	山櫻花	枝條	0.295	2004.05.29	臺灣扁柏	枝條	8.353
2004.05.14	山櫻花	果實.種子	1.496	2004.05.29	臺灣扁柏	花	0.011
2004.05.14	山櫻花	葉	0.173	2004.05.29	臺灣扁柏	葉	4.961
2004.05.14	月桂葉灰木	葉	0.118	2004.05.29	臺灣樹蔘	葉	0.225
2004.05.14	未知	葉	0.279	2004.05.29	霧社木薑子	葉	0.096
2004.05.14	白花八角	葉	1.088	2004.05.29	鐵釘樹	果實.種子	0.018
2004.05.14	朱紅水木	葉	0.093	2004.05.29	鐵釘樹	花	0.093
2004.05.14	其他	葉	0.072	2004.05.29	鐵釘樹	葉	0.23
2004.05.14	其他		0.359	2004.06.11	山櫻花	果實.種子	0.14
2004.05.14	厚葉柃木	葉	0.148	2004.06.11	山櫻花	葉	0.249
2004.05.14	紅楠	葉	0.915	2004.06.11	月桂葉灰木	葉	0.025
2004.05.14	苔蘚		0.009	2004.06.11	未知	葉	0.171
2004.05.14	動物殘骸		0.026	2004.06.11	白花八角	葉	0.117
2004.05.14	深紅茵芋	葉	1.499	2004.06.11	朱紅水木	葉	0.764
2004.05.14	臺灣扁柏	果實.種子	0.004	2004.06.11	其他		0.304

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.06.11	紅楠	葉	0.144	2004.07.09	未知	葉	0.096
2004.06.11	苔蘚		0.519	2004.07.09	白花八角	葉	0.983
2004.06.11	動物殘骸		0.007	2004.07.09	早田氏冬青	葉	0.093
2004.06.11	深紅茵芋	葉	0.733	2004.07.09	其他		0.311
2004.06.11	臺灣扁柏	枝條	11.182	2004.07.09	紅楠	葉	0.287
2004.06.11	臺灣扁柏	花	0.003	2004.07.09	苔蘚		0.054
2004.06.11	臺灣扁柏	葉	3.596	2004.07.09	高山新木薑子	葉	0.016
2004.06.11	臺灣樹蓼	葉	0.11	2004.07.09	動物殘骸		0.129
2004.06.11	鐵釘樹	果實.種子	0.01	2004.07.09	深紅茵芋	葉	0.51
2004.06.11	鐵釘樹	花	0.141	2004.07.09	越橘	葉	0.273
2004.06.11	鐵釘樹	葉	0.134	2004.07.09	臺灣扁柏	枝條	4.695
2004.06.26	山櫻花	果實.種子	0.068	2004.07.09	臺灣扁柏	花	0.063
2004.06.26	山櫻花	葉	0.293	2004.07.09	臺灣扁柏	葉	15.427
2004.06.26	月桂葉灰木	葉	0.445	2004.07.09	臺灣樹蓼	葉	0.054
2004.06.26	未知	葉	0.178	2004.07.09	薯豆	葉	0.458
2004.06.26	白花八角	葉	1.021	2004.07.09	霧社木薑子	葉	0.029
2004.06.26	朱紅水木	葉	0.629	2004.07.09	霧社木薑子	葉	0.029
2004.06.26	其他		0.39	2004.07.09	鐵釘樹	花	0.019
2004.06.26	紅楠	葉	0.843	2004.07.09	鐵釘樹	葉	0.295
2004.06.26	苔蘚		0.037	2004.07.22	山櫻花	葉	0.203
2004.06.26	高山新木薑子	葉	0.105	2004.07.22	月桂葉灰木	葉	0.238
2004.06.26	動物殘骸		0.158	2004.07.22	未知	葉	0.017
2004.06.26	深紅茵芋	葉	0.147	2004.07.22	白花八角	葉	0.082
2004.06.26	越橘	葉	0.011	2004.07.22	其他		0.283
2004.06.26	臺灣扁柏	果實.種子	0.01	2004.07.22	紅楠	葉	0.259
2004.06.26	臺灣扁柏	枝條	1.246	2004.07.22	苔蘚		0.008
2004.06.26	臺灣扁柏	花	0.009	2004.07.22	動物殘骸		0.404
2004.06.26	臺灣扁柏	葉	6.672	2004.07.22	深紅茵芋	葉	0.351
2004.06.26	臺灣樹蓼	葉	0.09	2004.07.22	臺灣扁柏	枝條	0.367
2004.06.26	薯豆	葉	0.463	2004.07.22	臺灣扁柏	花	0.003
2004.06.26	霧社木薑子	葉	0.002	2004.07.22	臺灣扁柏	葉	2.166
2004.06.26	鐵釘樹	果實.種子	0.01	2004.07.22	臺灣樹蓼	葉	0.008
2004.06.26	鐵釘樹	花	0.002	2004.07.22	鐵釘樹	花	0.002
2004.06.26	鐵釘樹	葉	0.378	2004.07.22	鐵釘樹	葉	0.13
2004.07.09	山櫻花	葉	0.331	2004.07.22	山櫻花	葉	0.203
2004.07.09	月桂葉灰木	葉	1.139	2004.07.22	月桂葉灰木	葉	0.238

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.07.22	未知	葉	0.017	2004.08.19	薯豆	葉	0.565
2004.07.22	白花八角	葉	0.082	2004.08.19	其他		1.928
2004.07.22	其他		0.283	2004.08.19	其他	枝條	7.217
2004.07.22	紅楠	葉	0.259	2004.08.19	其他	花	0.003
2004.07.22	苔蘚		0.008	2004.08.19	其他	果實/種子	0.155
2004.07.22	動物殘骸		0.404	2004.08.19	其他	葉	0.446
2004.07.22	深紅茵芋	葉	0.351	2004.08.19	紅楠	葉	1.016
2004.07.22	臺灣扁柏	枝條	0.367	2004.08.19	月桂葉灰木	葉	2.326
2004.07.22	臺灣扁柏	花	0.003	2004.08.19	鐵釘樹	葉	0.653
2004.07.22	臺灣扁柏	葉	2.166	2004.08.19	臺灣紅榨槭	葉	0.146
2004.07.22	臺灣樹蓼	葉	0.008	2004.08.19	霧社木薑子	葉	0.057
2004.07.22	鐵釘樹	花	0.002	2004.08.19	臺灣土伏苓	葉	0.021
2004.07.22	鐵釘樹	葉	0.13	2004.08.19	白花八角	葉	0.76
2004.08.05	臺灣扁柏	枝條	0.212	2004.08.19	苔蘚		0.708
2004.08.05	臺灣扁柏	花	0.003	2004.08.19	臺灣樹蓼	葉	0.072
2004.08.05	臺灣扁柏	果實/種子	0.004	2004.08.19	越橘	葉	0.633
2004.08.05	臺灣扁柏	葉	2.301	2004.08.19	厚葉柃木	葉	0.054
2004.08.05	動物殘骸		0.268	2004.08.19	深紅茵芋	葉	0.265
2004.08.05	山櫻花	葉	0.728	2004.08.19	未知 1	葉	0.072
2004.08.05	高山新木薑子	葉	0.045	2004.09.03	臺灣扁柏	枝條	158
2004.08.05	其他		0.335	2004.09.03	臺灣扁柏	花	0.164
2004.08.05	其他	葉	0.007	2004.09.03	臺灣扁柏	果實/種子	0.378
2004.08.05	月桂葉灰木	葉	0.286	2004.09.03	臺灣扁柏	葉	176
2004.08.05	鐵釘樹	葉	0.115	2004.09.03	動物殘骸		0.107
2004.08.05	霧社木薑子	葉	0.248	2004.09.03	阿里山菝契	葉	0.141
2004.08.05	臺灣土伏苓	葉	0.064	2004.09.03	山櫻花	枝條	2.05
2004.08.05	苔蘚		0.004	2004.09.03	山櫻花	葉	3.073
2004.08.05	臺灣樹蓼	葉	0.022	2004.09.03	高山新木薑子	枝條	0.226
2004.08.05	早田氏冬青	葉	0.045	2004.09.03	高山新木薑子	葉	0.238
2004.08.05	朱紅水木	葉	0.046	2004.09.03	薯豆	葉	0.74
2004.08.05	未知 1	葉	0.053	2004.09.03	其他		13.134
2004.08.19	臺灣扁柏	枝條	54	2004.09.03	其他	枝條	11.635
2004.08.19	臺灣扁柏	花	0.163	2004.09.03	其他	果實/種子	0.26
2004.08.19	臺灣扁柏	葉	60.484	2004.09.03	紅楠	葉	2.32
2004.08.19	動物殘骸		0.309	2004.09.03	月桂葉灰木	葉	2.115
2004.08.19	山櫻花	葉	1.436	2004.09.03	鐵釘樹	葉	0.845

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.09.03	臺灣紅榨槭	枝條	0.093	2004.10.01	其他		0.125
2004.09.03	臺灣紅榨槭	葉	0.634	2004.10.01	其他	果實/種子	0.032
2004.09.03	霧社木薑子	葉	1.01	2004.10.01	紅楠	葉	0.098
2004.09.03	白花八角	葉	0.117	2004.10.01	月桂葉灰木	葉	0.65
2004.09.03	苔蘚		1.81	2004.10.01	鐵釘樹	葉	0.877
2004.09.03	臺灣樹蓼	葉	0.067	2004.10.01	霧社木薑子	葉	0.061
2004.09.03	越橘	枝條	0.237	2004.10.01	臺灣土伏苓	葉	0.039
2004.09.03	越橘	葉	2.226	2004.10.01	苔蘚		0.012
2004.09.03	早田氏冬青	枝條	0.102	2004.10.01	臺灣樹蓼	葉	0.108
2004.09.03	早田氏冬青	葉	0.445	2004.10.01	深紅茵芋	葉	0.412
2004.09.03	厚葉柃木	葉	0.494	2004.10.01	朱紅水木	葉	0.78
2004.09.03	深紅茵芋	葉	0.025	2004.10.15	臺灣扁柏	枝條	0.055
2004.09.03	朱紅水木	葉	3.375	2004.10.15	臺灣扁柏	葉	2.892
2004.09.03	未知 1	葉	0.092	2004.10.15	動物殘骸		0.002
2004.09.03	未知 2	葉	0.799	2004.10.15	山櫻花	葉	4.579
2004.09.03	銳葉新木薑子	葉	0.146	2004.10.15	高山新木薑子	葉	0.064
2004.09.16	臺灣扁柏	枝條	0.386	2004.10.15	其他		0.272
2004.09.16	臺灣扁柏	葉	6.31	2004.10.15	其他	果實/種子	0.062
2004.09.16	動物殘骸		0.011	2004.10.15	紅楠	葉	0.001
2004.09.16	山櫻花	葉	2.092	2004.10.15	月桂葉灰木	葉	0.045
2004.09.16	高山新木薑子	葉	0.183	2004.10.15	鐵釘樹	葉	1.596
2004.09.16	其他		0.252	2004.10.15	臺灣土伏苓	葉	0.032
2004.09.16	紅楠	葉	0.142	2004.10.15	白花八角	葉	0.077
2004.09.16	月桂葉灰木	葉	0.184	2004.10.15	苔蘚		0.004
2004.09.16	鐵釘樹	葉	0.71	2004.10.15	臺灣樹蓼	葉	0.007
2004.09.16	臺灣土伏苓	葉	0.686	2004.10.15	越橘	葉	0.077
2004.09.16	苔蘚		0.031	2004.10.15	早田氏冬青	葉	0.031
2004.09.16	臺灣樹蓼	葉	0.072	2004.10.15	深紅茵芋	葉	0.09
2004.09.16	越橘	葉	0.105	2004.10.15	朱紅水木	葉	0.955
2004.09.16	朱紅水木	葉	1.067	2004.11.11	臺灣扁柏	枝條	31.749
2004.09.16	未知 1	葉	0.094	2004.11.11	臺灣扁柏	花	0.006
2004.10.01	臺灣扁柏	枝條	0.162	2004.11.11	臺灣扁柏	果實/種子	0.048
2004.10.01	臺灣扁柏	葉	3.308	2004.11.11	臺灣扁柏	葉	258
2004.10.01	動物殘骸		0.012	2004.11.11	動物殘骸		0.028
2004.10.01	山櫻花	葉	3.864	2004.11.11	山櫻花	葉	7.508
2004.10.01	高山新木薑子	葉	0.066	2004.11.11	薯豆	葉	0.292

日期	樹種	部位	絕乾重(g)	日期	樹種	部位	絕乾重(g)
2004.11.11	其他		1.728	2004.12.10	臺灣扁柏	果實/種子	0.634
2004.11.11	其他	枝條	2.383	2004.12.10	臺灣扁柏	葉	134
2004.11.11	其他	果實/種子	0.004	2004.12.10	動物殘骸		0.002
2004.11.11	紅楠	葉	2.271	2004.12.10	山櫻花	葉	0.25
2004.11.11	月桂葉灰木	葉	1.266	2004.12.10	薯豆	葉	0.275
2004.11.11	鐵釘樹	葉	12.051	2004.12.10	其他		0.287
2004.11.11	臺灣紅榨槭	葉	0.759	2004.12.10	其他	果實/種子	0.025
2004.11.11	霧社木薑子	葉	0.131	2004.12.10	月桂葉灰木	葉	0.135
2004.11.11	白花八角	葉	0.653	2004.12.10	鐵釘樹	葉	0.183
2004.11.11	苔蘚		0.303	2004.12.10	白花八角	葉	0.122
2004.11.11	臺灣樹蔘	葉	0.221	2004.12.10	苔蘚		0.02
2004.11.11	越橘	葉	0.228	2004.12.10	臺灣樹蔘	葉	0.012
2004.11.11	朱紅水木	葉	4.818	2004.12.10	厚葉柃木	葉	0.062
2004.11.25	臺灣扁柏	枝條	0.179	2004.12.10	朱紅水木	葉	0.395
2004.11.25	臺灣扁柏	果實/種子	0.177	2004.12.10	未知 2	葉	0.15
2004.11.25	臺灣扁柏	葉	13.061	2004.12.24	臺灣扁柏	枝條	0.525
2004.11.25	動物殘骸		0.004	2004.12.24	臺灣扁柏	果實/種子	0.107
2004.11.25	山櫻花	葉	0.85	2004.12.24	臺灣扁柏	葉	4.896
2004.11.25	高山新木薑子	葉	0.034	2004.12.24	動物殘骸		0.001
2004.11.25	薯豆	葉	0.166	2004.12.24	其他		0.028
2004.11.25	其他		0.06	2004.12.24	其他	果實/種子	0.006
2004.11.25	其他	果實/種子	0.001	2004.12.24	月桂葉灰木	葉	0.241
2004.11.25	其他	葉	0.038	2004.12.24	鐵釘樹	葉	0.078
2004.11.25	月桂葉灰木	葉	0.277	2004.12.24	苔蘚		0.001
2004.11.25	鐵釘樹	葉	3.66	2005.01.06	其他	枝條	0.506
2004.11.25	白花八角	葉	0.111	2005.01.06	紅楠	葉	0.482
2004.11.25	苔蘚		0.026	2005.01.06	月桂葉灰木	葉	0.246
2004.11.25	臺灣樹蔘	葉	0.075	2005.01.06	苔蘚		0.038
2004.11.25	朱紅水木	葉	0.442	2005.01.06	越橘	葉	0.036
2004.12.10	臺灣扁柏	枝條	7.782	2005.01.06	厚葉柃木	葉	0.002
2004.12.10	臺灣扁柏	花	0.003	2005.01.06	深紅茵芋	葉	0.076

10. 附錄三 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林枯落物所含的養分濃度

日期	樹種	部位	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
2003.08.12	臺灣扁柏	枝條	492.90	9.57	6.68	0.82	0.47	0.05	1.16
2003.08.27	臺灣扁柏	枝條	492.90	9.57	6.68	0.82	0.47	0.05	1.16
2003.09.09	臺灣扁柏	枝條	509.61	7.58	7.07	0.55	0.49	0.01	0.95
2003.09.20	臺灣扁柏	枝條	498.90	8.38	5.71	0.65	0.40	0.04	1.02
2003.10.03	臺灣扁柏	枝條	498.60	7.15	5.91	0.64	0.46	0.03	0.95
2003.10.16	臺灣扁柏	枝條	501.28	7.54	5.68	0.56	0.45	0.02	0.96
2003.10.30	臺灣扁柏	枝條	491.84	5.53	4.29	0.36	0.28	0.05	0.97
2003.11.14	臺灣扁柏	枝條	489.57	8.38	5.10	0.53	0.38	0.04	1.01
2003.11.28	臺灣扁柏	枝條	489.57	8.38	5.10	0.53	0.38	0.04	1.01
2003.12.12	臺灣扁柏	枝條	506.42	6.53	6.54	0.49	0.68	0.03	0.93
2003.12.26	臺灣扁柏	枝條	506.42	6.53	6.54	0.49	0.68	0.03	0.93
2004.01.10	臺灣扁柏	枝條	506.87	6.24	6.38	0.90	0.61	0.05	0.93
2004.02.03	臺灣扁柏	枝條	511.40	6.19	8.40	0.45	0.86	0.03	0.89
2004.02.20	臺灣扁柏	枝條	501.50	7.04	5.28	0.40	0.39	0.04	0.81
2004.03.05	臺灣扁柏	枝條	501.17	7.34	5.32	0.43	0.41	0.05	0.92
2004.03.19	臺灣扁柏	枝條	498.27	6.36	4.89	0.60	0.48	0.06	0.86
2004.04.01	臺灣扁柏	枝條	504.77	7.35	8.13	0.62	0.77	0.04	0.89
2004.04.16	臺灣扁柏	枝條	507.52	7.15	7.12	0.47	0.63	0.02	0.91
2004.04.29	臺灣扁柏	枝條	497.91	5.11	4.67	0.49	0.41	0.02	0.65
2004.05.14	臺灣扁柏	枝條	498.77	5.87	4.16	0.55	0.33	0.06	0.64
2004.05.29	臺灣扁柏	枝條	497.98	4.66	3.45	0.48	0.26	0.03	0.54
2004.06.11	臺灣扁柏	枝條	495.09	4.55	2.55	0.27	0.17	0.00	0.39
2004.06.26	臺灣扁柏	枝條	498.45	7.75	6.58	0.68	0.57	0.05	1.03
2004.07.09	臺灣扁柏	枝條	497.26	6.30	6.37	0.48	0.49	0.03	0.79
2004.07.22	臺灣扁柏	枝條	495.15	6.67	5.89	0.66	0.47	0.02	0.86
2004.08.05	臺灣扁柏	枝條	484.76	7.05	6.96	0.46	0.42	0.04	0.95
2004.08.19	臺灣扁柏	枝條	484.76	7.05	6.96	0.46	0.42	0.04	0.95
2004.09.03	臺灣扁柏	枝條	493.46	7.07	7.46	0.66	0.48	0.07	1.06
2004.09.16	臺灣扁柏	枝條	493.46	7.07	7.46	0.66	0.48	0.07	1.06
2004.10.01	臺灣扁柏	枝條	493.46	7.07	7.46	0.66	0.48	0.07	1.06
2004.10.15	臺灣扁柏	枝條	509.74	7.75	11.74	2.23	1.29	0.02	1.59
2004.11.11	臺灣扁柏	枝條	509.74	7.75	11.74	2.23	1.29	0.02	1.59
2004.11.25	臺灣扁柏	枝條	516.65	6.10	12.74	0.57	1.25	0.08	0.84
2004.12.10	臺灣扁柏	枝條	516.65	6.10	12.74	0.57	1.25	0.08	0.84

日期	樹種	部位	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
2004.12.24	臺灣扁柏	枝條	502.42	6.32	11.94	0.54	1.09	0.07	0.85
2005.01.06	臺灣扁柏	枝條	502.42	6.32	11.94	0.54	1.09	0.07	0.85
2003.08.12	臺灣扁柏	葉	508.32	11.52	11.26	2.40	1.29	0.00	2.29
2003.08.27	臺灣扁柏	葉	506.56	11.68	10.78	2.84	1.33	0.02	2.42
2003.09.09	臺灣扁柏	葉	510.25	9.75	11.84	2.70	1.07	0.00	1.73
2003.09.20	臺灣扁柏	葉	509.35	11.17	10.64	2.38	1.03	0.09	2.01
2003.10.03	臺灣扁柏	葉	509.99	11.16	11.11	2.50	1.34	0.02	2.15
2003.10.16	臺灣扁柏	葉	512.21	10.04	12.26	2.31	1.55	0.02	1.97
2003.10.30	臺灣扁柏	葉	512.02	9.04	11.39	2.29	1.37	0.10	1.58
2003.11.14	臺灣扁柏	葉	525.39	7.95	13.44	1.25	1.51	0.03	1.29
2003.11.28	臺灣扁柏	葉	525.42	7.78	13.43	0.95	1.26	0.02	1.25
2003.12.12	臺灣扁柏	葉	529.83	7.16	12.87	0.80	1.18	0.02	1.03
2003.12.26	臺灣扁柏	葉	520.59	8.17	12.72	1.10	1.11	0.05	1.30
2004.01.10	臺灣扁柏	葉	523.57	7.75	12.78	0.92	1.09	0.05	1.12
2004.02.03	臺灣扁柏	葉	534.45	6.97	14.41	0.51	1.01	0.04	0.83
2004.02.20	臺灣扁柏	葉	512.16	10.62	12.13	1.12	0.93	0.02	1.68
2004.03.05	臺灣扁柏	葉	529.80	6.88	13.99	0.46	0.92	0.04	0.81
2004.03.19	臺灣扁柏	葉	523.11	8.34	13.16	0.69	0.80	0.05	1.13
2004.04.01	臺灣扁柏	葉	530.09	7.48	14.05	0.78	0.91	0.04	1.02
2004.04.16	臺灣扁柏	葉	529.70	7.06	14.10	0.55	0.96	0.01	0.92
2004.04.29	臺灣扁柏	葉	517.48	8.80	12.55	1.24	0.99	0.01	1.45
2004.05.14	臺灣扁柏	葉	516.46	9.12	12.23	1.37	0.93	0.01	1.58
2004.05.29	臺灣扁柏	葉	516.55	9.98	12.11	1.65	0.98	0.02	1.78
2004.06.11	臺灣扁柏	葉	524.30	7.56	13.13	0.51	0.84	0.00	0.94
2004.06.26	臺灣扁柏	葉	520.79	9.75	11.11	1.98	1.08	0.07	2.19
2004.07.09	臺灣扁柏	葉	525.68	8.55	13.48	0.95	0.86	0.06	1.30
2004.07.22	臺灣扁柏	葉	507.76	10.31	10.67	2.31	1.02	0.01	1.91
2004.08.05	臺灣扁柏	葉	511.39	10.76	14.95	1.76	1.38	0.08	2.06
2004.08.19	臺灣扁柏	葉	511.89	9.47	21.32	1.03	1.05	0.01	1.42
2004.09.03	臺灣扁柏	葉	516.88	9.43	13.69	3.17	1.44	0.03	1.94
2004.09.16	臺灣扁柏	葉	520.35	10.03	12.27	2.39	1.43	0.01	2.24
2004.10.01	臺灣扁柏	葉	513.54	11.28	14.23	2.64	1.66	0.02	2.40
2004.10.15	臺灣扁柏	葉	515.99	10.02	14.04	2.40	1.70	0.11	2.16

日期	樹種	部位	C	N	Ca	K	Mg	Na	P
						mg g ⁻¹			
2004.11.11	臺灣扁柏	葉	533.20	7.34	15.78	1.79	1.54	0.00	1.41
2004.11.25	臺灣扁柏	葉	526.83	7.82	16.04	1.18	1.54	0.08	1.52
2004.12.10	臺灣扁柏	葉	524.49	7.01	22.17	0.70	1.45	0.05	0.91
2004.12.24	臺灣扁柏	葉	524.11	6.95	17.19	0.77	1.19	0.03	1.03
2005.01.06	臺灣扁柏	葉	533.67	7.24	16.84	0.90	1.16	0.02	1.04
2003-2004	臺灣扁柏	果實.種子	504.04	5.84	2.94	2.61	0.87	0.07	1.46
2003-2004	臺灣扁柏	花	526.42	10.34	4.19	1.60	0.65	0.04	1.80
2003-2004	山櫻花	葉	511.19	13.71	11.75	4.83	3.50	0.16	3.20
2003-2004	白花八角	葉	517.01	12.94	5.87	2.45	2.15	0.03	2.01
2003-2004	朱紅水木	葉	524.27	13.83	5.70	3.34	2.09	0.10	1.82
2003-2004	鐵釘樹	葉	523.12	15.59	9.33	2.59	1.61	0.04	2.84
2003-2004	其他	葉	497.40	14.11	10.19	3.91	2.13	0.03	2.10
2003-2004	山櫻花	枝條	501.82	3.66	1.93	0.16	0.16	0.01	0.34
2003-2004	鐵釘樹	枝條	490.08	10.75	3.32	3.71	0.58	0.02	4.74
2003-2004	其他	枝條	497.03	5.43	3.02	0.34	0.22	0.02	0.50
2003-2004	山櫻花	果實.種子	498.73	9.70	1.31	5.77	0.95	0.02	3.70
2003-2004	其他	果實.種子	498.31	11.74	1.66	6.18	1.02	0.03	4.19
2003-2004	山櫻花	花	490.25	22.55	5.81	13.23	2.71	0.10	9.09
2003-2004	鐵釘樹	花	502.67	21.86	4.56	6.14	1.45	0.01	8.03
2003-2004	其他		505.54	16.54	6.56	2.25	1.12	0.07	2.80
2003-2004	苔蘚		442.82	14.44	7.04	5.29	1.09	0.06	2.58
2003-2004	動物殘骸		502.74	17.57	11.71	3.36	1.56	0.07	4.54

11. 附錄四 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得的根系重量

plot	depth cm	root type	RW g	plot	depth cm	root type	RW g	plot	depth cm	root type	RW g
2	OL	F	39.407	6	20-30	F	0.824	10	0-10	R	123.015
3	OL	F	20.505	7	20-30	F	0.563	11	0-10	R	58.189
4	OL	F	20.11	8	20-30	F	2.762	2	10-20	R	7.753
5	OL	F	10.557	9	20-30	F	4.465	3	10-20	R	1.359
6	OL	F	28.496	10	20-30	F	3.161	4	10-20	R	4.71
7	OL	F	12.945	11	20-30	F	2.714	5	10-20	R	19.178
8	OL	F	21.099	2	30-40	F	3.704	6	10-20	R	20.583
9	OL	F	7.873	3	30-40	F	3.452	7	10-20	R	0.553
10	OL	F	10.454	4	30-40	F	4.256	8	10-20	R	8.42
11	OL	F	15.676	5	30-40	F	5.65	9	10-20	R	13.321
2	0-10	F	5.723	6	30-40	F	6.164	10	10-20	R	33.94
3	0-10	F	9.806	7	30-40	F	1.247	11	10-20	R	9.567
4	0-10	F	7.977	8	30-40	F	3.24	2	20-30	R	0.244
5	0-10	F	119.798	9	30-40	F	2.335	3	20-30	R	0.473
6	0-10	F	8.471	10	30-40	F	2.466	4	20-30	R	0.691
7	0-10	F	19.24	11	30-40	F	2.195	5	20-30	R	129.959
8	0-10	F	12.287	2	OL	R	23.75	6	20-30	R	1.325
9	0-10	F	11.197	3	OL	R	22.549	8	20-30	R	0.891
10	0-10	F	17.259	4	OL	R	14.892	9	20-30	R	3.463
11	0-10	F	21.386	5	OL	R	5.375	10	20-30	R	0.344
2	10-20	F	5.844	6	OL	R	126.193	11	20-30	R	2.913
3	10-20	F	6.726	7	OL	R	7.04	2	30-40	R	0.364
4	10-20	F	2.886	8	OL	R	29.976	3	30-40	R	0.221
5	10-20	F	9.527	9	OL	R	13.833	4	30-40	R	2.259
6	10-20	F	2.417	10	OL	R	19.472	5	30-40	R	9.732
7	10-20	F	1.55	11	OL	R	36.607	6	30-40	R	18.715
8	10-20	F	7.292	2	0-10	R	3.577	8	30-40	R	2.1
9	10-20	F	10.458	3	0-10	R	11.412	11	30-40	R	0.976
10	10-20	F	9.784	4	0-10	R	7.819	2	OL	OF	1.835
11	10-20	F	13.517	5	0-10	R	55.49	3	OL	OF	5.163
2	20-30	F	1.682	6	0-10	R	46.95	4	OL	OF	1.878
3	20-30	F	2.446	7	0-10	R	120.884	5	OL	OF	3.658
4	20-30	F	4.217	8	0-10	R	17.164	6	OL	OF	1.624
5	20-30	F	8.155	9	0-10	R	121.427	7	OL	OF	3.41

plot	depth cm	root type	RW g	plot	depth cm	root type	RW g	plot	depth cm	root type	RW g
8	OL	OF	1.318	11	10-20	OF	0.751	7	OL	OR	1.422
9	OL	OF	0.667	3	20-30	OF	1.469	9	OL	OR	0.136
10	OL	OF	1.934	4	20-30	OF	0.193	10	OL	OR	2.239
11	OL	OF	0.468	5	20-30	OF	0.327	11	30-40	OF	0.045
4	0-10	OF	0.709	6	20-30	OF	0.185	7	0-10	OR	61.346
5	0-10	OF	1.269	7	20-30	OF	0.796	8	0-10	OR	1.635
6	0-10	OF	1.8	8	20-30	OF	0.258	9	0-10	OR	0.77
7	0-10	OF	6.833	9	20-30	OF	0.034	10	0-10	OR	3.692
8	0-10	OF	0.702	10	20-30	OF	0.767	11	0-10	OR	0.828
9	0-10	OF	0.597	11	20-30	OF	0.082	5	10-20	OR	1.91
10	0-10	OF	2.262	3	30-40	OF	0.769	7	10-20	OR	0.411
11	0-10	OF	1.545	4	30-40	OF	0.163	8	10-20	OR	0.802
3	10-20	OF	1.248	5	30-40	OF	0.605	9	10-20	OR	1.228
4	10-20	OF	0.15	6	30-40	OF	0.745	3	20-30	OR	1.917
5	10-20	OF	0.511	7	30-40	OF	1.039	7	20-30	OR	1.457
6	10-20	OF	0.233	8	30-40	OF	0.574	10	20-30	OR	0.728
7	10-20	OF	2.118	9	30-40	OF	0.029	3	30-40	OR	0.077
8	10-20	OF	1.05	10	30-40	OF	0.949	5	30-40	OR	1.526
9	10-20	OF	0.079	4	OL	OR	1.395				
10	10-20	OF	2.022	5	OL	OR	0.944				

12. 附錄五 鴛鴦湖臺灣扁柏天然下種更新林挖坑法所得的根系所含養分濃度

root type	depth	C		N		Ca		K		Mg		Na		P	
		mg g ⁻¹													
		mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.	mean	S.E.
F	OL	515.62	1.46	8.16	0.22	6.19	0.57	1.84	0.11	0.61	0.05	0.06	0.01	1.52	0.07
F	0-10	491.21	6.65	9.19	0.75	3.64	0.38	1.36	0.11	0.55	0.05	0.07	0.00	1.39	0.09
F	10-20	497.40	3.28	8.22	0.42	3.00	0.39	1.13	0.12	0.51	0.04	0.07	0.00	1.33	0.09
F	20-30	492.48	4.32	8.68	0.57	3.16	0.49	1.06	0.13	0.49	0.04	0.08	0.00	1.41	0.10
F	30-40	484.81	5.02	8.26	0.58	2.46	0.44	0.99	0.09	0.43	0.03	0.07	0.01	1.39	0.10
OF	OL	470.68	3.68	7.21	0.41	5.86	0.68	5.31	0.89	1.57	0.19	0.17	0.02	1.43	0.03
OF	0-10	485.55	3.38	7.42	0.42	4.51	1.02	1.93	0.16	0.97	0.24	0.08	0.01	1.15	0.07
OF	10-20	488.39	2.59	8.41	1.41	4.08	0.76	1.68	0.23	0.88	0.13	0.09	0.01	1.31	0.17
OF	20-30	471.04	12.11	10.94	1.38	7.58	4.20	1.43	0.20	0.87	0.27	0.10	0.00	1.79	0.24
OF	30-40	476.18	3.07	8.44	0.97	2.80	0.44	1.20	0.15	0.55	0.06	0.09	0.01	1.35	0.11
OR	OL	449.15	10.29	4.83	0.46	11.30	5.29	5.87	1.52	2.46	0.63	0.09	0.02	0.95	0.16
OR	0-10	457.93	4.55	5.73	0.72	6.01	1.68	5.37	1.46	1.16	0.33	0.07	0.01	0.86	0.16
OR	10-20	459.26	12.95	4.25	0.15	6.88	3.43	1.27	0.50	0.70	0.41	0.07	0.01	0.47	0.08
OR	20-30	485.84	1.72	2.53	1.48	1.67	1.45	1.09	0.89	0.76	0.60	0.05	0.04	0.55	0.39
OR	30-40	461.54	0.00	5.29	0.00	1.40	1.11	2.73	0.76	0.49	0.51	0.05	0.29	0.77	0.92
R	OL	499.44	1.19	4.64	0.24	4.26	0.32	2.37	0.15	0.37	0.03	0.03	0.00	0.57	0.04
R	0-10	490.47	1.37	4.34	0.32	3.30	0.35	1.91	0.11	0.43	0.04	0.04	0.00	0.63	0.05
R	10-20	489.84	2.66	4.64	0.39	3.58	0.90	1.87	0.09	0.42	0.04	0.05	0.01	0.68	0.06
R	20-30	496.46	3.17	4.30	0.50	1.83	0.23	1.80	0.27	0.36	0.05	0.03	0.02	0.49	0.06
R	30-40	491.39	3.74	4.20	0.34	2.39	0.30	1.85	0.12	0.34	0.05	0.01	0.00	0.45	0.06