

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

颶風(颱風)干擾因子對台灣與美國長期生態研究站中節肢動物相之影響(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2621-B-002-001-A10

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立臺灣大學昆蟲學系暨研究所

計畫主持人：吳文哲

共同主持人：趙榮台

計畫參與人員：林宗岐 林大淵

報告類型：精簡報告

報告附件：國際合作計畫研究心得報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 6 月 5 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫之執行進度報告

全球變遷-福山森林生態系長期生態研究-颶風(颱風)干擾因子對台灣
與美國長期生態研究站中節肢動物相之影響(2/3)

計畫編號：NSC 91-2621-B-002-001-A10

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：吳文哲 國立台灣大學昆蟲學系

共同主持人：趙榮台 林業試驗所森林保護組

一、中文摘要

目前在福山的林冠層共採集到蜘蛛、類、纓尾目、彈尾目、直翅目、纓翅目、革翅目、半翅目、脈翅目、膜翅目、同翅目、鞘翅目、鱗翅目、雙翅目等節肢動物，以及其他少量的無脊椎動物，二月的採樣中以同翅目的昆蟲在豐度上最高，約佔二月林冠層採集標本數的 60%，顯示福山地區的林冠層可能曾經受到干擾，不同樹種間的昆蟲組成也有差異。以每克葉乾重的蟲數作為標準化的豐度指標來看，植物的物候對節肢動物的採集量會有影響，雖然四月份的採集數量下降，但豐度指標卻有略為提高的情形。不同地區的節肢動物數量也會呈現不同的變化，特用植物區的節肢動物變化量就相當明顯。此外，孔隙區的節肢動物豐度指標變化在月份間並不明顯，非孔隙區的豐度指標則在四月明顯下降。樹種方面則是以長葉木薑子與柏拉木上的節肢動物數量較高，其他種類上的節肢動物數量在各重複間的變化較大，推測是因植物的物候與昆蟲的分布形式有明顯的影響。預期在不同寄主植物和干擾程度下，會呈現出明顯不同的節肢動物群聚，此外，各研究站的植物演替也會造成不同

的節肢動物有不同的優勢等級，例如演替早期是以吸汁液的節肢動物為優勢，後期則是以食葉性的節肢動物為主。

關鍵詞：颶風、節肢動物、長期生態研究、干擾因子

Abstract

We have collected 5252 individuals from forest canopies in Fu-shan in February and April. These specimen belong to order Thysanura, Collembola, Orthoptera, Thysanoptera, Dermaptera, Hemiptera, Neuroptera, Hymenoptera, Homoptera, Coleoptera, Lepidoptera, Diptera, and other fewer invertebrates. Homoptera is the highest in abundance. About 60 % of specimens were Homoptera in samples collected in February. This result shows the canopy of Fu-shan forest should have been disturbed. Using numbers of arthropods per gram leaf dry weight as a standardized abundance index, the phenology of plants was also having some influence on the results of arthropod collections. Although the number of specimens declined, the index slightly

increased in April. Different area would show different changes in arthropod abundance. Arthropod abundance changes dramatically between months in Special-used Botanical Garden. Besides, the difference of abundance index of arthropods in gap sites is insignificant, but decreased significantly in non-gap sites. Arthropod abundance on *Litsea acuminata* and *Blastus cochichinensis* were higher than other tree species, and the difference between replicates were also higher on other tree species. We expect to find distinct arthropod assemblages among different host plant species and disturbance levels. Besides, early successional stage at each site could show an arthropod dominance hierarchy that is distinct from that of late successional stage at each site, e.g., dominance by sap-sucking arthropods on early successional stage vs. dominance by folivores on late successional stage.

Keywords: Hurricane, Arthropod, LTER, Disturbances

二、緣由與目的

昆蟲在森林生態中，扮演著消費者與分解者的重要角色，以其龐大的生物量維持森林生態系中物質循環的永續穩定。森林生態系是穩定的動態平衡，在這由生產者、消費者及分解者要素所建立的自然循環體系中，昆蟲是常被忽略卻極為重要的部份。在生態系裡分解的過程中，昆蟲主要扮演較初級及加速分解的角色，進而再經其他次級分解者的分解，最終由微生物的代謝使物質完成再循環的過程。雖然昆蟲在森林生態系中的地位是如此重要，也因其個體之微小且種類繁多、族群數量龐大等因素，往往使研究者無法正確瞭解昆

蟲在森林生態系中的種類及族群動態。在此類的基本資料缺如的前提下，若要進一步去掌握其在生態系中如蜘蛛網般的關聯，將更為困難。因此對於森林生態系中的昆蟲種類及其群聚結構等基本資料的建立是刻不容緩的。

節肢動物由於體軀小、易受溫度與溼度變化影響、生活史短且生殖率高，因此可以快速且激烈地反映出環境條件的改變。節肢動物的族群可以於短時間內巨量改變，很容易以統計方法來判別，並可作為環境條件改變的快速指標。而且，不同的物種，甚至特定的功能群，在面對不同的環境梯度改變，常常以互補性的方式反應，某些物種數目下降而其他種類則上升 (Schowalter *et al.*, 1999)。

然而，節肢動物對不同環境梯度的反應所知仍然相當有限，特別是干擾因子常常改變生態系條件，導致某些種類絕滅，並誘發一些種類大發生，但有些種類對干擾的反應尚無法預測 (Koricheva *et al.*, 1998; Price, 1991; Schowalter, 1985, 2000; Waring and Price, 1990; White, 1969)。

Schowalter(1995) 比較 Andrews, Luquillo 和 Coweeta(位於北卡羅納州)三個長期生態研究站的數據，發現在不同型式的森林中，一些食葉性、吸汁液性(特別是蚜蟲和介殼蟲)與捕食性昆蟲對於干擾因子，有著顯著與一致性的反應。此外，Schowalter *et al.*(1999)發現同樣的昆蟲類群，在美國新墨西哥州中 Jonada 沙漠長期生態研究站中，對操控的降雨量的改變，呈現顯著性的反應。

以往的研究成果發現颱風是福山與南仁山森林生態系與其他靠近熱帶海洋周圍長期生態研究站重要的干擾因子(王等，1999; 林，1997; 鄧，1997)。但在以往的

研究中，有關評估環境因子對於節肢動物群聚影響的長期生態資料甚少，因此本計畫也可建立福山森林生態系中林冠層節肢動物的群聚資料。

此次所提出的研究計劃將比較台灣與波多黎各潮濕亞熱帶型與奧瑞岡潮濕溫帶型長期生態研究站中，颶風(颱風或暴風)對於森林林冠層節肢動物群聚結構之干擾影響。所挑選的研究站均為經常遭受嚴重颶風(颱風或暴風)的地點(波多黎各有颶風、台灣有颱風，而奧瑞岡則有冬季暴風)。各研究站的颶風(颱風或暴風)頻度不一，而造成的各研究樣區中林冠層節肢動物群聚的不同頻度反應。以台灣長期生態研究站(福山與南仁山)為例，由中央氣象局所提供颱風資料，自 1897 年至 1996 年(計 100 年間)，共有 348 個颱風侵襲台灣，平均每年有 3.5 個。7-9 月為颱風侵襲台灣最多的季節，故稱颱風季。根據 100 年來的紀錄，一共有 176 次颱風在臺灣登陸。按登陸地區其中有 66 次直接影響福山森林生態研究站，有 46 次直接影響南仁山森林生態研究站。由以上氣象資料便不難理解颱風此一干擾因子對於福山與南仁山森林生態系的衝擊。

本計劃將與美國奧瑞岡大學 Schowalter 教授合作，以比較四個國際長期生態研究站(波多黎各 Luquillo 試驗森林研究站、台灣福山森林研究站、南仁山森林研究站與美國奧瑞岡州 Andrews 試驗森林研究站)的林冠層節肢動物受颶風(颱風或暴風)干擾所呈現的反應為研究主軸。台灣與美國的合作研究人員將比較颶風(颱風或暴風)與其他環境因子，是如何影響森林生態系中林冠層節肢動物多樣性與功能群(食葉者、吸汁液者、捕食者與食真菌者)之豐度。樣區中林冠層之採樣方法，將採用可互相比較的枝條套袋法，預

期各樣區將提供 4-10 年長期之比較性資料，用以反應不同森林林相的狀態，其中包括干擾因子，其資料將支持預期研究所探討颶風(颱風)干擾因子將影響林冠層節肢動物的群聚結構。我們將建立不同颶風(颱風或暴風)干擾程度的長期樣區;此外，其他形式的干擾因子，如乾旱，是否也會影響研究結果，也將一併被討論。如:1994 年發生於波多黎各及 1986-1992 年發生於奧瑞岡的乾旱。

結合比較台灣與美國長期生態研究站的資料，有兩個大尺度評估環境變化的目標。首先，我們將檢驗假說，認為於北美洲與台灣的研究樣區中，相同的指標生物類群將反映出受相同干擾因子的影響。其次，我們將試驗假說，干擾梯度與植物種類等變因作用下，在節肢動物群聚上則會呈現梯度反應。這些研究項目，將以統計分析節肢動物豐度資料，及比較於美國與台灣受干擾與未受干擾樣區，並評估相同的方法與在這些樣點上相同的節肢動物反應。

本計畫的兩個次要研究目的為：(1)建立兩研究站中相同生態區位的植物種類的比較性資料，如演替早期與演替後期樹種;(2)發展用以評估涵蓋不同干擾梯度下的空間上明確數據的技術。我們預期發現不同寄主植物及干擾程度下，各有明顯的節肢動物群集。我們也預期各研究站的演替早期樹種上有節肢動物優勢等級，與演替後期樹種物上有明顯區別，如演替早期植物上是以吸汁液節肢動物為優勢，演替後期則以食葉性節肢動物為優勢。

三、材料與方法

(1)研究站的描述

Andrews 試驗森林長期生態研究站，位於美國奧瑞岡州尤金市東方約 80 公里

處。Andrews 試驗森林面積約 6400 公頃，海拔高度由 400 至 1500 公尺，屬於海洋性氣候盛行地區，具有溫和潮濕的冬季與乾燥溫暖的夏季，年降雨量平均 2300 公厘，且 75% 雨量集中於 11-3 月的濕季中。Andrews 森林長期研究站已經進行約 40 多年昆蟲學研究，有 3400 種昆蟲已被採集與鑑定，此多為針對特定棲地進行系統性調查的成果，例如樹冠與落葉層棲地、喬木、灌木及草本植物。近年的研究著重於節肢動物群聚對於森林環境改變之反應，特別是寄主樹種分布、森林年齡及砍伐技術改變的影響(Parsons *et al.*, 1991)。

Luquillo 試驗森林是由美國農業部森林署加勒比亞國家森林暨南方森林研究站與波多黎各大學所共同管理。此研究站的位置住於波多黎各 Rio Grande 市南方 10 公里處，海拔高度 500-600 公尺。月平均溫度在一月份為 21° C 九月份為 25° C，年降雨量約在 3700 公厘，但季節降雨變化明顯，一至四月乾季中降雨約每月 200-250 公厘，而其他月份(溼季)每月約有 350 公厘的降雨。颶風經常造成該森林大量落葉，而且以每 60 年為週期嚴重侵擾該森林。Luquillo 森林中節肢動物相也已有廣泛的研究成果，Schowalter(1994)及 Schowalter and Gamio(1999)的報告記述過颶風對優勢樹種林冠層節肢動物群聚結構的影響。

福山長期生態研究站位於台灣島的東北部距臺北市約 30 公里，東鄰宜蘭市約 16 公里。研究站全區總面積 1097.9 公頃，海拔高度由 40 公尺至 1400 公尺，以北端的阿玉山(1419 公尺)最高，東南的粗坑溪谷最低。根據福山氣候站 1993 至 1998 年的資料，年均溫約為 18.3°C，7 月是最暖月，月均溫 24.1°C；1 月最冷月均溫 11.8°C。年總雨量 4067 公釐，一年中降雨日數達 224 天，年平均溼度 96%。全年風速均在 1.3m/s

左右，但當夏季颱風來襲時，最大風速可高達 35m/s 以上。福山試驗林，冬天受到東北季風的衝擊，氣溫較同海拔的其他環境偏低，且迎風面經常有雨；夏季則暖熱潮溼，且位於許多颱風的侵臺路徑上，平均每年受到 1.1 次的颱風侵襲，伴隨著強風豪雨，對生態系的結構與功能都產生重大影響。由於冬夏雨量皆高，屬於溫暖重溼的夏熱型氣候。

本區大部分仍保持了很少人為破壞的天然林相，形成了臺灣東北部中低海拔典型的常綠闊葉森林生態系。植群以亞熱帶雨林為主，而由於東北季風帶來的冬季低溫，在海拔 1000 公尺以上即逐漸過渡為暖溫帶雨林。原生植物種類約 600 種，包括種子植物 400 種，蕨類植物 19 種；喬木冠層的優勢種以殼斗科(Fagaceae)、樟科(Lauraceae)、茶科(Theaceae)、柿樹科(Ebenaceae)及胡桃科(Juglandaceae)為主，鋸葉長尾栲(*Castanopsis carlesii* var. *sessilis*)最佔優勢；灌木以柏拉木(*Tutcheria shinkoensis*)最多，地被層則蕨類豐富，顯示環境潮溼(李，1992)。

南仁山森林自然保留區，為墾丁國家公園所轄，並於 1995 年設立長期生態研究站。地理位置位於台灣最南方恆春半島東側，為一天然熱帶季風林雨林，是國內少數僅存之低海拔原始林，海拔高度約 10 公尺至 500 公尺，研究站中包括約 2400 公頃的森林保留區與約 30 公頃的南仁湖。南仁山區海拔最高處為 526 公尺的萬里得山，次為 479 公尺的南仁山年降雨量約 2200 公厘，且有 75% 的降雨發生於五月至十月間。年平均溫度在 25°C，一月與七月的平均溫的分別為 20°C 與 28°C。東北季風於每年 10 月底始並持續至隔年開年一月底。颱風也常常侵襲此地區，每年的 5 月至 11 月便是颱風侵襲的季節。東北季風與颱風，

對於南仁山區的植物生態，造成很大的影響，迎風面的植被組成，以殼斗科、茶科、冬青科和八角茴香科為主，樹型較低矮，屬於亞熱帶或溫帶常綠闊葉林(謝，1990)。這些科的植物在台灣中北部多分佈在海拔一千公尺處，而在南仁山區則僅在海拔五百公尺以下即出現。而在背風溪谷區，則以茜草科、大戟科及桑科等植物為主，具有支柱根、板根、幹生花及木質藤本等近似熱帶雨林的特徵。南仁山區的森林在很短的距離內，因海拔高度及坡向的局部差異，造成森林植群在組成、密度及形相上都有很明顯的差異，雖然海拔高度最高為526公尺，但卻有中海拔1500公尺左右的植物種類，出現在這裏，生態學家乃將此種溫帶、亞熱帶與熱帶森林呈現壓縮植被帶而同時存在的現象，稱為植被壓縮。

福山、南仁山與 Luquillo 森林生態系有著相似的氣候環境(包括季節性的降雨)、地形、植被相與干擾模式。這些相似性將增加樣區間相互比較的價值，以比較林冠層節肢動物對颶風(颱風)干擾或其他環境因子的改變所造成的反應。儘管 Andrews 森林生態系在氣候上是屬於潮濕溫帶氣候，且有較為不同的針葉優勢樹種植被，但該地區林冠層節肢動物對季節性暴風干擾或其他環境因子改變的反應資料，可作為本研究的補充比較之用。

(2)採樣點的設置

我們將於福山與南仁山森林生態研究站中建立重複的試驗樣區，分別代表完整未受破壞的林地及遭受颶風破壞有倒木孔隙的地區。我們的試驗設計於三個生態研究站(福山、南仁山及 Luquillo)儘量相同，本試驗目前在福山的取樣範圍有兩個區域，一個位置在福山植物園區的特用植物區上緣稜線周圍，區內有因颶風干擾而形

成大小不一的林冠空隙，且區內的樹木高度約在10-20 m，林相為次生闊葉林，海拔高度約在460-550 m。另一取樣區域位於第一集水區內的原生天然闊葉林，海拔高度約在600-700 m，此區域並未受到人為因素干擾，樹木高度大多在20 m以上，此區域通稱為天然林試驗地。

福山地區的優勢喬木為鋸葉長尾栲(*Castanopsis carlesii*)、紅楠(*Machilus thunbergii*)、黃杞(*Engelhardtia roxburghiana*)、綠樟(*Meliosma squamulata*)、長葉木薑子(*Litsea acuminata*)；下層植物主要以江某(*Schefflera octophylla*)、糊櫨(*Ilex formosana*)、山紅柿(*Diospyros morrisiana*)、山龍眼(*Helicia formosana*)、銳葉柃木(*Eurya acuminata*)、柏拉木(*Blastus cochichinensis*)為主(李, 1992)，故在兩個區域中的取樣樹種包括鋸葉長尾栲、長葉木薑子、綠樟、黃杞等4種優勢喬木，以及江某、柏拉木、山龍眼等3種常見的下層的植物種類。

取樣點之選定是於福山植物園中選取6個孔隙區與非孔隙區，半數分布在第一集水區內，其他則位於特用植物區上緣稜線上。選取的孔隙直徑至少在4公尺以上，為天然倒木形成的孔隙。每個孔隙區至少間隔100公尺，而非孔隙區則間隔10公尺以上。採樣方法為林冠層枝條套袋法、掉落陷阱與落葉腐植層收集，以調查林冠層及土棲昆蟲之種類與數量。另利用衛星定位系統(GPS)配合地理資訊系統(GIS)將樣區數位化。

(3)研究方法

取樣方法包括以枝條套袋法(branch bagging)調查林冠層的節肢動物相，及利用掉落陷阱法(pitfall trapping)與枝葉包法

(litter bag)來採集落葉層的動物相，至少於每年乾、雨季各採樣一次。

◎林冠層枝條套袋法:

於 12 個採樣點中選取上述 7 種代表性樹種，以採集袋套裝林冠層之枝條，已具有完全展開的成熟葉片的枝條為對象。為方便採樣需要利用套有 PE 塑膠袋的長捕蟲網從地面採集，這個技術適合採集至中、上層樹冠。將袋子迅速的套入約 60 公分長預採樣的枝條上，緊閉袋子並採下。若樹冠較高，則需裝置繩索以利工作人員攀爬於樹冠上工作。林冠層枝條套袋法所採集的節肢動物與植物枝葉的分離是在實驗室中進行。植物枝葉將在 45 °C 下乾燥，並進行秤重與測量其葉面積。所以節肢動物的資料將以每公克植物的重量標準化並轉化成有用的統計資料。

◎掉落陷阱點之設置:

於固定樣區點中設置一組共 10 個掉落陷阱，掉落陷阱為直徑 3 cm、深 12 cm 之塑膠管，以各相隔 1 m 之 T 字型設置，將掉落陷阱埋入地下，使管口與地面平齊。採集人員需要在掉落陷阱中放入約八分滿的水與少許清潔劑，並於放入後 24 小時後將採集陷阱中所採集到的標本，保存於標記的酒精玻璃瓶中攜回。

◎落葉腐植層收集:

選擇福山闊葉林較優勢樹種之葉片，於氣乾後混合裝於 20 × 20 cm 尼龍網(網孔大小為 2 mm × 2 mm)製成的枝葉包中，放回林地置於枝葉層表面。於每月逢機選取枝葉包，帶回實驗室以 Tullgren 漏斗收集其中的小型節肢動物，並將葉片以 45 °C 烘乾，測定所含葉片之乾重。

四、結果與討論

福山兩個試驗地在二月及四月所採集

到的林冠層無脊椎動物個體數共有 5252 隻，包括蜘蛛、 類、線蟲、渦蟲、纓尾目、彈尾目、直翅目、纓翅目、革翅目、半翅目、脈翅目、同翅目、鞘翅目、鱗翅目、膜翅目、雙翅目等無脊椎動物，其中以 類、同翅目、雙翅目昆蟲種類較多，二月的採樣中以同翅目昆蟲最多，佔二月採集標本量的 60 %。四月的採樣中， 類數量大幅增加，同翅目昆蟲與 類的數量大致相同，兩者的數量約佔四月採集標本量的 80 %，顯示無脊椎動物的豐度可能隨季節變化而改變。

就總量而言，四月份的標本量較二月份低，雖然 類的數量大幅的增加，但同翅目減少的數量更多，因此總量下降。推測的可能原因是許多樹種在四月份採集時都已展開新葉，新葉尚未有足夠時間讓昆蟲到達或著生。此外，植物葉片在不同時期也會影響個體分布，像江某的幼葉初展開時會有大量的星狀毛，只有小型的 類分布，其他的無脊椎動物則會在較成熟的葉片上分布。無脊椎動物豐度的另一項指標就是單位葉乾重上的個體數，二月平均每克葉乾重有 6.179 隻無脊椎動物，四月則為 8.123 隻，有略為增加的趨勢。雖然四月份的總量較二月少，但新葉的乾重較輕，因此此項指標在四月份略微上升。

就地區的變化來看，集水區二月與四月的單位葉乾重上的個體數分別為 5.464、5.758，差異並不顯著；特用植物區上緣稜線處則分別為 6.505、10.296，豐度的變化較大。就孔隙區與非孔隙區的比較，孔隙區的變化不明顯，二月與四月的豐度指標分別為 8.719 與 8.002；非孔隙區的豐度變化量較大，二月與四月的豐度指標分別為 7.381 與 5.000，呈現下降的趨勢。較值得注意的是鱗翅目幼蟲、嚙蟲目、蜘蛛等節肢動物，在部分樣本中的數量會

明顯增加，對於豐度指標也有相當明顯的影響。

樹種間的無脊椎動物豐度差異較大，且月份間的變動量也較明顯，除了植物本身物候的影響外，無脊椎動物的非隨機型分布可能也是重要的影響因子，目前無法根據現有資料排除昆蟲分布形式的影響，此部份須有長期累積的資料與足夠的重複數，才能釐清環境因子的個別影響。無脊椎動物個體數量較多的樹種為長葉木薑子及柏拉木，鋸葉長尾桫、黃杞與綠樟次之，而山龍眼上的無脊椎動物數量在各重複間變化相當大。

目前的研究除了建立昆蟲的種類資料庫以及鑑定外，也擬針對其他與林冠層無脊椎動物豐度變化相關的因子來探討，例如採樣的葉面積與個體數的比例、照度、溫度、含枝條重量的豐度指標、孔隙大小等，希望能找出具有明顯影響力的因子來討論。採集到的昆蟲和其他節肢動物先以形態來進行初步的分類，不過種類鑑定上需要有研究該類群的學者來協助鑑定工作，因此目前先依形態來計算昆蟲成蟲種類和數量，並輔以數位相機建立昆蟲標本的影像資料庫，以利與日後的標本進行比對與鑑定。

就目前結果來看，林冠層的節肢動物主要是以昆蟲為主，尤其是同翅目的昆蟲和 類，其他的節肢動物則可能根據其生活史的差異，出現的時間會有明顯的不同。節肢動物的豐度與豐富度可能會受到樹種、節肢動物分布形式等生物因子，以及地點、氣候因子等非生物因子，甚至採集方法的影響。目前僅依據兩個月份的資料進行比較，在時間及重複數不足下，所得的結果僅能作為評估參考。

五、計畫成果自評

本研究目前已初步收集相關的因子，並進行數據分析，種類鑑定與影像資料庫正逐漸建立，相信未來在比對和鑑定上會有相當大的助益。在標本鑑定上，目前是採形態區分的方式來初步分類，但由於昆蟲的類群眾多，有許多標本仍需商請其他昆蟲學者來協助進行昆蟲分類。

目前的昆蟲採樣可能偏向較固著性的節肢動物種類，未來將配合其他的採集方法，除了可校正此採集方法造成的誤差，也可輔助各項因子的分析，並充實林冠層節肢動物的資料庫。預計下年度的結果中，對於節肢動物豐度及豐富度的變動會有更完整的資料，也可逐漸釐清環境因子的影響，並建立林冠層昆蟲相的完整資料，供後續研究分析。

六、參考文獻

- 王立志、鄧子菁、夏禹九、金恆鑣、劉瓊霏、林登秋。1999。1996 年賀伯颶風期間福山試驗林溪流水化學變化之研究。中華林學季刊 32(2): 217-232。
- 李玉琴。1992。福山地區地低海拔闊葉樹林孔隙更新與林分動態之研究。臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 林國銓。1997。福山闊葉林枯落物及枝葉層之動態變化。臺灣林業科學 12(2):135-144。
- 鄧子菁。1997。福山森林試驗集水區於 1996 年二次颶風期間溪流水文化學變化之研究。臺灣大學森林學研究所資源保育組碩士論文。
- 謝宗欣。1990。南仁山亞熱帶雨林樹種的組成和分布類型。國立台灣大學植物學研究所碩士論文。
- Koricheva, J., S. Larsson, and E. Haukioja. 1998. Insect performance on

- experimentally stressed woody plants: A meta-analysis. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 195-216.
- Parsons, G. L., Cassis, A. R. Moldenke, J. D. Lattin, N. H. Anderson, J. C. Miller, P. Hammond, and T. D. Schowalter. 1991. Invertebrates of the H. J. Andrews Experimental Forest, western Cascade Range, Oregon, V. An annotated list of insects and other arthropods. USDA Forest Serv., Gen. Tech. Rpt. PNW-GTR-290, USDA Forest Serv., Pacific Northwest Res. Sin., Portland, OR.
- Price, P. W. 1991. The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos* 62: 244-251.
- Schowalter, T. D. 1985. Adaptations of insects to disturbance, pp. 235-252. *in*: S. T. A. Pickett, and P. S. White, eds. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, Orlando, FL.
- Schowalter, T. D. 1994. Invertebrate community structure and herbivory in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Biotropica* 26: 312-319.
- Schowalter, T. D. 1995. Canopy invertebrate community response to disturbance and consequences of herbivory in temperate and tropical forests. *Selbyana* 16: 41-48.
- Schowalter, T. D. 2000. *Insect ecology: an ecosystem approach*. Academic Press, San Diego. 483 pp.
- Schowalter, T. D., and L. M. Ganio. 1999. Invertebrate communities in a tropical rain forest canopy in Puerto Rico following Hurricane Hugo. *Ecol. Entomol.* 24: 191-201.
- Schowalter, T. D., D. C. Lightfoot, and W. G. Whitford. 1999. Diversity of arthropod responses to host plant water stress in southern New Mexico. *Amer. Midi. Nat.* 142: 281-290.
- Waring, G. L., and P. W. Price. 1990. Plant water stress and gall formation (Cecidomyiidae: *Asphondylia spp.*) on creosote bush (*Larrea tridentata*). *Ecol. Entomol.* 15: 87-95.
- White, T. C. R. 1969. An index to measure weather-induced stress of trees associated with outbreaks of psyllids in Australia. *Ecology* 50: 905-909.