

研究報告

坪林遮陰茶園與蟻相生態關係研究

胡正恆¹ 陳芬蕙^{2*}

(收件日期：民國106年3月3日、接受日期：民國106年7月3日)

【摘要】集約農業曾在上一世紀大幅降低台灣暖溫帶的珍貴林地面積與生物多樣性，最終影響生態系統間的相互作用。本研究在2015-2016年、於新北市坪林區漁光地帶運用蟻相調查技術，探索茶(農)與牛樟(林)間作的合理保育策略。復舊生態系透過在遮陰茶園栽植高經濟價值的原生樹種牛樟，觀測第六年所孕育的蟻相，已然趨近20年生青楓造林下的茶園，並持續提供產茶收益。在混農經營管理上，牛樟遮陰茶園需要：(1) 因地適宜的栽植密度，颱風盛行處應避免發展過度疏鬆的林分。牛樟4 m間作雖然林下產茶多，但難以排除在易風倒地的季節災害。(2) 四種間作處理下，基礎蟻相有12種蟻屬廣布，包括干擾群與逆壓群廣泛成長於各種林地間作處理。(3) 牛樟疏林光度增加多有廣布種，反應在疏林C區曝曬後土溫較鬱閉林高，有益於大型針蟻掠食者。鬱閉的A、B區茶園全年的土壤溫度較低，但日溫差變異度大，維繫了多樣的受限分布蟻種，並於特定季節間輪替。此0.3 ha四種處理的小規模試驗結果，突顯出了鬱閉的混農系統在管理造林標的、支持遮陰茶園生態功能、以及維持生物多樣性的重要，可提供保育淺山地區的農林永續策略。

【關鍵詞】混農林業、蟻相、生物多樣性、間作、坪林、遮陰茶園。

Research paper

STUDY ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SHADED TEA GARDEN AND ANT DIVERSITY IN PINGLIN, NEW TAIPEI CITY

Hu, Cheng-Heng¹ Chen, Fen-Hui^{2*}

(Received: March 3, 2017; Accepted: July 3, 2017)

【Abstract】 Intensified agriculture has drastically reduced the precious warm temperate forest of Taiwan last century, and ultimately affected the biodiversity and associated interaction among ecosystems.

¹ 中國文化大學森林暨自然保育學系助理教授，11114台北市陽明山華岡路55號。

Assistant Professor, Dept. of Forestry and Nature Conservation, Chinese Culture University, No. 55, Hua-Kan Rd., Yangminshan, Taipei 11114, Taiwan.

^{2*} 行政院農業委員會林業試驗所育林組特聘研究員，10066台北市中正區南海路53號。通訊作者E-mail: fhchen@tfri.gov.tw。

Contract Researcher, Silviculture Division, Taiwan Forestry Research Institute, No. 53, Nanhai Rd., Zhongzheng Dist., Taipei 10066, Taiwan.

This study explored conservation strategies of shaded tea garden under camphor forest by using ant survey technique in Pinglin District, New Taipei City in 2015-2016. The decade-old tea garden has been intercropped with stout camphor seedling since 2011, in which ant fauna has been similar to the nearby 20-year-old tea garden under green maple, and continues to provide tea yield. Mixed forestry with tea agriculture sustains ant and bird diversity in the neighborhood in the following ways. (1) Appropriate planting density of camphor forest established rich ant fauna. Four-meter intercropping becomes excessively loose stands, and is difficult to avoid seasonal wind falls. (2) Under the 4 kinds of intercropping, there are 12 ant species spread widely across all treatments in the agroforests, including disturbance and stress functional groups. (3) Open-canopy sites (treatment C) have higher average temperature yearly, which benefits larger Ponerinae predators. Daily air temperature range (DTR) in air peaks in closed-canopy sites (treatment A-B) that enable rich diversity of the patchy ant species to sustain locally. This 0.3-ha 4-treatment experiment highlights that the mixed agricultural system under managed forests can support shaded tea yield, timber production, and biodiversity such as ants and birds. The agroforestry strategies provide conservation insights into sustainable management of lowland tea farm.

【Keywords】 Agroforestry, Ant (Hymenoptera), Biodiversity, Intercropping, Pinglin, Shaded tea garden..

I、前言

現代農業使用已開發地球四分之三以上的行星表面可耕地(FAO, 1977), 亟需有遮陰(Shaded)、複層林的混農林業(Agroforestry)管理, 以提升落葉分解和土壤熟成的生態系功能, 以及促進林下生物多樣性(Young, 1999; Takahashi and Todo, 2013)。全球現行的茶葉生產, 爲了管理方便、降低成本與增加產量, 都將茶樹(*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze.)做單一作物種植, 並且大面積矮化處理。在這樣單調植被的環境下, 落葉減少引發林下棲地退化, 腐植土層的生物多樣性亦急速下降, 導致林下有機碎屑分解後, 營養元素回歸表土的生態功能也日漸劣化。林下即便有施肥, 整個土層仍需依賴生物, 將有機物碎屑化。故值得運用蟻相調查技術, 探索茶與牛樟(*Cinnamomum kanehirae*)間作

(Intercropping)的合理生態復舊策略, 來看茶(農)與牛樟(林)如何的配置有益於落葉蟻相(Litter ant)與土壤環境。

林下遮陰咖啡與可可的持續產量與干擾後的土壤肥力維繫, 長久以來爲混農林業發展的永續典範(Philpott *at al.*, 2006)。雖在亞洲偶見茶林混植的多樣栽培模式, 但林下遮陰茶園一直都未有較成功的生產模組, 亟需發展在單一作物以外的可能經營方式(Xue and Tang, 2012)。茶樹原本是生長在中國雲貴高原及其山坡地區邊緣、雲霧彌漫的暖溫帶原始森林中, 是林下的耐陰植物。中國唐代陸羽的茶經中曾記載「陽崖陰林」的傳統混農栽培法, 所得茶葉的品質較佳, 尤以向陽山坡中、有林蔭覆蓋的茶樹風味最好。過去報告亦指出, 茶園中適度增加遮陰樹可以提高茶葉品質(Xue and Tang, 2012), 台灣在日治時期亦曾鼓勵茶園與相思樹等經濟林木混植(唐先柏和鄭

智殷，2004)。

在遮陰下的農林生態系多樣性，近年來已更多元地發展到候鳥調查(Bakermans *et al.*, 2009)、留鳥(Perfecto *et al.*, 2004)與農園內附生植物(Cruz-Angon and Greenberg, 2005)，乃至落葉蟻相的快速評價準則。螞蟻屬於昆蟲綱(Insecta)最普遍昆蟲之一，屬膜翅目(Hymenoptera)、胡蜂總科(Vespoidea)的蟻科(Formicidae)，目前全世界已記錄約12,592種(Agosti *et al.*, 2000)。在台灣目前已發現且命名的螞蟻約有276種，分屬11亞科，66屬(林宗岐和吳文哲，2003)。螞蟻群聚中有多種指標物種，有些生態容忍範圍狹窄、並敏於反應環境改變，可作為生態功能復原的指標(Wilson, 1998; Lobry de Bruyn, 1999)。

混農林業中需要螞蟻扮演許多的重要生態功能：例如包括種子散播者(Seed dispersers)、草食者(Herbivores)、腐食者(Scavengers)、捕食者(Predators)及土壤改善者(Soil conditioners)(Holl Dobler and Wilson, 1990; McGeoch, 1998)。優勢的雜食螞蟻屬機會主義，能取食棲地內各種有機物，加速果實、動物活體或是屍體等的碎裂分解作用；而螞蟻的搬運作用也連帶影響到地面覓食的鳥獸所能撿拾起來的昆蟲、漿果、與種子類食物(Dejean *et al.*, 2007)。螞蟻除了能加速能量流動外，土棲螞蟻築巢挖掘土壤時增加透水性，並且使土壤的濕度及密度降低，提高土壤微生物的數量(Linden *et al.*, 1994; Siebert, 2002)。

澳洲昆蟲學家Andersen(1995)曾利用功能群(Functional groups)來分析螞蟻的群聚組成，功能群將螞蟻種間的競爭性

(Competitive)、對環境的生存壓力(Stress)及對環境干擾(Disturbance)的容忍性，將螞蟻種類分成三個主要的功能群，分別反應出不同的棲地狀態：1. 逆壓群(Stress group)：生存在環境極端的棲地，逆壓忍受度高，且具有特殊的食性及行為，但易受環境干擾的影響。2. 干擾群(Disturbance group)：對環境變化的適應性強，可忍受環境干擾作用，大多數是雜食性。3. 競爭群(Competition group)：生存在大部分適合螞蟻生存的環境中，有較高的領域性及排他性，逆壓忍受性低。由上述昆蟲功能群參照附近捕食昆蟲的鳥相分析，應可評估不同栽植條件所經營之遮陰茶園，更新後的複層林可能產生的生態反應，由棲息螞蟻的調查將可增進我們對該混農林(Agroforest)生態功能與複雜性的瞭解。

II、研究方法

(I) 遮陰茶園調查樣區設置

新北市坪林區漁光地帶，自清代起便已開始茶樹栽植與生產製造；自清嘉慶年間、1790年代，由安溪人開墾烏龍茶林至闊瀨，但單種茶葉無法維生，同時還栽培大菁、稻米，並於鄰近山地採藤、捕魚(謝國雄，2003)。日治時期的昭和元年(1926)更由「三井合名會社」開墾製茶，並在1930年(昭和5年)產製包種茶達巔峰，更獎勵紅茶生產輸歐。在1950年代受平地工業化產業政策影響，茶園貿易專作烏龍與包種茶的島內內銷。到了1987年由於劃定翡翠水庫水源保護區，大面積茶園休耕，之後茶園面積有增有減，目前仍是台灣重要

茶葉產區。

新北市坪林原屬降雨豐沛的暖溫帶闊葉林，氣候潮濕溫暖，年均溫17-23°C，土壤富含腐植質，森林鬱閉度高。代表植物為常綠闊葉樹，以樟科(槿楠屬)、茶科或殼斗科植物(櫛屬)為主，如大頭茶、日本槿楠、大葉楠、火燒栲、卡氏櫛、台灣山香圓等。也常散生一些台灣肖楠、台灣黃杉之類的針葉樹。此一植被群在全世界僅分布於台灣、東南亞區域及婆羅洲高地(謝長富，2013)。漁光地帶南山寺附近茶園大抵位於海拔420 m處山區，開發甚早，大面積茶園僅在人工林邊緣留下各種大型附生蕨

類與筆筒樹。推廣混農林業的間作將使茶區植被更類似於森林結構，並能以鳥況與蟻相評估生物多樣性復舊的程度。

試驗地為0.3 ha，原為栽植超過20年的慣行矮化茶園，林業試驗所於2011年與當地茶農合作，在茶園內均勻混植牛樟小苗，分為3種不同栽植密度(A:1.5×2 m, B:3×3 m & C:4×4 m)，以了解茶園間作牛樟之最佳密度，逐年記錄混植牛樟之存活及生長情形，樣區D則是緊鄰茶園西側、已種植20年以上的鬱閉青楓林，林下亦為持續收茶的矮化茶園(圖1)。

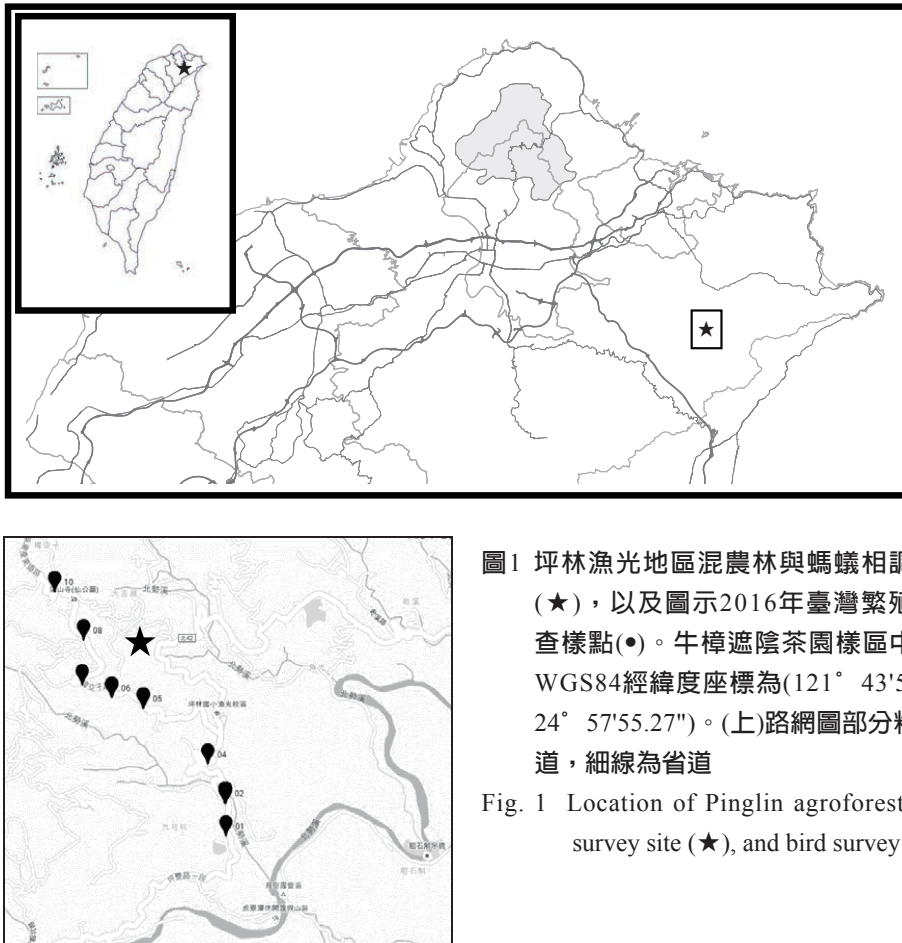


圖1 坪林漁光地區混農林與蟻相調查位置 (★)，以及圖示2016年臺灣繁殖鳥類調查樣點(●)。牛樟遮陰茶園樣區中心點的WGS84經緯度座標為(121° 43'54.47"，24° 57'55.27")。(上)路網圖部分粗線為國道，細線為省道

Fig. 1 Location of Pinglin agroforest and ant survey site (★), and bird survey sites (●)

茶區內栽植牛樟苗測量：牛樟苗大徑木為胸徑 ≥ 1 cm木本植株，在每年春季3-4月份完成徑級測量，分析牛樟苗存活率、高度(Ht, cm)、地徑(GBH, mm)、冠幅(C, m²)、冠幅總和(Csum, m²/ha)等，確認各混農樣區林木生長狀況與活動蟻相間的關係。冠幅(C, m²) = $\sum (X_i \times Y_i \times \pi / 4)$ ； $X_i \times Y_i$ 是該樣區中第*i*棵樹木的長與寬； π 是圓周率(3.1415)，乘積即為單株樹冠橢圓形的面積。冠幅總和則為單位面積中所有存在的單株冠幅之加總，故能評估單位立地面積內所有牛樟苗之重疊樹冠生物量(Biomass)。2012年調查時，在樹高1.3 m已用紅漆標定量測胸徑的高度位置，以標有直徑刻度之捲尺於上紅漆處量測植株直徑。每株並在1.5 m處釘上印有編號的鉛牌，並在方格紙上標記所有牛樟與風倒植株在3 ha樣區內的相對位置。

林下光環境則於2016年8月夏季，集中於一周清晨內藉由魚眼鏡頭攝影，各樣區中央分別拍攝覆蓋均勻、相距3m以上的6株牛樟苗，每木分別於四方位點取樣一次，以計算平均林冠開闊度(Canopy openness)。攝影器材使用Sigma 4.5 mm, F2.8魚眼鏡頭，搭配Nikon D80相機，相機架設的高度皆為離地1 m並避免直射光，以防陽光太強或太弱時，會影響分析電腦軟體的判讀。將拍攝的樹冠照片逐一以Gap Light Analyzer (GLA) 2.0軟體進行分析，得到樹冠開闊度的讀值(Light, %)。

Hobo溫度紀錄儀(UA-002-64)分別設置於A, B, C三區各一組，每組為林下離地高一米處以及表面土層以下10 cm中，逐時讀取溫度了解各處理之差異。此外，

計算日氣溫差(Daily Temperature Range in air, DTR_{air})來代表棲地承受溫度變化的範圍，即是當天測站的氣溫最高值減去最低值，並於試驗地中央設置一氣象站，記錄當地之土壤溫濕度、空氣溫溼度與雨量變化。應用SPSS v20.5程式進行變異度分析(ANOVA)。

(II) 樣區蟻相動態部分

為偵測溫暖潮濕的腐質土與落葉層間較完整的蟻群結構，於2015-2016年每季在遮陰茶園各樣區(A, B, C, D)，避開邊緣芒草地，針對樹木下層遮陰茶叢底部之肥沃表土，取土樣各兩包，用8號封口袋裝滿40 x 28 cm(約一升容量)採土，置於陰涼處帶回。各田間處理的腐質土刨取約5-10 cm深度內，直到土壤表面已無跳蟲彈出、到達生土層。當日立即使用落葉袋(Winkler bag)集中法，以篩網去除較大的落葉、枝條或石塊，吊乾約兩周後讓螞蟻自動掉出，集中到酒精保存小瓶中鑑定並分析之(林宗岐等，2012)。

(III) 落葉螞蟻(litter ant)覓食於森林空間的典型對應分析(CCA)

應用CANOCO v4.5程式進行典型對應分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)是一種自1950年代開始的多變量維度縮減分析。設定在遮陰茶園各樣區數量對上述的螞蟻覓食活動、光環境、與溫濕度氣候梯度做雙序圖(Biplot)，運用林分處理下的牛樟生長量，進行生態排序分析(CCA)以說明螞蟻種與混農林環境梯度間的關係。螞蟻以*sp*起首後接數字，依優勢豐度序列編號。而為了解環境梯度與物種之關聯性，可將代表環境梯度的向量箭頭線加以

延伸，並將代表各蟻種的空心三角點，垂直投影交於延伸線，並由垂直距離判斷環境變數與物種的關聯強度。最後將樣區的出沒頻度納入生態排序分析，即可統合上述所測動物活動、樹種生長、林下環境、與氣候變異等介量，投影在二維平面上，可資探討坪林牛樟遮陰茶園4個混農處理，微棲地氣候梯度與20蟻種互動後的生態聚集效應。

III、結果

(I) 遮陰茶園各處理的生長量

混植牛樟栽植5年後之成活率介於51-79%之間(表1)，以C區低密度(4×4m)栽植

之牛樟存活情形最差(51%)，主要是因為2015年8月份颱風後風倒，造成許多單株死亡。雖然C區低密度的栽植成活率最低，但大間距的處理條件造成牛樟生長情形最佳，平均高度達362 cm，地徑達116 mm。而冠幅總和為單位面積中所有存在的單株冠幅之加總，以開闊的C區冠幅總和最小，為1,795 m²/ha，可知當地的冠幅無法鬱閉，林下透光度強；相反地，緊密栽植的A區(2×1.5m)冠幅總和是7,867 m²/ha，約是B區的2倍，是C區的4倍。鬱閉的A區才在生長第六年，冠幅總和已然逼近造林20年以上的青楓林，達到成熟鬱閉D區的90% (7867 / 8706，單位為m²/ha)。

(II) 螞蟻相的時空分布差異

表1 遮陰茶園之牛樟存活及生長情形，與林下茶園螞蟻相。其中6年生、間植牛樟(處理A~C) 在2011-2012年補植2次，以及20年生青楓(處理D) 屬株距密集(<0.3m)的青楓林，其生長狀態為2015年10月所測

Table 1 Survival and growth state of stout camphor, and ant fauna in shaded garden

樣區處理	D	A	B	C
栽植密度	0.5×1.5m	2×1.5m	3×3m	4×4m
上木鬱閉度	鬱閉	緊密	中等	開闊
上木種類	青楓	牛樟	牛樟	牛樟
樹齡	超過20年	6年	6年	6年
栽植株數	50+	283	81	67
成活率(%)	(Not Available)	71	79	51
高度, Ht (cm)	301.54±19.30	349.51±114.01	350.31±75.26	361.56±138.76
地徑, GBH (mm)	57.35±20.73	88.59±34.45	90.41±29.03	115.66±38.06
冠幅, C (m ²)	0.87±0.63	3.35±2.70	4.05±2.71	5.62±3.54
冠幅總和*, Csum (m ²)	8706	7867	3552	1795
冠幅加總倍率**	4.85	4.38	1.98	1.00

*冠幅總和為單位面積中所有存在的單株冠幅之加總，甚至包括重疊樹冠者。

**其加總倍率為冠幅除以最疏鬆之林分(C區)所得比值，冠幅加總倍率代表較(4×4 m)低密度栽植更高的覆蓋度。

從2011年栽植牛樟苗木開始，多年收成土壤已趨劣化的茶園開始逐漸育成複層林。林下落葉熟成加上分解作用，螞蟻相到2015-2016年已經出現Andersen(1995)所指稱3個主要的功能群的兩大類：干擾群與逆壓群。利用分類所能辨識出的干擾群(Disturbance group)，共有適應廣泛的螞蟻12種(表2)，主要涵蓋琉璃蟻亞科2種，山蟻亞科1種，以及大多數家蟻亞科的常見9種螞蟻(表3)。干擾群對環境變化的適應性

強，可忍受環境干擾作用，大多數是雜食性的碎食者(Detritivore)螞蟻種。

其次局部優勢的逆壓群(Stress group) 8種螞蟻(表2)，則包括家蟻亞科瘤顎家蟻屬的3種，以及針蟻亞科的4種。逆壓群生存在環境極端的棲地，逆壓忍受度高，且具有特殊的食性及行爲，但易受環境干擾的影響，主要為掠食者(predator)螞蟻種。

茶園於牛樟栽植初期(2015-2016年)，兩型功能群的螞蟻種發生大致依循混農林牛

表2 坪林遮陰茶園之螞蟻相名錄，共有20種土棲螞蟻，並註記干擾群(D)與逆壓群(S)，至於競爭群(C)只有錫蘭迷蟻

Table 2 Ant fauna of 20 ant species in Pinglin shaded garden, marked by functional groups: (C) ompetition, (D)isturbance and (S)tress group

琉璃蟻亞科 Dolichoderinae	
(D)黑頭慌琉璃蟻 <i>Tapinoma melanocephalum</i>	
(D)褐足扁琉璃蟻 <i>Technomyrmex brunneus</i>	
山蟻亞科 Formicinae	
(D)黃腳黃山蟻 <i>Paratrechina flavipes</i>	
家蟻亞科 Myrmicinae	
(D)勤勉舉尾蟻 <i>Crematogaster laboris</i>	
(D)小單家蟻 <i>Monomorium pharaonis</i>	
(D)大林大頭家蟻 <i>Pheidole formosensis</i>	
(D)熱帶大頭家蟻 <i>Pheidole megacephala</i>	
(D)大林長腳家蟻 <i>Aphaenogaster tipuna</i>	
(D)細胸長腳家蟻 <i>Aphaenogaster isthmus</i>	
(D)太平洋皺家蟻 <i>Tetramorium pacificum</i>	
(D)日本皺家蟻 <i>Tetramorium nipponense</i>	
(D)愛美瘤顎家蟻 <i>Strumigenys emmae</i>	
(S)彎針彎家蟻 <i>Recurvidris recurvispinosa</i>	
(S)日本瘤顎家蟻 <i>Strumigenys solifontis</i>	
(S)屈尺瘤顎家蟻 <i>Strumigenys chuchihensis</i>	
針蟻亞科 Ponerinae	
(S)爪哇粗針蟻 <i>Pachycondyla javana</i>	
(S)黃足粗針蟻 <i>Pachycondyla luteipes</i>	
(S)刺瓦姬針蟻 <i>Hypoponera zwaluwenburgi</i>	
(S)伊藤盾角針蟻 <i>Proceratium itoi</i>	
軍蟻亞科 Dorylinae	
(C)錫蘭迷蟻 <i>Aenictus ceylonicus</i>	

樟苗之樹高、地徑、冠幅的發展梯度。干擾群於此全為碎食主義者(Detritivore)，多在風倒多、平均高度最高(平均361 cm)、地徑最大(115 mm)、單株冠幅大(5.6 m²)的C區，但也正是冠幅總和最小(1795 m²/ha)的疏鬆林下。像琉璃蟻亞科2種(褐足扁琉璃

蟻和黑頭慌琉璃蟻)多分布在疏林，又例如大林大頭家蟻(*Pheidole formosensis*)、細胸長腳家蟻(*Aphaenogaster isthmus*)、小單家蟻(*Monomorium pharaonis*)等碎食者，皆為廣布於各林型(D, A, B, C)而又於C區佔分布優勢(表3)。

表3 林下茶園螞蟻所出現於落葉袋陷阱(N=90)的次數與頻度，以及季節分布的四種類型

Table 3 Frequency and seasonal distribution of ants in shaded tea garden

		出現次數	季節分布類型	出現型*	林型**				
功能群：干擾群(Disturbance Group)						D	A	B	C
琉璃蟻亞科									
Sp.1	褐足扁琉璃蟻	6	廣泛分布-春夏	W	1	1	2	2	
Sp.2	黑頭慌琉璃蟻	9	廣泛分布-全年	A	1	2	2	4	
山蟻亞科									
Sp. 7	黃腳黃山蟻	4	侷限分布-春季	R	1	3			
家蟻亞科									
Sp.8	勤勉舉尾蟻	9	廣泛分布-全年	A	3	3	3		
Sp.9	大林大頭家蟻	25	廣泛分布-全年	A	3	9	7	13	
Sp.10	熱帶大頭家蟻	8	廣泛分布-春夏	W		2	5	1	
Sp.12	大林長腳家蟻	49	廣泛分布-全年	A	3	16	17	13	
Sp.13	細胸長腳家蟻	16	廣泛分布-夏季	W	1	6	3	6	
Sp.14	小單家蟻	46	廣泛分布-全年	A	7	13	14	12	
Sp.18.	愛美瘤顎家蟻	1	偶見	O		1			
Sp.19	太平洋皺家蟻	1	偶見	O	1				
Sp.20	日本皺家蟻	5	廣泛分布-夏秋	W	2	2		1	
功能群：逆壓群(Stress Group)									
家蟻亞科									
Sp.15	彎針彎家蟻	1	偶見	O		1			
Sp.16	日本瘤顎家蟻	4	侷限分布-春夏	R	3		1		
Sp.17	屈尺瘤顎家蟻	5	廣泛分布-春夏	W	1	2	1	2	
針蟻亞科									
Sp.3	爪哇粗針蟻	14	廣泛分布-夏秋	W	2	4	4	4	
Sp.4	黃足粗針蟻	34	廣泛分布-全年	A	4	9	12	9	
Sp.5	刺瓦姬針蟻	3	偶見	O		1	2		
Sp.6	伊藤盾角針蟻	1	偶見	O			1		
功能群：競爭群(Competition Group)									
軍蟻亞科									
Sp.11	錫蘭迷蟻	4	廣泛分布-秋	W	2	1	1		

* A.全年廣泛分布, W.季節內廣泛分布(春夏、夏、夏秋), R.季節侷限分布(春、春夏), O.偶見。

**茶/林-混農型：D.鬱閉(密度0.5×1.5m), A.緊密(密度2×1.5m), B.中等(密度3×3m), C.開闊(密度4×4m)

至於掠食(Predator)螞蟻的小型種類分布則屬侷限散布，像3種瘤顎家蟻(日本瘤顎家蟻*Strumigenys solifontis*、屈尺瘤顎家蟻*Strumigenys chuchihensis*、愛美瘤顎家蟻*Strumigenys emmae*)、以及2種小型針蟻(刺瓦姬針蟻*Hypoconer zwaluwenburgi*、伊藤盾角針蟻*Proceratium itoi*)皆主要分布於D區到A、B區的相對密林下。較大體型者如針蟻亞科的爪哇粗針蟻(*Pachycondyla javana*)和黃足粗針蟻(*Pachycondyla luteipes*)，則能廣泛生存於4種林分結構中，其生態棲位與小型掠食蟻殊異。例如在栽植牛樟混種茶園的三種類型中，A區有最多的逆壓群掠食者，分布在高度低矮(平均350 cm)、地徑最小(89 mm)、單株冠幅也小(3.35 m²)的A區，也是冠幅總和最大(7,867 m²/ha)的密林。

(III) 混農林地螞蟻相的典型對應分析

整理上述的四處理內所觀測的螞蟻物種，對捕獲的林下光環境(Light)、微棲地氣候條件、該處的牛樟樹高(Ht)與冠幅總和(Csum)做雙序圖(Biplot)，運用每次季節內累計的干擾群掠食者(Predator)與逆壓群碎食者(Detritivore)的種類總數，進行典型對應分析(CCA，圖2)。多變量縮減維度分析上，顯示統計縮減後的前四軸之特徵值(Eigenvalues)依次漸減，分別為0.358、0.261、0.135及0.115，而排除高度相關且意義相近的變項。物種與環境變數間之皮爾森相關性(Species-environment correlations)以第一軸0.855最大，第二軸0.647次之，類似的第三、四軸0.586、0.583最低。環境梯度上，各軸之長度依次遞減，表示各軸所解釋之變異能力遞減。故以主要二軸

作圖，所能解釋之變異量分別為32.4%、23.6%，二軸共佔全部變異解釋量56% (圖2)。

環境因子第一軸(X)首先呈現掠食者(Predator)與碎食者(Detritivore)的區集化。第一軸左側為廣食性的碎食者，大部分為廣泛分布於A,B,C,D四種林分處理的大頭家蟻(sp.9,10)與長腳家蟻(sp.12,13)，但也有只在秋季才廣泛出現的錫蘭迷蟻(*Aenictus ceylonicus*)(sp.11)，以及偶見於夏季的彎針彎家蟻(*Recurvidris recurvispinosa*)(sp.15)。蟻種分布向右漸漸轉變成專食性的掠食者，大部分為廣泛分布於A, B, C, D四種林分處理的爪哇粗針蟻(*Pachycondyla javana*)(sp.3)與黃足粗針蟻(sp.4)，但也有秋季才大量出現的錫蘭迷蟻(sp.11)，以及偶見於夏季的彎針彎家蟻(sp.15)(圖2)。

環境因子第二軸(Y)指出動物群聚結構與植群型關聯，並因微棲地氣候條件發生變異的兩類方向。第二軸正向最相關者為「濕潤相關條件」：樣區內埋於地表之氣候測站所得之土壤濕度(Soil Moisture, SoilM)，與各處理林下空氣相對濕度(Relative Humidity, RH)正相關，而且高度相關於單位面積內的牛樟樹冠累計總值(Csum)，可視為栽培混農林的生物量(Biomass)。即是茶園上方鬱閉度高的牛樟林，極度相關於較濕潤的土壤與空氣濕度，反映在生物多樣性的氣候指標蟻種就是黃腳黃山蟻(*Paratrechina flavipes*)(sp.7)，集中出現在冠幅總和大的D、A區密林(8706-7867 m²/ha)。

沿著第二軸負向梯度為「曝光、乾燥條件」最大值，趨向C區的疏林，是冠幅總

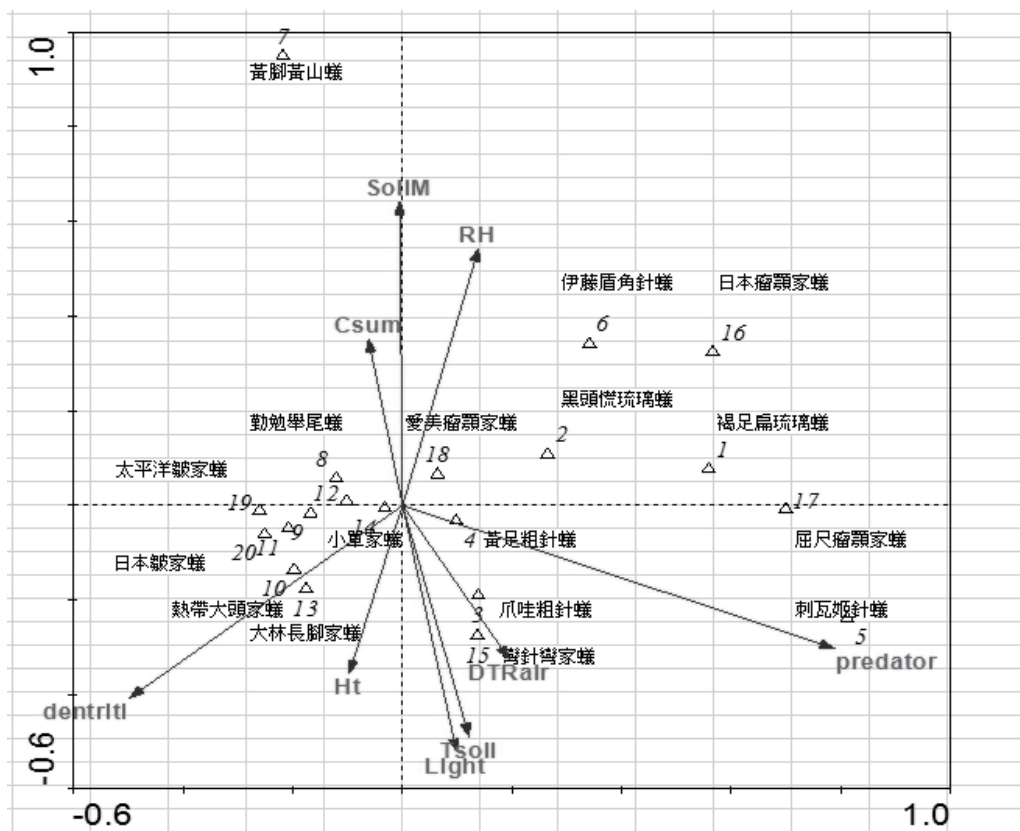


圖2 坪林混農林區之螞蟻多樣性，在CCA雙序圖中以△標示20蟻種的分布空間，向量箭頭則標明相鄰物種在各梯度的展開強度：包括掠食者種豐度(Predator)、與碎食/雜食者種豐度(Detritivore)覓食於森林空間的典型對應分析。主要林下微棲地的環境變項包括：遮陰樹木高度(Ht)、光度(Light)、土溫(Tsoil)、氣溫之日溫差(DTRair)、土壤濕度(SoilM)、空氣相對溼度(RH)、以及冠幅總和(Csum)。環境因子第一軸(X)為混農林分變異的主要方向，約略跟掠食-碎食者呈相關。第二軸(Y)上半全部為耐濕、耐陰的螞蟻擴張區，包括廣食性、營養位階較高之碎食者黃山蟻與學尾家蟻。第二軸下側是混農林區牛樟高大、光度強、溫差增大之處

Fig. 2 CCA analysis in shaded garden with 20 ant species (△) and environmental gradient (→).

和最小(1795 m²/ha)，也可關連於牛樟風倒多、存活率低，所以疏林內所測得的光度大，也帶動土壤溫度(Tsoil)較高。遮陰茶園的牛樟林下土溫(Tsoil)以疏林的C區曝曬較盛，土壤溫度也在非冬季顯著高於鬱閉的A、B區(ANOVA, p<0.05)，至於在冬季(11,

12, 1月)無顯著差異(圖3)。至於氣溫(Tair)，則各種處理下全年無顯著差異。

(IV) 小結：混農林地螞蟻相反映差異化的林下微棲地

影響所及是針蟻亞科的廣泛分布種如彎針彎家蟻(sp.3)與黃足粗針蟻(sp.4)，在典

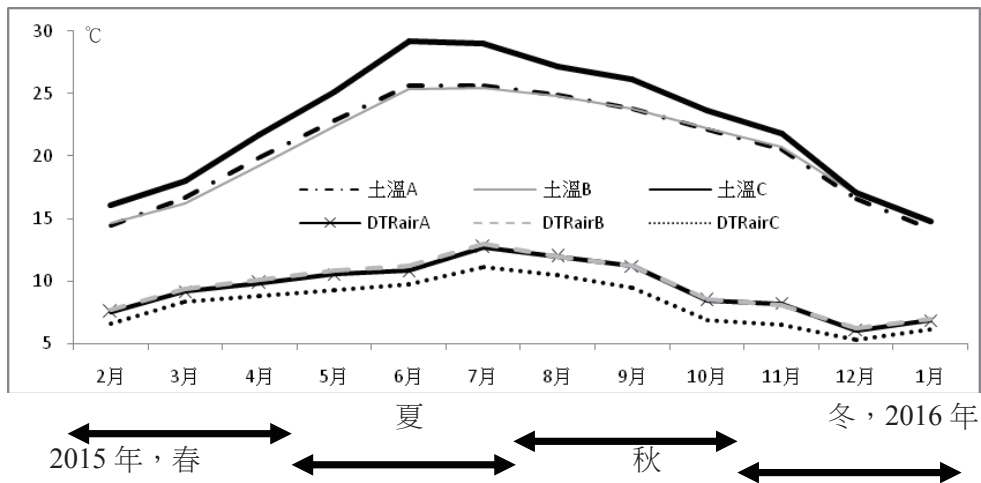


圖3 遮陰茶園的牛樟林下各處理中的月平均氣象站資料。因C區曝曬較盛，平均土壤溫度在非冬季顯著高於鬱閉的A、B區達3.86-1.41°C。在林下氣溫之日溫差(DTR)則以較鬱閉的A、B區顯著高於疏林的C區(ANOVA, $p < 0.05$)

Fig. 3 Monthly soil temperature and daily temperature range (DTRair) in average across treatment A-C

型對應分析(CCA, 圖2)均是沿著逐日氣溫差(Daily Temperature Range in air, DTRair)的梯度而增加出現頻度。日溫差由於是當天測站的氣溫最高值，減去最低值。而牛樟栽植林三種處理中，較鬱閉的A、B區日溫差，顯著高於疏林的C區(圖3)。至於全年來看，平均日溫差以夏、春季高於秋、冬(表4)。

表5顯示蟻相中干擾群中的廣泛成長型(Type Da)有6種，屬於跨越各種林型之廣泛分布(sp.1, 2, 9, 12, 13, 14)；其次為干擾群中亞成長型(Type Db)有3種，亦屬廣泛分布如sp.8, 10, 20；而干擾群中侷限型(Type Dc)有3種，卻不見於C區疏林。至於逆壓群中廣泛成長型(Type Sa)有3種(sp.3, 4, 17)，皆屬分布均勻；逆壓群中侷限型(Type c)有5種，卻有四種集中出現於鬱閉的A區，並藉由活動於不同季節，而能特化適應不同的微棲地氣候條件(表4)(Nash *et al.*, 2000)。

螞蟻活動之分布情形主要影響因子為混農林處理所創造出之棲地多樣性，以典型對應分析第一軸與第二軸所構成之平面能顯示出遮陰茶園棲地與林下動物覓食之分型。第一軸(X)可以總結為掠食者到碎食者相關聯的主要變異，並觀察到第二軸越為濕潤、鬱閉的棲地如A、B區，所支持的蟻種多；而疏林的C區蟻種較貧乏，土壤溫度較高，同時平均氣溫差較低。

IV、討論

(I) 樹木間作(Intercropping)管理系統

鬱閉混農林的永續經營型式可以看做中度干擾下，又能長期生產食物和木材作物的複層林管理系統(Sousa, 1984)。混農林業一方面可提昇茶菁風味，另一方面促進周邊林相的復舊，使次生林也能富集原生土棲昆蟲，並參與土壤熟成的生態功能

表4 A區螞蟻種類之分布季節與該區溫度資料。除了基礎蟻相12種外，侷限螞蟻種類之季節分布也反映差異化的茶園均溫(氣溫、土溫)與日溫差(DTRair, SE)

Table 4 Rich ant species found in shaded treatment A, reflecting a differential mean temperature and daily temperature range (DTRair, SE)

季節	氣溫	土溫	日溫差(DTR)	干擾群		逆壓群		競爭群
				黃腳黃山蟻	愛美瘤顎蟻	彎針彎家蟻	伊藤盾角針蟻	錫蘭迷蟻
春季								
2月	14.343	14.505	7.57 ± 1.14	■				
3月	16.224	16.652	9.18 ± 1.09	■				
4月	19.534	19.884	9.88 ± 2.16	■			■	
夏季								
5月	23.254	22.855	10.58 ± 2.10	■				
6月	26.444	25.626	10.83 ± 1.44			■		
7月	26.021	25.653	12.72 ± 2.53					
秋季								
8月	24.871	24.943	12.01 ± 2.95		■			■
9月	23.587	23.789	11.21 ± 2.29					■
10月	21.380	22.093	8.49 ± 3.22					■
冬季								
11月	19.777	20.566	8.23 ± 1.79					
12月	15.318	16.633	6.10 ± 1.56					
1月	12.900	13.709	6.88 ± 2.56	■				

(Maurizio, 1999)。過去當地土壤的貧瘠導因於終年收茶，暴雨下的高分解率與營養淋溶(Leaching)現象。營養的快速流失得證於茶農經年的茶菁產值降低，正顯示過度干擾下，營養補充的恢復功能慢。藉由牛樟等原生植物的次生栽植生長，是從土壤中取出較難以獲得的營養，將之納入混農林生物量，然後藉由落葉、細根和其他的枯枝，逐年累積豐富了土壤中積存的有機物。當多種功能群的螞蟻群聚帶動土壤有機物分解後，枯枝落葉的營養便以可溶解的形式釋放出來(Risch and Carroll, 1982; Petal, 1998)，而豐富昆蟲相更進一步滋養

了肉食到雜食性為主的各種鳥類(表2)。

林學界曾描述了樹木間作管理系統的生態特質。混農林系統裡，合乎經濟需求的作物通常是種在大樹下的下層樹種(諸如咖啡或可可)，大樹既能持續土壤的肥力又能遮陰(Siebert, 2002)，對同一塊地做極大利用(Takahashi and Todo, 2013)。對森林生態系的中度干擾會減低生產力，但可保存恢復到舊有植被的能力(Majer, 1983)。混入樹木間作後，集約栽培作物(茶)的生產力雖降低，但較有機會補充土壤營養，讓天然樹種的生產潛力恢復。

遮陰茶園只有在逆壓極大時，例如周

表5 牛樟林下各區茶園的廣布種與侷限種分布，顯示侷限種集中A區於不同季節分布

Table 5 Ant species found in shaded treatments A-D, particularly reflecting rich ant species diversity in the patchy treatment A

處理(栽植密度)	D (0.5×1.5m)	A(2×1.5m)	B (3×3m)	C(4×4m)
上木鬱閉度	鬱閉	緊密	中等	開闊
干擾群(Disturbance group)				
Da. 干擾群中廣泛成長型6種(廣泛分布: sp.1, 2, 9, 12, 13, 14)	←—————→			
Db. 干擾群中亞成長型3種(廣泛分布: sp.8, 10, 20)	←—————→			
Dc. 干擾群中侷限型3種	←—————→			
黃腳黃山蟻		■ Sp. 7		
愛美瘤顎家蟻		■ Sp.18.		
太平洋皺家蟻	■ Sp.19			
逆壓群(Stress group)				
Sa. 逆壓群中廣泛成長型3種(廣泛分布: sp.3, 4, 17)	←—————→			
Sc. 逆壓群中侷限型5種	←—————→			
日本瘤顎家蟻	■ Sp.16		■ Sp.16	
彎針彎家蟻		■ Sp.15		
刺瓦姬針蟻		■ Sp.5	■ Sp.5	
伊藤盾角針蟻		■ Sp.6		
競爭群(Competition group)				
錫蘭迷蟻		■ Sp.11	■ Sp.11	

期性的風倒和砍伐，才難以維持成林的穩固生產結構。最後能否重建一個完善的複層林，則需要仰賴高度多樣的生物群集，包括大量植物種類的凋落組織，及處理這些季節食物的動物互動(Soule, 1986)。重建干擾後的暖溫帶森林中之複雜食物網要花極長的時間，而截至第六年的樹木間作，土棲螞蟻相在復舊中逐步重建了干擾群(Disturbance group)和逆壓群(Stress group)，但尚未看到足以支撐競爭群(Competition group)高度多樣性出現。

(II) 遮陰茶園C區(密度4×4 m)屬樹距開闊的疏林結構

風倒多的疏鬆栽植C區中，只有留存基礎蟻相的常見廣泛分布種，也都是成長型廣布種。干擾群的成長型廣布種包括廣泛成長型(Type Da)有6種、亞成長型(Type Db)3種；以及逆壓群的廣泛成長型(Type Sa)3種。干擾群即碎食者有琉璃蟻亞科，以及家蟻亞科：包括小單家蟻(體長(TL)2.3mm)、大林長腳家蟻(*Aphaenogaster tipuna*)(TL>5 mm，有背刺)、和細胸長腳

家蟻(TL<4 mm, 無背刺)。這些碎食者屬雜食性的干擾群(Disturbance group), 對干擾的適應性強, 可忍受高強度的林木環境變化(表3)。至於比較脆弱的食物鏈頂峰掠食者則數量較少, 主要為針蟻亞科的爪哇粗針蟻(TL>3 mm, 大型), 和黃足粗針蟻(TL>2.5 mm, 大型), 另外偶見屈尺瘤顎家蟻, 屬逆壓群(Stress group)易受環境干擾與棲地品質退化的打擊。

(III) 遮陰茶園B區(密度3×3 m)冠幅總和中等, 牛樟苗木生長情形開始受限冠幅中等癒合的B區中, 主要還是以留存基礎蟻相的12種為常見廣泛分布種, 至於其他優勢的碎食者則有競爭群中的錫蘭迷蟻。干擾群中, B區開始出現大群落(Colony)築巢的勤勉舉尾蟻(*Crematogaster laborisa*)(TL 3 mm), 常在苗木嫩莖上吸食汁液及蚜蟲的蜜露, 喜歡機動的碎屑收集活動, 為低海拔山區常見的林下蟻種。

中度遮陰下掠食蟻種增加, 針蟻亞科的爪哇粗針蟻(大)和黃足粗針蟻(小)都在各季節廣泛出現, 在小型掠食蟻種還出現了盾角針蟻亞科的伊藤盾角針蟻(TL3 mm, 中型), 為東亞(韓、日、中、臺灣)中低海拔山地, 族群數量稀少的逆壓群。伊藤盾角針蟻生活於森林落葉層, 築巢於倒木與枝條中。伊藤盾角針蟻複眼退化, 僅具1小眼; 腹錘部第二節明顯發達向後延長呈圓筒狀, 後幾節明顯彎曲向前, 腹錘背板著生濃密絲狀毛, 螫針明顯以獵殺適宜尺寸落葉層昆蟲。此類逆壓群主要生存在環境變化大的棲地, 極端氣候忍受度高, 且具有特殊的食性及行為, 可作為演替中期環境、敏感易受干擾的生態指標(林宗岐等,

2012)。

此外, 中度遮陰下掠食者還開始容納大型的日本瘤顎家蟻, 工蟻體長2.9-3.3 mm, 大顎圓弧延長呈鐮刀狀以獵殺跳蟲(彈尾目, Collembola), 後腹柄節側緣與下緣著生明顯海綿體構造, 具有特定氣味溝通功能(Yoshimura, 2009)。小型的屈尺瘤顎家蟻工蟻體長2-3 mm, 大顎渾圓較短, 適宜坐等獵殺較小的彈尾目昆蟲。這些小型的逆壓群(瘤顎家蟻、盾角針蟻)都傾向在春、夏的適合氣候下開始繁殖領域的擴張。

(IV) 遮陰茶園A區(密度1.5×2 m)的牛樟冠幅總和最高

鬱閉A區基礎蟻相的成長型廣布種更多。碎食者、也是干擾群的勤勉舉尾蟻依然維持高優勢度, 但開始出現較適應鬱閉林蔭的是山蟻亞科的黃腳黃山蟻, 其工蟻體長2.1-2.5 mm, 生活在森林邊緣、草地、農地等, 築巢於落葉層、石頭下、倒木及土中, 可於開闊地與較乾燥環境生存(林宗岐等, 2012)。至於掠食者、也是逆壓群的成長型廣布種, 則依然有針蟻亞科的爪哇粗針蟻(大)和黃足粗針蟻(小), 主要在秋季開始活動; 專食跳蟲(Springtail-specialist)的瘤顎家蟻則包括廣泛分布於春夏的屈尺瘤顎家蟻(大)及愛美瘤顎家蟻(小)。鬱閉的遮陰茶園底層則多有大到小型的掠食者, 依序為爪哇粗針蟻、黃足粗針蟻、刺瓦姬針蟻、屈尺瘤顎家蟻、與愛美瘤顎家蟻, 顯見森林邊緣土壤中落葉層熟成良好; 茶園採收季節轉換之際, 有較多樣的無脊椎動物於石下與土中繁衍(Peck *et al.*, 1998)。

(V) 遮陰茶園D區屬密集的青楓造林區

小葉烏龍灌叢已生長在鬱閉的青楓樹冠下逾20年。除基礎蟻相外，碎食者增加太平洋皺家蟻(*Tetramorium pacificum*)，只見於2016年6月；家蟻亞科的日本瘤顎家蟻則侷限分布於春、夏季。受限制的蟻相不如遮陰茶園A區，或可歸因於持續的慣行農法操作除草與噴藥，導致遮陰茶園D區維持林下空曠以便於行走。噴藥自2014年後已暫停外，持續的少量收茶亦在各季節帶來小規模的人為干擾，由於D區未積極管理強化遮陰樹(青楓)的樹冠結構，導致冠幅總和雖大(8,706 m²/ha)，但實際上每株青楓冠幅只有 0.87 ± 0.63 m²，是牛樟疏林(C區)單株冠幅(5.62 ± 3.54 m²)的15%，或是鬱閉A區單株冠幅(3.35 ± 2.70 m²)的26%。也可以說，擁擠的密林雖鬱閉，但若是樹木結構持續單調，其長期生態效應將顯現為節肢動物與瘤顎家蟻捕食者的衰弱。比較造林第6年的A區到鬱閉逾20年的D區，說明尚可運用林業技術增強現有二層樹冠的遮陰農園結構，例如修枝一方面可裨益高市場價值的造林樹木，另一方面蟻相豐富化也控制特定害蟲，並能強化生態系統之服務。

在樣區附近鳥相部分，最易目擊的就是肉食性為主的台灣山地留鳥(柯智仁，2017)，如台灣藍鵲(*Urocissa caerulea*)與台灣紫嘯鶇(*Myiophoneus insularis*)皆為特有種，也是森林普遍分布種。尤其是台灣藍鵲會降落在造林第6年的A區到鬱閉逾20年的D區，啄食大型昆蟲到脊椎動物如兩爬與鼠類等。徐景彥和劉小如(1988)曾觀察同為淺山的陽明山藍鵲，從目擊與搜尋巢下食餘所可辨識的250項食物種類中，歸納主

食依序為節肢動物46% (大部分為昆蟲綱，並確定包括螞蟻)、爬蟲類(28%)、兩棲類(8%)，其次才為果實與其他路殺(roadkill)。研究期間，我們亦於2015年5月以紅外線自動相機，於同樣位點拍到鼬獾(*Melogale moschata*)與白鼻心(*Paguma larvata*)出沒於坪林茶園D區到A區的林下，應為尋覓豐富落葉層內的昆蟲、蜈蚣、蚯蚓、與各種毛蟲。茶與牛樟的花果雖未必能廣為其他雜食性大、小體型的鳥類所取用，但遮陰茶園的確創造暖溫帶森林基質(Matrix)間的蟲相豐富棲地，也在農用作物上架構更多樹冠層次的歧異生態棲位。

V. 結論

燒墾、單調作物、農業集約化曾經在過去一個世紀大幅降低北台灣暖溫帶的林地面積、節肢動物與鳥類多樣性，最終影響生態系統之間的相互作用。復舊生態功能透過栽植高經濟價值的原生樹種-牛樟-於遮陰茶園，在第六年所育成的螞蟻相即能局部超越20年生青楓造林下的茶園，能持續提供少量茶菁收益，並還能間接滋養了混農林周圍多達19種的留鳥。

強化遮陰茶園管理需要：(1) 發展因地適宜的栽植密度，在坪林介於(A:1.5×2 m)和(B:3×3 m)間，過度疏鬆的牛樟林分結構(C:4×4 m)雖然林下產茶增加，但牛樟造林的經濟效益減低，且很難排除在易風倒地的季節災害。

(2) 基礎蟻相涵蓋成長型廣布種，包括干擾群的廣泛成長型(Type Da) 6種、亞成長型(Type Db) 3種；以及逆壓群的廣泛成長

型(Type Sa) 3種(表5)。特別是在牛樟疏林C區的光度增加、曝曬後土溫顯著升高(圖3)、有益於大型、廣泛分布的掠食者，如爪哇粗針蟻與黃足粗針蟻(圖2)。

(3) 高鬱閉的A、B區，林下在基礎蟻相外更增加5種侷限型蟻種的分布，且都不見於疏林C區的高土溫環境。例如鬱閉A區茶園全年的平均溫度與日溫差有較大變化(表4)，特別是於夏、秋季日溫差(DTR)高於10°C時出現錫蘭迷蟻、彎針彎家蟻與愛美瘤顎家蟻；而春季日溫差縮小時也有特定的氣候適應者出沒，如伊藤盾角針蟻與黃腳黃山蟻。

蟻相之觀察可供有效測試遮陰茶園多樣性本身如何影響生態系統服務。由0.3 ha四種處理的小規模試驗結果，突顯出了複層林的混農系統在管理造林標的、遮陰下茶園生態功能、以及維持蟻蟻多樣性的重要。鬱閉的混農林特別強化了侷限型蟻種，包括干擾群(黃腳黃山蟻、愛美瘤顎家蟻)、競爭群(錫蘭迷蟻)和逆壓群(彎針彎家蟻、伊藤盾角針蟻)，顯示混農林業經營下之環境可提供比單純茶園更多樣適合蟻種之棲地，因此租地造林違規種植茶園之處若配合改正造林，應可提高該區域之生態系統服務功能。

VI. 引用文獻

林宗岐 (2007) 台灣產家蟻亞科系統分類學與動物地理學研究(膜翅目：蟻科)。國立臺灣大學植物病蟲害學系研究所博士論文。

林宗岐、吳文哲 (2003) 台灣蟻蟻相(膜翅

目：蟻科)--並附亞科與屬檢索表。國立台灣博物館年刊46:5-69。

林宗岐、鍾富雅、方懷聖 (2012) 湖山水庫蟻蟻鑑定圖鑑。農委會特有生物保育中心。

柯智仁 (2017) 臺灣繁殖鳥類大調查2016年報。行政院農委會特有生物保育中心。

唐先柏、鄭智殷 (2004) 日治時期台灣山林政策下的新竹地區的林業發展。竹塹文獻雜誌 29:8-29。

徐景彥、劉小如 (1998) 陽明山地區台灣藍鵲食物種類之觀察。中華飛羽11(1): 19-20。

蕭木吉 (2015) 台灣野鳥手繪圖鑑。林務局、台北市野鳥協會。

謝長富 (2013) 臺灣現生天然植群圖集。林務局。

謝國雄 (2003) 茶鄉社會誌。中研院社會學研究所。

Agosti, D., J. D. Majer, L. E. Alonso and T. R. Schultz. (2000) *Ants: Standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington and London, 280 pp.

Andersen, A. N. (1995) Measuring more of biodiversity: genus richness as a surrogate of species richness in Australian ant faunas. *Biological Conservation* 73: 39-43.

Bakermans, M. A., Vitz, A. Rodewald, and G. Rengifo. (2009) Migratory songbird use of shade coffee in the Venezuelan Andes with implications for conservation of cerulean warbler. *Biological Conservation* 142:2476-2483.

- Cruz-Angon, A. and R. Greenberg, (2005) Are epiphytes important for birds in coffee plantations? An experimental assessment. *Journal of Applied Ecology* 42: 150-159.
- Dejean, A., B. Corbara, J. Orivel, and M. Leponce. (2007) Rainforest Canopy Ants: the implications of territoriality and predatory behavior. *Functional Ecosystem Community* 1:105-120.
- FAO. (1977) Forestry for local community development. FO:MISC/77/ 22. Rome, Italy. 113 pp.
- Holldobler, B., and E. O. Wilson. (1990) *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge.
- Linden, D. R., P. F. Hendrix, D. C. Coleman, and P. C. J. van Vliet. (1994) Faunal indicators of soil quality. In Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. F., Stewart, B. A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35, USA, pp. 91-106.
- Lobry de Bruyn, (1999) Ants as bioindicators of soil function in rural environments. *Agriculture Ecosystem Environment* 74: 425-441.
- Majer, J. D. (1983) Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Environment Management* 7:375-383.
- Maurizio, G. Paoletti. (1999) The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 17: 137-155.
- McGeoch, M.A. (1998) The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Review* 73: 181-201.
- Nash, M. S., W. G. Whitford, J. Van Zee, and K. Havstad. (2000) Ant (Hymenoptera: Formicidae) responses to environmental stressors in the northern Chihuahuan Desert. *Environment Entomology* 29: 200-206.
- Peck, S.L., B. Mcquaid, and C. L. Campbell. (1998) Using ant species (Hymenoptera: Formicidae) as a biological indicator of agroecosystem condition. *Environment Entomology* 27: 1102-1110.
- Perfecto, I., J. Vandermeer, G. Lopez, G. Ibarra, R. Greenberg, P. Bichier and S. Langridge, (2004) Greater predation in shaded farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology* 85(10): 2677-2681.
- Petal, J. (1998) The influence of ants on carbon and nitrogen mineralization in drained fen soils. *Applied Soil Ecology* 9: 271-275.
- Philpott, S. M., I. Perfecto, and J. Vandermeer. (2006) Effects of management intensity and season on arboreal ant diversity and abundance in coffee agroecosystems. In *Arthropod Diversity and Conservation*. (Eds.) D. L. Hawksworth and A. T. Bull. MA, USA: Springer.
- Risch, S.J., and C.R. Carroll. (1982) The ecological role of ants on two Mexican agroecosystems. *Oecologia* 55: 114-119.
- Siebert, S.F. (2002). From shade-to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia:

- implications for biodiversity conservation and soil fertility. *Biodiversity Conservation* 11: 1889-1902.
- Soule, M. E. (1986) *Conservation Biology*. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Sousa, W. P. (1984) The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 15: 353-391.
- Takahashi, R. and Y. Todo (2013) The impact of a shade coffee certification program on forest conservation a case study from a wild coffee forest. *Journal of Environment Management* 130: 48-54.
- Wilson, E. O. (1998) *Biodiversity*. National Academy Press, Washington.
- Xue, J. H., and R. N. Tang. (2012) Practices and investigations of tree-tea intercropping system in China. *International Tree Crops Journal* 9(3) : 179-185.
- Yoshimura, M. (2009). Impact of secondary forest management on ant assemblage composition in the temperate region in Japan. *Journal of Insect Conservation* 13: 563-568
- Young A. (1999) Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries. *Environment Development Sustainability* 1: 3-18.

附錄1 2016年坪林北勢溪產業道路鳥相19種 (柯智仁, 2017)。
種名與食性引自台灣野鳥手繪圖鑑 (蕭木吉 2015)，鳥種
依遷徙狀態分為 (留)鳥、(冬)候鳥、(夏)候鳥、(過)境
鳥；出現度分為 (普)通、(不普)通、(稀)有；台灣特有
鳥種另行加註

肉食性為主 (吃大型昆蟲到脊椎動物)

台灣紫嘯鶇 (留/普，特有種)

黃頭鷺 (夏冬/普，留/不普)

台灣藍鵲 (留/普，特有種)

家燕 (夏、冬、過/普)

雜食性大體型 (吃昆蟲到嫩芽、果實)

台灣竹雞 (留/普，特有種)

台灣山鷓鴣 (留/不普，特有種)

金背鳩 (留/普，特有亞種)

北方中杜鵑 (過/普，夏/稀)

臺灣擬啄木/五色鳥 (留/普，特)

朱鷗 (留/不普，特有亞種)

樹鵲 (留/普，特有亞種)

雜食性小體型 (吃昆蟲到漿果)

白頭翁 (留/普，特有亞種)

紅嘴黑鵯 (留/普，特有亞種)

綠畫眉 (留/普)

大彎嘴 (留/普，特有種)

小彎嘴 (留/普，特有種)

山紅頭 (留/普，特有亞種)

繡眼畫眉 (留/普，特有種)

黑喉噪眉 (逸/稀)
