

不同農法施作對魚池鄉茶園蜘蛛多樣性及群聚組成之影響

**The effects of different farming practices on the spider
diversity and community in tea plantations of
Yuchi Township, Taiwan**

羅英元^{1,3*} 陳柏蓁² 林佩樺¹ 張曉天¹ 廖啟淳¹

**Ying-Yuan Lo^{1,3*}, Bo-Jhen Chen², Pei-Hua Lin¹,
Xiao-Tian Zhang¹ and Qi-Chun Liao¹**

¹ 行政院農業委員會特有生物研究保育中心 55244 南投縣集集鎮民生東路1號

² 行政院農業委員會茶業改良場文山分場 22391 新北市石碇區北宜路五段12號

³ 國立台灣師範大學生命科學系 11677 臺北市文山區汀州路四段88號

¹ Endemic Species Research Institute, No.1, Ming-Shen East Rd., Jiji Township, Nantou County,
552, Taiwan

² Wenshan Substation, Tea Research and Extension Station, No. 12, Sec. 5, Beiyi Rd., Shiding Dist.,
New Taipei, 22391, Taiwan

³ Department of Life Science, National Taiwan Normal University, No. 88, Sec. 4, Tingzhou Rd.,
Wenshan Dist., Taipei City, 11677, Taiwan

* 通訊作者 e-mail: 80443007s@gapps.ntnu.edu.tw

*Corresponding author e-mail: 80443007s@gapps.ntnu.edu.tw

摘要

農業生產的過程中透過各種環境友善措施達到生物多樣性維護的需求，已是現今農業活動重要的課題。本研究於南投縣魚池鄉的茶園，以蜘蛛類為調查對象，欲瞭解不同農法是否影響茶園中的蜘蛛多樣性、群聚組成，以及重要的環境因子為何？我們選取有機茶園及慣行茶園各3個樣區，於2019年間分別以定點搖動法、目視搜尋加敲擊法及掉落式陷阱法共進行4次調查，比較不同農法施作下，茶園中的蜘蛛數量、科及物種豐富度、生物多樣性指數和群聚組成，並分析這些指數與環境因子的關聯。調查結果顯示地表游獵型的旋囊脈狼蛛 (*Venonia spirocysta*) 為茶園樣區中最優勢的物種，而有機茶園的蜘蛛數量顯著高於慣行茶園，物種豐富度亦有較高的趨勢，不過在群聚組成上，有機與慣行茶園間並未有明顯差異；此外，研究結果也顯示蜘蛛物種豐富度隨草生植被覆蓋度及平均高度提高而增加、夏儂歧異度指數亦隨草生植被覆蓋度提高而增加。故本研究說明有機農法施作及適當的田間底層植被管理，皆有助於提升茶園環境中的蜘蛛多樣性。

關鍵詞：蜘蛛目、有機農法、茶園、多樣性、植被

Abstract

More agricultural activities in Taiwan have been dedicated to conserve biodiversity during the processes of production and various eco-friendly approaches are implemented. The study sites were located in tea plantation in central Taiwan, focusing on spiders to investigate whether different farming practices affect spider biodiversity and composition, and to assess related environmental factors. Spider surveys were conducted four times from June to November in 2019 using shrub-swaying, visual search with branch-beating, and pitfall traps at each of three organic and conventional farming sampling sites. We compared spider abundance, family and species richness, biodiversity indices and spider composition in organic fields with those in conventional fields, and examined the potential effects of environmental factors. The results showed that the ground-hunting *Venonia spirocysta* was the dominant species in the studied areas, and the spider abundance and species richness in organic farms were statistically greater than those in conventional farms. On the other hand, no significant difference was shown in species composition between different farming practices. In addition, the results presented that species richness increased with the increase of grass coverage and mean grass height, and Shannon-Wiener diversity index value increased with more grass coverage. Therefore, the result of this

study suggests that organic farming and the suitable management on understory vegetation can improve and maintain spider biodiversity in tea plantations.

Key words: Araneae, organic farming, tea plantation, diversity, vegetation

收件日期：2020年03月30日

接受日期：2020年05月04

Received: March 30, 2020

Accepted: May 04, 2020

前言

農業活動對人類文明發展有相當重要的影響，不僅提供穩定的食物來源，也讓人類從游牧進入社會群聚的定居生活。現今農業生態系已成為全球最主要的人造地景之一，包括耕地、牧地或林產等，大幅影響全球生物多樣性及生態系統(Krebs *et al.* 1999)。農業活動除了改變自然地景，其他衝擊還包括棲地的破碎化、環境與植被的均質化、水文系統改變、農藥及化學肥料的化學物質污染、土壤物質與生物多樣性下降等(Stoate *et al.* 2001; Schrama *et al.* 2018)。因預期人口將持續增長，未來將可能有更多自然棲地轉變為農業生產，並有大量機械化與大面積耕作，尤其是在發展中國家，代表將有更多農藥及肥料使用、水資源的需求增加等，若對施作方法不作改善，可預期未來全球環境及生物多樣性會面臨更大的衝擊(Hole *et al.* 2005)。

近年來因環保、健康意識興起，農業活動的操作模式與自然環境的關連逐漸受到重視，期望透過永續的(sustainable)操作

方式，例如有機農業(organic farming)或各項環境友善(environment-friendly)措施與管理制度，在不嚴重影響作物產量下改善農業活動對環境與生物多樣性的衝擊，帶動自然、安全、健康的觀念，以達成兼顧生活、生產、生態的「三生農業」(汪 2003)，尤其在2010年生物多樣性公約會議中提出「里山倡議」，更讓農業活動與生物多樣性之間的平衡再次受到國際重視。該倡議旨在推動社區、森林、農業的混合地景模式，謀求在農業發展與生產之外，亦能提供動植物多樣化的棲地，創造生物多樣性維護與資源永續利用之間的平衡，發展出「與自然和諧共生」的永續農村模式(李 2016)。

在「有機農業促進法」中對有機農業的定義為：「指基於生態平衡及養分循環原理，不施用化學肥料及化學農藥，不使用基因改造生物及其產品，進行農作、森林、水產、畜牧等農產品生產之農業。」不過全球各國、組織對有機農業的定義及施行細節不盡相同，例如國際有機農業運動聯合會(International Federation of Organic

Agriculture Movements, IFOAM)中的定義為：「有機農業是一種能維護土壤、生態系統和人類健康的生產體系，遵從當地的生態過程、生物多樣性和自然循環，而不依賴會帶來不利影響的投入。有機農業是傳統農業、創新思維和科學技術的結合，有利於保護我們所共享的生存環境，也有利於促進包括人類在內的自然界的公平與和諧共生」。因此相對於慣行農法(conventional farming)，有機農法一般指不使用化學農藥、除草劑、肥料、基改作物及生長激素等，以降低對環境的干擾與對生態的衝擊等特性。然而不同的農法間，特別是有機農法與慣行農法的差異，究竟對生物多樣性帶來什麼樣影響，許多因果及關連性仍不清楚，其效用也一直有存有許多爭論(Tuck *et al.* 2014)。在族群與群聚層級上，是否造成生物族群量和群聚組成的改變？其影響範圍多大？與周邊自然環境關聯性為何？是否改變食物網或功能群的結構，進而影響生態系統服務？在個體層級上，是否造成個體行為或生理的改變？不同生物類群對農法間是否有不同的反應？是否影響其生物適應特徵與演化？在實務運用上，是否能避免蟲害的威脅？額外投入成本是否有具邊際效應，以及與實際效用之間如何達成最適化(optimum)，都有必要進一步調查與研究加以釐清，以提出驗證來幫助農民、政府、社團或相關管理單位，擬定正確的施作與經營策略。

農業生態系中不同的農法施作與管理措施對生物多樣性的影響已有大量研究探討，許多報告指出近數十年來生物多樣性的銳減確實和密集的農業活動有關(Chamberlain *et al.* 2000; Tilman 2001; Hardman *et al.* 2016)，因此我們預期有機農

業不僅提供健康及安全性更高之糧食來源，也對生態環境更有正面影響。例如Hole *et al.* (2005)回顧了76篇關於比較有機及慣行農作對野生物影響的文獻，探討生物類群涵蓋植物、無脊椎動物(蚯蚓、蝴蝶、蜘蛛、甲蟲等)及脊椎動物(哺乳類及鳥類)，指出整體來說有機農法比慣行農法有更高的生物數量及物種豐富度，而這可能受益於有機農作的所採用措施；Bengtsson *et al.* (2005)亦指出在有機農場約可增加50%的生物豐富度，不過其效果在不同研究地點、尺度範圍間具有差異；Tuck *et al.* (2014)綜合分析過去30年來 94篇研究報告，顯示平均來說有機農田約可增加30%的物種多樣性，但同樣也指出其效果依調查物種、功能群及作物種類會有所差異；Hardman *et al.* (2016)比較3種不同環境友善策略的農田，各為有機(organic)、保護層級計畫(Conservation Grade, GC，部分田區作為特定保留棲地)，以及入門級管理計劃(Entry Level Stewardship, ELS，實行最簡單的环境管理模式)，發現在有機及GC田區的蝴蝶的物種多樣性分別比ELS田區高了50%及20%，而植被的物種多樣性，有機也比ELS田區高了70%，不過在熊蜂及鳥類則沒有顯著差異。上述報告顯示，雖然大致上有機農法對生物多樣性是有正面的影響，但根據不同的作物、地理尺度、調查物種等，其影響性有很大的變動，有時甚至會呈現有機農法的生物多樣性低於慣行農法。例如Froidevaux *et al.* (2017)的研究中便顯示蛛形動物的豐富度在有機果園較高，且和地表植被有正相關性，但是對蝙

蝠則沒有明顯的影響，指出應是整個地景結構的重要性大於耕種的經營模式。因此可知沒有普遍、通用的施作策略可應用於所有農業生態系中，必須視作物種類、研究物種、地理尺度、地景結構等而有不同的因應措施。再者，上述研究報告所分析的案例，大多都以歐美地區的已開發國家為主，因此像是熱帶地區、發展中國家的狀況仍需要有更多的研究探討(Tuck *et al.* 2014; Froidevaux *et al.* 2017)。

在臺灣，近年來亦有許多團隊開始關注農業生態系中不同農法施作對生物多樣性影響的比較，例如在東部地區水稻田不同農業操作下，發現無脊椎動物各功能群的物種數皆以有機農法田區較多，而害蟲雖然在有機田區比例較多，但是天敵物種也相對較高，並提出爪哇長腳蛛、日本長腳蛛及橙瓢蟲等3個天敵物種可作為水稻田的生物多樣性指標；同時，也嘗試以功能多樣性的面向探討不同灌溉方法對於生態功能的影響(范等 2013; 范 2017; 蔡等 2018)。不過，這些研究大多著重在屬於糧食作物的水稻田，在果園、茶園方面等其他經濟作物類型的探討則相對缺乏。由於不同作物的種植環境、作物特性、栽種方式等都相當不同，因此所蘊含的生物群聚、交互作用預期也會有所差異，因此仍需更多不同作物農場與不同地理範圍的調查研究。

茶葉是臺灣重要的經濟作物之一，主要產茶地區包括南投縣、新北市、嘉義縣、桃園市等(林等 2007)，其中南投縣的茶葉栽種面積達7545 公頃、年產量達1千萬公斤以上，為全臺灣產茶最多的縣市(林 2011)。魚池鄉為南投最主要的茶葉產區之

一，近年亦有許多農民願意轉為有機栽培，希望帶給大眾更為環保、健康的產茶。過去已有許多報告指出，有機或低碳管理茶園的蜘蛛物種多樣性及數量比慣行茶園更為豐富，群聚結構亦不相同，但週邊環境與管理措施同樣有重要的影響(Han 2005; Li *et al.* 2014)。本研究團隊過去曾於新北市坪林區的茶園進行蜘蛛類調查，同樣也發現有機茶園的蜘蛛數量、物種多樣性都高於慣行田區，且袋蛛科(Clubionidae)及跳蛛科(Salticidae)蜘蛛的數量在有機茶園顯著較高(未發表資料)。顯示在茶園環境，不同有機農法對無脊椎動物多樣性亦有相當程度的影響。然而，全臺灣茶園分布廣泛，環境、降雨、氣溫、栽種品種等條件都不盡相同，可能有機與慣行施作的差異在每個地區有不同的反應，故仍需要更廣泛的調查以瞭解有機施作是否有助於茶園的生物多樣性提升，也需瞭解天敵與潛在害蟲的交互作用、族群動態，以提供資訊讓管理單位與農民瞭解有機栽種的益處、什麼措施可有效兼顧生產與生態(Hazarika *et al.* 2009)。

蜘蛛屬於蛛形綱(Arachnida)、蜘蛛目(Araneae)，廣泛分布於各種棲地環境，其數量、種類相當豐富，是陸生生態系中最重要的小型節肢動物捕食者，全球蜘蛛每年約可捕食4-8億噸的獵物，因此對陸域無脊椎動物數量的控制、生態系的平衡上扮演非常重要的角色(Nyffeler 2000; Nyffeler and Birkhofer 2017)。蜘蛛在茶園也是最重要的捕食性天敵，例如在中國的茶園中，估計蜘蛛佔所有天敵物種數量的65-97% (Chen *et al.* 2004; Yang *et al.* 2017)，其生活

習性也相當多樣，包括結網性、葉間徘徊及地表徘徊型等物種，可捕食各種不同類型的獵物。

故本研究目的係透過茶園中蜘蛛類調查，欲瞭解：(1)不同施作農法是否影響茶園中蜘蛛數量、科及物種豐富度等多樣性差異、(2)蜘蛛群聚組成是否在不同農法間有所不同、(3)可能影響蜘蛛多樣性的環境因子為何，以為茶園有機栽培與經營管理提供參考依據。

方法

一、樣區概述

研究範圍位於南投縣魚池鄉境內，並選取6處茶園作為調查樣區，包括以有機農法及慣性農法施作的茶園各3處。有機茶園(通過慈心有機驗證股份有限公司驗證；證書字號1-009-110098)採用人工方式進行除草且不施用農藥及化學肥料，栽種面積分別為1 ha、2 ha及2.5 ha；而慣性茶園則採用殺菌劑、殺蟲劑等農業用藥，栽種面積分別為0.8 ha、1.4 ha及1.7 ha。

二、調查期間與方法

調查期間於2019年6月至10月，涵蓋夏、秋兩季，每4-6週進行調查1次，每個樣區各進行4次調查。

為完整採樣從地表至茶叢上不同生活習性的蜘蛛類群，本研究採用3種不同的調查方法：

(一) 定點搖動法：此方法針對棲息於茶樹植株上之物種；將捕蟲網置於茶樹底部後，搖動茶樹植株使蜘蛛落下於底部蟲

網，每次搖動20秒，所蒐集之樣本直接裝袋攜回研究室進行物種鑑定。每次調查於每個茶園樣區逢機選取3個茶樹植株進行定點搖動法。

(二) 目視搜尋及敲擊法：此方法可針對結網於茶樹間的蜘蛛類及其他徘徊於枝葉的物種；此方法於茶園樣區內逢機選取路線緩步前進，以目視搜尋蜘蛛類，並逢機敲擊植株以蒐集掉落之樣本，樣本直接保存於75%酒精中。此方法調查時於每個茶園樣區進行30分鐘。

(三) 掉落式陷阱：此方法主要針對地表徘徊性之蜘蛛；每個茶園設置1組掉落式陷阱，該陷阱由4個50 ml之塑膠離心管組成，排成1 m x 1 m方形，每根離心管埋入地底並使瓶口略低於地表，注入75%酒精40 ml，以蒐集地表遊走而掉落之蜘蛛或昆蟲。每組陷阱設置X形隔板於離心管間，以增加捕獲機率。每次調查放置7-8天後再進行樣本回收。

三、樣本處理

所有採集之樣本依形態特徵進行物種鑑定，必要時進行生殖器解剖。解剖生殖器時，雄蛛觸肢器(palp organ)以微剪直接取下，並去除杯葉周圍體毛後觀察觸肢器結構；雌蛛外生殖器(外雌器, epigynum)則以微剪剪下，並浸置於10%KOH加熱去除肌肉與組織後再進行觀察。成熟個體鑑定至種、若蛛則至少鑑定至科；如成蛛未能鑑定至種，則以形態種(morphospecies)方式處理。本研究之樣本皆以75%酒精於室溫下保存，並存放於特有生物研究保育中心。

四、環境因子測量

為瞭解所設置的樣區在不同農法間是否存有環境條件上的差異，進而影響蜘蛛類多樣性及群聚結構，我們於第3及第4次調查時同時進行環境因子的測量。各項測量的因子方法如下，括號內表示單位：

(一) 茶樹平均高度(cm)：在樣區內逢機選取鄰近掉落式陷阱埋設位置的5株茶樹，測量茶樹基部至頂端排除新梢之高度；排除新梢是考量到其枝條會受修剪及採摘作業影響，故測量時以枝葉最密集的樹冠頂層面為茶樹頂端測量值。

(二) 茶樹平均間距(cm)：茶樹排間間距在一樣區內不完全相同，我們在樣區內逢機選取鄰近掉落式陷阱埋設位置的5個走道，測量兩茶樹基部最短之水平距離為間距。

(三) 茶樹覆蓋度(%)：以掉落式陷阱為中央圍出邊長4 m之正方形範圍，分割為2 m x 2 m的4等份方形，以目視方法估計範圍內茶樹樹冠所遮蔽之面積比例。

(四) 草生植被平均高度(cm)：在樣區內於掉落式陷阱位置周遭3 m範圍內，逢機選取10個點，測量草生植被之高度。草生植被在調查期間會歷經整修，但測量時間皆為掉落式陷阱設置期間。

(五) 草生植被覆蓋度(%)：以掉落式陷阱為中央圍出邊長4 m之正方形範圍，分割為2 m x 2 m的4等份方形，以目視方法估計範圍內草生植被所覆蓋之面積比例。

(六) 溫度(°C)：以溫濕度計(型號：Lutron HT-305)於每次進行採樣調查時記錄。

(七) 相對濕度(%)：以溫濕度計(型號：

Lutron HT-305)於每次進行採樣調查時記錄。

五、資料分析

(一) 多樣性分析

將所有調查方法取得之資料整合，進行各樣區與不同農法的蜘蛛類多樣性指數計算，包括數量(abundance)、科豐富度(family richness)、物種豐富度(species richness)、夏農歧異度指數(Shannon-Wiener diversity index, H')及均勻度指數(Pielou's evenness index, J')等，並以分別以Nested ANOVA及Kruskal-Wallis rank sum test分析各項指數在不同農法間或不同樣區間是有所差異。

(二) 群聚組成分析

分別以物種、科及功能群檢視各樣區和不同農法間的蜘蛛群聚組成。進行分析前，先將數量之數值以開根號法進行資料轉換，以減少優勢物種對後續分析的影響，再以Bray-Curtis similarity計算各次採樣間的距離，並以多維尺度法(Multidimensional Scaling, MDS)檢視各樣區和不同農法間的分群狀況，最後以相似性分析(Analysis of Similarity, ANOSIM)來測試分群結果是否有達到統計上的顯著差異。在蜘蛛類的功能群分類方面，我們參考Cardoso *et al.* (2011)的分類方法並根據本研究調查所收集的樣本做適當的調整，將蜘蛛分以為下6種功能群：1.圓網型(orb web weavers)、2.立體網型(space web weavers)、3.地表結網型(ground web weavers)、4.埋伏型(ambush hunters)、5.地表游獵型(ground hunters)、6.其他游獵型

(other hunters)(表1)。

(三) 環境因子與蜘蛛多樣性之關聯

以線性迴歸(linear regression)分別探討蜘蛛類的數量、物種豐富度及夏農歧異度指數等指標，是否受到上述7個環境條件的影響；此外，我們以BioEnv analysis (optimal matching of Biota to Environment)來分析影響蜘蛛類科及物種群聚差異的主要環境因子(Clarke and Ainsworth 1993)，本項分析是藉由計算群聚結構的距離矩陣和環境因子的距離矩陣，再計算兩距離矩陣間的相关係

數，以挑選出最佳解釋的環境因子組合。

結果

一、魚池鄉茶園蜘蛛類多樣性

本研究共記錄蜘蛛類1,462隻次，包含雄蛛351隻次、雌蛛308隻次、若蛛及性別未知個體803隻次，包含22科、78個形態種。所有樣區皆同時使用掉落式陷阱法、定點搖動法、目視及敲擊法等3種不同的調查方法，調查到的數量分別為672隻次、

表1. 蜘蛛的功能群分類表*

Table 1. List of six spider functional guilds in this study*

Functional guild	Family	Functional guild	Family
(1) Orb web weavers	Anapidae	(5) Ground hunters	Agelenidae
	Araneidae		Gnaphosidae
	Nephilidae		Lycosidae
	Tetragnathidae		Oonopidae
Uloboridae	Clubionidae		
(2) Space web weavers	Mysmenidae	(6) Other hunters	Corinnidae
	Pholcidae		Cheiracanthiidae
	Theridiidae		Linyphiidae
(3) Ground web weavers	Hahniidae		Liocranidae
			Miturgidae
(4) Ambush hunters	Thomisidae		Oxyopidae
		Salticidae	

*:分類方式參考Cardoso *et al.* (2011)並經調整以適合本研究之調查結果。

*: The classification referred to Cardoso *et al.* (2011) and was adapted for the samples of our investigation.

174隻次及616隻次，且不同方法所記錄到的主要蜘蛛類群並不相同。掉落式陷阱主要針對底棲型類群，因此採樣到大部分狼蛛科(Lycosidae)、鷲蛛科(Gnaphosidae)及底棲型的皿網蛛科(Linyphiidae)；定點敲擊法主要針對棲息於茶樹上的類群，因此所採集的樣本多為跳蛛科；而目視搜尋及敲擊法除了棲息於茶樹上的類群外，亦針對結網於茶樹週邊或走道的類群進行採樣，因此除了跳蛛科，也記錄了大部分的金蛛科(Araneidae)、長腳蛛科(Tetragnathidae)及姬蛛科(Theridiidae)等結網性類群。

所調查到的蜘蛛類群以狼蛛科的數量最多(562隻次，占38.4%)，其次分別為跳蛛科(322隻次，占22.0%)及金蛛科(268隻次，占18.2%)，此3科已占總調查數量約78.6%(附錄1)，而其餘類群的調查數量都在100隻次以下。在各科蜘蛛的物種豐富度以跳蛛科最高，共記錄18個物種，其次為金蛛科(17種)及皿網蛛科與姬蛛科(各有10種)。在優勢物種方面，調查結果顯示魚池鄉茶園樣區以旋囊脈狼蛛(*Venonia spirocysta*)最為優勢(310隻次，占47.0%)，其次分別為溝渠豹蛛(*Pardosa laura*) (41隻次，占6.2%)、柔弱黑條蠅虎(*Phintella debilis*) (40隻次，占6.1%)、毛塚兜跳蛛(*Ptocasius strupifer*)(37隻次，占5.6%)及陰溝瘤胸蛛(*Ummeliata feminea*)(24隻次，占3.6%)等，這5種占總調查數量約68.6%(附錄2)，其餘物種的調查數量都在15隻次以下，且有47種目前僅有小於3筆的紀錄。

二、各樣區及不同農法之蜘蛛類多樣性比較

各樣區的蜘蛛調查數量平均為 243.7 ± 48.2 隻次，其中以有機1 ha(301隻次)及有機2h(300隻次)樣區所記錄的數量最高，而數量最低的為慣行1.4 ha(187隻次)樣區，但各樣區間的數量無顯著差異(Kruskal-Wallis rank sum test, $p = 0.12$) (表2)。比較有機茶園及慣行茶園2種不同農法樣區，可發現有機茶園樣區的蜘蛛類調查數量顯著高於慣行茶園樣區的數量(Nested ANOVA, $p = 0.038$)，表示有機茶園樣區整體的蜘蛛類數量高於慣行茶園樣區(表3)。

在科豐富度方面(family richness)，各樣區平均為 11.8 ± 1.8 科，其中有機1 ha、有機2.5 ha、慣行1.4 ha、慣行1.7 ha樣區記錄到的科豐富度最高(各有13科)、而慣行0.8 ha(10科)及有機2 ha(9科)記錄到的科豐富度較低，各樣區間的科豐富度無顯著差異(Kruskal-Wallis rank sum test, $p = 0.09$) (表2)。比較有機茶園及慣行茶園2種不同農法樣區，可發現有機茶園蜘蛛的科豐富度(16科)稍低於慣行茶園(18科)，但不具顯著差異(Nested ANOVA, $p = 0.64$) (表3)。

在物種豐富度方面，我們僅採用659筆成熟個體紀錄來統計物種數量，結果顯示所有樣區平均記錄有 23.2 ± 5.2 種蜘蛛，其中以有機1ha樣區記錄到的物種數最多，共計有31種(每次調查平均 12.5 ± 2.4 種, $N = 4$)，而慣行0.8ha樣區最少，共計有15種(每次調查平均 7.0 ± 1.4 種, $N = 4$)，其餘樣區的物種數則差異不大(21–25種)，而樣區間的物種豐富度並無差異顯著性(Kruskal-Wallis rank sum test, $p = 0.24$) (表2)。比較有機茶園及慣行茶園2種不同農法樣區，可發

表2. 各樣區之座標及蜘蛛類調查數量、科豐富度、物種豐富度、夏儂歧異度指數(H')及均勻度指數(J')

Table 2. Coordinates and abundance, family richness, species richness, Shannon-Wiener diversity index (H') and Pielou's evenness index (J') of spiders of each sampling site

Site*	Coordinate	Abundance	Family richness	Species richness	H'	J'
O1	23.8861, 120.9276	301 (75.3 ± 13.1)	13 (9.8 ± 0.5)	31 (12.5 ± 2.4)	2.142 ± 0.293	0.852 ± 0.082
O2	23.9158, 120.9418	300 (75.0 ± 20.1)	9 (7.0 ± 1.8)	23 (9.8 ± 4.4)	1.316 ± 0.978	0.547 ± 0.328
O2.5	23.8923, 120.9229	233 (58.3 ± 11.7)	13 (8.0 ± 1.2)	25 (9.5 ± 1.9)	1.702 ± 0.356	0.759 ± 0.12
C0.8	23.8824, 120.9317	240 (60.0 ± 35.0)	10 (7.3 ± 0.5)	15 (7.0 ± 1.4)	1.433 ± 0.461	0.737 ± 0.218
C1.4	23.9226, 120.9435	187 (46.8 ± 11.5)	13 (8.3 ± 1.9)	21 (8.5 ± 3.4)	1.848 ± 0.368	0.903 ± 0.057
C1.7	23.8821, 120.9346	201 (50.3 ± 6.7)	13 (8.5 ± 1.0)	24 (8.8 ± 3.0)	1.796 ± 0.451	0.840 ± 0.081
		p = 0.12	p = 0.09	p = 0.24	p = 0.32	p = 0.29

*: 樣區代號O及C分別表示有機及慣行樣區；數字表示改樣區的栽種面積(ha)。

*: The letter O and C indicate organic and conventional sampling sites, respectively; the number in each site indicate plantation area (ha).

表3. 有機及慣性茶園蜘蛛類調查數量、科豐富度及物種豐富度

Table 3. Abundance, family richness, and species richness in organic and conventional farming tea plantations

Farming method	Abundance	Family richness	Species richness	H'	J'
Organic (N = 3)	834 (278.0 ± 39.0)	16 (11.7 ± 2.3)	51 (26.3 ± 4.2)	2.109 ± 0.576	0.642 ± 0.147
Conventional (N = 3)	628 (209.3 ± 27.5)	18 (12.0 ± 1.7)	41 (20.0 ± 4.6)	2.185 ± 0.482	0.729 ± 0.114
	p = 0.038	p = 0.64	p = 0.051	p = 0.90	p = 0.153

粗體標示為有機及慣行茶園間達顯著差異。

Bold font indicates statistical significance.

現有有機茶園樣區所記錄的物種(51種)高於慣行茶園樣區(41種)，在統計上2種不同農法樣區的蜘蛛物種豐富度已接近顯著差異(Nested ANOVA, $p = 0.051$)(表3)。

在生物多樣性指數方面，可發現有機1 ha樣區的平均夏儂歧異度指數是所樣區中最高的($H' = 2.142 \pm 0.293$)，而最低的是有機2 ha樣區($H' = 1.316 \pm 0.978$)，各樣區間的夏儂歧異度指數不具差異顯著性(Kruskal-Wallis rank sum test, $p = 0.322$)；平均均勻度指數則是在慣行1.4 ha樣區最高($J' = 0.903 \pm 0.057$)，而有機2 ha樣區最低($J' = 0.547 \pm 0.328$)，各樣區間物種均勻度指數亦無不同(Kruskal-Wallis rank sum test, $p = 0.29$)(表2)。比較有機茶園及慣行茶園2種不同農法樣區，可發現在夏儂歧異度指數方面，有機茶園($H' = 2.109 \pm 0.576$)及慣行茶園($H' = 2.185 \pm 0.482$)的差異不大(Nested ANOVA, $p = 0.90$)，而平均均勻度指數則是慣行茶園($J' = 0.729 \pm 0.114$)略高於有機茶園($J' = 0.642 \pm 0.147$)，但同樣未達顯著差異(Nested ANOVA, $p = 0.153$)(表3)。

三、各樣區及不同農法施作之蜘蛛類群聚組成

各樣區的蜘蛛類各科組成及數量參考附錄1，顯示主要的優勢類群(包括狼蛛科、跳蛛科、金蛛科、姬蛛科及皿網蛛科等)在所有樣區皆有紀錄，且數量無論是在各樣區間(Kruskal-Wallis rank sum test, $p > 0.05$)或不同農法間(Nested ANOVA, $p > 0.05$)皆沒有差異；但有部分類群的數量在有機茶園顯著高於慣行茶園，包括貓蛛科

(Nested ANOVA, $p < 0.001$)、橫疣蛛科(Nested ANOVA, $p = 0.04$)，而長腳蛛科的數量則是在慣行茶園顯著高於有機茶園(Nested ANOVA, $p = 0.02$)，惟上述由類群僅有長腳蛛科記錄筆數較多(共計40筆)。我們以MDS檢視各樣區依科別組成所計算之分群結果(圖1a)，顯示有機茶園及慣行茶園樣區的區分並不明顯(ANOSIM, $R = 0.481$, $p = 0.1$)，但是在不同樣區間的科級組成則有顯著差異(ANOSIM, $R = 0.251$, $p = 0.013$)，表示部分樣區間的蜘蛛科級組成確實有所差異，但整體來說，在不同農法間的差異則不明確。

各樣區的蜘蛛類物種組成及數量參考附錄2，可發現僅在有機茶園紀錄的有27種，僅在慣行茶園樣區紀錄的有17種，而共有物種有24種(因有10種只有若蛛紀錄，故僅統計成蛛68種)。主要的優勢物種幾乎在有機茶園或慣行茶園樣區都能發現，但分布情況則有所不同。旋囊脈狼蛛幾乎是所有樣區調查數量最多的物種，尤其在有機2 ha樣區，本種被記錄的比例特別高(67.0%)，而有機2.5 ha樣區及慣行0.8 ha樣區的旋囊脈狼蛛也分別占了51.6%及59.0%(圖2)。我們比較有機茶園及慣行茶園樣區間優勢物種的數量，大多皆無顯著差異(Nested ANOVA, $p > 0.05$)，僅有毛塚兜跳蛛的數量在有機茶園樣區高於慣行茶園樣區(Nested ANOVA, $p = 0.032$)。我們以MDS檢視各樣區依照物種組成所計算之分群結果(圖1b)，顯示有機茶園及慣行茶園樣區的區分並不明顯(ANOSIM, $R = 0.037$, $p = 0.5$)，但是在不同樣區間則有顯著差異

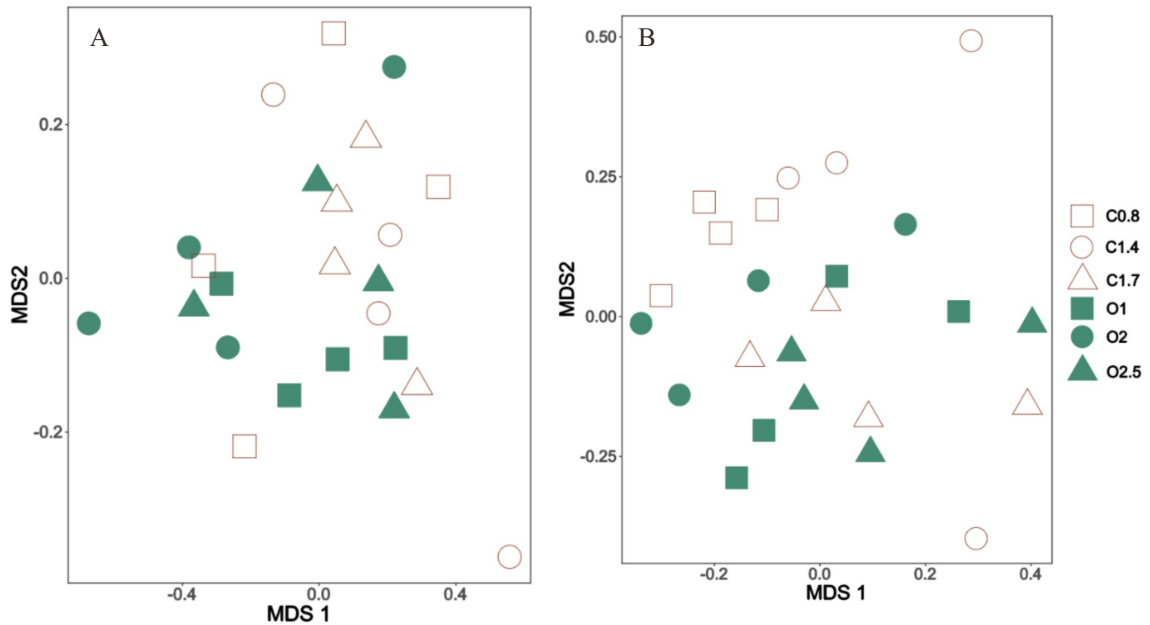


圖1. 以MDS檢視有機茶園及慣行茶園樣區之蜘蛛類群聚組成：(A)依科別組成排序(stress = 0.14)；(B)依物種組成排序(stress = 0.23)。空心符號表示慣行茶園樣區、實心符號表示有機茶園樣區。

Fig. 1. Multidimensional scaling plots of the organic and conventional sampling sites, which are ordinated by (a) family assemblages of each sampling (stress = 0.14) and (b) species assemblages of each sampling (stress = 0.23). Hollow symbols represent samplings at conventional sites, and solid symbols represent samplings at organic sites.

(ANOSIM, $R = 0.346$, $p = 0.001$)，例如有機 1 ha、有機 2.5 ha 及慣行 0.8 ha 等樣區可明顯發現較為集中且可彼此區分，表示部分樣區間的蜘蛛物種組成確實有所差異，但整體來說在不同農法間的差異則不明確。

四、蜘蛛類功能群組成

茶園樣區的蜘蛛功能群以地表游獵型(595 隻次)、其他游獵型(440 隻次)及圓網型(320 隻次)三大類為主，而立體網型(88 隻

次)、埋伏型(9 隻次)及地表結網型(6 隻次)數量較少。無論是有機茶園或慣行茶園，皆以地表游獵型及其他游獵型居多，且可發現這兩類在有機茶園的數量較豐富(圖3)。我們以MDS檢視蜘蛛類的功能群組成是否在不同農法或樣區間有所差異，結果顯示在有機茶園及慣行茶園間(ANOSIM, $R = 0.082$, $p = 0.094$)，以及在各樣區間的區分都不明顯(ANOSIM, $R = 0.059$, $p = 0.249$)。

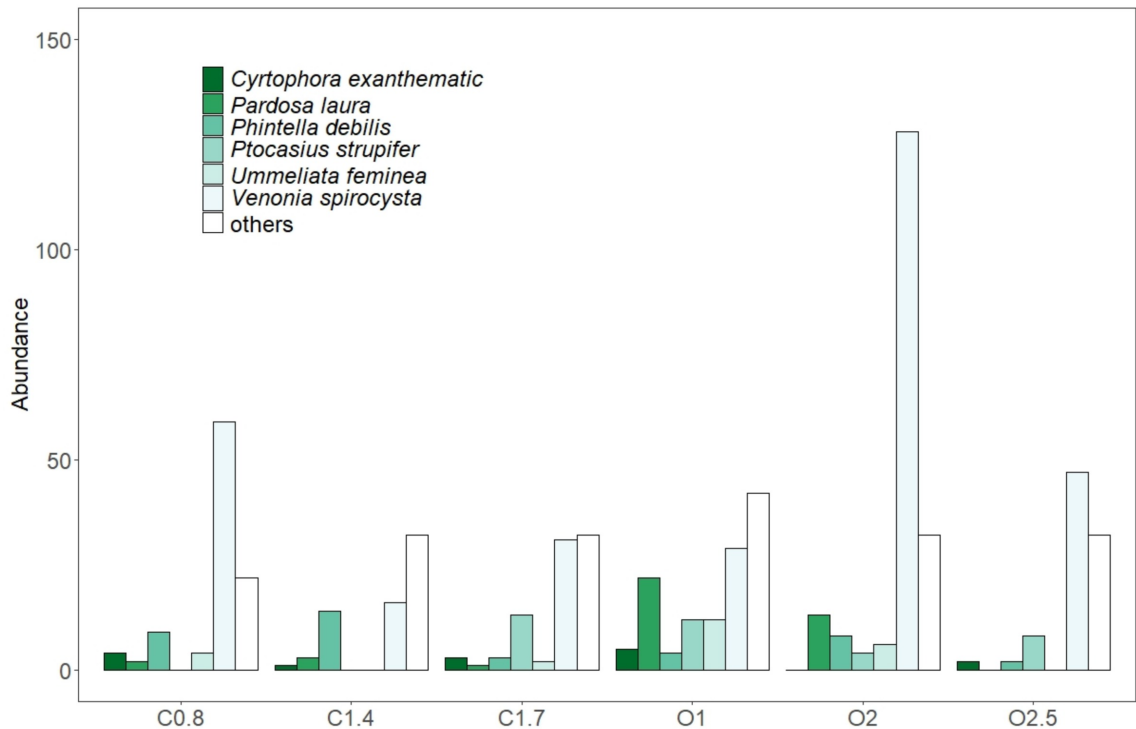


圖2. 蜘蛛類主要優勢物種於各樣區的數量分布。

Fig. 2. Abundance of the dominant spider species at each sampling site.

此結果可能表示茶園對於可提供不同功能群蜘蛛類棲息的環境條件較為有限，因此不同的農法施作對蜘蛛功能群組成的影響較小。

五、環境因子

結果顯示有3項環境條件在機茶園及慣行茶園間有所不同，包括茶樹平均高度在慣行茶園樣區較高(Nested ANOVA, $p = 0.023$)、茶樹覆蓋度亦在慣行茶園樣區較高(Nested ANOVA, $p = 0.003$)，而草生植被覆蓋度則是在有機茶園樣區較高(Nested

ANOVA, $p = 0.007$) (圖4)。此外資料也顯示部分因子間有高度的相關性，例如草生植被覆蓋度與茶樹覆蓋度間($r = -0.84$)，以及溫度及溼度間($r = -0.89$)皆為高度負相關(附錄4)。

我們以簡單線性回歸分別檢視蜘蛛類的數量、物種豐富度及夏儂歧異度指數與各環境條件的關係。在數量上，並未發現任何環境因子可解釋不同農法間蜘蛛類數量上的變化；但是在物種豐富度上，可發現受到草生植被平均高度($R^2 = 0.37$, $p = 0.037$)及草生植被覆蓋度($R^2 = 0.46$, $p =$

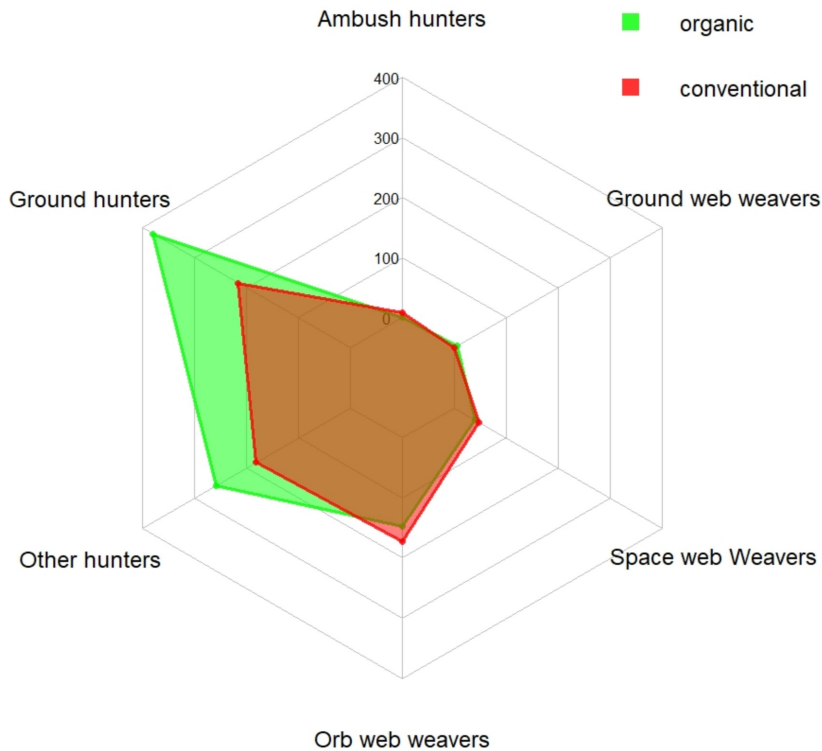


圖3. 有機及慣行茶園各蜘蛛功能群之豐富度。

Fig. 3. Radar chart showing the distribution of spider abundance in different functional guilds on organic and conventional tea plantations.

0.015)的影響，即草生植被平均高度或草生植被覆蓋度越高，其調查到的物種豐富度就越高；在夏農歧異度指數上，亦可發現受到草生植被覆蓋度($R^2 = 0.34$, $p = 0.046$)的影響，即草生植被覆蓋度越高，夏農歧異度指數就越高(圖5A-C)。若進一步檢視各環境因子與各功能群的關聯，則發現其他游獵型功能群蜘蛛的數量受到草生植被平均高度($R^2 = 0.33$, $p = 0.049$)及草生植被覆蓋度($R^2 = 0.61$, $p = 0.002$)的影響(圖5D-E)。此結果顯示草生植被特性對於茶園種的蜘蛛多

樣性有重要的影響。此外，BioEnv分析結果則顯示茶樹平均高度、草生植被平均高度、溫度及相對溼度等4項環境因子的組合與蜘蛛類科級組成有相對較高的相關性($R = 0.4894$)。

討論

農業活動是嚴重影響生物多樣性的重要因素之一，為了在糧食供應及環境永續經營之間取得可接受的平衡，環境友善的耕作型態已越受重視。不過有機農作比起

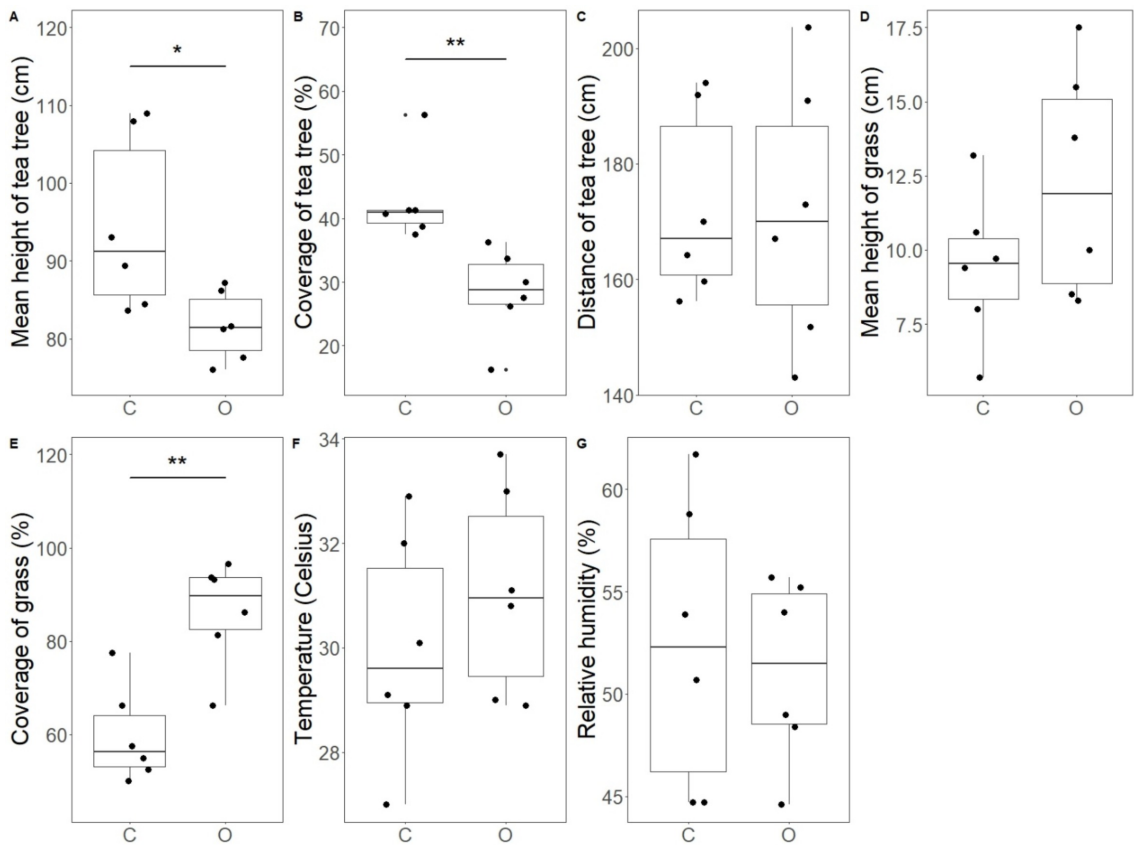


圖4. 有機及慣行樣區各項環境因子比較。X軸分別表示慣行(C)及有機(O)茶園(* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)。

Fig. 4. Comparisons of the environmental factors between organic (O) and conventional (C) sampling sites. (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

慣行農作是否確實有效維持生物多樣性、天敵物種與害蟲之間是否能維持動態平衡等問題，則未有普遍的結論，且難以作出全面性的推測，不同的研究除了在調查方法、試驗設計、分析指標有所差異外，其結論也會因不同的生物類群、作物類型、研究尺度或地景結構等因素而不盡相同

(Bengtsson *et al.* 2005; Hole *et al.* 2005; Tuck *et al.* 2014)。

本研究以蜘蛛類為調查對象，以瞭解魚池鄉地區的茶園在有機農作及慣行農作的不同措施下，是否影響茶園內蜘蛛類的多樣性及群聚組成。結果發現有機茶園中

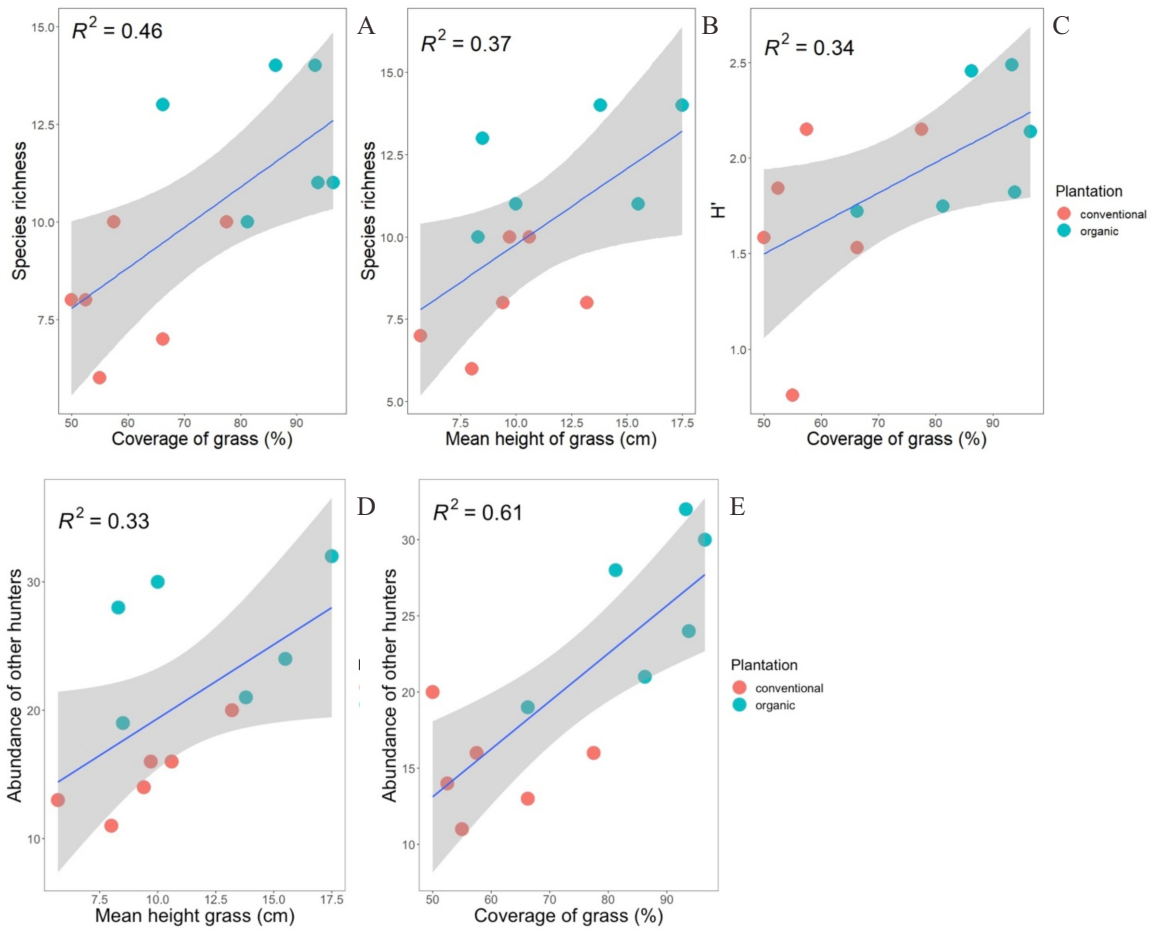


圖5. 物種豐富度與草生植被覆蓋度(A)、物種豐富度與平均草生植被高度(B)、夏農歧異度指數與草生植被覆蓋度(C)、其他游獵型數量與平均草生植被高度(D)及其他游獵型數量與草生植被覆蓋度(E)之線性迴歸；紅點(C)及綠點(O)分別表示於慣行及有機茶園樣區的採樣。

Fig. 5. Linear regressions between (A) the coverage of grass and species richness, (B) mean height of grass and species richness, (C) the coverage of grass and Shannon-Wiener diversity index, (D) mean height of grass and abundance of other hunter guild, and (E) the coverage of grass and abundance of other hunter guild. Points in red indicate samplings of conventional tea plantations; green points indicate samplings of organic tea plantations.

的蜘蛛類數量及物種豐富度皆高於慣行茶園(表3)，雖然只有數量有達到統計上的顯著差異，但這樣的趨勢和過去幾篇報告回顧了大量比較有機與其他農法的研究後，所發現的趨勢大致符合(Fuller *et al.* 2005; Hole *et al.* 2005; Tuck *et al.* 2014)。除了上述比較，不同的農法施作是否影響生物類群的群聚組成則是較少被提及的，而本研究則分別以物種或科的分類層級及功能群的組成來檢視，都未發現有機及慣行茶園樣區間有明顯差異(圖1)。這些結果也顯示選用的指標不同，在比較不同施作農法對多樣性的影響時，可能就會得到不一樣的結論。

有機與慣行農作最大的差異之一，即化學藥劑的使用，包括農藥、除草劑及肥料等。其中農藥的使用可能是造成田間無脊椎動物數量減少非常重要的因素，這項措施不僅抑制害蟲，對於非目標的天敵及中性物種都可能造成直接或間接的傷害。例如Hanna and Hanna (2014)的試驗中發現農藥的殘留物質雖不直接造成蜘蛛類的致命傷害，但卻改變了蜘蛛類的正常求偶、交配等行為，可能因此影響了農業生態系中蜘蛛類族群的生存。此外，許多農業生態系中的無脊椎動物是鳥類、蝙蝠等動物的獵物之一，因此農藥的使用也等同於移除了這些捕食者的重要食物來源；Wilson *et al.* (1999)整理了26種鳥類食性，發現較依賴農地中無脊椎動物為食的鳥類普遍有族群下降的趨勢，指出農藥使用造成無脊椎動物消滅，是造成農業生態系中鳥類族群下降的重要因素之一。本研究也顯示慣行茶園可能因農藥使用而使蜘蛛類有數量較少的現象，而蜘蛛類不僅是許多脊椎動

物的重要食物來源，更是農業生態系中相當重要的天敵物種，具有抑制害蟲的效益(Basnet and Mukhopadhyay 2014; Cotes *et al.* 2018; Lefebvre *et al.* 2017; Michalko *et al.* 2019)；目前雖未評估蜘蛛類數量的減少對於後續抑制害蟲及其他物種生存的效應，但仍應思考在可接受的程度下適當的減少農藥的使用。

除了蟲害之外，園內的雜草因為可能與茶樹競爭水源、養分，也容易蘊藏、滋生病蟲害，為茶樹的生長、產量及生產品質帶來一定程度的損害，因此園內的草類管理也是投入經營管理成本相當高的項目。然而這些底層植被同時也是許多生物的合適棲息環境，無論是透過除草劑或是人工方式除草，都可能讓田間生物多樣性蒙受損失(Thomson and Hoffmann 2009)。而本研究的結果也支持底層植被的維護對蜘蛛類的多樣性有重要的影響，由結果可發現有機茶園的草生植被平均覆蓋度、平均高度皆高於慣行茶園，其中平均覆蓋度達顯著差異(圖4)，而蜘蛛類的物種數與草生植被的平均覆蓋度及高度，皆有顯著的正向關係(圖5)，即草生植被的覆蓋度及高度越高，調查中所記錄到的蜘蛛類物種多樣性就越高，因此本研究的結果符合了天敵假說(natural enemy hypothesis)的預期(Letourneau 1987)。許多調查比較或操作性試驗都支持增加植被的多樣性，無論是透過間作(intercropping)或是在田區內、週邊栽種多樣植被，都可提升天敵物種的數量或物種豐富度，並預期可對有害生物防治有正向的效果(Rieux *et al.* 1999; Landis *et al.* 2000; Thomson and Hoffmann 2009;

Schmidt-Entling and Döbeli 2009; Blaauw and Isaacs 2015; Judt *et al.* 2019)。不過亦有部分研究提出了相反的結果，例如Chen *et al.* (2011)在茶園對底層植被作4種不同處理，包括間種白喜草(*Paspalum notatum*)、圓葉決明(*Cassia rotundifolia*)兩種不同植物、手動移除所有底層植被及維持原有自然植被等，結果發現無論是何種操作，對蜘蛛類的數量及物種豐富度都沒有明顯的差異；Costello and Daane (1998)在葡萄園中的調查結果也發現，蜘蛛類的數量及物種豐富度並未因底層是否有植被覆蓋而有明顯差異。因此底層植被對田區內生物多樣性的影響，可能依調查物種、地理環境、研究方法等差異而有不同的結論。但除了對生物多樣性的影響，底層植被仍有其他效益，包括減緩水分徑流與土壤侵蝕、改善土壤肥力、提高土壤養分及有機質、使土壤通透性及孔隙度提高、抑制其他雜草生長等(Song *et al.* 2006; Chen *et al.* 2011)，這些都可促進茶樹的生長、提高產量與品質，而在田區週邊增加植被，可提供天敵物種作為暫時的庇護所，在田間管理、收耕等人為干擾過後，能更快速的恢復原有狀態(Wilson *et al.* 1999; Baba and Tanaka 2016)。故建議在蟲害、安全無虞的條件下，可適當的維持或增加底層、週邊植被的經營，以創造對環境更友善的棲息環境。

一般認為有機農作可藉由維持天敵物種的數量及多樣性，進而達到抑制蟲害、形成動態平衡的效果。然而實際上天敵數量或物種數的增加，卻未必會如預期對抑制蟲害有正向的作用，例如Straub *et al.*

(2008)便提出透過生態位互補(niche complementarity)、同功群間捕食(intraguild predation, IGP)及功能冗餘性(functional redundancy)等不同的機制，會分別有正向、負向或是中性的效用，其中前兩者作用已受到比較廣泛的討論。同功群間捕食是指天敵物種不僅會捕食害蟲，也會捕食其他天敵物種，例如蜘蛛類一般是屬於廣食性的捕食者(generalist predator)，且常有同類相食(cannibalism)的現象，若高階捕食者會影響到中階捕食者(mesopredator)的生存、減少其捕食效率、改變其移動或其他行為等，反而可能使害蟲被捕食的壓力降低。因此單純的提高蜘蛛類等天敵的數量或物種豐富度，未必能有效達到生物防治的目的(Michalko *et al.* 2019)，也不是生物防治潛力的良好指標。最佳的情況是能透過生態位互補的機制，包括獵物的類型(種類、體型等)、時間(季節、日夜)、空間(垂直或橫向)、捕食模式(坐等型或游獵型)的互補等，使天敵數量及多樣性的增加對生物防治有增效的效果(Cotes *et al.* 2018; Michalko *et al.* 2019)。除了天敵會影響害蟲與作物間的互動關係外，作物本身的特性及豐富度可能也會影響天敵或天敵與害蟲間的互動，例如許多植物遭受昆蟲取食後會釋放揮發性物質(Herbivore-induced plant volatiles, HIPVs)，吸引這些害蟲的天敵前來，因此可藉由HIPVs增加農業生態系中的天敵；或是植物透過化學或物理性的防禦機制達到抵抗害蟲的作用，也間接影響害蟲與其天敵的互動。因此考量到作物、害蟲、天敵間的三營養階層系統(tri-trophic system)亦

是生物防治關鍵(Birch *et al.* 1999; de Siqueira Neves *et al.* 2011; Mooney *et al.* 2012; Turlings and Erb 2018; Abdala-Roberts *et al.* 2019; 余 2013)。

本研究限於小尺度範圍、且未以整體地景結構的角度考量，然而田間的施作農法及地景異質度(landscape heterogeneity)皆會同時改變生物多樣性的狀況(Weibull *et al.* 2003; Muneret *et al.* 2019)，因此目前結果仍無法得知有機農法對茶園中蜘蛛類多樣性的相對影響性多高。當以地景尺度來看並納入地景結構分析，或是探討不同的生物類群，有機茶園對於生物多樣性影響的結論即可能有所不同。相對於鳥類、蝙蝠等脊椎動物，蜘蛛類對於微棲地(microhabitat)選擇有更明顯的偏好，因此預期會更容易在小尺度範圍下，發現不同農法間的各项措施、植被管理，對其多樣性的影響。有關茶園環境的蜘蛛多樣性過去研究相對較少，因此蜘蛛類與獵物的互動及生態過程、在茶園的蟲害控制上扮演何種角色仍不清楚。本篇顯示有機茶園及底層植被的維持有助於提升蜘蛛類的數量及物種多樣性，而未來仍需涵蓋不同季節、地理尺度，以及納入地景元素的研究，進一步瞭解有機農法、植被管理與地景結構對蜘蛛多樣性的交互效應，並進一步從蜘蛛類的功能特徵角度瞭解茶園中蜘蛛與害蟲及環境的互動，以及在蟲害抑制方面所扮演的角色，以期能為有機茶園的施作與管理提供更好的經營策略。

致謝

本研究由行政院農業委員會茶業改良

場(108年度有機茶示範場域建置與推動之委託生態調查案)及特有生物研究保育中心提供經費支持(計畫編號：108農科-10.9.1-生-W4)。感謝台灣農林股份有限公司廖皇樺先生提供試驗場域及協助，本中心莊育達先生於野外調查的協助及魏琦小姐對本文稿的詳細審閱與建議。

參考文獻

- Abdala-Roberts, L., A. Puentes, D. L. Finke, R. J. Marquis, M. Montserrat, E. H. Poelman, S. Rasmann, A. Sentis, N. M. Dam, G. Wimp, K. Mooney, and C. Björkman. 2019. Tri-trophic interactions: bridging species, communities and ecosystems. *Ecology Letters* 22:2151–2167.
- Baba, Y. G. and K. Tanaka. 2016. Factors affecting abundance and species composition of generalist predators (*Tetragnatha* spiders) in agricultural ditches adjacent to rice paddy fields. *Biological Control* 103:147–153.
- Basnet, K. and A. Mukhopadhyay. 2014. Biocontrol potential of the lynx spider *Oxyopes javanus* (Araneae: Oxyopidae) against the tea mosquito bug, *Helopeltis theivora* (Heteroptera: Miridae). *International Journal of Tropical Insect Science* 34:232–238.
- Bengtsson, J., J. Ahnström and A.-C. Weibull. 2005. The effects of organic

- agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis: Organic agriculture, biodiversity and abundance. *Journal of Applied Ecology* 42:261–269.
- Birch, A. N. E., I. E. Geoghegan, M. E. N. Majerus, J. W. McNicol, C. A. Hackett, A. M. R. Gatehouse, and J. A. Gatehouse. 1999. Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance. *Molecular Breeding* 5:75–83.
- Blaauw, B. R. and R. Isaacs. 2015. Wildflower plantings enhance the abundance of natural enemies and their services in adjacent blueberry fields. *Biological Control* 91:94–103.
- Cardoso, P., S. Pekár, R. Jocqué and J. A. Coddington. 2011. Global patterns of guild composition and functional diversity of spiders. *PLoS ONE* 6:e21710.
- Chamberlain, D. E., R. J. Fuller, R. G. H. Bunce, J. C. Duckworth and M. Shrubbs. 2000. Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales. *Journal of Applied Ecology* 37:771–788.
- Chen, L.-L., M.-S. You and S.-B. Chen. 2011. Effects of cover crops on spider communities in tea plantations. *Biological Control* 59:326–335.
- Chen, Y.-F., Z.-H. Chen, C.-Q. Song and H.-Z. Xu. 2004. Review on the investigation and protection measurement of spiders in Chinese tea gardens. *Acta Arachnologica Sinica* 13:125–128.
- Clarke, K. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series* 92:205–219.
- Costello, M. J. and K. M. Daane. 1998. Influence of ground cover on spider populations in a table grape vineyard. *Ecological Entomology* 23:33–40.
- Cotes, B., M. González, E. Benítez, E. De Mas, G. Clemente-Orta, M. Campos and E. Rodríguez. 2018. Spider communities and biological control in native habitats surrounding greenhouses. *Insects* 9:33.
- Froidevaux, J. S. P., B. Louboutin and G. Jones. 2017. Does organic farming enhance biodiversity in Mediterranean vineyards? A case study with bats and arachnids. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 249:112–122.
- Fuller, R. J., L. R. Norton, R. E. Feber, P. J. Johnson, D. E. Chamberlain, A. C.

- Joys, F. Mathews, R. C. Stuart, M. C. Townsend, W. J. Manley, M. S. Wolfe, D. W. Macdonald and L. G. Firbank. 2005. Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biology Letters* 1:431–434.
- Han, B.-Y. 2005. Difference in dynamic and structure of spider communities in organic and non-pollution and common tea gardens. *Acta Arachnologica Sinica* 14:104–107.
- Hanna, C. and C. Hanna. 2014. Sublethal pesticide exposure disrupts courtship in the striped lynx spider, *Oxyopes salticus* (Araneae: Oxyopidae). *Journal of Applied Entomology* 138:141–148.
- Hardman, C. J., D. P. G. Harrison, P. J. Shaw, T. D. Nevard, B. Hughes, S. G. Potts and K. Norris. 2016. Supporting local diversity of habitats and species on farmland: a comparison of three wildlife-friendly schemes. *Journal of Applied Ecology* 53:171–180.
- Hazarika, L. K., M. Bhuyan and B. N. Hazarika. 2009. Insect pests of tea and their management. *Annual Review of Entomology* 54:267–284.
- Hole, D. G., A. J. Perkins, J. D. Wilson, I. H. Alexander, P. V. Grice and A. D. Evans. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113–130.
- Judt, C., G. Guzmán, J. A. Gómez, J. M. Cabezas, J. A. Entrenas, S. Winter, J. G. Zaller and D. Paredes. 2019. Diverging effects of landscape factors and inter-row management on the abundance of beneficial and herbivorous arthropods in Andalusian vineyards (Spain). *Insects* 10:320.
- Krebs, J. R., J. D. Wilson, R. B. Bradbury and G. M. Siriwardena. 1999. The second Silent Spring? *Nature* 400:611–612.
- Landis, D. A., S. D. Wratten and G. M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175–201.
- Lefebvre, M., P. Franck, J. Olivares, J.-M. Ricard, J.-F. Mandrin and C. Lavigne. 2017. Spider predation on rosy apple aphid in conventional, organic and insecticide-free orchards and its impact on aphid populations. *Biological Control* 104:57–65.
- Letourneau, D. K. 1987. The enemies hypothesis: tritrophic interactions and vegetational diversity in tropical agroecosystems. *Ecology* 68:1616–1622.
- Li, X.-D., P.-W. Feng, H.-T. Hu, J.-L. Li and J.-X. Cao. 2014. Effects of low-carbon management on community structure of web spiders in tea plantations. *Chinese*

- Agricultural Science Bulletin 30:153–157.
- Michalko, R., S. Pekár and M. H. Entling. 2019. An updated perspective on spiders as generalist predators in biological control. *Oecologia* 189:21–36.
- Mooney, K. A., R. T. Pratt, and M. S. Singer. 2012. The Tri-Trophic Interactions Hypothesis: Interactive Effects of Host Plant Quality, Diet Breadth and Natural Enemies on Herbivores. *PLoS ONE* 7:e34403.
- Muneret, L., A. Auriol, O. Bonnard, S. Richart-Cervera, D. Thiéry and A. Rusch. 2019. Organic farming expansion drives natural enemy abundance but not diversity in vineyard-dominated landscapes. *Ecology and Evolution*:ece3.5810.
- Nyffeler, M. 2000. Ecological impact of spider predation: a critical assessment of Bristowe's and Turnbull's estimates*. *Bulletin of the British Arachnological Society* 11:367–373.
- Nyffeler, M. and K. Birkhofer. 2017. An estimated 400–800 million tons of prey are annually killed by the global spider community. *The Science of Nature* 104:30.
- Rieux, R., S. Simon and H. Defrance. 1999. Role of hedgerows and ground cover management on arthropod populations in pear orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 73:119–127.
- Schmidt-Entling, M. H. and J. Döbeli. 2009. Sown wildflower areas to enhance spiders in arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133:19–22.
- Schrama, M., J. J. de Haan, M. Kroonen, H. Verstegen and W. H. Van der Putten. 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 256:123–130.
- de Siqueira Neves, F., M. Fagundes, C. F. Sperber, and G. W. Fernandes. 2011. Tri-trophic level interactions affect host plant development and abundance of insect herbivores. *Arthropod-Plant Interactions* 5:351–357.
- Song, T.-Q., K.-L. Wang, W.-X. Peng, J.-R. Wang, R.-L. Xiao, F.-P. Zeng and Y. Tang. 2006. Ecological effects of intercropping white clover on tea plantation in a subtropical hilly region. *Acta Ecologica Sinica* 26:3647–3655.
- Stoate, C., N. D. Boatman, R. J. Borralho, C. R. Carvalho, G. R. de Snoo and P. Eden. 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management* 63:337–365.

- Straub, C. S., D. L. Finke and W. E. Snyder. 2008. Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control* 45:225–237.
- Thomson, L. J. and A. A. Hoffmann. 2009. Vegetation increases the abundance of natural enemies in vineyards. *Biological Control* 49:259–269.
- Tilman, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292:281–284.
- Tuck, S. L., C. Winqvist, F. Mota, J. Ahnström, L. A. Turnbull and J. Bengtsson. 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51:746–755.
- Turlings, T. C. J., and M. Erb. 2018. Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential. *Annual Review of Entomology* 63:433–452.
- Weibull, A.-C., O. R. O. Stman and S. Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12:1335–1355.
- Wilson, J. D., A. J. Morris, B. E. Arroyo, S. C. Clark and R. B. Bradbury. 1999. A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 75:13–30.
- Yang, T., J. Liu, L. Yuan, Y. Zhang, D. Li, I. Agnarsson and J. Chen. 2017. Molecular identification of spiders preying on *Empoasca vitis* in a tea plantation. *Scientific Reports* 7:7784.
- 余志儒。2013。東方果實蠅卵與瓜實蠅卵作為飼養錨紋瓢蟲代用食物之合適性評估。台灣農業研究 62(1)：1–10。
- 李光中。2016。地景尺度著眼的里山倡議與生態農業。地景保育通訊 42：12–18。
- 林伯霖。2011。茶產業發展現況與未來展望：以南投縣茶產業發展為例。農業推廣文彙 56：291–296。
- 林木連、謝靜敏、陳玄。2007。茶園農業氣象災害與因應策略。作物、環境與生物資訊 4：35–40。
- 汪靜明。2003。環境教育的生態理念與內涵。環境教育學刊 2：9–46。
- 范美玲。2017。臺灣東部水稻田無脊椎動物-多樣性與指標物種研究。豐年雜誌 67：72–77。
- 范美玲、蔡思聖、林泰佑、倪宇亭、黃鵬、李光中。2013。不同農業操作對台灣東部水稻田無脊椎動物多樣性之影響。花蓮區農業改良場研究彙報

31：53-64。

蔡思聖、許宏昌、徐仲禹、黃國靖、吳文欽、黃佳興、范美玲。2018。乾溼交替節水灌溉方法對水稻田稻叢及水域無脊椎動物群集功能多樣性的影響。花蓮區農業改良場研究彙報：13-29。