

以菊科植物營造水稻田天敵棲所之研究¹

林 立²、翁崧夏³

摘 要

本研究主在探討於水稻田埂及周邊種植多樣菊科開花植物以及保留非禾本科野花是否能營造水稻田之生物多樣性，及其對於害蟲數量的影響。104年一期作時於水稻田旁的田埂撒播孔雀草和百日草之混合種子，俟兩個月後調查田間無脊椎動物。結果顯示利用菊科植物建構田埂植被之試驗田區內共捕獲56種無脊椎動物，多於對照田區的42種；第一期作試驗田區內所捕獲的擬寄生性功能群所佔的相對豐量為6.4%較對照田區的3.7%高，且田間白背飛蟲（*Sogatella furcifera* (Horv'ath)）的族群數量較不易驟升。第二期作試驗田區內則共捕獲84種無脊椎動物，多於對照田區的70種，所捕獲的擬寄生性和捕食性功能群的相對豐度分別為24.9%和10.2%，高於對照田區的14.4%和5.2%；而對照田區的害蟲功能群之相對豐量達65.7%，高於試驗田區的42.5%，主要捕獲害蟲為黑條黑尾葉蟬，數量高峰可達每採樣點平均63.3隻，顯著高於試驗田區的 40 隻。本研究顯示菊科開花植物不僅可增加田區內節肢動物生物多樣性，並且能增加捕食者及擬寄生者節肢動物之數量，以及維持穩定的害蟲族群不致驟增而造成危害。

關鍵詞：水稻田、生態系統服務、菊科植物、天敵

1.行政院農業委員會花蓮區農業改良場研究報告第 265 號。

2.行政院農業委員會花蓮區農業改良場作物環境課助理研究員。

3.行政院農業委員會花蓮區農業改良場作物環境課研究助理。

前言

生物防治法 (biological control method)，一直為有機農法蟲害防治之重要方法。過去，田間生物性害蟲防治包含利用性費洛蒙誘捕害蟲、於田間釋放害蟲天敵等方式，以降低害蟲族群密度。近年來則有機農法除了不使用化學藥劑之外，更重要的精神在於維持田區生物多樣性達到永續經營之目的，因此，建構生態友善 (Eco-friendly) 的農田環境，利用豐富的生物相達農田生態系之平衡，是建立在生態系統服務 (ecosystem service) 的概念上，來達到長期田間害蟲管理 (Way and Heong, 1994; Costanza *et al.*, 1997)。

農田生態工法 (Ecological engineering)、生物棲所營造 (habitat manipulation)、農田景觀化 (Farmscaping) 這三種名詞意思相似，意指以環境營造的方式增加農田生物多樣性，藉由複雜而穩定的食物鏈關係趨於平衡，有效管理害蟲族群，最終達生物防治之功效 (楊與林 2008; Ponti *et al.*, 2005; Butler *et al.*, 2007; Simon *et al.*, 2010; Gurr *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2014)，另一方面，增加農田開花植物數量，可以提供寄生性天敵成蟲充足的能量來源，使天敵族群穩定而加強其生物防治的功能。許多報告顯示增加農田開花性植物種類，可有效抑制特定害蟲數量，例如種植馬利筋可抑制白蘿蔔偽菜蚜族群 (楊與林 2010; 林與楊 2012; Marino and Landis, 1996; Wratten *et al.*, 2002)。

在有機田區應用棲地營造之技術，不僅能降低田間蟲害問題、減少非農藥資材之消耗，同時增加田區景觀，實有一舉數得之效。綠籬原為屏障、遮蔭之用，應用於農業除有防風與阻隔外來物外，也提供農田害蟲天敵棲所，達到生物防治之效，並有觀賞與美化田區等附加價值 (呂等 2002; Ponti *et al.*, 2005; 楊與林 2008)。花粉或花蜜為害蟲天敵昆蟲生活史某些階段之營養來源，於田埂種植開花植物同樣能吸引天敵昆蟲駐進，於農田種植吸引益蟲植物 (Insectary plant) 可增加有益天敵數量，增加生態系統服務功能 (Kopta *et al.*, 2012)，並降低其他外加資材的投入花費和人力，已成為有機農業永續管理害蟲的概念和方法。

目前，國內有機農業生物性防治害蟲技術中，僅有少數種類之害蟲天敵有大量飼養並且商品化的生產技術，突顯棲地操作應用於田間害蟲防治之重要，而國內探討棲地操作營造與田間害蟲關係之研究卻顯缺乏。東臺灣的宜蘭花蓮地區有機農業驗證面積達全國 1/4，為國內有機生產主要區域，有機栽培與病蟲害防治方法需同步精進，其中，水稻田一般為大面積種植，更需要導入多樣的植被以平衡稻田農業生態系統。學者研究指出於水稻田周邊種植芝麻，芝麻開的花可增加水稻田內三種寄生蜂的壽命和生殖率 (Zhu *et al.*, 2015)。棲地異質性增加亦能有效增加捕食性蜘蛛的防治功效，主要是空間異質造成捕食性節肢動物有較多的藏匿空間，藉此穩定捕食者與被掠食者的交互關係 (Rossi *et al.*, 2006; Takashi *et al.*, 2006; Gurr *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2014)。本研究將針對水稻田進行田埂植被建構，營造天敵棲所並探討對於害蟲管理之影響，希冀試驗結果能應用於改善有機農耕作環境，降低有機農業經營管理強度與害蟲防治資材使用，真正落實有機農業「自然」、「永續」之精神。

材料與方法

(一) 試驗田選擇

104 年於花蓮縣花蓮市選定一處長 100 m，寬 20 m 的水稻田，其中一長邊具有雙田埂，田埂寬度大約 40 cm，試驗期間田區完全以不施化學農藥之有機農法操作，種植水稻品種為臺農 74 號。另外並於距離此田區 20 m 外設置一對照組，田區大小形狀與試驗田區相當，種植品種與操作方式皆相同。

(二) 試驗方式

將三種菊科植物孔雀草、萬壽菊、百日草三種種子等比例混合，與適量沙子混拌，以 200 g 種子/100 m 的比例撒播於田區最外側的田埂全長共 100 m，撒播時間為水稻插秧前 10 d，俟插秧後 60 d 後菊科植物開花時開始調查田區裡之無脊椎動物，此時為水稻有效分蘖終止期。調查前先在田區量測設置 6 個取

樣點，其中 3 個取樣點距離菊科植物田埂 5 m，而每個取樣點彼此之間距離 10 m，另外 3 個取樣點則距離田埂 10 m（即田區最中央處），每個取樣點之間同樣距離 10 m。

調查時以掃網方式和自製透明黏板進行取樣。掃網調查時手持直徑 38 cm 白色蟲網從其中一個取樣點行走至下一個取樣點，邊行走邊在稻叢中以 8 字形揮動進行掃網取樣，每個樣點掃 30 網放置透明封口袋中，一塊田區共 6 袋，每兩個禮拜取樣一次，每次取樣後三天內進行取樣物種的無脊椎物種鑑定和計數。除了將所有取樣之無脊椎動物進行鑑定分類之外，另外亦針對水稻田兩種重要害蟲-飛蟲（褐飛蟲和白背飛蟲）和葉蟬（黑尾葉蟬）害蟲以及所有捕獲之擬寄生者（主要為寄生蜂）進行計算。另外於每個取樣點設置一自製透明黏板（長寬 29.7*21 cm），黏板放置高度稍高於水稻植株，兩個禮拜更換一次，計算其捕獲之生態指標物種橙瓢蟲 (*Micraspis discolor* (Fabricius)) 之數量並與對照田區數據進行比較(范等, 2013)。使用透明黏板取代黃色黏板的原因在於可隨機捕獲經過之物種，屏除顏色對於昆蟲造成之趨性因素。上述處理和調查皆於 104 年持續進行兩個期作。

（三）調查與分析

計算調查物種數和個體數後製成族群動態圖，並分析其族群動態所有物種將被分類稻害者 (Pest)、中性物種 (Neutral Species)、捕食者 (Predator) 和寄生者 (Parasitoid) 不同功能群，換算成相對豐量表示，相對豐量=(該功能群總隻數/所有捕獲物種總隻數)*100%。並以”Ecosim”軟體進行 Hurlbert’s PIE、Shannons Diversity index 和 Abundances 分析。

結果與討論

由掃網調查結果顯示，本次針對稻株地上部(shoot system) 進行掃網調查共捕獲節肢動物門 112 種約 10,000 隻（結果未顯示）。

由掃網調查結果顯示（表一），所調查物種功能群中，稻害者 (Pest) 在處理區和對照區各捕獲 11 種和 10 種，相對豐量分別為 22.2%和 23.6%，無明顯差異；捕食者 (Predator) 物種的相對豐量或物種數於兩田區亦無顯著差別，但捕食性功能群的組成主要由金蛛科卵形鬼蛛 (*Araneus inustus*)、金蛛科茶色姬鬼蛛 (*Neoscona punctigera*)、日本長腳蛛 (*Tetragnatha maxillosa*)、爪哇長腳蛛 (*Tetragnatha javanica*)、姬蛛科紅腳姬蛛 (*Nesticodes rufipes*)、狼蛛科星豹蛛 (*Pardosa astrigera*)、橙瓢蟲 (*Micraspis discolor*) 和水蠅科螳水蠅屬 (*Ochthera* sp.) 此 8 種物種所貢獻。而調查結果發現，處理田區擬寄生性天敵 (Parasitoid) 比例顯著較對照組高 ($p<0.05$)，多以膜翅目姬蜂總科昆蟲為主，貢獻 8 種物種於調查的 11 種寄生性天敵中。中性物種 (Neutral Species) 主要包含雙翅目屬腐食性的肉蠅、渚蠅，和以有機碎屑為食、耐低溶氧環境的搖蚊及雜食性的蟻科物種為主，其相對豐量在兩田區中無顯著差異。

表一、第一期作捕獲各生態功能群的物種數與相對豐量

Table 1. Species number and relative abundance of each ecological function groups in 1st crop.

	Treated field		Control field	
	Species	RA ^z	Species	RA
Pest	11	22.20%	10	23.60%
Neutral Species	23	40.60%	19	37.90%
Predator	11	30.80%	8	34.80%
Parasitoid	11	6.40%	5	3.70%
Total No. of Species	56		42	

^zRA, relative abundance.

第二期作中針對稻株地上部進行掃網調查共捕獲節肢動物門 103 種 4,540 隻。其中處理田區中採獲 84 種，在對照田區中僅捕獲 70 種。所調查到的功能群集中（表二），稻害者（Pest）於對照田區中相對豐度極高為 65.7%，但處理區明顯較少為 42.5%；而天敵物種無論是捕食性（Predator）或擬寄生性（Parasitoid），其相對豐量或物種數皆以處理田區的群集較高，擬寄生性膜翅目為主要構成的群集；中性物種屬腐食性的液蠅和縞蠅，或是以有機碎屑為食、耐低溶氧環境的搖蚊為主，處理組捕獲數量較對照田區多。由表一可天敵種類以寄生性為最顯著，由第一期作的寄生性天敵相對豐量 6.4% 相較於對照組的 3.7%，以及第二期作的 24.9% 相較於 14.4%，可明顯看出有花朵的田區寄生性天敵數量與無營造花朵隻田區差異性，而其中針對第一期作二化螟和二期作瘤野螟的寄生性天敵比較後亦可發現其數量在菊科植物營造田區明顯多出對照區 1.5 倍以上。而無論是 Species richness、Hurlbert's PIE、Shannons Diversity index^b、和 Abundances，處理田區的數值皆較對照區為高，顯示以菊科開花植物處理後的田間能夠增加田區生物多樣性並間接達到害蟲的生物防治效果。

表二、第二期作各生態功能群的物種數與相對豐量

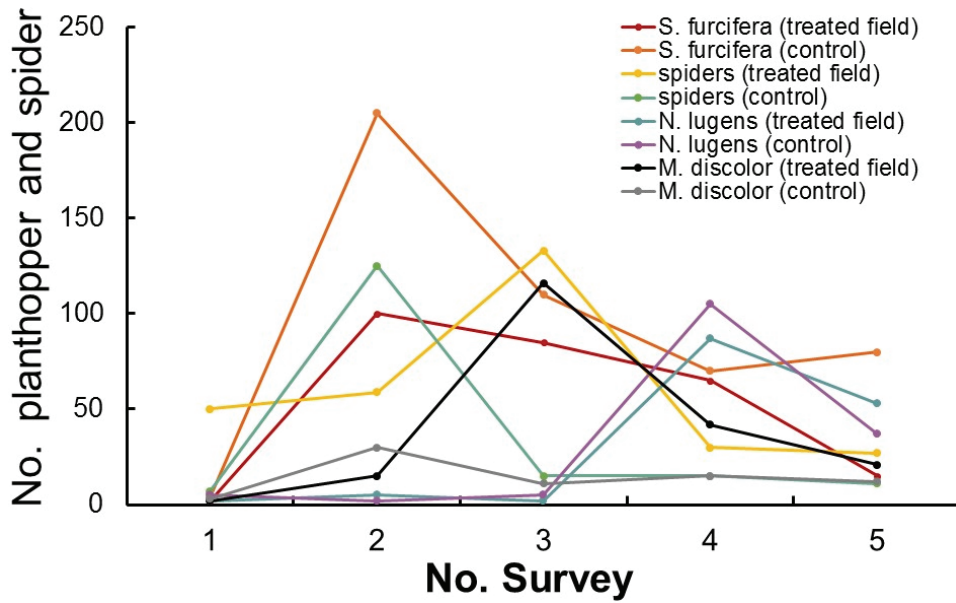
Table2. Species number and relative abundance of each ecological function groups in 2nd crop.

	Treated field		Control field	
	Species	RA ^z	Species	RA
Pest	20	42.5%	25	65.7%
Neutral Species	22	22.4%	13	14.7%
Predator	17	10.2%	12	5.2%
Parasitoid	25	24.9%	20	14.4%
Total No. Species	84		70	

^zRA, relative abundance.

本試驗發現田區內鱗翅目害蟲危害甚微，因此主要關注飛蟲類和葉蟬類害蟲的族群變化。調查物種結果顯示，曾有文獻記載之飛蟲類和葉蟬類害蟲捕食性天敵有金蛛科卵形鬼蛛（*Araneus inustus*）、金蛛科茶色姬蜘蛛（*Neoscona punctigera*）、日本長腳蛛（*Tetragnatha maxillosa*）、爪哇長腳蛛（*Tetragnatha javanica*）、姬蛛科紅腳姬蛛（*Nesticodes rufipes*）、狼蛛科星豹蛛（*Pardosa astrigera*）和橙瓢蟲（*Micrapspis discolor*），擬寄生性天敵為稻蝨縷小蜂（*Anagrus nilaparvata*），但兩期作調查發現飛蟲類和葉蟬類害蟲之擬寄生性天敵數量明顯偏低，故不列入討論範圍。圖一為第一期作不同取樣時間點之褐飛蟲、白背飛蟲和捕食性蜘蛛的數量變化，以一期作試驗捕獲之褐飛蟲（圖一）而言，數量相當少趨近於零，僅在最後兩次採樣時有增加的趨勢，第 4 次取樣處理組數量稍低於對照組，第 5 次則相反，結果顯示處理田區與對照田區內褐飛蟲的族群動態趨勢無差異。對照田區白背飛蟲的族群數量則在第 2 次取樣時上升達 200 隻（/30 網），在同一時間處理田區數量僅約 99 隻（/30 網），約為對照組的一半，趨勢顯示對照田區內的白背飛蟲於水稻抽穗後急遽增加，然而後續第 3-5 次取樣則無明顯差異。綜觀圖一折線圖，顯示對照區相較於處理區飛蟲害蟲族群變動起伏較大。此外，處理田區內捕食性蜘蛛和橙瓢蟲（*Micrapspis discolor*）的族群數量皆於飛蟲類害蟲族群量增加後逐漸攀升，此為生態系統服務能力的效果顯現。

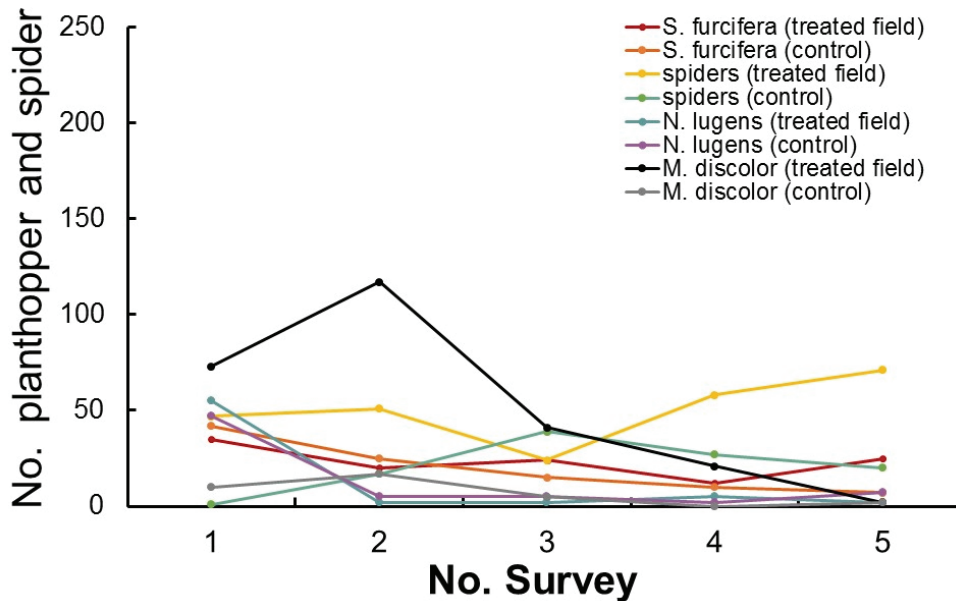
過往研究顯示，殺蟲劑和除草劑經常性的噴施對於的病蟲害再次崛起有明顯相關性，另外對於蜘蛛和其他天敵的負面影響甚大；相較之下，未噴灑農藥的水稻田的蟲害問題相對較少，且蜘蛛被認為是水稻生育初期重要的捕食者，抑制飛蟲類和葉蟬類害蟲具有相當效果（Sigsgaard, 2000）。長腳蛛屬和豹蛛屬對於合成除蟲菊精類、部分有機磷類和胺基甲酸鹽類農藥敏感度極高（Tanaka *et al.*, 2000），故本研究推測慣行水稻田的蜘蛛族群於水稻抽穗期間飛蟲類害蟲無法有效壓制，白背飛蟲族群數量第 2 次取樣時上升達 200 隻（/30 網），在同一時間處理田區數量僅約 99 隻（/30 網）。



圖一、飛蟲類害蟲、捕食性天敵蜘蛛和橙瓢蟲於一期作試驗之族群變化。

Fig. 1. The population dynamic of planthopper, spider and *M. discolor* on rice in the 1st crop.

第二期作之飛蟲類害蟲族群變動結果如圖二所示，褐飛蟲數量並不多，在第一次調查時捕獲 40-50 隻，往後 4 次調查則降為 10 隻以下；白背飛蟲族群數量亦都在 20 隻以下，數量均低，無法藉由本期作看出害蟲防治之生態系統服務能力。

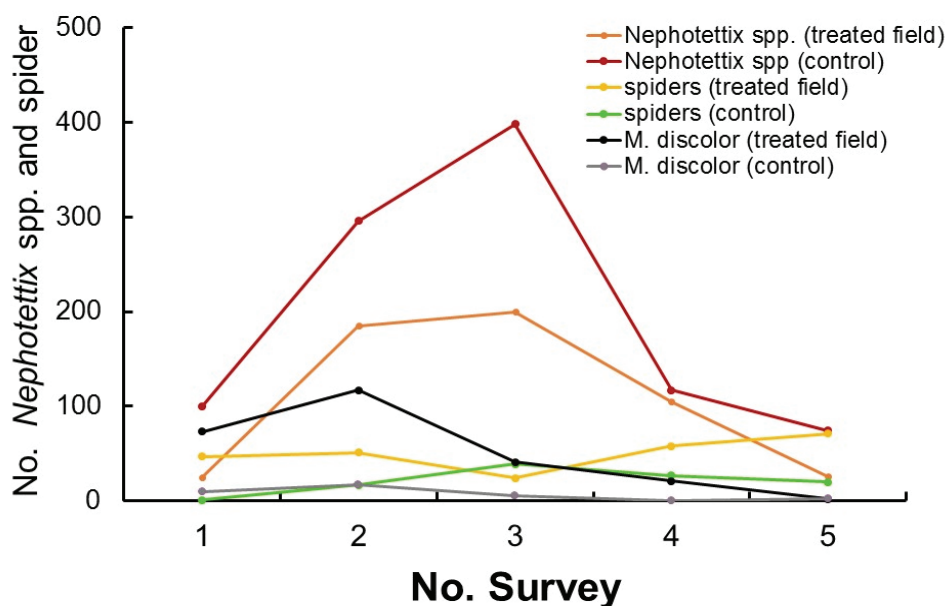


圖二、飛蟲類害蟲、捕食性天敵蜘蛛和橙瓢蟲於二期作試驗之族群變化

Fig. 2. The population dynamic of planthopper, spider and *M. discolor* on rice in the 2nd crop.

然而在黑條黑尾葉蟬五次取樣結果顯示其數量皆為對照組高於處理組，尤其數量在第 3 次掃網時呈現最高峰，處理組捕獲隻數為 215 隻（/30 網），對照組則為 395 隻（/30 網），統計上具有顯著差異（圖三）。然而，在第二期作無論是處理田區還是對照田區內捕食性蜘蛛和橙瓢蟲（*Micrapspis discolor*）的族群數量皆未隨黑條黑尾葉蟬數量上升而隨之增加，可見其生態系統服務能力對於黑條黑尾葉蟬並未展現抑制效果。

由圖一和圖三結果可發現第一期作調查到白背飛蟲和第二期作的黑條黑尾葉蟬族群數量變動幅度，皆為對照區水稻田較處理區大，且各有一次高峰之顯著差異，推測菊科植物的花朵可以作為提升生物多樣性的因子而造就緩衝害蟲驟增驟減，相較於有機操作田區但無充足的花朵，處理組田區提供了天敵昆蟲充分的碳源。惟在取樣方式、撒播菊科植物種子建構田區的方式以及對照組和處理組的距離必須再行修正以達到本試驗的準確性。此結果可推估處理組田區的水稻常見害蟲無法短時間大量發生，但是否與處理田區擬寄生性物種豐度較高、捕食性生物數量較多的結果具有相關性，仍需要更多調查資料及長時間的調查監測才能佐證。昆蟲物種的多樣性和植物的物種多樣性及生物量有正向的關係（Lawton, 1994; Siemann *et al.*, 1998）然而大面積耕作單一作物後物種的豐度和平均度勢必會下降，與本研究結果相似。且對照田區害蟲的族群數量較易驟增。本研究推測，處理田區內菊科開花植物的種植可增加擬寄生性族群的數量和歧異度，提升水稻田區本身的免疫力達到農田生態平衡，間接避免主要害蟲族群驟升。此外，處理田區卻引來較多的雙翅目物種，乃此類物種耐污性強，雖非直接取食稻害物種或稻作，但食性以有機碎屑、藻類為主，推測可能與稻田環境的變動有所關聯。第二期作相較於第一期作，害蟲數量較少且無明顯增減的趨勢（圖一和圖二），推測因為降雨量偏多且氣溫驟升降，導致飛蟲類害蟲族群不易發展。



圖三、黑尾葉蟬類害蟲第二期作族群動態

Fig3. The population dynamic of *Nephotettix* spp. leafhopper on rice during second crop.

由兩期作掃網捕獲之無脊椎動物透過 Ecosim 軟體分析結果（表三），第二期作之處理區物種豐度為 84，較對照區 70 高；第二期作之處理區物種豐度為 56，亦高於對照區 42，且第二期作之物種豐度皆高於一期作。Hurlbert's PIE 為均勻度指數，顯示群聚內各物種族群豐度之均勻度，表三顯示第一期稻作處理區物種均勻度指數為 0.93，稍高於對照區 0.90，第一期稻作處理區物種均勻度指數為 0.92，亦稍高於對照區的 0.86。Shannons Diversity index 為歧異度指標，第一期作處理區的歧異度指數為 3.15 高於對照區 3.03，第二期作處理區為 3.39 高於對照區 2.88。總豐量（Abundances）為所有物種總個體數，第一期作處理組和對照組分別為 3,903 和 3,807，第二期作則分別為 2,387 和 2,153。表三顯示處理田區無論是物種豐度（Species richness）、均勻度指數（Hurlbert's PIE）、歧異度指數（Shannons Diversity index）和總豐量（Abundances）在兩期作調查結果皆比對照田區高。

表三、試驗田區與對照田區內的物種豐度、平均度及歧異度比較

Table 3. Species richness, Hurlbert's PIE, Shannons diversity index and abundances in two crop stage between treated and control field.

period	Species richness		Hurlbert's PIE ^z		Shannons Diversity index ^y		Abundances	
	Treated	Control	Treated	Control	Treated	Control	Treated	Control
First	56	42	0.93	0.90	3.15	3.03	3,903	3,807
Second	84	70	0.92	0.86	3.39	2.88	2,387	2,153

^zProbability of intraspecific encounter a measure of evenness.

^yBiodiversity indicator functions.

隨著生態系紅皮書的出版評估，生態系健全所發展的指標有了較明確的概念敘述（Keith *et al.*, 2013; Keith *et al.*, 2015）。生態系的崩解會因為新的生態功能出現而重新平衡，因此高人為因素擾動之農業生態系的構成表現顯得複雜，仍待科學研究的整合。本研究盼能為農業管理上能兼顧生物多樣性的功能，體現生態系統服務的關聯性，藉此提供未來進行功能農田生物多樣性資源經營時，納入棲地營造及農田棲地異質性的方向，提升農業上防治害蟲的效能。

結 論

由第一期作的褐飛蝨和第二期作的黑條黑尾葉蟬可推測菊科植物的花朵因可以作為提升生物多樣性的因子而造就緩衝害蟲驟增驟減，相較於有機操作田區但無充足的花朵，處理組田區提供了天敵昆蟲充分的碳源。天敵種類以寄生性為最顯著，由第一期作的寄生性天敵相對豐量 6.4%相較於對照組的 3.7%，以及第二期作的 24.9%相較於 14.4%，可明顯看出有花朵的田區寄生性天敵數量與無營造花朵隻田區差異性，而其中針對第一期作二化螟和二期作瘤野螟的寄生性天敵比較後亦可發現其數量在菊科植物營造田區明顯多出對照區 1.5 倍以上。然而無論是 Species richness、Hurlbert's PIE、Shannons Diversity index^b、和 Abundances，處理田區的數值皆較對照區為高，顯示以菊科開花植物處理後的田間能夠增加田區生物多樣性並間接達到害蟲的生物防治效果。惟在取樣方式、撒播菊科植物建構田區的方式以及對照組和處理組的距離必須再行修正以達到本試驗的準確性。取樣田區數量增加可提高數據的真實性（Gurr *et al.*, 2016），另外菊科植物分布之密度和開花期控制應確實與水稻生育期重疊較可達到抑制害蟲發生的效果；而參考國外試驗設計，雖然小型寄生蜂和瓢蟲遷移距離不長，但處理組和對照組之間至少應距離 20 m，才能消除寄生蜂等天敵由處理田飛行至對照田的因素。此結果可推估處理組田區的水稻常見害蟲無法短時間大量發生，但是否與處理田區擬寄生性物種豐度較高、捕食性生物數量較多的結果具有相關性，仍需要更多調查資料及長時間的調查監測才能佐證。

致 謝

本試驗承蒙康天德農友提供田區進行試驗，以及試驗期間陳志剛先生和林玉珠、許秋貴和邱秋美小姐的協助，張振岳先生協助物種鑑定分類；文成後復蒙臺灣大學昆蟲系石正人教授與中興大學昆蟲系黃紹毅教授悉心斧正，謹此致謝。

參考文獻

1. 呂光洋、林思民、賴俊祥、莊國碩 2002 棲地破碎化、生態廊道及棲息地網研討會專刊 國立師範大學編印。
2. 林立、楊大吉 2012 綠籬對於三種作物害蟲防治之研究 花蓮區農業改良場研究彙報 30:33-41。
3. 范美玲、蔡思聖、林泰佑、倪宇亭、黃 鵬、李光中 2013 不同農業操作對臺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。
4. 楊大吉、林立 2008 有機農業生態環境建構 東部有機樂活廊道研討會專刊 花蓮區農業改良場編印 p.75-85。
5. 楊大吉、林立 2010 植物多樣性（綠籬）建構在有機農田害蟲生物防治之應用 農業生態系與生物多樣性研討會專刊 花蓮區農業改良場編 p.87-96。
6. Butler, S.J., J. A. Vickery, and K. Norris. 2007. Farmland Biodiversity and the Footprint of agriculture. *Sci.* 315:381-384.
7. Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V., J. O'Neill, Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
8. Gurr, G.M., J. Liu, D.M.Y. Catindig, J.A. Cheng, L.P. Lan, and K.L. Heong. 2011. Parasitoid of Asian rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) pests and prospects for enhancing biological control by ecological engineering. *Ann. Appl. Biol.* 158:149-176.
9. Gurr, G.M., K.L. Heong, J.A. Cheng, and J. Catindig. 2012. Ecological engineering strategies to manage insect pests in rice. In: Gurr GM, Wratten SD, Snyder WE, Read DMY (eds) *Biodiversity and insect pests: Key issues for sustainable management*. Wiley Blackwell, UK, p.214-229.
10. Gurr, G.M., Z. Lu, X. Zheng, H. Xu, P. Zhu, G. Chen, X. Yao, J. Cheng, Z. Zhu, J.L. Catindig, S. Villareal, H.V. Chien, L.Q. Cuong, C. Channoo, N. Chengwattana, L.P. Lan, L.H. Hai, J. Chaiwong, H.I. Nicol, D.J. Perovic, S.D. Wratten and K.L. Heong. 2016. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. *Nat. Plants* 2:1-4.
11. Kopta T., R. Pokluda, and V. Psota. 2012. Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Hort. Sci.* 39:89-96.
12. Keith, D.A., J. P. Rodríguez, K.M. Rodríguez-Clark, E. Nicholson, K. Aapala, A. Alonso, M. Asmussen, S. Bachman, A. Basset, E. G. Barrow, J.S. Benson, M.J. Bishop, R. Bonifacio, T.M. Brooks, M.A. Burgman, P. Comer, F.A. Comín, F. Essl, D. Faber-Langendoen, P.G. Fairweather, R.J. Holdaway, M. Jennings, R.T. Kingsford, R.E. Lester, R.M. Nally, M.A. McCarthy, J. Moat, M.A. Oliveira-Miranda, P. Pisanu, B. Poulin, T.J. Regan, U. Riecken, M.D. Spalding, and S. Zambrano-Martínez. 2013. Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. *PLoS ONE* 8:e62111 doi:10.1371/journal.pone.0062111.
13. Keith, D.A., J.P. Rodríguez, T.M. Brooks, M.A. Burgman, E.G. Barrow, L. Bland, P.J. Comer, J. Franklin, J. Link, M.A. McCarthy, R.M. Miller, N.J. Murray, J. Nel, E. Nicholson, M.A. Oliveira-Miranda, T.J. Regan, K.M. Rodríguez-Clark, M. Rouget, and M.D. Spalding. 2015. The IUCN Red List of Ecosystems: Motivations, Challenges, and Applications. *Conservation Letters* 8:214-226.
14. Lawton, J.H. 1994. What do species do in ecosystems? *Oikos* 71:367-374.
15. Lu, Z., Y. Yang, P. Yang, Z. Zhao. 2012. China's green plant protection initiative: coordinated promotion of biodiversity-related technologies. In: Gurr, G.M., S.D. Wratten, Snyder WE, Read DMY

- (eds) Biodiversity and insect pests: Key issues for sustainable management. Wiley Blackwell, UK, p.230-240.
16. Lu, Z.X., P.Y. Zhu, G.M. Gurr, X.S. Zheng, D.M. Read, K.L. Heong, Y.J. Yang, H.X. Xu. 2014. Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests: prospects for enhanced use in agriculture. *Insect scienc.* 21:1-12.
 17. Marino, P.C. and D.A. Landis. 1996. Effect of landscape structure on parasitoid diversity and parasitism in agroecosystems. *Ecol. Appl.* 6:276-284.
 18. Rossi, M.N., C. Reigada, W.A.C. Godoy. 2006. The role of habitat heterogeneity for the functional response of the spider *Nesticodes rufipes* (Araneae: Theridiidae) to houseflies. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 419-427.
 19. Ponti, L., C. Ricci, F. Veronesi and R. Torricelli. 2005. Natural hedges as an element of functional biodiversity in agroecosystems: the case of a Central Italy vineyard. *Insectology* 58:19-23.
 20. Siemann, E. 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79:2057-2070.
 21. Sigsgaard, L. 2000. Early season natural biological control of insect pests in rice by spiders - and some factors in the management of the cropping system that may affect this control. *European Arachnology*:57-64.
 22. Simon, S., J.C. Bouvier, J.F. Debras, and B. Sauphanor. 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review *Agron. Sustain. Dev.* 30:139-152.
 23. Tanaka, K., S. Endo, H. Kazano. 2000. Toxicity of insecticides to predators of rice planthoppers: Spiders, the mired bug and the dryinid wasp. *Appl. Entomol. Zool.* 35:177-187.
 24. Takashi, M., Chikara, I., Motonori, T., Mihoko, M., Ayame, T., Kazumasa, H. and Yasuhisa, K. 2006. Effects of tillage practices on spider assemblage in rice paddy fields. *Appl. Entomol. Zool.* 41:371-381.
 25. Wang, N.F., X.Y. Jia, X.J. Gua, J.X. Jianga, J.H. Wub, and B. Lib. 2014. Ecological engineering of ground cover vegetation promotes biocontrol services in peach orchards. *Ecol. Eng.* 64:62-65.
 26. Way, M.J. and K.L. Heong. 1994. The role of biodiversity in the dynamics and management of insect pests of tropical irrigated rice-a review. *Bull. Entomol. Res.* 84:567-587.
 27. Wratten, S., L. Berndt, G. Gurr, J. Tylianakis, P. Fernando, and R. Didham. 2002. Adding floral diversity to enhance parasitoid fitness and efficacy. *International 1st symposium on biological control of arthropods*: 211-214.
 28. Zhu, P.Y., G. Wang, X. Zheng, J. Tian, Z. Lu, K. L. Heong, H. Xu, G. Chen, Y. Yang, G. M. Gurr. 2015. Selective enhancement of parasitoids of rice Lepidoptera pests by sesame (*Sesamum indicum*) flowers. *Biocontrol.* 60:157-167.