

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¹

范美玲²、蔡思聖³、林泰佑⁴、倪宇亭⁵、黃 鵬⁶、李光中⁷

摘 要

本研究以花蓮縣富里鄉作為研究區域，探討有機農法以及慣行農法不同農業操作下的稻田無脊椎動物群集結構。並期望從中篩選出台灣東部水稻田的農業生物多樣性指標物種。調查期間為 2013 年 4 月初到 6 月中處於分蘗盛期至收割間的第一期水稻，每隔兩週以田間掃網的方式採樣共計六次。結果共捕獲 14 目 88 科 173 屬 209 種 46150 隻，有機田區 188 種多於慣行田區的 137 種，各功能群之物種數皆以有機農法者較多。慣行田區的天敵與害蟲比例皆顯著較少，取而代之的是增加將近 20% 的中性物種。不同農法間的相似性差異主要由 29 種無脊椎動物所貢獻，其中擬寄生者為稻苞蟲羽角姬小蜂(*Sympiesis parnarae*)、凹頭小蜂(*Antrocephalus sp.*)，掠食者的橙瓢蟲(*Micraspis discolor*)、日本長腳蛛(*Tetragnatha maxillosa*)、螳水蠅(*Ochthera sp.*) 5 種天敵物種之豐量在不同農法間具有顯著差異；相似性分析顯示，不同農法尚未造成群集顯著分群。

(關鍵詞：有機農業、無脊椎動物、水稻田、農業生物多樣性指標物種)

-
1. 花蓮區農業改良場研究報告第 241 號。
 2. 花蓮區農業改良場研究員兼副場長。
 3. 花蓮區農業改良場專案研究助理。
 4. 花蓮區農業改良場助理研究員。
 5. 花蓮區農業改良場助理研究員職務代理人。
 6. 花蓮區農業改良場場長。
 7. 國立東華大學李光中副教授。

前 言

農業的土地利用型態與生物多樣性保育習習相關，有些半自然棲地只有在人類採特定耕作條件下，才得以被保留下來。環境友善的農業生產活動可視為維持生態系功能的重要作用之一，捨棄這些農業生產活動將導致不同類型棲地與生物多樣性之損害。因此，如何維持農業生態系的永續發展已逐漸受到關注，以食品安全或環境友善為訴求的有機農業便在這樣的背景下越來越受到重視。

多數農業活動都會對環境與生物多樣性造成若干程度的影響(Kleijn, 2006)。透過研究文獻的收集與綜論，Hole 等(2005)回顧了近百篇的有機農法與慣行農法在維持生物多樣性角色扮演上之比較。超過三分之二並涵蓋脊椎動物、節肢動物、環節動物、植物與微生物等不同分類群聚的研究顯示，有機農法確實較慣行農法具有較高的生物豐量與物種數。惟前揭研究對於有機農法的定義與標準不盡相同，難以做出全面性的結論與預測；而本研究之有機農法係符合行政院農業委員會訂定之有機規範，不得使用未經公告許可之化學農藥、化學肥料、動物用藥品或其他化學品，產銷履歷須經法定驗證機構認證。

水稻田佔台灣農業耕作面積三分之一，且為國人主要糧食作物。在追求永續發展的過程中，我們必須要調和「生物多樣性的保存」與「農業生產的增加」這兩者的需求(Butler *et al.*, 2007)，並制定新的農業政策，試驗並推廣新型耕作方式，研究和評估不同耕作方式對本土農業生態系所造成的影響與衝擊是非常重要的。稻作採一年一或二次收成，其他植物被視為雜草而移除的單一植栽環境，生長期的灌溉過程具有淺且臨時的蓄水，水面有充足的光照強度供給，加上不定期的巡田、蟲害管理、施肥等人為干擾與天然的季節動態、災害，而形成供人為利用之稻田生態環境。然而，為了抑制蟲害與病害，慣行農法施灑的化學農藥可能使無脊椎動物群集內較為敏感的非蟲害物種被移除，藥效的殘留性也使物種重新拓殖所需時間更久，進而改變稻株上之無脊椎動物群集(Geiger *et al.*, 2010)。

稻株地上部無脊椎動物群集分類學發展較早，與稻田環境變動有較大的關聯性。本研究擬以有機栽種歷史最為悠久且栽種面積比例為全台最高的花蓮縣富里鄉為研究樣區。我們探討有機農法以及慣行農法稻田的無脊椎動物群集結構以及多樣性的差異。並期待透過不同農業耕作下水稻田無脊椎動物群集結構比較，運用多變量分析法，篩選出對農法差異較為敏感且能反映台灣東部水稻田的生物多樣性的代理物種。

材料與方法

一、研究樣區

研究樣區位於台灣花蓮縣富里鄉境內，富里鄉是輔導轉型為有機栽培歷史最悠久，且有機栽培面積比例為全台最高者。我們於富里鄉內選定東里村、竹田村、石牌村、學田村以及羅山村等五村進行調查，除羅山村僅設置有機田區外，餘設有機及慣行樣區，同村由同一農民採不同農法進行耕種。整個研究區域包含慣行田區四區、有機田區五區共九區。有機田區農民針對蟲害、雜草的田間管理模式與慣行田區不同。有機田區以採用人工的方式進行除草，不施用農藥及化學肥料；而慣行田區則施用不同的除草劑、殺蟲劑等農業用藥(附錄一)。

二、調查與採樣方法

調查期間為 2013 年 4 月初到 6 月中的第一期水稻(2013 年的 4/9-6/19)，該時期之稻作處於分蘖盛期至收割間，每隔兩週採樣一次共六次。每區對稻株地上部以來回 S 型掃網的方式於固定面積內採樣共 40 次，所得之無脊椎動物鑑定至種之分類層級，若分類地位未明，則以形態種進行區辨計數。各物種依照生態功能區分成植食性的稻害者(主要以禾本科為食並危害稻株，Pests)、授粉者(訪花並為植物授粉，Pollinators)、雜草食者(以非禾本科之其他雜草，如茄科、柳葉菜科、蓼科、荳科、瓜科、天南星科為食草，Graminivores)、天敵物種的掠食者(以捕食其他小型無脊椎動物為主，Predators)、擬寄生者(將卵產與宿主體中，幼蟲於宿主體內發育造成宿主死亡 Parasitoids)以及中性物種(多為以有機碎屑為食的清除者，部分亦會攝食單細胞藻類，Neutral species)，各別計算所佔比例，進行不同農法間的比例檢測(Two-sample pooled t-test)。

三、分析方法

野外採集所得之資料矩陣以 PRIMER-E 軟體第五版(Clarke, 1993 ; Clarke & Gorley, 2001)的多變量分析技術進行群集結構探討：

(一) 群集歧異度指數

每次採集完後開始進行物種鑑定並計算隻數，以便進行數據分析及圖表製作。本研究調查期間也針對包含在耕作期間的各項施作時間、方法以及使用資材等進行紀錄，並以 Shannon-Weiner's Index、Simpson's Index、Pielous's Index 與 Margalef's Index(附錄二)計算各區的群集歧異度。

(二) 群集樣本相似性

每一田區單次調查所得群集資料視為單一樣本，共有 54 個樣本(9 田區×6 次調查)。Bray-Curtis distance(附錄二)用來計算樣本間的相似性距離，此一數值若越小則代表兩樣本物種組成越近似；多維尺度空間圖(Non-metrics Multidimensional Scaling, NMDS)則以二維圖形反映各樣本間的相似性距離，並透過 ANOSIM (Analysis of Similarity, 附錄二) 檢測不同農法或村子間樣本分群是否顯著，不同農村會進一步以配對分析比較。

(三) 物種相似性貢獻量

SIMPER(Similarity Percentages)可探討單一物種豐量的樣本差異對相似性距離的貢獻值，我們篩選出對於群集相似性距離貢獻量較大之物種(樣本相似性距離平均值/樣本相似性距離標準差 >1 者)，視為對農法差異較為敏感之標的物種。較敏感之標的物種，進一步以無母數檢定法(Mann-Whitney Test)檢測不同農法操作下，族群豐量在不同農法田區是否有所差異。

結果與討論

一、有機農法確實有助東部稻田物種多樣性的維持

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與軟體動物門 7 綱 11 目 88 科 173 屬 209 種 46150 隻。其中 116 種可在有機及慣行田區發現，而僅在有機田區中採獲者 72 種，僅在慣行田區中採獲者 21 種，各功能群之物種數皆以有機農法者較多(表一)。

表一、有機田與慣行田中，各生態功能群之物種數與相對豐量

Table 1. The numbers of species and relative abundance of each ecological function groups in organic and conventional fields.

Ecological	No. of both	Organic fields	Conventional fields
------------	-------------	----------------	---------------------

function groups	appeared species				
		No. of sp. ^z	RA ^y , %	No. of sp.	RA, %
Pests ^{**}	41	67	63.5%	48	49.1%
Pollinators	8	13	2.6%	12	2.3%
Graminivores	8	13	1.5%	9	1.9%
Neutral species *	16	20	17.1%	17	36.3%
Predators *	30	54	11.0%	35	7.6%
Parasitoids	13	21	3.8%	16	2.3%
Total No. of sp.	116	188		137	

^znumbers of species of each ecological function in treatments

^yrelative abundance of each ecological function groups in treatments

^{*}Two population proportions test, $p < 0.05$

表二、各目所具有不同功能群之物種數

Table 2. The numbers of species in orders belong to diverse ecological function groups.

Taxon	Primary consumers			Neutral species	Natural enemy		No. of species
	Pests	Pollinators	Graminivores	Scavengers	Predators	Parasitoids	
Actinedida	1						1
Araneae					37		37
Coleoptera	10	2	7		9		28
Diptera	12	9	1	15	7		44
Hemiptera	16						16
Hemiptera (Heteroptera)	12		9		2		23
Hymenoptera		2		6		24	32
Lepidoptera	11	1					12
Mesogastropoda					1		1
Odonata					3		3
Orthoptera	10						10
Thysanoptera	2						2
Total No. of sp.	74	14	17	21	59	24	209

所調查群集中(表一)，害蟲無論是有機田區或是慣行田區皆佔有極高之比例，又以有機田所占比例顯著較慣行多($p < 0.001$)；天敵物種無論是掠食性或擬寄生性，其相對豐量或物種數皆以有機群集較高，有機田區掠食性天敵比例顯著較高($p < 0.001$)，擬寄生性膜翅目比例則趨近於顯著差異($p = 0.051$)；中性物種包含雙翅目屬腐食性的肉蠅、渚蠅、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，其比例在慣行田區顯著較多($p < 0.001$)；各目中以雙翅目、鞘翅目、異翅亞目等分類群較具功能多樣性，擬寄生者僅膜翅目內之部份分類群為代表(表二)；非稻害植食者($p = 0.07$)、授粉者($p = 0.119$)所佔比例無顯著差異。

採用化學防治進行農業管理的慣行田，各生態功能群的物種數均較有機田區少，慣行田害蟲的數量雖受到控制，卻引來較多的雙翅目物種如搖蚊科、腐沼蠅進駐，此類物種耐污性強，雖非直接取食稻害物種或稻作，但因幼蟲期就已大量棲於農田、灌溉水渠等半水域環境，且食性以有機碎屑、藻類為主，而可能與稻田環境的變動有所關聯；慣行田區的天敵物種多樣性(種數、相對豐量)亦比有機田區少，未來害蟲群集的優勢物種若產生改變時(例如：由抗藥性較強的物種取代)，天敵群集可能無法迅速隨之因應而造成經濟農損。

二、無脊椎動物群聚之歧異度指標、相似性

有機田區的個體數和物種數皆較慣行田區高；歧異度較低者為竹田慣行田區與學田慣行田區，此兩區幾無進行人工除草，而以施用殺草劑為主，歧異度最高者為東里有機田區以及羅山有機田區，皆以人

工方式分別進行 11 次與 4 次除草；除石牌與羅山僅設有機田區外，餘三村的天敵比例在有機田區皆高於慣行田區（表三），天敵比例與 Shannon-Weiner's Index 間具有顯著相關性(Pearson correlation =0.77, p=0.015)。不同農法的生物群集並未顯著分群 (Global R=0.03, p=0.155；圖一)，不同農法樣本平均相似性差異距離為 76.24；有機田樣本間平均相似性為 23，慣行田樣本間相似性為 24.82。

竹田村與東里、學田二村樣本配對具顯著相似性差異(表四)。竹田村所設實驗田區，其週邊環境具有較多住家與道路等非自然棲地，鄰近的非自然地景可能亦影響了無脊椎動物的組成。儘管採有機農法的田區各功能群物種數較慣行農法多，香農歧異度亦較大，但仍可發現石牌慣行田區的香農指數高過東里、學田、竹田的現象，依照中度干擾假說的推論(Connell 1978)，中等程度的的擾動干擾時，群集具有最高的物種多樣性。目前，不同農業管理所造成的擾動頻度、幅度較難標準化、量化，故我們認為暫不適宜以歧異度群集指標作為稻田生態功能的評估，而建議以物種數及功能群比例，如以天敵群集的豐度與豐量較為適當。

Heong 等(1991)研究指出，農田物種多樣性除受到農業管理影響外、日照溫度、作物類型等條件亦可能影響生物群集之結構組成。本研究的不同農法樣本間不具顯著相似性差異、樣本重疊度高而未有明顯分群，同農法間兩田區物種數皆達 100 種以上，樣本平均相似性卻僅 20-25 之間(表四)。我們推論，調查期間可能有除了農法外的其他隨時間變化環境因子亦改變農田群集，致使同農法的樣本間相似性較低。金翠霞等(1992)則研究指出，稻田無脊椎動物群集之時間動態除農藥使用外，可能還受到空間位置、水稻品種等變因所影響。

表三、各村之樣區群集指標結果

Table 3. Biodiversity indicator results of each administrative division.

Administrative division	Dongli		Zhutian		Shipai		Xuetian		Luoshan
Farming treatments	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation
Manual weed control(s)	11	1	3	1	0	0	4	0	4
Agrochemical control(s)	0	3	0	0	3	3	0	4	0
No. of sp.	124	100	69	68	112	65	73	72	86
No. of individuals	7254	7815	2720	6836	6673	2368	5324	3563	3597
RA of Natural enemy (%)	16.71 %	10.50 %	10.82 %	10.61 %	14.70 %	9.57 %	9.75 %	5.82 %	18.90 %
Shannon-Weiner's Index	3.21	2.79	2.81	2.35	2.85	2.82	2.68	2.41	3.15
Simpson's Index	0.89	0.87	0.88	0.82	0.85	0.91	0.88	0.82	0.93
Pielous's Index	0.67	0.61	0.66	0.56	0.60	0.67	0.62	0.56	0.71
Margelef's Index	13.84	11.04	9.06	8.23	12.94	7.83	8.19	8.05	10.31

三、對農法敏感的優勢天敵物種具有研究潛力

SIMPER 顯示，不同農法樣本間相似性差異主要由 29 種物種所貢獻(附錄三)，各物種貢獻量如表四。這些貢獻度大的物種中多數屬於稻害物種，天敵物種包含掠食者的日本長腳蛛(*Tetragnatha maxillosa* Thorell, 1895)、卵形鬼蛛 (*Araneus inustus* L.Koch, 1871)、橙瓢蟲(*Micraspis discolor* Fabricius, 1798)等五種物種、擬寄生的稻苞蟲羽角姬小蜂(*Sympiesis parnarae* Chu & Liao, 1982)、小齒蜂(*Adelius* sp. Haliday, 1833)、凹頭小蜂屬(*Antrocephalus* sp. Kirby, 1833)等三種；雜草食者為芋盲蝽屬(*Ernestinus* genus Distant, 1911)；中性物種為池畔搖蚊(*Limnophyes* genus Eaton, 1875)等七種。

稻害物種為稻田的主要初級消費者，本研究稻害物種均為群集內的優勢功能群，受到化學農藥的施

用影響而減少，使得稻害物種對於群集差異性的貢獻度較高。天敵物種種類數雖多達八十三種，但相對豐量遠較害蟲少，在群集相似性結構與群集指標分析時不易突顯。本研究從八十三種天敵物物種中挑選出捕食性的橙瓢蟲、日本長腳蛛、卵形鬼蛛、螳水蠅、爪哇長腳蛛以及擬寄生性的稻苞蟲羽角姬小蜂、小繭蜂 *adelius* 屬、凹頭小蜂屬等廣泛分布於東部稻田間的常見天敵共八種，而 Mann-Whitney Test 顯示，有機田區的苞蟲羽角姬小蜂($p=0.0098$)、凹頭小蜂屬($p=0.012$)、橙瓢蟲($p=0.0277$)、日本長腳蛛($p=0.0189$)、螳水蠅($p=0.0381$)五種數量顯著多過慣行田區，這些天敵物種具有可抑制稻田優勢害蟲的生態功能並同時反映農法的衝擊，我們認為未來於東部地區進行後續生態監測時，為不可忽視之指標物種。

各標的物種中，屬於擬寄生者的稻苞蟲羽角姬小蜂、凹頭小蜂，掠食者的橙瓢蟲、日本長腳蛛、螳水蠅，稻害者的黑條黑尾葉蟬、台灣黑尾葉蟬、負泥蟲、白翅葉蟬，中性物種的家蚊等物種在有機田的數量顯著高於慣行田；有機田內，稻害者的潛蠅、福壽螺，中性物種的腐沼蠅數量則顯著低於慣行田(表四)。

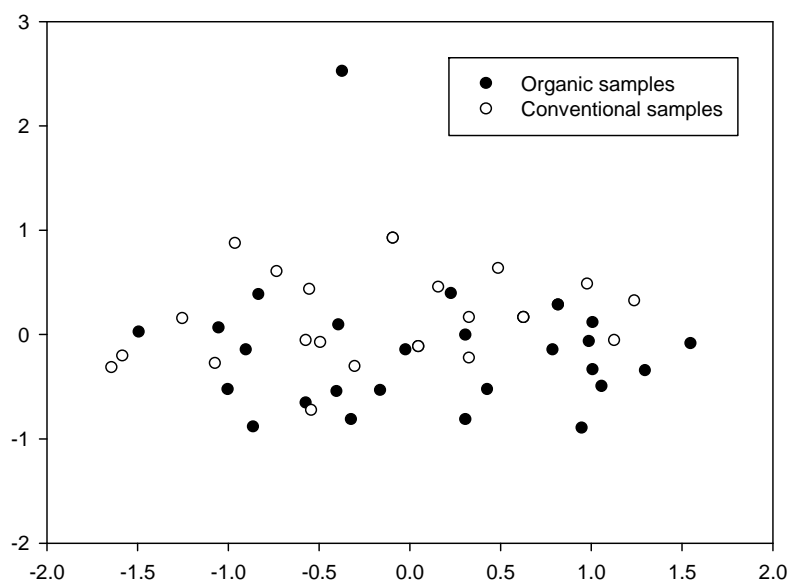
表四、村落相似性配對比較結果

Table 4. Pairwise Test result of each administrative division pair after ANOSIM.

Administrative division pair	R Statistic	Significance Level %
Dongli,Zhutian ^{**y}	0.278	0.3
Dongli,Luoshan	0.027	32.1
Dongli,Shipai	0.042	20.6
Dongli,Xuetian	0.117	5.6
Zhutian,Luoshan	0.111	14.2
Zhutian,Shipai	0.08	11.9
Zhutian,Xuetian ^{*z}	0.181	1.4
Luoshan ,Shipai	-0.081	77.0
Luoshan ,Xuetian	0.021	34.1
Shipai,Xuetian	0.056	14.7

^zMann-Whitney test, p < 0.05

^yMann-Whitney test, p < 0.01



圖一、有機田區(實心)與慣行田區(空心)樣本多維尺度空間分布圖。

Fig. 1. Non-metric multidimensional scaling of organic (filled) and conventional (empty) samples.

表四、本研究以 SIMPER 程序分析顯示貢獻量大於 1 的物種。

Table 4. Species which contributed to the dissimilarity between two farming methods over tha 1, selected by SIMPER procedure .

EFGs	Farming treats	Orgnaic fields	Conventional fields	Contribution(%)	Sum of(%)
	Av. smilarity taxon	23 Av. Abun.	24.82 Av. Abun.		
Parasitoids	<i>Antrocephalus sp</i> * ^z	5.24	2.57	1.07	3.66
	<i>Adelius. sp</i>	11.41	10.57	1.16	
	<i>Sympiesis parnarae</i> ** ^y	9.03	2.7	1.43	
Predators	<i>Araneus inustus</i>	7.57	7.57	1.54	8.28
	<i>Micraspis discolor</i> *	19.69	10.61	2.17	
	<i>Ochthera sp.</i> *	7.01	6.87	1.42	
	<i>Tetragnatha javana</i>	4.52	2.87	1.07	
	<i>Tetragnatha maxillosa</i> *	28.46	17.65	2.08	
Pests	<i>Chyromya sp.</i>	5.23	4.22	1.1	32.83
	<i>Hydrellia sasakii</i>	20.41	5.57	1.29	
	<i>Laodelphax striatellus</i>	5.66	8.35	1.1	
	<i>Liriomyza sp.</i> *	7.92	9.65	1.46	
	<i>Nephotettix nigropictus</i> **	20.8	9.61	2.34	
	<i>Nephotettix virescens</i> *	11.48	8.87	1.78	
	<i>Oulema oryzae</i> *	74.9	4.39	2.33	
	<i>Pomacea canaliculata</i> *	3.83	9.87	1.36	
	<i>Sogatella furcifera</i>	57.98	76.87	3.97	
	<i>Stenchaetothrips biformis</i>	181.53	200.43	7.33	
	<i>Stenchaetothrips spA.</i>	11.38	19.09	1.58	
	<i>Steneotarsonemus spinki</i>	115.9	73.13	5.63	
<i>Thaia rubiginosa</i> *	12.79	3.74	1.56		
Graminivores	<i>Ernestinus spB</i>	13.79	9.91	1.62	1.62
Neutral species	<i>Forcipomyia. sp</i>	13.9	16.17	2.15	18.41
	<i>Cricotopus spA</i>	15.48	39.61	2.73	
	<i>Cryptochironomus spA.</i>	13.24	45.57	2.66	
	<i>Cryptochironomus spB</i>	7.66	12.83	1.39	
	<i>Culex sp.</i> *	3.93	3.57	1.18	
	<i>Limnophyes sp.</i>	67.66	181.3	5.71	
	<i>Sepedon sp.</i> *	29.32	34.87	2.59	

Average dissimilarity= 76.24 (209 species ,120 organic samples,96 conventional samples)

^zMann-Whitney test, p < 0.05

^yMann-Whitney test, p < 0.01

結 論

本研究結果，東部地區稻田無脊椎動物相之調查共得 46150 隻，包括 11 目 88 科 173 屬 209 種，並可區分成六種功能群。各生態功能群於慣行田區的物種數皆較有機田區低。稻害群集雖在慣行田區受到控制而減少，中性物種相對豐量卻增加，數量相對稀少的天敵群集在慣行田區物種數及相對豐量卻降低。有機農法具有保存天敵物種質與量的功能，未來害蟲群集若因優勢種有所改變時，仍保有應變之潛力。未來於東部地區宜持續進行生態監測，天敵物種中的稻苞蟲羽角姬小蜂、凹頭小蜂屬、橙瓢蟲、日本長腳蛛、螻水蠅，我們認為是不可忽視之標的物種，並適合進一步研究作為農業生物多樣性指標以及環境友善生態農法的推廣物種。

致 謝

試驗期間承蒙張振岳先生、康金坤先生以及東華大學自然資源與環境學系黃國靖教授指導，文成復蒙行政院農業委員會特有生物研究保育中心方主任國運及東華大學楊副教授懿如悉心斧正，謹此致謝。

參考文獻

1. 金翠霞、吳亞 1992 稻田節肢動物的群聚結構及其穩定性的探討。中華昆蟲 12:147-159。
2. Butler, S.J., J.A. Vickery, and K. Norris. 2007. Farmland Biodiversity and the Footprint of Agriculture. *Science*. 315:381-384.
3. Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aus. J. Eco.* 18: 117-143.
4. Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2001. *PRIMER v5: User manual/tutorial*, PRIMER-E, Plymouth UK, 91pp.
5. Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
6. Geiger, F., J. Bengtsson, F. Berendse, W.W. Weisser, M. Emmerson, M.B. Morales, P. Ceryngier, J. Liira, T. Tschamtkke, C. Winqvist, S. Eggers, R. Bommarco, T. Pärt, V. Bretagnolle, M. Plantegenest, L.W. Clement, C. Dennis, C. Palmer, J.J. Oñate, I. Guerrero, V. Hawro, T. Aavik, C. Thies, A. Flohre, S. Hänke, C. Fischer, P.W. Goedhart, and P. Inchausti. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11:97-105.
7. Heong, K.L., G.B. Aquino, and A.T. Barrion. 1991. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines. *Bul. Ent. Res.* 81: 407-416.
8. Hole, D.G., A.J. Perkins, J.D. Wilson, L.H. Alexander, P.V. Grice, and A.D. Evans. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122: 113–130.
9. Kleijn, D., R.A. Baquero, Y. Clough, M. Díaz, J.D. Esteban, F. Fernández, D. Gabriel, F. Herzog, A. Holzschuh, R. Jöhl, E. Knop, A. Kruess, E.J.P. Marshall, I. Steffan-Dewenter, T. Tschamtkke, J. Verhulst, T.M. West, and J.L. Yela. 2006. Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters*: 9, 243–254.
10. Natuhara, Y. 2012. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecological Engineering*, 56: 97-106.

附錄一、各區用藥情形

Appendix I. The agrochemicals compounds used to prevent farming damage in each field areas.

Administrative divisions	Farming areas	Agrochemicals compounds	Intentions
Dongli	Conventional fields	pyrazosulfuron-ethyl tecloftalam hexaconazole	Weed control Fungus control Fungus control
	Organic fields	Mechanical weeding	
Zhutian	Conventional fields	pyrazosulfuron-ethyl quinclorac	Weed control Weed control
	Organic fields	Mechanical weeding	
Shipai	Conventional fields	edifenphos tecloftalam	Fungus control Fungus control
	Organic fields	Mechanical weeding	
Luoshan	Conventional fields	Mechanical weeding	
Xuetian	Conventional fields	tricyclazole	Pest control
		lambda-cyhalothrin	Pest control
	Conventional fields	pencycuron	Fungus control
	Organic fields	kasugamycin + tricyclazole	Fungus control
hexaconazole		Fungus control	
	Organic fields	Mechanical weeding	

附錄二、本研究所採用各項分析指標

Appendix II. Biodiversity indicator functions were used in this study.

指數	公式	說明
Simpson's Index	$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$	ni: the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species N: the total number of individuals belonging to the assemblage
Shannon-Wiener's Index	$H' = -\sum_{i=1}^s (n_i / N) \ln(n_i / N)$	ni: the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species N: the total number of individuals belonging to the assemblage
Peilous' evenness Index	$J' = H' / \log S$	H': the Shannon-Wiener's Index S: the number of species belonging to the assemblage
Marfelef's Index	$R = (S-1) / \log N$	S: the number of species belonging to the assemblage N: the total number of individuals belonging to the assemblage
Bray-Curtis distance	$\delta_{jk}(i) = 100 \cdot y_{ij} - y_{ik} / \sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})$	<i>y_{ik}</i> : the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species in <i>k</i> assemblage. <i>y_{jk}</i> : the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species in <i>j</i> assemblage.
Bray-Curtis Similarity	$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p y_{ij} - y_{ik} }{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\}$ $= 100 \frac{\sum_{i=1}^p 2 \min(y_{ij}, y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})}$	<i>y_{ik}</i> : the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species in <i>k</i> assemblage. <i>y_{jk}</i> : the number of individuals belonging to the <i>i</i> th species in <i>j</i> assemblage.
ANOSIM	$R = \frac{(\bar{r}_B - \bar{r}_W)}{\frac{1}{2} M}$	<i>r_b</i> = mean rank of between group dissimilarities <i>r_w</i> = mean rank of within group dissimilarities <i>M</i> : n(n-1)/2, n = total number of samples. R will usually fall between 0 and 1, indicating some degree of discrimination between the sites.

附錄三、本研究經 SIMPER 程序篩選出 29 種標的物種名錄

Appendix III. Twenty night species selected by SIMPER procedure in this study.

EFGs	Order	Scientific name
Parasitoids	Hymenoptera	<i>Adelius. sp.</i> (Haliday 1833)
	Hymenoptera	<i>Antrocephalus sp.</i> (Kirby 1833)
	Hymenoptera	<i>Sympiesis parnarae</i> (Chu & Liao 1982)
Predators	Araneae	<i>Araneus inustus</i> (L.Koch 1871)
	Araneae	<i>Tetragnatha javana</i> (Thorell 1895)
	Araneae	<i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thorell 1895)
	Coleoptera	<i>Micraspis discolor</i> (Fabricius 1798)
	Diptera	<i>Ochthera sp.</i> (Latreille 1802)
Pests	Actiniedida	<i>Steneotarsonemus spinki</i> (Smiley 1967)
	Coleoptera	<i>Oulema oryzae</i> (Kuwayama 1931)
	Diptera	<i>Chyromya sp.</i> (Chyromya Robineau & Desvoidy, 1830)
	Diptera	<i>Hydrellia sasakii</i> (Yuasa & Isitani 1939)
	Diptera	<i>Liriomyza sp.</i> (Miki 1894)
	Hemiptera	<i>Laodelphax striatellus</i> (Fallèn, 1823).
	Hemiptera	<i>Nephotettix nigropictus</i> (Stål 1870)
	Hemiptera	<i>Nephotettix virescens</i> (Distant 1908)
	Hemiptera	<i>Thaia rubiginosa</i> (Motschulsky 1863)
	Homoptera	<i>Sogatella furcifera</i> (Horváth 1899)
	Mesogastropoda	<i>Pomacea canaliculata</i> (Lamarck 1822)
Thysanoptera	<i>Stenchaetothrips biformis</i> (Bagnall 1913)	
Thysanoptera	<i>Stenchaetothrips spA</i> (Bagnall 1913)	
Graminivores	Hemiptera (Heteroptera)	<i>Ernestinus spB</i> (Distant 1911)
Neutral species	Diptera	<i>Forcipomyia. sp</i> (Linnaeus 1767)
	Diptera	<i>Cricotopus spB</i> (van der Wulp 1874)
	Diptera	<i>Cricotopus spA</i> (van der Wulp 1874)
	Diptera	<i>Cryptochironomus sp.</i> (Kieffer 1918)
	Diptera	<i>Culex sp.</i> (Linnaeus 1758)
	Diptera	<i>Limnophyes sp.</i> (Eaton 1875)
	Diptera	<i>Sepedon sp.</i> (Sepedon Latreille 1804)