

台灣東部水稻田無脊椎動物多樣性與指標物種研究

范美玲¹、李光中²、蔡思聖¹、游之穎¹、許宏昌¹、黃鵬¹、黃國靖²

¹行政院農業委員會花蓮區農業改良場、²國立東華大學

摘要

本研究以台灣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，期有助於監測農村環境健康並推動環境友善農作。調查期間為 2013 年以及 2014 年的 4 月初到 6 月中處於分蘖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。結果共捕獲 4 綱 13 目 93 科 206 屬 240 種 209951 隻，有機田區 213 種多於慣行田區的 181 種，各功能群之物種數皆以有機農法者較多。不同農法間的相似性差異主要由 29 種無脊椎動物所貢獻，其中捕食者的橙瓢蟲 (*Micraspis discolor*)、日本長腳蛛 (*Tetragnatha maxillosa*)、爪哇長腳蛛 (*Tetragnatha javana* Thorell, 1890) 等 3 種天敵物種之豐量在不同農法間具有顯著差異，且此三種豐量與稻田無脊椎動物群集豐量、物種數呈正向線性關聯性，未來可應用作為反映群集擾動之指標物種；相似性分析顯示，不同農法尚未造成群集顯著分群。

關鍵字：有機農業、無脊椎動物、水稻田、農業生物多樣性指標物種

前言

台灣的水稻田面積占 15 萬公頃，可說是面積最大的人工濕地與水域生態環境。妥善的水稻田經營可發揮重要的人工濕地環境功能，提供生態系統服務。水稻田是除了具有糧食生產功能外，尚有涵養水資源、調蓄洪水、庇護水鳥繁殖覓食，淨化水質、調節當地氣候等生態功能，同時也提供農村良好居住環境及美麗景觀等生活功能 (Natuhara, 2012)。然而現代慣行農業在集約化 (intensification) 的過程中，伴隨著農藥的毒性以及化學肥料的濫用、田埂及灌溉排水系統的水泥化、作物單一化等衝擊，破壞了農田環境，造成與傳統迥異且明顯的改變，直接危害農田生態系的生物多樣性 (Swift *et al.*, 1997; Medley *et al.*, 1995; De Jong, 1997; Tilman *et al.*, 2001; Reidsma *et al.*, 2006; Vitousek *et al.*, 2009; Natuhara, 2012)。

雖然大多數農業活動都會對環境造成影響，但有些半自然的生物棲地只有在人類特定耕作條件下才得以保留，喪失這些農業活動會導致不同類型生物棲地之損害。因此，環境友善的農業活動是維護生態系經營之重要課題，如何維持農業生態系的永續發展已逐漸受到關注 (Vickery *et al.*, 2004; Imaizumi *et al.*, 2006; Power, 2010; Swinton *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2007; UNU-IAS, 2010a; UNU-IAS, 2010b; UNU-IAS, 2012)。同時，在維持永續發展的過程裡，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)，為此農業政策的已朝向確保糧食安全和增加生物多樣性等兩項目標調整，並且在近年來發展了許多有機農法 (organic farming) 等新型耕作方式 (Seufert *et al.*, 2012)。

然而在過去十年來，有機農法是否有益於生物多樣性的維護，一直有許多的研究和討論 (Hole *et al.*, 2005; Gomiero *et al.*, 2011)。一般研究顯示，不論在動植物方面，有機農法通常與生物多樣性有高度相關 (Hyvonen *et al.*, 2003; Letourneau and Goldstein, 2001; Kromp, 1999; Pfiffner and Luka, 2003; Neher, 1999)，慣行農法則有較高的產量 (Seufert *et al.*, 2012)。過去的許多研究也顯示，生物多樣性的增加在蟲害的防治與控制、增加授粉服務和土壤的生成上皆扮演了重要的角色。

對於哪些生物物種比較容易受到過去農地擴張和農藥肥料的大量投入等農業集約化的影響我們知道的很少，而農業活動對環境造成的影響也很複雜 (Pocock and Jennings 2008; Geiger *et al.*, 2010)，所以包括歐洲、日本等許多國

家，就開始著手尋找和建立與農業相關的環境指標，將環境背景的訊息轉換為可供科學判斷的資訊，提供給一般公眾和政策決策者相關的參考依據 (Oñate *et al.*, 2000; Sprague *et al.*, 2010)，而農業生物多樣性指標建立係為農村環境管理規劃以及監測環境之需要；並希望透過指標與環境措施之聯結，提醒民眾和決策者重視農業環境生態之重要性 (Sprague *et al.*, 2010)。農業生物多樣性指標的選擇會因其使用動機有所不同，如果是為了反映自然保護的狀況，則會聚焦在稀有和瀕危物種的保存；如果為了反映耕地生態環境的韌性，則會聚焦在基因與物種的多樣性；如果為了反映在植物保護方面，則會聚焦在捕食或寄生類節肢動物，也就是生物防治上的應用；若是要強調農業生態服務上，則會聚焦在有益生物，像是天敵或是授粉者 (Duelli and Obrist, 2003)。

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。稻作採一年一或二次收成，田中其他植物會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，加上不定期的除草、蟲害管理、施肥等人為干擾與天然的季節動態、災害，形成了台灣的稻田生態環境。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)。

目前台灣對於農業生物多樣性指標研發以及耕作措施對水稻田生物多樣性的影響之相關研究和實務工作仍相當缺乏；本研究以台灣有機栽種歷史最為悠久且栽種面積比例為全台灣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對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，篩選出對不同農法較為敏感且能反映台灣東部水稻田的生物多樣性的指標物種，研究結果希望有助於監測農村環境健康並推動環境友善農作。

研究材料與方法

一、研究樣區

研究樣區位於台灣花蓮縣富里鄉境內，富里鄉是台灣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灣最高者。我們於富里鄉內選定

東里村、竹田村、石牌村、學田村等四村進行調查，各村設有機及慣行樣區，同村由同一位農民採不同農法進行耕種，以減少品種、灌排水操作、行株距等之影響。整個研究區域包含慣行田區 4 區、有機田區 4 區，共 8 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、2014 年的 4 月初到 6 月中的第一期水稻（2013 年的 4/9-6/19；2014 年的 4/8-6/17），該時期之稻作處於分蘗盛期至收割間，每隔兩週採樣一次。每區樣本面積約 0.25 公頃，並對稻株地上部以來回 S 型掃網的方式，由中心往四個邊進行穿越線採樣共 40 次。所有採樣樣本分別置入夾鍊袋並於保溫箱保存，攜回實驗室內進行鑑定。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。並將採樣之物種，依照生態功能區分：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、莧科、瓜科、天南星科為食草，Graminivores），天敵物種的捕食者（以捕食其他小型無脊椎動物為主，Predators）、擬寄生者（將卵產於宿主體中，幼蟲於宿主體內發育造成宿主死亡，Parasitoids）以及中性物種的清除者（多為以有機碎屑為食，少部分亦會兼食單細胞藻類的，Scavenger）和偶訪者（主要棲地並非農田環境者，Visitors）七種功能群，各別計算所佔比例，進行不同農法間的比例檢測（test of two binomial proportions）。

三、分析方法

野外採集所得之資料矩陣以 PRIMER-E 軟體第六版（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 Margelef's Index（附錄二）計算各區的群集歧異度。

（二）群集樣本相似性

每年每一田區單次調查所得群集資料視為單一樣本，共有 96 個樣本（8

田區×6次調查×2年)。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) 檢測不同農法或年間樣本分群是否顯著。

(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)，視其為對農法差異較為敏感之物種；對於這些物種，進一步以兩樣本 T 檢定 (2 samples T-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；並針對具有顯著差異的敏感物物種，以線性回歸模型評估敏感物種於該田區累計豐量 (8 田區×2年) 與稻田無脊椎動物群集個體數、物種數之關聯性。

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

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 4 綱 13 目 93 科 206 屬 240 種 209951 隻。其中 149 種可在有機及慣行田區發現，而僅在有機田區中採獲者 64 種，僅在慣行田區中採獲者 32 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，各生態功能群的物種數與相對豐量

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

Ecological function groups	No. of both appeared species	Organic fields		Conventional fields	
		No. of sp. ^z	RA ^y , %	No. of sp. ^z	RA ^y , %
Pests ^x	44	67	54.16%	54	48.25%
Pollinators ^x	13	14	1.95%	13	1.99%
raminivores ^x	13	21	1.49%	18	0.77%
scavenger ^x	21	30	30.49%	25	39.68%
Visitors ^x	3	5	0.82%	4	0.62%
Predators ^x	41	51	8.48%	43	6.06%
Parasitoids	14	25	2.61%	24	2.62%
Total No. of sp.	149	213		181	

^z: numbers of species of each ecological function in treatments

^y: relative abundance of each ecological function groups in treatments

^x: 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	Visitors	Predators	Parasitoids	Predators	Parasitoids		
Actiniedida	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Araneae	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	39
Coleoptera	6	5	8	3	2	12	0	0	0	0	36
Diptera	8	11	0	22		4	1	1	1	1	46
Collembola	0	0	0		1	0	0	0	0	0	1
Hemiptera	14	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15
Hemiptera (Heteroptera)	11	0	12	0	0	2	0	0	0	0	25
Hymenoptera	0	2	0	7	0	1	0	1	29	0	39
Lepidoptera	13	0	1	0	1	0	0	0	0	0	15
Mesogastropoda	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Odonata	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
Orthoptera	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Thysanoptera	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Total No. of sp.	72	18	22	32	5	61	30	61	30	30	240

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，有機田害蟲所佔比例顯著較慣行多 ($p < 0.001$)；授粉者 ($p = 0.001$)、非稻害植食者 ($p < 0.001$)所佔比例亦皆以有機田區較高；天敵物種無論是捕食性或擬寄生性，其物種數或相對豐量皆以有機群集較高，有機田區捕食性天敵比例顯著較高 ($p < 0.001$)，擬寄生性膜翅目比例則不具顯著差異 ($p = 0.855$)；清除者物種以有機碎屑為食、耐低溶氧環境的搖蚊佔多數並包含雙翅目屬腐食性的肉蠅、渚蠅、或者雜食性的蟻科物種為主，其比例則以慣行顯著較高 ($p < 0.001$)；偶訪者雖數量不多，但其比例在有機田區顯著較多 ($p < 0.001$)；稻田無脊椎動物中，擬寄生者以膜翅目內之部份分類群為主 (表二)；而雙翅目、鞘翅目、異翅亞目於稻田中具有高度的物種多樣性，且雙翅目、鞘翅目、異翅亞目等分類群較具功能多樣性。

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減少，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，且其食性以有機碎屑、藻類為主，可能反映稻田棲地環境已有所變動；慣行田區的天敵物種多樣性 (種數、相對豐量) 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；而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。

二、無脊椎動物群聚之歧異度指數、相似性

由表三可見，除學田村的無脊椎動物物種數有機田區與慣行田區相同外，各有機田區的物種數與個體數皆高於慣行田區。我們推測，學田村的有機田區皆為水泥化田埂，幾無草生地；而學田村慣行田區雖有較多的化學防治次數，但周遭田埂保留較多的草生地。有機農法的田區各功能群物種數與個體數雖較慣行田區多，歧異度卻並未皆以有機田區較高，可以發現在個體數最低的竹田慣行竟有次高的 Shannon 歧異度指數，其與竹田慣行田區無脊椎物種均受到農藥防治而有一致性的降低有關。我們認為 Shannon 多樣性指數或其他群集指數仍有使用上的限制，無法適當反映不同農法操作對於生物群聚的影響。

多數農村有機田的天敵比例大於慣行田，僅竹田村慣行田的天敵比例較有機田區略高，然竹田村慣行田無脊椎動物總個體數僅有機田區的 34.8 %，

且天敵數僅有機田的 46.8 %。目前，農業管理所造成的擾動非單一來源、擾動頻度、幅度較難標準化、量化，故我們認為評估稻田生態功能時，不宜僅採取單一指數作管理參考，需綜合考量個體數、物種數及功能群比例等較能反映真實群集波動，如考慮兼具生物防治上的應用，則可以天敵群集的豐度與豐量較為適當。

透過距離排序 NMDS，觀察群集結構 (圖一；stress=0.17)。不同農法的生物群集並未顯著分群 (Global R=0.026, p=0.057)，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，不同年間比較具有顯著差異，但樣本重疊度高 (Global R=0.183, p=0.001)。

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 (圖一)，相同農法的樣本間的平均相似性僅約 31 (表四)，也就是說，同農法群集內樣本間變異性大。我們推論，調查期間可能有除了農法外的其他環境因子變化亦影響農田群集，致使同農法的樣本間群集相似性較低。Hole *et al.* (2005) 亦指出，以化學肥料與農藥使用與否來區分有機農法與慣行農法，是太過簡化的作法，耕作措施與農地周圍的地景複雜度都會對生物多樣性產生影響。Gomiero *et al.* (2011) 也認同為了要維護和或增加生物多樣性，不能僅考慮化肥和農藥的使用與否，還必需考慮耕作措施以及周圍地景複雜度的影響。此外，許多研究也支持農地耕作措施和地景特徵等因素，對生物多樣性的改變有較直接關聯性，例如：肥料的種類 (Swift 1997; Pope *et al.*, 2011)、田埂雜草的管理 (Barney *et al.*, 1984; Lampkin, 2002)、混植 (Benton *et al.*, 2003)、間作 (Baumann *et al.*, 2000)、綠籬 (Tapper and Barnes, 1986) 與週邊土地利用的影響等 (Cai *et al.*, 2007; Thomas *et al.*, 2002; Weibull *et al.*, 2003; Gardiner *et al.*, 2009)。

相對於慣行農業，有機農業被認為是對環境較為友善的資源利用方式，然而有機農法的耕作措施以及農地周圍地景特徵皆存在著相當的異質性，影響農業生產地景的生物多樣性，未來研究應可著重於耕作措施與農地周圍的地景複雜度都會對農田生物多樣性產生之影響。

表三、各村樣區之生物多樣性指數與田間管理紀錄

Table 3. The biodiversity index and the record of farming practices in each administrative division.

Farming treatments	Dongli		Zhutian		Shipai		Xuetian	
	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation	Organic cultivation	Conventional cultivation
Manual weed control(s)	15	1	5	1	2	0	10	0
Agrochemical control(s)	0	5	0	5	0	5	0	6
No. of sp.	152	119	114	101	142	91	91	91
No. of individuals	39000	25797	11474	3994	49023	26775	27379	26509
Proportion of Nature enemy (%)	13.29%	11.07%	10.33%	13.90%	11.62%	7.69%	8.44%	6.81%
Abundance of nature enemy	5184	2855	1185	555	5698	2058	2312	1806
Shannon-Weiner's Index	3.284	2.912	3.012	3.061	2.91	2.686	2.81	2.533
Simpson's Index	0.9211	0.8876	0.9044	0.9094	0.8968	0.8668	0.8933	0.8303
Pielous's Index	0.6536	0.6093	0.636	0.6632	0.5872	0.5954	0.623	0.5616
Margelef's Index	14.28	11.62	12.09	12.06	13.06	8.828	8.808	8.836

三、對農法敏感的優勢天敵物種適合作為水稻田農業生物多樣性指標物種

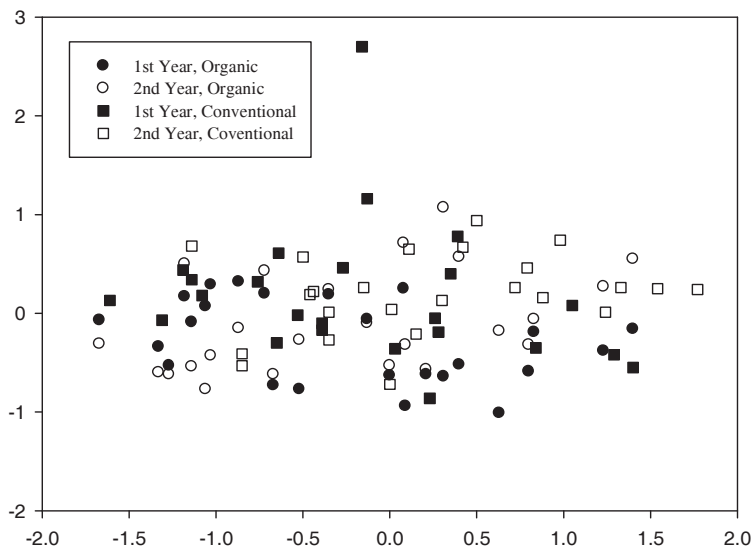
我們利用 SIMPER 來找出對農法差異較為敏感之物種，結果顯示，不同農法樣本間相似性差異主要由 29 種物種所貢獻 (表四)。這些貢獻度較大的物種中，稻害物種具有較多的物種被挑選；天敵物種包含捕食者的卵形鬼蛛 (*Araneus inustus* L.Koch, 1871)、爪哇長腳蛛 (*Tetragnatha javana* Thorell, 1890)、日本長腳蛛 (*Tetragnatha maxillosa* Thorell, 1895)、橙瓢蟲 (*Micraspis discolor* Fabricius, 1798)、螳水蠅 (*Ochthera* sp. Latreille, 1802) 等五種物種；擬寄生的小繭蜂 (*Adelius* sp. Haliday, 1833)、稻苞蟲羽角姬小蜂 (*Sympiesis parnae* Chu & Liao, 1982) 等兩種；訪花者為鈇蠓 (*Forcipomyia* sp. Linnaeus, 1767)，雜草食者為芋盲蝽屬 (*Ernestinus* genus Distant, 1911)，清除者為池畔搖蚊 (*Limnophyes* genus Eaton, 1875) 等雙翅目物種六種。29 種對農法操作敏感物種中，其中僅爪哇長腳蛛 (*T. javana*, $p = 0.008$)、日本長腳蛛 (*T. maxillosa*, $p = 0.02$)、橙瓢蟲 (*M. discolor*, $p = 0.021$) 等三種物種在不同農法間具有顯著差異。

線性迴歸分析顯示，捕食性的橙瓢蟲、日本長腳蛛、爪哇長腳蛛等三種物種在稻田內之豐量與農田內之無脊椎動物數量與物種數有顯著正向線性相關 (圖二)，亦即當水稻田中的橙瓢蟲、日本長腳蛛、爪哇長腳蛛等三種物種豐量多時，該水稻田中的其他物種數以及個體數也會增加。

橙瓢蟲，為肉食性的瓢蟲，廣泛分佈於稻田生態系統中 (Jadhao, 2011)，整個生活史可於稻田中完成。幼蟲階段捕食蚜蟲、介殼蟲、飛蟲等同翅目若蟲，以終齡幼蟲的捕食效果最佳 (Begum *et al.*, 2002; Chowdhury *et al.*, 2008; Sharma and Joshi, 2010; Rattanapun, 2012)。經蛹階段羽化成蟲後，亦以捕食同翅目若蟲為主 (Begum *et al.* 2002)。長腳蛛廣泛分佈於水田及溼地雜草、特別喜好於禾本科植物上築網進行補食 (Rodrigues *et al.*, 2009)，常棲息於水稻的頂端，對鱗翅目和直翅目害蟲的控制有相當的成效 (Kim *et al.*, 2011)。全年均可見，水稻生長越旺數量就越多，尤其在有機水稻田中可以發現更豐富的族群量 (Takada *et al.*, 2013)，以捕食遊走性害蟲 (二化螟、螟蛾、椿象、蠅、搖蚊、象鼻蟲、葉蟬) 為主 (Jayakumar and Sankari, 2010)。長腳蛛也會捕食褐飛蟲，同時也會以瓢蟲科的蛹和幼蟲與草蛉的幼蟲為食 (Gangurde, 2007)。

生物多樣性的研究常用直接測量的方式，但研究成本 (時間和經費) 高，且需要有鑑定不同物種的能力，所以科學家們試著尋找間接或替代的調

查方式，我們希望能透過本研究找出可反映水稻田生物多樣性的指標物種，未來能用以監測生態環境。而理想的農業生物多樣性指標的選擇，本研究參考 OECD (1999, 2001) 相關規範，以及 2010 年日本九州大學 Ueno 博士之研究，需具備政策相關性、分析健全性、測量可測性以及易溝通與推廣等特性；另外，該指標必須能反映水稻田之生物多樣性，並且對不同的農耕制度要有其敏感性；而符合上述選擇條件者，我們認為橙瓢蟲、日本長腳蛛、爪哇長腳蛛可反映水稻田的生物多樣性、對不同的農耕制度敏感，肉眼可見；又，它們具有可抑制稻田優勢害蟲的生態功能，農民接受度高，是適合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。



圖一、有機田區（方形）與慣行田區（圓形）樣本多維尺度空間分布圖（第一年度為實心，第二年度為空心）。

Figure 1. Non-metric multidimensional scaling composed of organic (filled circle: 1st Year; empty circle: 2nd Year) and conventional (filled square: 1st Year; empty square: 2nd Year) samples.

表四、本研究以 SIMPER 程序分析顯示貢獻量大於 1 的物種。

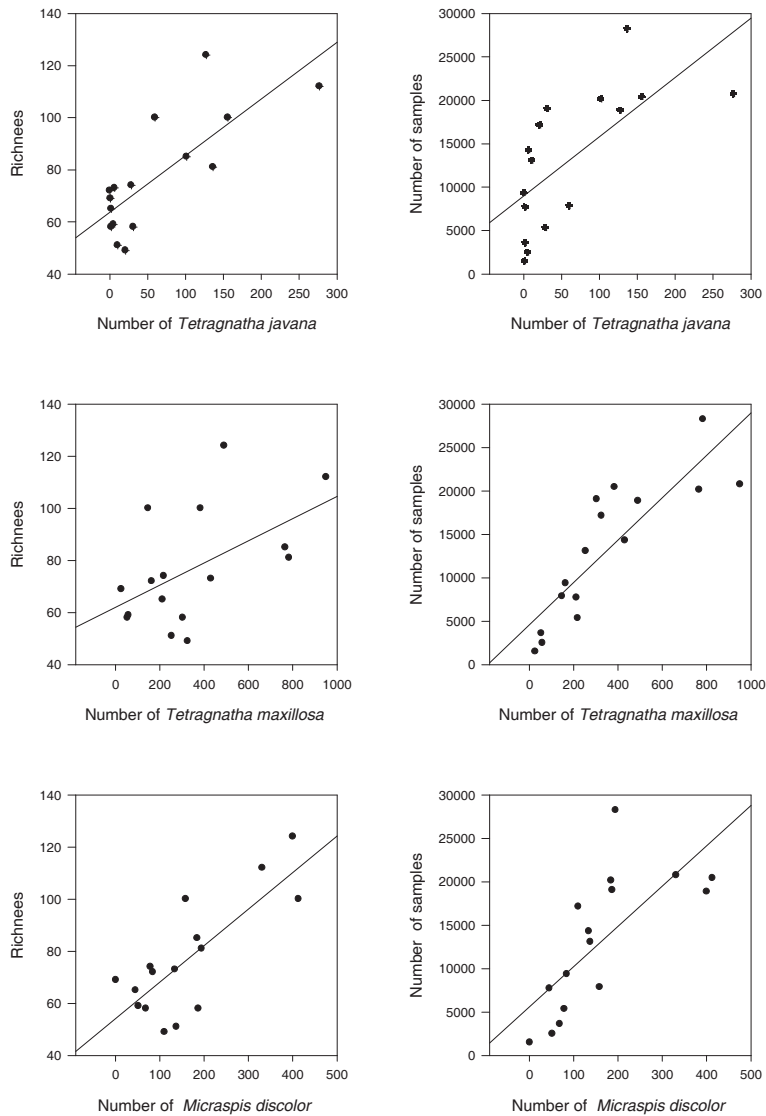
Table 4. Species which contributed to the dissimilarity between two farming methods over than 1, selected by SIMPER procedure.

Eco-functiona l groups	Farming treats	Organic fields	Conventional fields	Contribution (%)	Sum of (%)
	Av. similarity	31.24	31.31		
	Discriminative species	$N_{\text{mean}} \pm \text{S.E.}$	$N_{\text{mean}} \pm \text{S.E.}$		
Parasitoids	<i>Adelius spA</i>	24.26± 2.95	22.64± 4.01	1.44	2.66
	<i>Sympiesis parnarae</i>	14.27± 3.8	7.86± 2.01	1.22	
Predators	<i>Araneus inustus</i>	17.52± 3.29	14± 2.59	1.39	8.37
	<i>Tetragnatha javana</i> ^x	14.25± 3.35	4.33± 1.37	1.15	
	<i>Tetragnatha maxillosa</i> ^x	78.8± 17.4	34.47± 6.2	2.44	
	<i>Micraspis discolor</i> ^x	30.41± 5.1	16.42± 3.05	1.67	
	<i>Ochthera spA</i>	26.36± 7.1	14.91± 8.22	1.72	
	<i>Stenotarsonemus spinki</i>	123.4± 39.8	80.4± 21.8	3.73	
Pests	<i>Oulema oryzae</i>	199± 138	8.09± 3.5	2.54	31.68
	<i>Liriomyza spA</i>	10.49± 2.81	10.57± 3.65	1.17	
	<i>Hydrellia griseola</i>	12.15± 3.4	6.94± 2.64	1.2	
	<i>Hydrellia sasakii</i>	32.3± 24.9	6.61± 3.51	1.24	
	<i>Thaia rebiginosa</i>	81.3± 30.5	44.8± 27	2.43	
	<i>Nilaparvata lugens</i>	80.2± 40.7	61± 28.2	2.37	
	<i>Sogatella furcifera</i>	196.6± 44.8	194.4± 52	4.44	
	<i>Nephotettix nigropictus</i>	32.04± 8.11	16.81± 4.26	1.94	
	<i>Nephotettix virescens</i>	19.42± 4.58	13.37± 4.04	1.57	
	<i>Stenchaetothrips biformis</i>	467± 117	350± 139	7.26	
	<i>Stenchaetothrips spA</i>	35.2± 19.6	28.3± 12.6	1.79	
Graminivor es	<i>Ernestinus spB</i>	25.3± 11.8	8.41± 4.37	1.25	1.25
Pollinators	<i>Forcipomyia spA</i>	27.02± 5.97	22.8± 3.44	1.88	1.88
Scavengers	<i>Cricotopus spA</i>	44.8± 18.4	41.1± 20.4	1.92	22.12
	<i>Cricotopus spB</i>	39.9± 31.1	10.57± 6.57	1.06	

<i>Cryptochironomus spA</i>	75.5± 27.5	82.6± 34.4	3.18
<i>Limnophyes spA</i>	442± 126	433± 121	7.4
<i>Micropsectra spA</i>	44.2± 30	22.5± 13.3	1.79
<i>Chyromya spA</i>	11.67± 2.04	7.75± 1.44	1.06
<i>Culex spA</i>	6.38± 2.63	7.91± 2.36	1.03
<i>Sepedon spA</i>	80.8± 13.6	83.9± 15.7	2.8

Average dissimilarity = 69.26

^x: 2 samples T- test, p < 0.05



圖二、三種指標物種與稻田無脊椎動物群集豐量、物種數之散佈圖。

Figure 2. The scatter plot between richness (Species number of paddy field arthropod) or abundance (Number of respective species) of arthropod assemblage predicted versus three indicator species respectively (*M. discolor*, *T. javana* and *T. maxillosa*).

結論

本研究結果，台灣東部地區稻田無脊椎動物相之調查共得 209951 隻，包括 13 目 93 科 206 屬 240 種。本研究證實有機農法確實有助於台灣東部水稻田物種多樣性的維持，特別是天敵物種，其物種數或相對豐量皆以有機群集較高。而各生態功能群於慣行田區的物種數皆較有機田區低。然而，不同農法的生物群集並未顯著分群，我們認為，為了要維持或增加水稻田的生物多樣性，除了考慮化學肥料與農藥的使用與否外，其他農地周圍環境的變化與耕作措施，亦會影響水稻田生物多樣性，可作為未來研究向之參考。天敵物種中的橙瓢蟲、日本長腳蛛、爪哇長腳蛛，我們認為是適合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、林泰佑先生、林立小姐、楊俊宏先生、賴明基先生、鍾欣民先生、許子翊小姐，謹此致謝。

參考文獻

- Barney, R. J., W. O. Lamp, E. J. Armbrust, and G. Kapusta (1984) Insect predator community and its response to weed management in spring-planted alfalfa. *Protection Ecology* 6(1): 23-33.
- Baumann, D. T., M. J. Kropff, and L. Bastiaans (2000) Intercropping leeks to suppress weed. *Weed Research* 40 (4): 359-374.
- Benton, T. G., J. A. Vickery, and J. D. Wilson (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution* 18 (4): 182-188.
- Begum, M. A., M. Jahan, M. N. Bari, M. M. Hossain, and N. Afsana (2002) Potentiality of *Micraspis discolor* (F.) as a Biocontrol Agent of *Nilaparvata lugens* (Stal). *OnLine J. of Biol. Sci.* 2 (9): 630-632.
- Butler, S. J., J. A. Vickery, and K. Norris (2007) Farmland Biodiversity and the Footprint of Agriculture. *Science* 315 (5810): 381-84.

- Cai, H. J., Z. S. Li., and M. S. You (2007) Impact of habitat diversification on arthropod communities: A study in the fields of Chinese cabbage, *Brassica chinensis*. *Insect Science* 14 (3): 241-249.
- Clarke, K.R (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aus. J. Eco.* 18: 117-143.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley (2001) PRIMER v5: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth UK, 91pp.
- Connell, J.H (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302-1310.
- Chowdhury, S.P., M. A. Ahad, M. R. Amin and S. M. Hasan (2008) Biology of ladybird beetle *Micraspis discolor* (Fab.) (Coccinellidae: Coleoptera). *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 3(3):39-44.
- De-Jong, W (1997) Developing swidden agriculture and the threat of biodiversity loss. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 62 (2-3): 187-197.
- Duelli, P. and Obrist, M. K (2003) Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 98(1-3):87-98.
- Gardiner, M. M., D. A. Landis, C. Gratton, C. D. DiFonzo, M. O'Neal, J. M. Chacon, M. T. Wayo, N. P. Schmidt, E. E. Mueller, and G. E. Heimpel (2009) Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications* 19 (1): 143-154.
- Geiger, F., J. Bengtsson, F. Berendse, W. W. Weisser, M. Emmerson, M. B. Morales, P. Ceryngier, J. Liira, T. Tschardtke, 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.
- Gomiero, T., D. Pimentel, and M. G. Paoletti (2011) Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30: 105-108.
- 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.

- 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 (1): 113-130.
- Hyvonen, T., E. Ketoja, J. Salonen, H. Jalli, and J. Tiainen (2003) Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 97 (1-3): 131-149.
- Imaizumi, M., S. Ishida, and T. Tuchiara (2006) Long-term evaluation of the groundwater recharge function of paddy fields accompanying urbanization in the Nobi Plain, Japan. *Paddy and Water Environment* 4 (4): 251-263.
- Jadhao, M. F. (2011) A preliminary study of the predatory natural enemy complex of rice ecosystem in Vidarbha region of Maharashtra, India. *Int. Ref. Res. J. RNI: RAJBIL 2009/30097, Vol-II issue 22: 25-27.*
- Jayakumar, S. and A. Sankari (2010) Spider population and their predatory efficiency in different rice establishment techniques in Aduthurai, Tamil Nadu. *J. of Biopesticides* 3(1 Special Issue):20-27.
- Kim, S. T., S. Y. Lee, J. K. Jung, and J-H. Lee (2011) Spiders as important predators in Korean rice fields. *Organic is Life Knowledge for Tomorrow Volume 2 Socio-Economy, Livestock, Food Quality, Agro-Ecology and Knowledge Dissemination* 285-289.
- Kromp, B (1999) Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74(1-3): 187-228.
- Lampkin, N. H (2002) *Organic Farming*. Ipswich: Old Pond Publishing.
- Letourneau, D. K., and B. Goldstein (2001) Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38 (3): 557-570.
- Medley, K., B. Okey, G. Barrett, M. Lucas, and W. Renwick (1995) Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, U.S.A. *Landscape Ecology* 10 (3): 161-176.
- Natuhara, Y (2012) Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecological Engineering* 56 : 97-106.

- Neher, D.A (1999) Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *Journal of Nematology* 31 (2): 142-154.
- OECD (1999) Environmental indicators for agriculture_Concept & framework. Paris, France.
- OECD (2001) Agriculture and Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis. Zurich, Switzerland.
- Oñate, J. J., E. Andersen, B. Peco, and J. Primdahl (2000) Agri-environmental schemes and the European agricultural landscapes: the role of indicators as valuing tools for evaluation. *Landscape Ecology* 15:271-280.
- Pfiffner, L., and H. Luka (2003) Effects of low-input farming systems on carabids and epigeal spiders-a paired farm approach. *Basic and Applied Ecology* 4 (2): 117-127.
- Pocock, M. J. O. and N. Jennings (2008) Testing biotic indicator taxa: the sensitivity of insectivorous mammals and their prey to the intensification of lowland agriculture. *Journal of Applied Ecology* 45:151-160.
- Pope, T. W., R. D. Girling, J. T. Staley, B. Trigodet, D. J. Wright, S. R. Leather, H. F. Van Emden, and G. M. Poppy (2011) Effects of organic and conventional fertilizer treatments on host selection by the aphid parasitoid *Diaeretiella rapae*. *Journal of Applied Entomology* 136 (6): 445-455.
- Power, A. G (2010) Ecosystem services and agriculture: Trade offs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365 (1554): 2959-2971.
- Rattanapun, W. (2012) Host Plants Dependent Prey Suitability of Predatory Lady Beetles. *J. Entomol. Res. Soc.*, 14(3): 29-37.
- Reidsma, P., T. Tekelenburg, M. van den Berg, and R. Alkemade (2006) Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114 (1): 86-102.
- Rodrigues, E. N. L., M. De S. Mendonça, and R. Ott (2009) Spider diversity in a rice agroecosystem and adjacent areas in southern Brazil. *Revista Colombiana de Entomología* 35 (1): 89-97.
- Seufert V, Ramankutty N, and JA Foley (2012) Comparing the yields of organic

- and conventional agriculture. *Nature* 485: 229–232.
- Sharma, P.K. and P.C. Joshi (2010) New Records of Coccinellid Beetles (Coccinellidae: Coleoptera) from District Dehradun, (Uttarakhand), India. *New York Sci. J.* 3(6):112-120.
- Swift, M. J (1997) Biological management of soil fertility as a component of sustainable agriculture: Perspectives and prospects with particular reference to tropical regions. In *Soil ecology in sustainable agricultural systems*, ed. L. Brussaard and R. Ferrera-Cerrato, 137-159. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Swinton, S. M., F. Lupi, G. P. Robertson, and S. K. Hamilton (2007) Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics* 64 (2): 245-252.
- Takada, M, B., T. Kobayashi, A. Yoshioka, S. Takagi, and I. Washitani (2013) Facilitation of ground-dwelling wolf spider predation on mirid bugs by horizontal webs built by Tetragnatha spiders in organic paddy fields. *Journal of Arachnology* 41(1):31-35.
- Tapper, S. C., and R. F. W. Barnes (1986) Influence of farming practice on the ecology of the brown hare (*Lepus Europaeus*). *Journal of Applied Ecology* 23 (1): 39-52.
- Thomas, S.R., R. Noordhuis, J. M. Holland, and D. Goulson (2002) Botanical diversity of beetle banks effects of age and comparison with conventional arable field margins in southern UK. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93 (1-3): 403-412.
- Tilman, D., J. Fargione, B. Wolff, C. D. Antonio, A. Dobson, R. Howarth, D. Schindler, W. H. Schlesinger, D. Simberloff, and D. Swackhamer (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* 292 (5515): 281-284.
- Ueno,T (2010) Biodiversity in Rice Paddies and Use of Indicator Species to Assess Environmental Friendship of Agricultural Practices. 7th International AFAS Joint Symposium Between Korea and Japan.7:126-132.
- UNU-IAS (2010a) Biodiversity and Livelihoods: the Satoyama Initiative Concept in Practice. Institute of Advanced Studies of the United Nations University and Ministry of Environment of Japan.

- UNU-IAS (2010b) Satoyama-Satoumi Ecosystems and Human Well-being: Socio-ecological Production Landscapes of Japan - Summary for Decision Makers. Institute of Advanced Studies of the United Nations University.
- UNU-IAS (2012) Website of Satoyama Initiative. Retrieved from <http://satoyama-initiative.org/en/>, Institute of Advanced Studies of the United Nations University (UNU)
- Vickery, J. A., R. B. Bradbury, I. G. Henderson, M. A. Eaton, and P. V. Grice (2004) The role of agri-environment schemes and farm management practices in reversing the decline of farmland birds in England. *Biological Conservation* 119 (1): 19-39.
- Vitousek, P. M., R. Naylor, T. Crews, M. B. David, L. E. Drinkwater, E. Holland, P. J. Johnes, J. Katzenberger, L. A. Martinelli, P. A. Matson, G. Nziguheba, D. Ojima, C. A. Palm, G. P. Robertson, P. A. Sanchez, A. R. Townsend, and F. S. Zhang (2009) Nutrient imbalances in agricultural development. *Science* 324 (5934): 1519-1520.
- Weibull, A.C., O. Ostman, A. Granqvist (2003) Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12 (7): 1335-1355.
- Zhang, W., T. H. Ricketts, C. Kremen, K. Carney, and S. M. Swinton (2007) Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics* 64 (2): 253-260.

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	-	
Zhutian	Conventional fields	pyrazosulfuron-ethyl quinclorac	Weed control Weed control
	Organic fields	-	
Shipai	Conventional fields	edifenphos tecloftalam	Fungus control Fungus control
	Organic fields	-	
Xuetian	Conventional fields	tricyclazole	Pest control
		lambda-cyhalothrin	Pest control
		pencycuron	Fungus control
		kasugamycin + tricyclazole	Fungus control
		hexaconazole	Fungus control
Organic fields	-		

附錄二、本研究所採用各項分析指數

Appendix II. Biodiversity index and distance-based ordination coefficients explicated functions in this study.

	Formulation	Expression
Simpson's Index	$\lambda = 1 - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{N}\right)^2$	<p>n_i: the number of individuals belonging to the ith species</p> <p>N: the total number of individuals belonging to the assemblage</p>
Shannon-Wiener's Index	$H' = -\sum_{i=1}^s (n_i / N) \ln(n_i / N)$	<p>n_i: the number of individuals belonging to the ith species</p> <p>N: the total number of individuals belonging to the assemblage</p> <p>H': the Shannon-Wiener's Index</p>
Peilous'evenness Index	$J' = H' / \log S$	<p>S: the number of species belonging to the assemblage</p> <p>S: the number of species belonging to the assemblage</p>
Marfelef's Index	$R = (S-1) / \log N$	<p>N: the total number of individuals belonging to the assemblage</p> <p>y_{ik}: the number of individuals belonging to the ith species in k assemblage.</p>
Bray-Curtis distance	$\delta_{jk}(i) = 100 \cdot y_{ij} - y_{ik} / \sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})$	<p>y_{jk}: the number of individuals belonging to the ith species in j assemblage.</p>

<p>Bray-Curtis Similarity</p>	$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p y_{ij} - y_{ik} }{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\}$ $= 100 \frac{\sum_{i=1}^p 2 \min(y_{ij}, y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})}$	<p>y_{ik}: the number of individuals belonging to the i_{th} species in k assemblage.</p>
		<p>y_{jk}: the number of individuals belonging to the i_{th} species in j assemblage.</p>
		<p>r_b = mean rank of between group dissimilarities</p>
		<p>r_w = mean rank of within group dissimilarities</p>
<p>ANOSIM</p>	$R = \frac{(\bar{r}_B - \bar{r}_W)}{\frac{1}{2} M}$	<p>M: $n(n-1)/2$, n = total number of samples.</p>
		<p>R will usually fall between 0 and 1, indicating some degree of discrimination between the sites.</p>

A Research on the Agrobiodiversity Indicators for Rice Paddy Fields in Eastern Rural Taiwan

Mei-Ling Fan¹, Kuang-Chung Lee², Sze-Sheng Tsai¹, Chih-Ying Yu¹,
Hung-Chang Hsu¹, Peng Hwang¹, Kwok-Ching Wong²

¹Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Council of
Agriculture, Executive Yuan, Taiwan;

²National Dong Hwa University

ABSTRACT

This research aims to discuss the difference of invertebrates' community structure between organic farming and conventional farming in paddy fields of eastern rural Taiwan. It is also expected to develop agro-biodiversity indicator species which is helpful in monitoring integrity of agricultural environment and promoting environmentally friendly farming. The paddy fields were investigated in the first cropping season between active tillering and harvest from April to June in 2013-2014. Sampling was done twice a week using the method of net sweeping on paddy fields. A total of 209,951 invertebrates belonging to 240 species, 206 genera, 93 families and 13 orders were found and identified, within which 213 species were identified in organic paddy fields with only 181 species in conventional paddy fields. What's more, organic fields were found to have a higher number of species of various functional groups. The similar differences between organic and conventional farming methods are a main contribution of 29 invertebrates in which the predators, *Micraspis discolor*, *Tetragnatha maxillosa*, *Tetragnatha javana* abundance were also significantly different in paddy fields under different farming methods. Results also show that there is a positive linear relationship between the abundance of the three mentioned species and the richness and abundances of invertebrates in paddy fields, which can be used in the future as indicator species to reflect artificial disturbance.

Keywords: Organic cultivation, Invertebrate, Paddy field, Agro-biodiversity
Indicator species