

以稻田無脊椎動物群集結構與功能性動態初探分類

解析度於生物監測的適用性¹

蔡思聖²、許宏昌²、范美玲³、黃鵬⁴、李光中⁵

摘要

生物多樣性保育已成為農業生產歷程中的新價值與義務。基於研究資源投入的取捨與資料取得的時效性，分類解析度對於探討影響生物群集結構、功能組成動態之人為擾動越趨重要，本研究目的有二：（1）探討種以上階層與種之分類解析度對於群集研究結果輸出之影響（2）探討適當的解析度作為評估功能群動態的可行性。研究地點為南花蓮豐南村稻田，將有機與慣行稻田植株部之大型無脊椎動物群集歷經一年兩期作之調查資料透過不同分類階層、功能群等不同分類解析度以距離排序法進行相似性分析、並比較其相關性。結果發現期作、農法兩因子皆造成種階層之顯著分群，然於較粗糙之分類解析度結果中，期作並未造成綱或者目的群集資料顯著分群；與種最相關之分類階層為屬，並依分類解析度粗糙化而遞減；與功能群動態最相關之分類階層為目、其次為科，然透過優勢集中性指標發現，擬寄生者、偶訪者、授粉者三功能群在目的層級已無法忠實地反映物種變異。本研究總結，若關注物種多樣性的維持與穩定，以鑑定至種之層級作為研究解析度較為適宜，若需兼顧功能群動態與反映群集結構的擾動衝擊，則至少以科之層級較為適宜，農田管理可納入以科層級之生態需求作為參考。

關鍵詞：稻田、分類解析度、農業生物多樣性、功能群、生態評估

1.花蓮區農業改良場研究報告第 255 號。

2.花蓮區農業改良場專案研究助理。

3.花蓮區農業改良場場長。

4.花蓮區農業改良場場長。（已退休）

5.國立東華大學副教授。

前　言

一、物種保育已成為農業生產歷程中的新價值與義務

物種保育已成為農業生產過程中的重要環節。近來，為了供給人口增長，農地的過度擴張、集約化管理與合成藥劑的使用等已迫使原野環境品質劣化、物種面臨滅絕危機 (Tilman *et al.* 2001; Kleijn *et al.*, 2006; Pocock and Jennings, 2008; Vitousek *et al.*, 2009; Geiger *et al.*, 2010; Zhang *et al.* 2011)。然而，基於可持續利用的發展原則，農業生產已面臨轉型，並在其固有地景上已成為維護物種多樣性最不可或缺的重要元素 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Zhang *et al.*, 2007; Natuhara, 2012; Power, 2010; Gabriel *et al.*, 2010; UNU-IAS, 2010a; 2010b; 2012; Landscapes for People, Food and Nature Initiative, 2012)。農業生物多樣性代表農業生產過程中所涉及的所有生物層級之變化與變異 (FAO, 1999)。隨著全球生物多樣性喪失率的劇增，評估農業生物多樣性所提供的關鍵功能以及農業生態系內作物與其他物種間的互動過程已越趨重要。生物群集結構可即時反映人為擾動所產生的衝擊，透過生物群集結構評估人為擾動的衝擊並進行調整逐漸成為農業永續發展中的重要策略 (Paoletti, 1999; Duru, 2013)。以農業生物多樣性組成和變化進行定量研究並評估農業生物多樣性的可持續利用發展原則，也日亦受到重視 (Dennis *et al.*, 2009; Kleijn *et al.*, 2006; Pfiffner and Luka, 2003; Billeter *et al.*, 2008; Sprague *et al.*, 2010)。

二、生態影響評估時所選擇的分類解析度與其應用

透過生物群集監測 (community-level bioassessments) 以評估人為的衝擊乃生態影響評估較普遍的作為之一，採用不同的分類解析度存在著不同的策略權衡與其論點。支持鑑定至種層級者，認為其可較全面性的反映整體群集結構，並可偵測到外來種的入侵或是珍稀物種的變化，但相對耗費較多的人力資源、科學家耗時於鑑定工作；Marshall 等人 (2006) 認為可由較高層級取代種之層級者，主要是認定來自同一較高分類階層內的所有分類單元往往由攝食同功群、或生境需求近似的物種所組成，而有較為近似的動態表現。但隨分類階層整併的過程，特定物種或稀有種的變化趨勢可能被忽略。另也有部分研究者受限分類學的進展或鑑定過程的繁瑣，因而找尋可節省資源投入的較低解析度作為評估 (Jones, 2008; Frizzera and Alves, 2012)。一些研究也以不同分類解析度的分析結果進行判讀並比較 (Lasiak, 2003; Marshall *et al.*, 2006; Konar and Iken, 2009)。稻米為季風亞洲主要糧食作物之一，許多的物種調查因與蟲害管理有極大的關聯而被建立 (Letourneau and Goldstein, 2001; Pfiffner and Luka, 2003; Bambaradeniya and Edirisinghe, 2008)。然而，以不同分類解析度進行稻田生物群集結構之相關探討仍不多見，選用分類層級進行研究時所需考量的影響仍待評估。

三、以功能導向評估農業生產，使農業生產更貼近環境生態

Moore (2001) 定義功能多樣性代表一生態系內的各種歷程對於族群結構或動態穩定度的貢獻之總合。功能性農業生物多樣性的出現 (ELN-FAB, 2012)，則倡導適當作為的介入，以正向提高農業生物多樣性所帶來的功能供給與糧食生產，有別於有機農法或是友善環境農法，這些適當的正向作為已被鼓勵應用在慣行農法或農業生產地景的規劃。半自然棲地上所進行的農業活動與農地生物多樣性之間的互動關係是極其複雜與多元的。物種數與功能服務供給之間的互動關係一直是生態研究的經典議題 (Ehrlich and Ehrlich, 1981; Walker, 1992; Lawton, 1994; Peterson *et al.*, 1998)。農地上所生存的各

式物種提供不同的生態服務，以總體而言是有助於農業生產的(Altieri, 1994)。Vandermeer 與 Perfecto 兩位學者 (2005; 2008) 認為農田生物多樣性可區分成計畫生物多樣性 (planned biodiversity) 與關聯生物多樣性 (associated biodiversity)，前者會間接的影響後者，即計畫生物多樣性為農田生態系中，因為農民的栽培計畫而產生的作物多樣性；而關聯生物多樣性則是在農民選擇栽培系統之後，農田生態系統中因應而生的生物多樣性。因此，透過調控計畫生物多樣性可促進地景中相鄰的關聯生物多樣性維持而達到物種保育的附加價值；此外，並提及功能性供給與農地物種數之間的關係預測，其主張不當操作之農田物種數減少所造成功能供給耗竭，可能在達到農田生態系統潛在閾值之前是不明顯的，而未能被察覺的。Wilby and Thomas (2002a) 曾嘗試以功能性供給與物種數間之關聯性來解釋農田中的蟲害防治，其認為群集內包含不同生活史形態的物種是構成物種-功能特異性表現 (Lawton, 1994) 的主因，不同蟲害類型，對於天敵多樣性喪失的反映將有所不同。因此，功能取向已成為研究者開始解析農田生物多樣性的切入點之一，並已成為農田操作的指導原則。

四、初探較適分類解析度以用來反映物種結構與功能群動態

分類解析度代表以不同分類階層尺度做為研究群集結構的基本分類單位。群集結構能反映農地環境的變動，在評估的過程中，人力、物力資源投入會限制所探查的群集動態之分類解析度。若能以合宜的解析度回答所需的研究議題，則可節省研究成本投入。聚焦於特定生態功能的供給，同功群的豐量動態是很重要的參數，並形成功能群動態。群集結構的變化能否透過適當的分類群解析度並反映出功能群動態，將取決於群集結構內部的同一分類群中各分類單位是否皆具有一致性的生態功能以及動態，而稻田地上部無脊椎動物以節肢動物佔優勢，具有不同的生態功能性物種，且因為研究利呈較久遠，以及可適時反映農地環境擾動等特性而被研究者所採用 (Fan et al., 2012)，然不同解析度之間的資料相關性仍未有研究資料可供參考。本研究將應用多變量分析方法做為工具探討：(一) 探討種以上階層與種之分類解析度對於稻田群集研究結果輸出之影響，(二) 探討適當的解析度作為評估功能群動態的可行性。

材料與方法

一、採樣方式

以花蓮縣富里鄉豐南村之有機淺田及慣行田進行研究，從 2012 年第一期插秧始至第二期收割結束，以兩週一次的頻度進行採樣。於 0.4 ha 之稻田樣區內中央、田埂四周各進行掃網法 10 次共 50 網，置入夾鏈袋中以冰桶攜回實驗室進行鑑定，共取得 44 組群集樣本（兩種農法，各採 11 次，兩期稻作，共 44 筆樣本資料，Sampling unit as Sites）。

二、稻田無脊椎動物的物種組成

本研究將採集之物種依照其生態功能區分為：植食性的稻害者 (Pests，主要以禾本科 (Poaceae) 為食並危害稻株者)、授粉者 (Pollinators，訪花並為植物授粉)、雜草食者 (Graminivores，以非禾本科 (Poaceae) 之其他雜草，如茄科 (Solanaceae)、柳葉菜科 (Onagraceae)、蓼科 (Polygonaceae)、莧科 (Amaranthaceae)、瓜科 (Cucurbitaceae)、天南星科 (Araceae) 為食草)、天敵物種的捕食者 (Predators，透過掠食行為捕食其他生物者)、擬寄生者 (Parasitoids，將卵產於宿主體中，幼蟲於宿主體內發育造成宿主死亡) 以及中性物種的清除者 (Scavengers，多為以有機碎屑為食，少部分亦

會兼食單細胞藻類) 和偶訪者 (Visitors, 非上述種類，主要棲地並非農田環境者)，並統計各功能群中之物種組成與分類階層概況製作圖表。

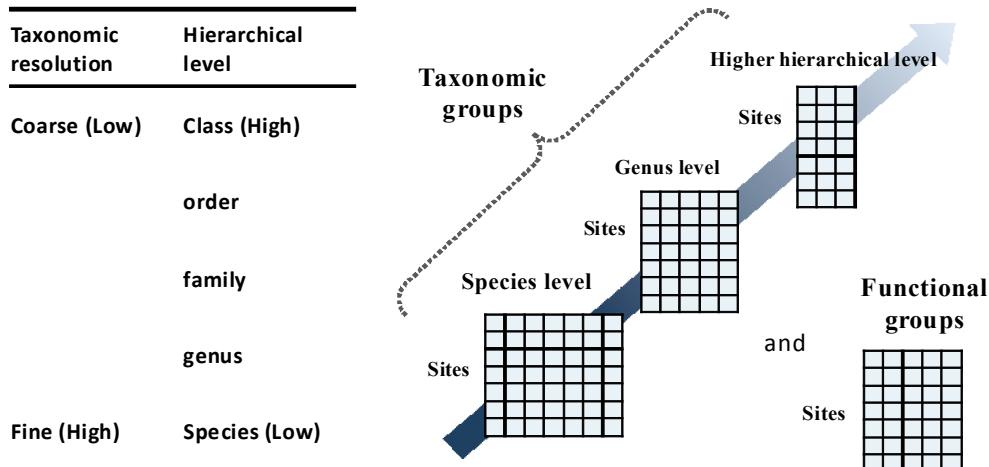
三、功能群分類解析度之動態分析

採樣之樣本鑑定至種之層級，如遇分類地位不明確之分類樣本，則以形態進行區分 (Morpho-taxon units)，統計包含綱、目、科、屬、種之不同分類階層之數量。自野外取得調查之群集資料後 (資料矩陣) 需將這些群集資料建檔，並依分類解析度 (矩陣直欄欄位表特定分類群) 的粗細區分成不同的分類階層群集資料及對應各樣本 (矩陣橫列列位為各採樣單一資料點，Sampling unit as Sites)，分類解析度包括從粗糙的綱階層到最細緻的種以及依照功能性所區分的功能群動態與各樣本形成生物群集資料(圖一)。進行多變量分析前，生物資料統一進行開平方之處理(Lasiak 2003)，以 Primer 6 (Clarke and Gorley, 2006) 軟體透過 Bray-Curtis similarity 的計算與轉換形成群集相似性矩陣 (圖二)。並以 RELATE 程序呈現不同分類解析度所形成之生物相似性矩陣間的斯彼爾曼相關性 (Spearman)，並透過 NMDS 呈現樣本動態，再以 ANOSIM 檢測期作、農法等兩因子是否造成群集結構顯著分群(圖三)，樣本間平均相似性距離 (Average Dissimilarity) 則以 SIMPER 程序進行計算。

四、功能群之優勢集中性指數計算

優勢集中性指數 (Dominant Intensity)，其值介於 0 到 1 之間，值越高代表優勢物種在群集內所佔比例越高 (Simpson, 1949; Odum, 1983)，本研究計各功能群內各分類單位之所佔比例並計算優勢集中性指數 (I)，計算方式為 $I = \Sigma(n_i/N)^2$ ； n_i 為該功能群內特定分類單元所占之豐量，N 為該功能群內所有分類群之總豐量。利用優勢集中性指標觀察同功群內總豐量於不同分類群間的分布。

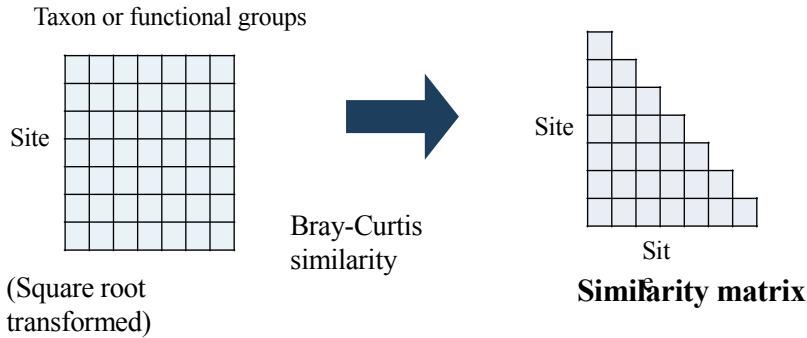
Step 1. Hierarchical level of assemblage dataset



圖一、流程一需將不同分類解析度的生物群集資料建檔，分類階層越高，分類解析度越低（資料來源：本研究繪製）

Fig. 1. Biological dataset identified by hierarchical level was constructed in first step. More coarse taxonomic resolutions mean a lower hierarchical level in taxonomy. Each dataset composed of column (sampling unit as single site) and raw (taxonomic groups) represented the hierarchical level of assemblage.

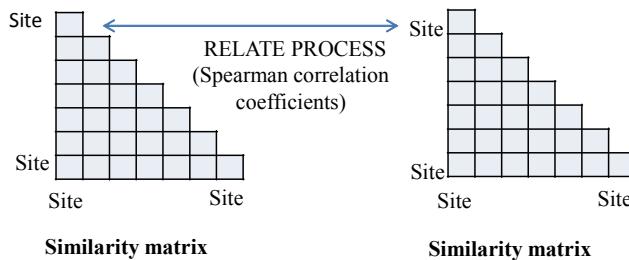
Step 2. Similarity matrix formation



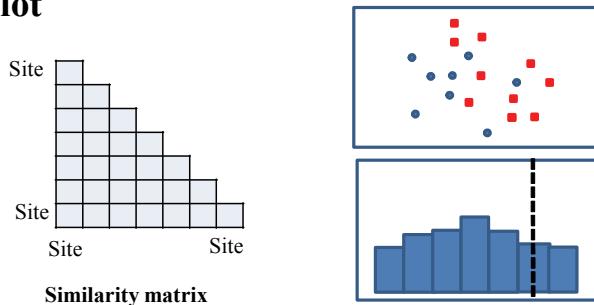
圖二、流程二以不同分類階層生物群集資料形成相似性矩陣（資料來源：本研究繪製）

Fig. 2. Biological similarity matrix was formed from assemblage dataset in second step. Bray-Curtis similar distance between sampling units.

Step 3-1. Correlation measurement among Similarity matrix



Step 3-2. Significance testing of ANOSIM and NMDS plot



圖三、流程三以多變量工具計算不同分類解析度：3-1.相似性矩陣間的相關性； 3-2.環境影響因子之分群檢測（資料來源：本研究繪製）

Fig. 3. Multivariate was used in third step for: 3-1. The correlations among similarity matrix 3-2 Significance testing and NMDS plot of environmental factor.

結果與討論

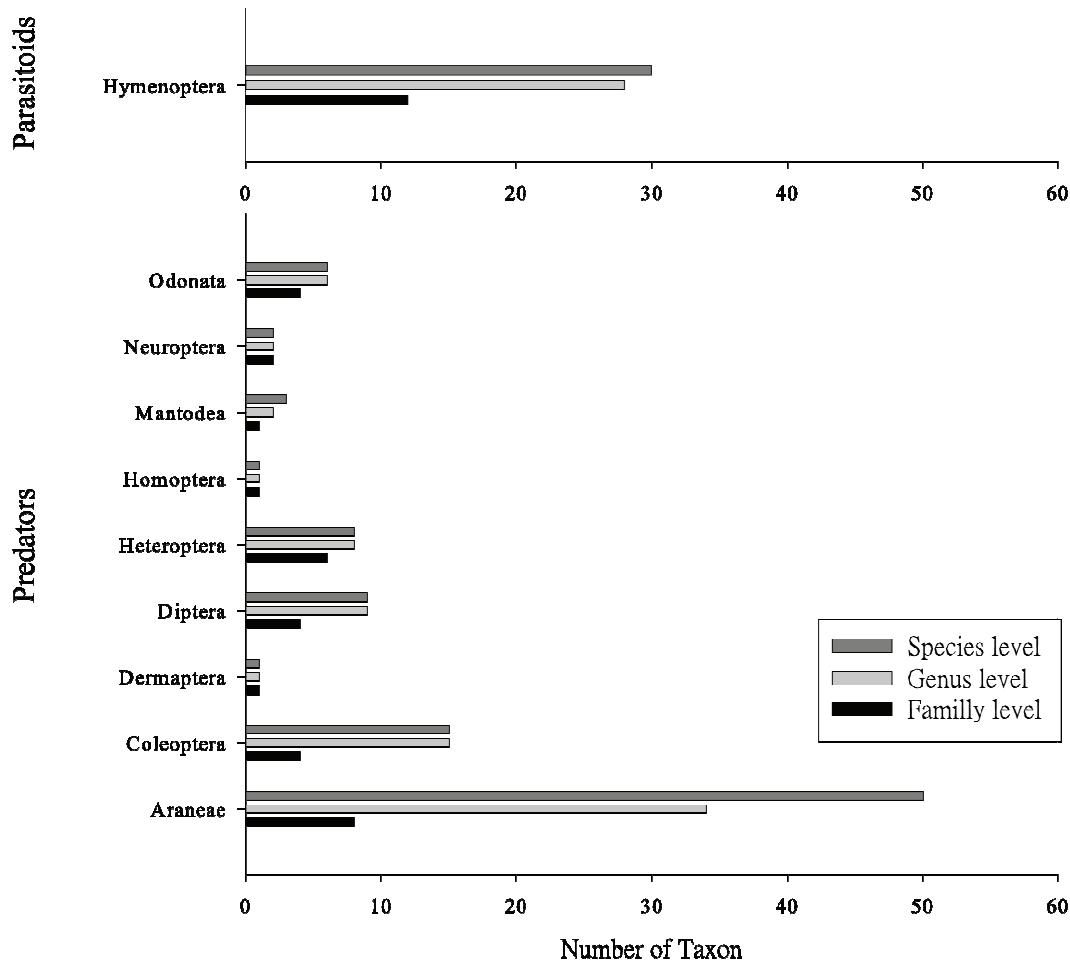
一、稻田群集中各分類群的分布概況與分類解析度的選取前提

經一年兩期稻作的連續調查，共紀錄 7 級 23 目 140 科 307 屬 341 種。若以功能群分開觀察，捕食者 2 級 9 目 29 科 78 屬 95 種與稻害者 3 級 9 目 50 科 87 屬 95 種，具有最多的物種數；擬寄生者僅 1 級 1 目 12 科 28 屬 30 種；清除者 6 級 9 目 28 科 35 屬 38 種，偶訪者 1 級 5 目 10 科 20 屬 23 種，授粉者 1 級 4 目 14 科 21 屬 21 種，雜草食者 1 級 4 目 17 科 37 屬 39 種，各功能群優勢集中指數如表一，捕獲的 14,455 隻個體中，稻害者占有最高的個體數比例 45.33%，捕食者次之，占 16.42%，依序是清除者 13.03%，擬寄生者 10.40%，偶訪者 5.97%，授粉者 5.54%，雜草食者 3.30%。天敵物種中可發現擬寄生者的膜翅目 (Hymenoptera)、捕食者的蜘蛛目 (Araneae) 具有較高的物種多樣性 (圖四 a)；屬於初級消費者的雜草食者以鞘翅目 (Coleoptera) 物種數最多、稻害者則以半翅目 (Hemiptera) 的胸喙亞目 (Sternorrhyncha)、頸喙亞目 (Auchenorrhyncha) 最多 (往昔屬同翅目 Homoptera)、授粉者則以雙翅目 (Diptera)、鞘翅目 (Coleoptera) 並列 (圖四 b)。清除者最多之物種數以雙翅目 (Diptera) 為主、偶訪者以膜翅目 (Hymenoptera) 種類最多、鞘翅目 (Coleoptera) 次之 (圖四 c)。

不同分類解析度從分類解析度較粗糙 (高階的級、目) 往較細的 (低階的屬、種) 分類解析度可觀察到優勢集中指數之變化 (圖五)。優勢分類群若佔功能群中較大之比例，當分類解析度變粗糙時，優勢集中指數增加幅度會較快，可發現雜草食者、授粉者、擬寄生者、偶訪者四者由昆蟲級所構成，因此級層級之優勢集中指數為 1 (表一)；擬寄生者因僅見於膜翅目，故目層級之優勢集中性指數已達 1，清除者、掠食者、稻害者在目以下層級，優勢分類群所佔比例較低，而有較低之優勢集中指數。此三者可能降低目以下層級解析度與功能群動態之相關性；稻田中的授粉者幾乎為一科一屬一種之分類群，以至於授粉者變化不大。

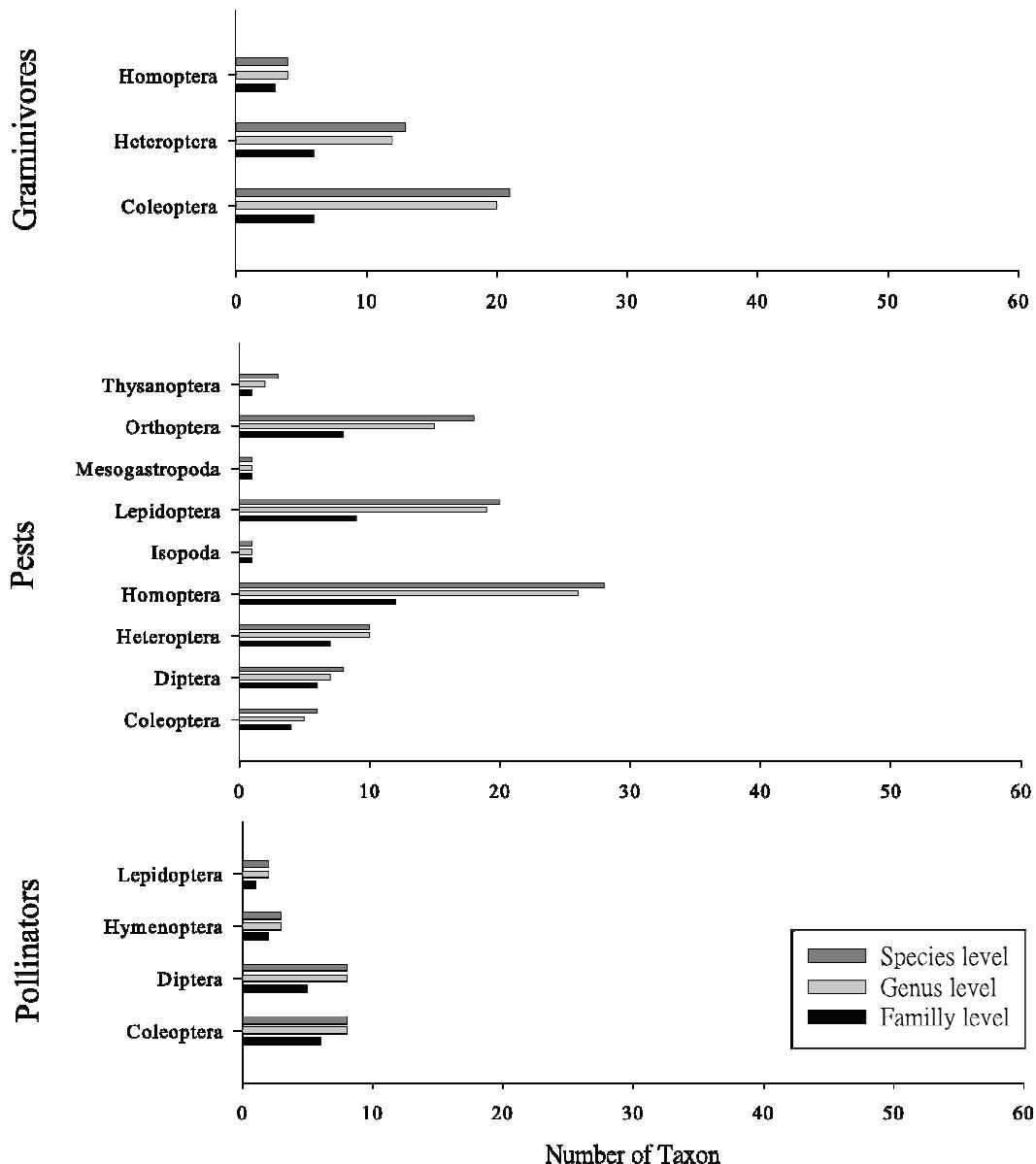
隨著分類解析度越粗糙 (較高分類階層)，較低分類單元將受到整併，而喪失較細分類解析度所能詮釋的訊息 (Marshall *et al.*, 2006; Jones, 2008)。Marshall 等人 (2006) 提出，在強調解析度的適用性時，須注意 (1) 試驗地點的代表性。(2) 能真實反映生物樣本間的相似性關係。(3) 採用種以上層級進行研究時，必須避免忽略瀕危分類群滅絕的風險評估。Jones (2008) 歸納溪流群集研究提出實務上進行生物評估選取分類解析度的七點建議：(1) 盡可能預設為種之層級。(2) 盡可能將分類未明確之分類群以形態種作區分。(3) 若存在已知分類解析度的適用極限或其他需求限制，則應以之作為取捨時的最優先考量。(4) 跨解析度混合資料時，應避免低估內含高度物種變異之分類群。(5) 整合不同研究者資料時，應避免鑑定誤差。(6) 持續累積基礎生物研究，避免例如幼齡個體被誤判等。

(7) 採用流通性高的分類檢索表。相較於指出一最佳的分類解析度，多數研究盡可能的去找出隨著議題的特殊性，生物群集資料所能詮釋的分類解析度適用性極限。儘管如此，已有許多研究環節被證實可能會影響不同解析度資料的表現變化 (Lasiak, 2003; Jones, 2008)。Jones (2008) 認為分類解析度的變化與適用性取決於許多彼此交互相關的因子，包含：(1) 定域內所能供養的物種數。(2) 物種在不同分類階層的分布情形 (3) 近緣物種之功能組成相似性 (4) 研究的涵蓋範圍。(5) 採樣的方式 (6) 生態影響因子的類型與衝擊程度。研究者進行這些資料判讀時應避免過度不必要之詮釋。



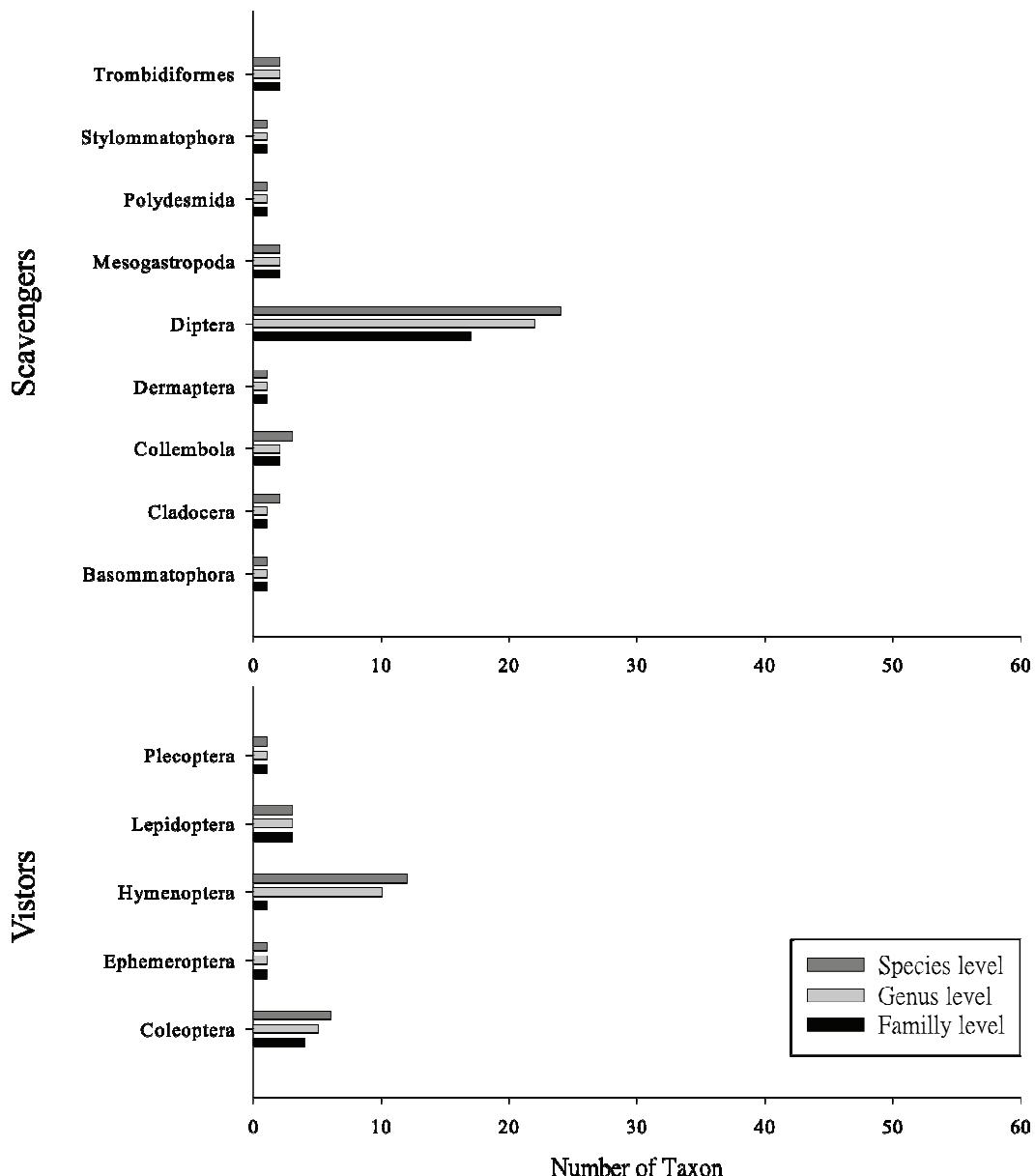
圖四 a、豐南村稻田的天敵物種包含捕食者、擬寄生者之分類階層概況

Fig. 4a. Species composition and taxonomy of nature enemy in paddy field that including predators and parasitoids, in Fung-Nan village, Hualien, Eastern Taiwan.



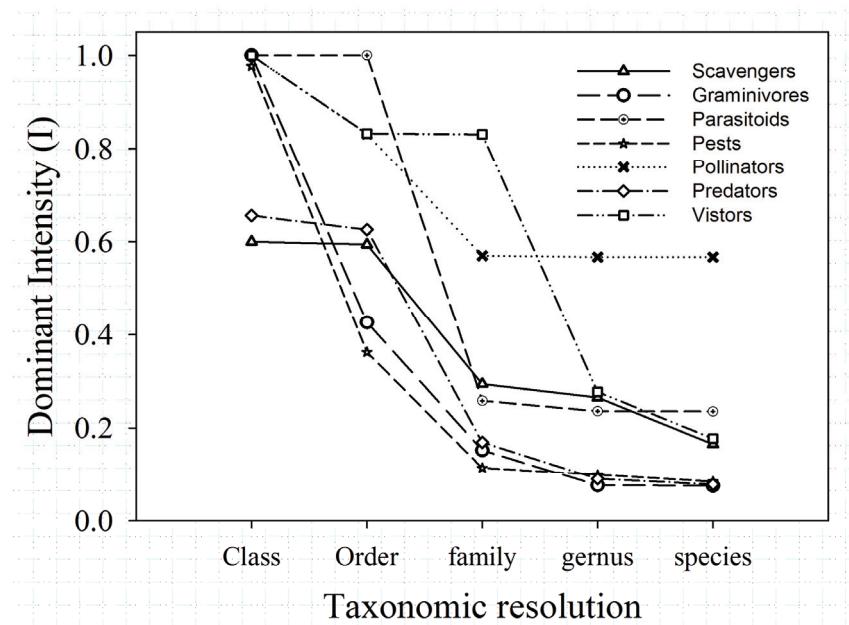
圖四 b、豐南村稻田的初級消費者包含雜草食者、稻害者、授粉者之分類階層概況

Fig. 4b. Species composition and taxonomy of primary producers in paddy fields that including graminivores, pests and pollinator in Fung-Nan village, Hualien, Eastern Taiwan.



圖四 c、豐南村稻田的中性物種包含清除者、偶訪者之分類階層概況

Fig. 4c. Species composition and taxonomy of neutral species in paddy fields that including scavengers and visitors in Fung-Nan village, Hualien, Eastern Taiwan.



圖五、各功能群的優勢集中性指數（I）於不同分類解析度之變化

Fig. 5. The dominant intensity (I) of respective functional group varied through different taxonomic resolution.

表一、功能群優勢集中指數與平均每一分類單元所具之功能數

Table 1. The measurement of dominant intensity (I) and mean functional contributions of respective functional group.

Taxonomic Resolutions	Functional groups (FG)							Taxon. No.	Fun./ Taxon
	Scavengers	Graminivores	Parasitoids	Pests	Pollinators	Predators	Visitors		
Species	0.165	0.075	0.235	0.084	0.567	0.078	0.177	341	1
Genus	0.281	0.076	0.236	0.099	0.567	0.090	0.277	307	1
Family	0.294	0.152	0.298	0.118	0.570	0.169	0.831	140	1.127
Order	0.594	0.424	1	0.362	0.832	0.626	0.833	23	1.783
Class	0.600	1	1	0.977	1	0.656	1	7	2.143

$I = \sum(n_i/N)^2$; n_i : individuals of specific taxon in FG; total individuals in FG

二、群集結構與各分類解析度、功能群動態間的相關性及分群表現

群集結構與不同分類解析度之斯彼爾曼相關性見表二。本研究中，與種層級動態相關性最高者為屬層級，並依分類解析度越低而遞減，若因研究投入的成本考量，欲採取較粗層級之解析度，則以屬或科效果最好，相關係數可達 0.9 以上。與功能群動態最相關者為目的層級，科的層級次之。然由目層級的優勢集中指數顯示，擬寄生者、偶訪者與授粉者在目層級將較無法中時反映物種變異(如表一)。

功能群與目及科階層雖然有較佳的正相關（表二），然目層級已無法對農法不同而有所反映（表三），各功能目層級以下的群集變異可能被過度簡化，所以在評估功能群動態時，應至少鑑定至科層級較為適用。在經營管理上，若能針對無脊椎動物以科的層級提供棲地營造管理，也有助於生態系服務的維持；若探討稻田農法對於群集結構的影響，則至少鑑定至科層級以下較為適當。

以農法為因子，在種、屬和科的層級，樣本仍具顯著差異，但設定分類解析度為較的粗糙的綱或目時，不同農法間群集相似性已無顯著差異；以期作為因子，則不論解析度高低階有顯著差異(表三)。功能群動態在農法與期作皆表現出顯著的分群（表三）。就平均相似性距離而言，功能群不論在農法或期作上皆不及種、屬與科層級，可能與同功群內分類單元彼此間的數量消長互補有關。

(一) 生物群集相關性在分類解析度間的變化

Jones (2008) 整理溪流底棲無脊椎動物群集資料，針對分類群數 (taxonomic richness)、歧異度指標 (diversity index)、耐受度指標 (tolerance index)、多變量分析 (multivariate analysis) 等不同分析工具進行分類解析度之探討時，提出以歧異度指標在不同解析度時的應用較需留意，諸如 Shannon diversity 或 Margalef diversity 這些指標對於擾動的反應表現相當不一致而無規律性，實務運用上，物種多樣性常以歧異度指標評估，歧異度指標卻不見得代表健全的生態系服務供給，例如，生態系統中不同營養位階所造成生物量或豐量不均等現象，有被判定為低歧異度的可能，而群集中的各種物種及其相對豐量具有穩定生態系服務與群集結構的重要性，相關應用上仍須謹慎；此外，較廣泛被使用的多變量分析工具其排序與分群的部分，可發現部分研究採用特徵值排序法（例如：Correspondence Ananlysis），為求排序軸能解釋更多的生物變異，且使樣站在較窄的梯度上得以呈現，而傾向選擇採用科層級解析度進行分析多於種層級，但距離排序或分群技術（例如：TWINSPEM 或 Classification）較傾向以種層級而避免過度簡化群集結構。

(二) 各分類解析度、功能群動態對於特定因子所反映的分群表現

Konar and Iken (2009) 以多變量分析方法研究近海藻類群集發現，在群集組成較複雜的潮間帶，無論功能群動態或分類階層皆具有顯著分群的現象，低潮帶則僅功能群與科層級以下具顯著分群。Vanderklif 等人 (1996) 研究海洋底棲生物群集與本研究有雷同的趨勢：與種層級的群集相關性將隨分類解析度較粗而降低，然而分群表現並未因分類解析度粗糙化而有所改變。本研究則發現，分群表現與解析度變化隨研究因子的選擇有所不同（表三），本研究中稻田無脊椎動物群集時間性變化大於農法影響〔圖六〕。在研究議題上須考量季節性因素對於生物組成差異的影響，農法的衝擊則可能仍需以較細解析度進行。Lasiak (2003) 的巨藻類群集研究發現，若資料經過取平方根或四次方根的轉換，各分類階層資料的統計差異性會因稀有分類群貢獻度被強化而越為明顯。Timms 等人 (2013) 研究陸域常見的無脊椎動物群集在科、屬、種層級生物資料中的關聯性，發現擾動因子對於蜘蛛目、鱗翅目僅在種、屬層級之顯著分群，並論述優勢種組成比例是影響跨層級群集資料 (community datasets) 相關性的關鍵，並且建議細緻的分類解析度較適用於擾動評估。

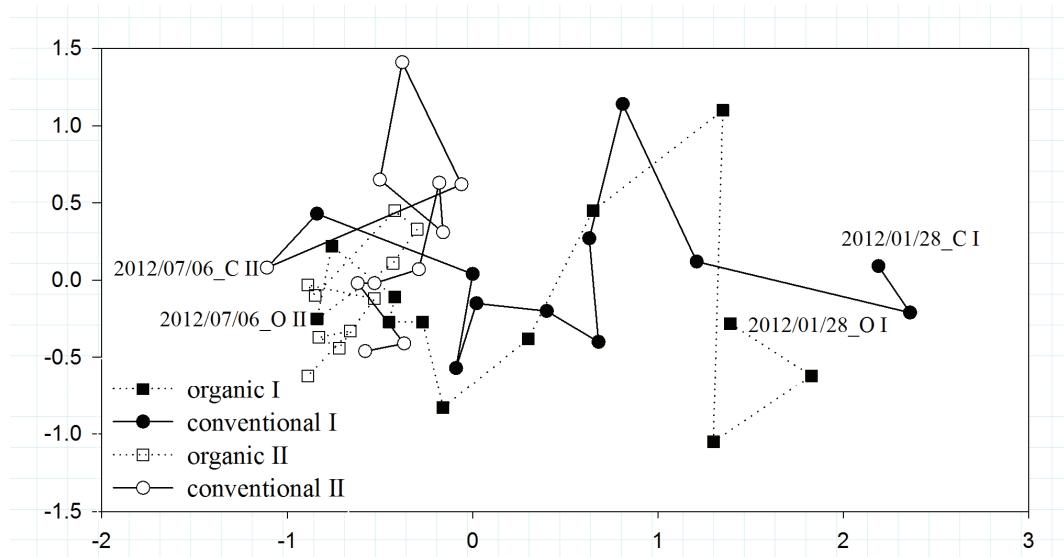
功能生物多樣性 (functional biodiversity) 來自於群集內各物種與其能量取得歷程的若干集合，這種歷程亦被視為生態系服務的貢獻來源，非同源的分類群則可能因能量代謝過程、取得能量的來源、方式而被歸為同一功能群，而與起源於分類學基礎的分類群多樣性有所歧異 (taxonomic grouping biodiversity) (Moore, 2001)。往昔研究中，農田無脊椎動物其功能動態已被檢測出在有機農法與慣

行農法具有差異性。Letourneau and Goldstein (2001) 發現，植食者的豐量在種植馬鈴薯的有機田與慣行田中並未有顯著差異，但同功群的物種組成已有所變化，Fan 等人 (2013) 亦發現，功能群所佔比例在不同農法間具有顯著改變，慣行田中雖有較低的害蟲，但卻有較高的分解者。本研究以相似性分析 (ANOSIM) 顯示，功能群組成在農法、季節皆具有差異 (表三、圖六)。同一分類群不一定能涵蓋所有功能近似的物種，每一物種受擾動影響後的改變程度、趨勢亦不見得一致，貢獻同樣生態服務的物種間生境重疊度與互補性亦有所不同，因此探討生態衝擊時應更多元評估，而避免過度依賴單一結果。

(三) 物種多樣性與生態服務間的聯結

許多研究聚焦在分類群結構組成與功能群生態系服務兩者之間的關聯性，物種冗餘性 (redundancy) 乃被用來描述物種數的增加與功能貢獻呈現正向飽和之關係 (Walker, 1992; Schwartz *et al.*, 2000)，此乃假定物種所扮演的角色間有若干程度不一的重疊，因此物種數的減少並未及時反應在生態功能的供給，而呈現飽合曲線關係。唯有當同功群的不同分類單位的每一物種對所貢獻的生態功能都有相等不重疊的影響，則物種數與能量歷程率、功能群動態方能呈現較佳的線性關係。本研究稻田無脊椎動物群集種之層級與功能級動態具較低之相關性，推測物種間所貢獻的生態功能重疊度乃較高，彼此間的遞補降低了分類群及樣本與依功能群所劃分的樣本間之相似性。功能群內物種的組成將影響生態系服務供給，Wilby and Thomas (2002a) 認為特定害蟲的控制功能與天敵物種間的變化取決於害蟲物種本身的生活史結構，完全變態害蟲其不同階段的天敵物種多具相等且不互相重疊的蟲害抑制效果，Wilby and Thomas (2002b) 將亞洲水稻田生產集約化過程以數據模擬的方式呈現害蟲增長率隨著天敵物種數流失的變化，抑制完全變態害蟲的生態服務為漸進式衰退；相較之下，需在功能性冗餘的天敵極度流失的情況下，不完全變態害蟲的防治服務才會劇烈性喪失，造成重大蟲害。我們認為，同功群內的物種組成將會是理解與應用生態系服務的關鍵。

近年來，以評估生態系健全所發展的指標，隨著生態系紅皮書的出版 (Keith *et al.*, 2013, 2015; Chen, 2015)，有了較明確的概念敘述：生態系的崩解不若物種滅絕般直觀，其可能有新的生態功能出現而重新平衡，但其內的代表性原生生物相卻已不復存。農業生態系的構成表現因多了人為活動而複雜，尚待科學研究的整合。然而，特殊物種在農田內的繼存仍應透過我們採取適當的保育措施而予以保護，以維持生態系功能的穩定與健全的供給。本研究嘗試以多變量工具探討稻田群集動態在不同分類解析度下的表現發現，唯有越趨近於種的分類階層，動態表現會越近似以種作為研究解析度，較粗的解析度可能使某些議題的衝擊被淡化。若考量能兼顧功能多樣性的監測解析度，科之層級仍具有最高之相關性，未來進行功能農田生物多樣性資源經營時，或可考慮應用科層級分類群進行棲地營造。



圖六、鑑定至種層級的稻田無脊椎動物群集樣本之多維尺度分布圖（NMDS）

Fig. 6. Non-metric multidimensional scaling plot of all epigeal macrofauna samples scatter in species-level.

表二、不同分類解析度斯彼爾曼相關性（相似性矩陣之間）

Table 2. The Spearman correlation coefficient between taxonomic resolutions.

Taxonomic resolution	Function	Species	Genus	Family	Order
Species	0.723 p = 0.001				
Genus	0.743 p = 0.001	0.980 p = 0.001			
Family	0.796 p = 0.001	0.928 p = 0.001	0.946 p = 0.001		
Order	0.816 p = 0.001	0.792 p = 0.001	0.807 p = 0.001	0.876 p = 0.001	
Class	0.734 p = 0.001	0.660 p = 0.001	0.668 p = 0.001	0.720 p = 0.001	0.833 p = 0.001

表三、不同分類解析度在農法與期作等因子影響下之群集相似性差異分析結果

Table 3. The result of ANOSIM through respective taxonomic resolution.

Taxonomic resolutions	Taxon No.	Farming Methods		Cropping Seasons			Significance level of sample statistic
		Average dissimilarity	R-value	Significance level of sample statistic	Average dissimilarity	R-value	
Function	7	27.80	0.053	0.039	28.66	0.127	0.003
Species	341	73.27	0.085	0.009	75.76	0.322	0.001
Genus	307	70.04	0.102	0.005	72.21	0.312	0.001
Family	140	59.13	0.052	0.004	61.19	0.240	0.001
Order	23	34.69	0.029	0.074	35.92	0.137	0.001
Class	7	25.17	0.039	0.053	25.90	0.097	0.005

參考文獻

1. Altieri, M.A. 1994. Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Haworth Press, New York, 185 pp.
2. Bambaradeniya, C.N.B. and J.P. Edirisinghe. 2008. Composition, structure and dynamics of Arthropod Communities in a Rice Agro-Ecosystem. *Ceylon J. Sci. (Bio. Sci.)* 37(1):23-48.
3. Billeter, R., J. Liira, D. Bailey, R. Bugter, P. Arens, I. Augenstein, S. Aviron, J. Baudry, R. Bukacek, F. Burel, M. Cerny, G.D. Blust, R.D. Cock, T. Diekötter, H. Dietz, J. Dirksen, C. Dormann, W. Durka, M. Frenzel, R. Hamersky, F. Hendrickx, F. Herzog, S. Klotz, B. Koolstra, A. Lausch, D.L. Coeur, J.P. Maelfait, P. Opdam, M. Roubalova, A. Schermann, N. Schermann, T. Schmidt, O. Schweiger, M.J.M. Smulders, M. Speelmans, P. Simova, J. Verboom, W.K.R.E. Van Wingerden, M. Zobel, and P.J. Edwards. 2008. Indicators for biodiversity in agricultural landscapes: a pan-European study. *J. APPL. ECOL.* 45:141-150.
4. Chen, W.J. 2015. The Red List of Ecosystem—An assessment of ecosystem heath. *Nature Conservation* 90:14-25. http://tesri.tesri.gov.tw/files/tesri_nature/tesri_adm10_20150724153344/90-all.pdf
5. Clarke, K.R. and R.N. Gorley. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.
6. Dennis, P., M. Arndorfer, K. Balázs, D. Bailey, B. Boller, R.G.H. Bunce, Cs. Centeri, A. Corporaal, D. Cuming, M. Deconchat, W. Dramstad, B. Elyakime, E. Falusi, W. Fjellstad, M.D. Fraser, B Freyer, J.K. Friedel, I. Geijzendorffer, R. Jongman, M. Kainz, G.M. Marcos, T. Gomiero, S. Grausgruber-Gröger, F. Herzog, G. Hofer, P. Jeanneret, E. Kelemen, R. Kölliker, S.R. Moakes, P. Nicholas, M.G. Paoletti, L. Podmaniczky, P. Pointereau, J.-P. Sarthou, N. Siebrecht, D. Sommaggio, S.D. Stoyanova, N. Teufelbauer, D. Viaggi, A. Vialatte, T. Walter, F. Widmer, and S. Wolfrum. 2009. Conceptual foundations for biodiversity indicator selection for organic and low-input farming systems. In: Deliverable 2.1, BIOBIO, EU 7th Framework Programme them KBBE-2008-1-2-01, contract no. 227161, 184 pp. < <http://www.biobio-indicator.wur.nl/UK/> >
7. Duru, M. M. 2013. Combining agroecology and management science to design field tools under high agrosystem structural or process uncertainty: Lessons from two case studies of grassland management. *Agr. Systems* 114:84-94.
8. Ehrlich, P.R. and A.H. Ehrlich. 1981. Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species. New York: Random House.
9. ELN-FAB. 2012. Functional agrobiodiversity: Nature serving Europe's farmers. – Tilburg, the Neth.: ECNC-European Centre for Nature Conservation.
10. Fan, M.L., S.S. Tsai, T.Y. Lin, Y.T. Ni, P. Hwang, and K.C. Lee. 2013. The Effects of Agricultural Practices on Invertebrate Diversity in the Rice Paddy Land of Eastern Taiwan. *Bulletin of the Hualien district agricultural research extension station.* 31:53-63.
11. FAO. 1999. Agricultural Biodiversity, Multifunctional Character of Agriculture and Land Conference, Background Paper 1. Maastricht, Neth..
12. Frizzera, G.L. and R. da G. Alves. 2012. The influence of taxonomic resolution of Oligochaeta on the evaluation of water quality in an urban stream in Minas Gerais, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis.* 24(4):408-416.
13. Gabriel, D., S.M. Sait, J.A. Hodgson, U. Schmutz, W.E. Kunin, and T.G. Benton. 2010. Scale matters: the impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales. *Ecol. Lett.* 13 (7):858-869.
14. Geiger, F., J. Bengtsson, F. Berendse, W.W. Weisser, M. Emmerson, M.B. Morales, P. Ceryngier, J. Liira, T. Tscharntke, 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 Appl. Ecol.* 11(2):97-105.

15. Jones, F.C. 2008. Taxonomic sufficiency: The influence of taxonomic resolution on freshwater bioassessments using benthic macroinvertebrates. *Environ. Rev.* 16:45-69.
16. 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. Pisano, 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(5):e62111 doi:10.1371/journal.pone.0062111
17. 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(3):214–226.
18. 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. Tscharntke, J. Verhulst, T.M. West, and J.L. Yela. 2006. Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecol. Lett.* 9(3):243–254.
19. Konar, B. and K. Iken. 2009. Influence of taxonomic resolution and morphological functional groups in multivariate analyses of macroalgal assemblages. *Phycologia* 48(1):24–31.
20. Landscapes for People, Food and Nature Initiative. 2012. Landscapes for People, Food and Nature: The Vision, the Evidence, and Next Steps Retrieved from <http://landscapes.ecoagriculture.org/documents/files/landscapes_for_people_food_and_nature.pdf>
21. Lasiak, T. 2003. Influence of taxonomic resolution, biological attributes and data transformations on multivariate comparisons of rocky macrofaunal assemblages. *Marine Ecol. Prog. Ser.* 250:29–34.
22. Lawton J.H. 1994. What do species do in ecosystems? *Oikos* 71:367–374.
23. Letourneau, D.K. and B. Goldstein. 2001. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *J. Appl. Ecol.* 38(3):557-570.
24. Marshall, J.C., A.L. Steward, and B.D. Harch. 2006. Taxonomic resolution and quantification of freshwater macroinvertebrate samples from an Australian dryland river: the benefits and costs of using species abundance data. *Hydrobiologia* 572:171-194.
25. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Washington, DC: Island Press. 137pp.
26. Moore, J.C. 2001. Diversity, taxonomic versus functional., *Encycl. of Biodiversity*. 2:205-215.
27. Natuhara, Y. 2012. Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan. *Ecol. Eng.* 56:97-106.
28. Odum, E.P., 1983. Basic Ecology. Saund, Col, Pub.
29. Paoletti, M.G. 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability, *Agr. Ecosystem Environ.* 74:1-18.
30. Perfecto, I. and J. Vandermeer. 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: A new conservation paradigm. *Ann. NY Acad. Science* 1134:173-200.
31. Peterson, G., C.R. Allen, and C.S. Holling. 1998. Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. *Ecosystems* 1:6-18.
32. Pfiffner, L. and H. Luka. 2003. Effects of low-input farming systems on carabids and epigaeal spiders—a paired farm approach. *Basic Appl. Ecol.* 4:117-127.
33. 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. *J. Appl. Ecol.* 45:151-160.
34. Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Trade offs and synergies. *Philosophical Transactions Biological Sci.* 365(1554): 2959-2971.

35. Schwartz, M.W., C.A. Brigham, J.D. Hoeksema, K.G. Lyons, M.H. Mills, and P.J. van Mantgem. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia*, 122(3):297-305.
36. Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
37. Sprague, D.S., S. Yamamoto, T. Amano, K. Matsumori, and D. Bailey. 2010. Agri-environmental indicators for biodiversity in the rice paddy landscape. OECD Workshop on Agri-Environ. Indicators. OECD, Leysin, Switzerland.
38. 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.
39. Timms, L.L., J.J. Bowden, K.S. Summerville, and C.M. Buddle. 2013. Does species-level resolution matter? Taxonomic sufficiency in terrestrial arthropod biodiversity studies. *Insect Conservation and Diversity* 6:453-462.
40. UNU-IAS. 2010a. Biodiversity and Livelihoods: the Satoyama Initiative Concept in Practice. Inst. of Advanced Studies of the United Nations Univ. and Ministry of Environ. of Jpn..
41. UNU-IAS. 2010b. Satoyama-Satoumi Ecosystems and Human Well-being: Socio-ecological Production Landscapes of Japan - Summary for Decision Makers. Inst. of Advanced Studies of the United Nations Univ..
42. UNU-IAS. 2012. Website of Satoyama Initiative. Retrieved from <<http://satoyama-initiative.org/en/>>, Inst. of Advanced Studies of the United Nations Univ. (UNU)
43. Vanderklift, M.A., T.J. Ward, and C.A., Jacoby. 1996. Effect of reducing taxonomic resolution on ordinations to detect pollution-induced gradients in macrobenthic infaunal assemblages. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* 136 (1): 137-145
44. Vandermeer, J.H., and I. Perfecto. 2005. Breakfast of biodiversity: The political ecology of rain forest destruction: FoodFirst Books, Oakland, CA ed. 2nd, 207pp.
45. 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.
46. Walker, B. 1992. Biological diversity and ecological redundancy. *Conservation Biol.* 6:18-23.
47. Wilby, A. and M.B. Thomas. 2002a. Are the ecological concepts of assembly and function of biodiversity useful frameworks for understanding natural pest control? *Agr. Forest Entomol.* 4:237-243.
48. Wilby, A. and M.B. Thomas. 2002b. Natural enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecol. Lett.* 5(3):353-360.
49. Zhang X., W. Liu, Y. Bai, G. Zhang, and X. Han. 2011. Nitrogen deposition mediates the effects and importance of chance in changing biodiversity. *Mol. Ecol.* 20(2): 429-438.
50. Zhang W., T.H. Ricketts, C. Kremen, K. Carney, and S.M. Swinton. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol. Econ.* 64(2):253-260.