

75

國立宜蘭大學

農業推廣季刊

國立宜蘭大學農業推廣委員會 農業推廣(季刊)

通訊總號第 075 號 中華民國 105 年 5 月出刊

發行人/邱奕志 主編/ 陳永松

地址：260 宜蘭市神農路 1 段 1 號

E-Mail：aec@niu.edu.tw

中華民國 86 年 3 月創刊

行政院農業委員會補助編印

編輯/林怡慧

電話：03-9357400#7613

傳真：03-9354152

友善耕作水田中的生物指標

宜蘭大學 生技與動物科學系/有機產業發展中心/生物資源學院農推會
陳永松

一、何謂生物指標？

生物指標(bioindicator)是指可用於監測環境或生態系健康程度的物種。他們可以是任何單一物種或一群物種，只要其功能、族群或狀態可揭示現存生態系或環境的完整性是處於何種程度。如目前在許多水生環境存在的橈腳類或其他小甲殼類不僅可顯示水體的健康狀態，也可監測這些生物內在的生化、生理或行為變化，而推斷生態系是否出現了問題。生物指標有時還能告訴我們不同的污染物在生態系的累積效應，以及這些問題已長期存在多久了？然而這其中有甚多是無法經由物理和化學測量(試)而得的。

生物指標，也可定義為一個有機體，它能提供對周圍環境品質有關定量的資訊。因此，良好的生物指標不僅顯示污染物的存在，也試圖提供相關濃度和強度的有用資訊。雖然國外較不用生態指標(eco-indicator)一詞，但只要有多種的生物指標也就成了生態指標。相形之下，生態指標的概念與範圍確實較生物指標更能涵蓋環境的整體性，但在本文所指的生物指標含蓋了生態指標的概念，是重其義而不特別強調兩者的差異。

生物指標既是一個生物體或生物反應器，也可藉由出現的症狀或曾發生的、可測量的反應而顯示污染物的存在，因此具備更多定性的資訊。這些生物(或生物群落)通過生理、化學或行為上的改變，提供了環境變異或環境污染物的強弱資訊。這些訊息可藉由以下研究來推斷：

- a. 某些元素或化合物的含量
- b. 它們的形態和細胞結構
- c. 代謝生化過程
- d. 行為，或
- e. 族群結構

二、生物指標的種類

生物指標或生物監測的重要性在於它不是以人造的儀器設備去偵測環境參數，而對其非常合理的說法是「沒有一個比單一物種或生態系本身更合適的生物狀態指標」來說明所處環境的特質。換言之使用生物指標是利用某一生物的特性，以獲得對生物圈的某些特定訊息。例如空氣污染物的生物監測可以是被動或主動式；被動的方法是觀察植物在關心區域內的自然生長狀況；而積極的方法則透過已知反應及基因型的測試植物來偵測空氣污染物的存在。

另一類似的生物累積性指標(bio-accumulative indicators)也經常被歸類為生物監測。所以根據所選擇的生物和它們的利用方式，大致有以下幾種常見的生物指標類型。

1. 植物指標
2. 動物指標和毒素
3. 微生物指標和化學污染物
4. 在石油和天然氣勘探的微生物指標
5. 大型無脊椎生物指標

1. 植物指標

若某些植物在一個生態系中的存在與否可以提供有關環境健康良窳的重要線索，亦即彼等可做為環境保護的指標。

有幾種常見類型的植物生物指標，包括苔蘚，地衣，樹皮，樹木年輪，樹葉和真菌。地衣不是植物而是包含真菌和藻類的共生生物體，常被發現在岩石和樹幹上。他們除顯示森林環境的變化，也代表森林結構、保育生物學、空氣品質和氣候的改變。地衣在森林的消失可以表示環境壓力的迫臨，例如高濃度的二氧化硫、硫基污染物及氮氧化物的存在。

至於在水生系統的藻類相組成和其生物量也可做為有機污染和富營養化物質如氮、磷的重要指標。

具爭議性的基改生物，也能幫助我們了解在環境中的毒性濃度；例如，顯示不同生長顏色的基改草皮可顯示土壤中的毒素種類，蠻適合應用在高爾夫球場。

2. 動物指標和毒素

動物族群的增加或減少也能表示污染造成生態系損壞的程度。例如，若污染而導致重要食物來源的枯竭，依賴於這些食物來源的動物數量也將減少。而族群過剩通常是機會主義者物種逮到增長契機的結果。除了監測某些物種的大小和數量，監測動物指標的其他機制包括監測在動物組織中的毒素濃度或監測動物族群中發生畸形的速率。

3. 微生物指標和化學污染物

微生物可以做為水生或陸生生態系的健康指標。由於微生物數量多，遠較其他生物更易取樣，也有一些微生物會產生新蛋白質，稱為緊迫蛋白質，當暴露於如鎘和苯污染物時，這些緊迫蛋白質可以做為先期預警系統，以檢測可能的高污染源。

4. 在石油和天然氣勘探的微生物指標

油氣探勘微生物經常被用來確定偏遠地區是否具油氣潛在機會。在許多情況下，做為煙儲層的油和天然氣會朝向表面滲漏。這些碳氫化合物可以改變在近地表土壤中發現的化學和微生物的出現或可直接取樣。用於油氣探勘微生物的技術包括 DNA 分析、在培養基培養後進行簡單的土壤樣品微生物計數，或查看煙類氣體在培養細胞的消耗量。

5. 大型無脊椎動物

大型無脊椎動物是一個水體或河流生態系健康與否的實用指標。他們幾乎無所不在，並且容易取樣和鑑定。對於無脊椎動物的敏感度範圍，可讓人放心地客觀判斷出生態狀況。

在澳洲，已經研發出 SIGNAL 的方法，並且由研究人員和社區「守護水(Waterwatch) 監督聯盟」共同來監視水的健康。

在美國，環境保護署(EPA)已根據大型無脊椎動物、附生藻類和魚類為基礎公佈了快速生物檢測方案(Rapid Bioassessment Protocols)。這些方案被許多聯邦、州和地方政府機構應用施行於生物調查和水質的評估中。美國各地的河川志工監測機構也常與政府機構合作，通常使用大型無脊椎動物當指標，好處是在物種辨識過程中，可直接在現場鑑種而無需使用專門的設備進行辨識，而相關技術也很容易在志願者培訓課程中傳授。

在南非，特別針對大型底棲無脊椎動物建立了「南部非洲評分系統(SASS)」而發展成為一個快速生物檢測技術，應用於南部非洲的河流水質評估。這套名為 SASS 的水生生物監測工具在過去 30 年來多次改進，現在已按照國際標準即 ISO / IEC 17025 協議而修改為第五個版本。目前南非水務部門利用 SASS⁵ 做為河流健康評估法，有利於河流健康計劃的推動。

三、多方落實在地的三生實驗田生物指標

綜合以上不同的生物指標法，若要在農田或現今農業施作中來進行農業生物指標的鑑定，我想最易執行的生物指標判別還是在那些大家常見的大型生物，如魚類、兩棲類、或大型無脊椎生物。人禾環境倫理發展基金會(以下簡稱人禾)多年來在林務局轄下之重要水梯田生態保育計畫的支持下，人禾在貢寮水梯田的努力慢慢被看到，至今已建立了不錯的基礎。在2013年8月我也趁暑假參加了人禾舉辦的「貢寮水環境保育研習營」，參與了兼具室內研習與戶外野地實查的假期進修，從認識里山倡議、貢寮水梯田所代表的生態水田意義，到探討枋腳溪自然河溪生態與人工化工程的比較，以及水梯田生態系的物種認識，個人溫習體驗了濕地生物相調查方法，以及領受了水域環境觀察與監測的經驗分享。這些在河溪、水田的生態與調查，目標在發展出鄉村(或農民)版的「田間生物紀錄表」，讓大家在農作或農閒工作之餘，可三不五時地張望一下田間，探索田間的水水世界。如同人禾的說帖『我們不是讓農民變成專業的生態調查員，但希望透過他們的眼睛，看見這些我們注意的生物，也留意到這些生物一直都在，以及生物出現背後代表的含意。…有更多的時間駐足留意田間的世界，也更深度的認識了田裡的各種「居民」』，啊，這是多動人的一幅生物多樣性畫作。

然而這這個水梯田復耕(復育)計畫的背後，也時而傳來有些違背生態倫理的作為，像有人如野人般不請自來的下田採樣或隨意帶人前來導覽，忘了尊重兩字怎寫。而長久未曾在貢寮田間出現的大田驚也引來質疑——這是原本隱而未見的「居民」或是有人特意投放的「移民」？他們戲稱因這邊長久以來一直沒有「入出境管理局」或「移民署」的設置，所以一時之間無法確定其身分，說明農業生態系的長期生態調查雖耗時費力卻也是重要的背景基礎。所以對於野外調查工作者，要時時掛意這些原不屬於此棲地的生物，或隨著個人輕忽的雨鞋、採集工具夾帶進福壽螺、槐葉蘋等外來入侵種，都會對水梯田保育的美意和農人的努力產生莫大的破壞。

在此也向林務局身為最高的保育主管機關願意投入資源進行水梯田的保育計畫而用力按讚，這種「新型態合作經營體系」還包括陽明山上的八煙聚落、花蓮豐濱的海稻米，這些聚落皆承諾利用友善環境又因應在地條件的方式，繼續水稻的種植。唯公部門雖能提供經濟上的利基，但在地的主體性才是未來能否持續的關鍵，如同當時請來海稻米導演到宜蘭小農之家的「松園小屋」分享心得，他說豐濱的海稻米已能深

思該走自己的一條路，願割捨暫時推掉林務局的補助。能早些斷奶總是好，但冀望林務局能將有限資源投入初期較缺乏的地區，以發揮亮點功用，繼續照亮他人，如在宜蘭的一群小農，在兩三年前雖無類似支持計畫的光芒，但就像梨山女農阿寶及穀東俱樂部賴青松及倆百甲的楊文全等聯合在地小農持續用他們的關心，以友善耕作的方式經營自己的一畝三分田，其中一分種在土地，一分種在心靈，還有一分要種在社會上，而我們實驗室也嘗試走出象牙塔盡量配合此一計畫。於是在 2014 年夏天我們這些核心成員開始了宜蘭在地小農的平地水田生物指標計畫，暫名之為「三生實驗田」計畫，陸續請來了開放街圖 OSM(Open Street Map)的講師學習畫自己的友善田區位置，以及找水生植物及昆蟲專家前來授課，從了解自己田間的生物開始，如請來觀察家生態顧問公司的黃于玻總經理精采分享苗栗通霄谷津田的印度大田鱉(本土種)故事，給了三生實驗田計畫一個很好的開端，我們認同「做中學」還是最佳途徑。因即使是錯誤中學習還是有學到東西啊，因為錯了就改吧。而當中不可忽略的生物指標就是環境中的蚯蚓，因其對土壤的敏感度，可以監測土壤中的污染物如農藥、重金屬、有毒物質和工業廢水，因此常用來做土壤中的生物指標。也能修復受污染的土壤，將污染物攝入經消化後以淨化該土壤，且排出蚓糞肥使土壤再度肥沃，誠然是最佳的土地管理員，所以我們實驗室有一組人馬多年來即持續進行此專題研究。

四、友善耕作田與慣行田之生物相比較-以水生昆蟲為例

除了上述嘗試以蚯蚓為生物指標，我們實驗室的另一組專題生則以友善耕作水田的生物為調查對象，因現今食物的污染問題日趨嚴重，於是提供健康飲食與環境保護更受重視，然而不用化肥農藥的友善耕作農產品若要申請有機認證作業，其所付出的驗證費用非一般小農可以或願意負擔，且友善農法(含有機)與慣行農法兩者對待環境的方式亦不同(表 1)。因此，本專題研究試著找出慣行(Conventional farming; CF)及友善耕作(Eco-farming; EF)田間之生物相差異，希望能設計出一套簡便的生態指標或辨識方法，以供友善耕作的小農使用。故兩年前我們將研究場域設定為在地蘭陽平原中占最多農地的水田，選擇其中兩處友善耕作田區(EF1, EF2)及一處與 EF1 相鄰的慣行田區(CF)。實驗室的專題生主要針對水生昆蟲完成友善耕作田與慣行耕作田的生物相比較。初步成果簡述如下：

首先，調查期間為 2014 年 6 月 22 日到 2014 年 7 月 27 日(表 2)。此期間進行水質、昆蟲生物相的取樣及分析，以了解友善農法與慣行農法兩者田區的差異。依每個區域兩條溝渠、每條溝渠三個採樣點的標準取樣，之後再將水田中各物種的多樣性、豐富度及水質數據進行分析。各調查田區的物種總表如(表 3)

，結果顯示出現總數以半翅目在 EF1 出現數量較多，蜻蛉目在 CF1 出現數量較多，而 EF2 的物種豐富度偏低。另外物種趨勢分析中，蜻蛉目昆蟲有 4 科 13 種以上，其中細蟴科的針尾細蟴(*Aciagrion migratum*)在 EF1 及 CF1 數量都甚多(表 4)。又蜻蜒科的褐斑蜻蜒(*Brachythemis contaminata*)、猩紅蜻蜒(*Crocothemis servilia servilia*)與杜松蜻蜒(*Orthetrum sabina sabina*)在 CF1 的分布數量均比 EF 多

Odonata(蜻蛉目)若蟲在慣行耕作田(CF1)之分布有較多趨勢，推測此與其對水質變化的耐受性較佳有關，而友善耕作田(EF1)的 Hemiptera(半翅目)族群在豐富度上有較多的趨勢，其中又以 Pleidae(固頭蟻科)為主。生物多樣性指數分析中，友善耕作田間的生物相較穩定。唯在水質指標上，友善農法與慣行農法並無顯著差異($P>0.05$)，可能與宜蘭地下水資源的補注豐沛致稀釋有關，或是目前列出的化學指標並未列入差異性較大的因子，因此無法進行生物相與水質指標的迴歸分析據以建立生物指標之環境對照表。本研究證實友善耕作田較慣行田確實有較高的水生型生物多樣性，未來希望能以更親民可簡易操作的陸生型生物指標以取得更多的環境資料，以佐證當下伴隨的生物資料或農民提供的田間生物紀錄表，如此可推廣有別於現行有機認證制度的友善農業另類生態(物)指標。我們也希望田間生物紀錄表的施行，可讓一些進行生態調查及科普教學的伙伴，願意發展類似的科普紀錄表，讓大眾能簡易操作的同時，也推廣科普觀察及回報數據。故若能建立一個通用的調查表，如此或可轉移到各自的場域施行，不會因專長所學不同、經費侷限或調查辨識門檻太高而不得其門而入。我們期待往後能透過將艱澀的生態調查資料轉化成簡易的圖表，讓後續的觀察可延續與轉移，這或許也是未來生態調查工作該發展的一條路，意即不論是農人或有興趣的民眾都可以略經學習而成為田間調查員。

五、看見山、看見水、也看見生命

我們希望地下水源豐沛無汙染之虞的宜蘭的水田能逐步達成大家期待的友善耕作理想，庶幾保有宜蘭優良農地的機會，否則任由農舍遍地開花，一切俱往矣。貢寮水梯田有黃腹細螽、苗栗通霄谷津田有印度大田蟹，兩者都是水田的重要生物指標，而宜蘭水田除了尾大不掉的福壽螺外，還有什麼則有待我們細細來發掘？也或許我們不需要什麼明星物種，只需要一種真正與自然交融、合諧的生活方式，而這種交融與合諧，必須從對腳下的生物了解開始！尤其當台灣人去欣賞諸如「看見台灣」的壯麗景觀或嘉南平原大片水田時，也希望同時可以看見前述映照在自己心中的那一畝三分田。也希望不論是農民生產者或消費者不要僅僅「看見」有機農產品的認驗證標章，閒暇得空希望大家也去看看環境裡與台灣有機農業或友善耕作共生的那些生物，隨著四季春耕、夏耘、秋收到冬藏的節氣輪轉，或看看水田稻葉上的眾生相或走到田園中看見泥土中的蚯蚓，看見山、看見水、也看見生命，如此腳踏實地去應證活的土壤與鮮活的生命，而這才是正港的生物指標！

參考資料：

1. 關於生物指標：維基百科 <http://en.wikipedia.org/wiki/Bioindicator>
2. 關於「貢寮水梯田」請參考：<http://kongaliao-waterterrace.blogspot.tw/> 或「水梯田！貢寮山村的故事」一書
3. 關於「通霄谷津田」請參考：<http://giantwaterbug.blogspot.tw/>
4. 關於「觀察家生態顧問公司」請參考：<http://www.observer.com.tw/>

謝誌：

本文第四部分的成果分享要感謝本實驗室之前畢業(2015/6)專題生陳毅澄、黃郁珊、林冠穎、王文卉等人的協助調查與資料分析，也特別感謝青芽兒主編舒詩偉老師的鼓勵與邀稿，因本文多數改寫自青芽兒60期(2013年)的篇章--看見台灣友善農業的生態指標，在此一併誌之。

表 1. 友善農法(含有機)與慣行農法之初步比較

農法	友善農法(含有機) (Eco-farming ; EF)	慣行農法 (Conventional farming ; CF)
耕種流程	繁瑣	簡單
化學用藥	無	有
單位人力	密集	少
單位面積產量	低	高
單位產品價格	高	低
認驗證費用	高(有機)/無(友善)	低(吉園圃)/無

表 2. 研究地點及各調查田區的水田施作方式
(施作時間:2014/06/22~2014/07/27)

地點	友善田 1 (EF1)	友善田 2 (EF2)	慣行田 1 (CF1)
座標	24°43' 18.5"N 121°42' 38.1"E	24°45' 04.0"N 121°40' 46.6"E	24°43' 19.5"N 121°42' 38.8"E
用藥	無	無	化肥、除草劑
友善耕作時間	5 年以上	1 年	無

採樣溝渠：延其中兩條田埂開挖深度 15-35cm、寬約 20-25cm 的溝渠。
Eco-farming 1 (EF1)、Eco-farming 2 (EF2)、Conventional-farming (CF1)

表 3. 各調查田區的物種總表(以生物分類目計之)

Area (田區) Order (目)	各區物種數及調查次數		
	EF1	CF1	EF2
	36 次	30 次	11 次
Hemiptera 半翅目	304	46	27
Coleoptera 鞘翅目	19	1	1
Odonata 蜻蛉目	102	245	1
Ephemeroptera 蜉蝣目	7	5	2

表 4. 各調查田區的調查次數及各區水生生物相比較 (以蜻蛉目為例)

Order(目)	Family(科名)	Species (種名)	EF1	CF1	EF2
			36 次	30 次	11 次
Odonata	Coenagrionidae	<i>Aciagrion migratum</i>	65	42	1
		<i>Agriocnemis pygmaea</i>	7	2	0
		<i>Ceriagrion latericium ryukyuanum Asahina</i>	8	1	0
		<i>Ischnura asiatica</i>	4	1	0
		<i>Ischnura senegalensis</i>	2	0	0
	Libellulidae	<i>Brachythemis contaminata</i>	2	34	0
		<i>Crocothemis servilia</i>	1	83	0
		<i>Neurothemis ramburii</i>	0	3	0

		<i>Orthetrum pruinosum neglectum</i>	3	18	0
		<i>Orthetrum sabina sabina</i>	5	47	0
		<i>Urothemis signata</i>	4	8	0
	Platycnemididae	<i>Coelicerca cyanomeoias</i>	0	4	0
	unknown	unknown	1	2	0
		Total	102	245	1