

昆蟲的摩斯密碼—— 以聲波防治害蟲的可能性

廖一璋（美國加州大學河濱分校 博士後研究員）

前言

農業是國家產業發展之基礎，臺灣地處亞熱帶及熱帶，氣候高溫高濕，適合多種害蟲繁衍，害蟲防治是農業不可或缺的一環。過去防治方式主要是使用化學農藥來抑制害蟲族群，但化學農藥在農作物上的殘留會影響人體健康，也常造成非目標生物的毒害，進而對自然生態系統造成不良衝擊，如：益達胺的使用已證實對蜜蜂學習行為有不良影響，導致蜜蜂無法順利歸巢影響蜂群繁衍；或是導致農地附近鳥類及原生植物的多樣性下降，害蟲抗藥性的產生、次要病害蟲崛起及自然環境汙染等議題也顯示出化學農藥使用上之副作用，因此大幅度減少化學農藥使用早已是全球共識。有鑑於此，綜合害蟲管理 (Integrated pest management, IPM) 是現今使用防治害蟲的主流，原理是應用各種可用的技術達到防治農作物害蟲的策略，進而減少化學農藥的使用比例，使害蟲危害能控制在經濟危害水平 (economic injury level, EIL) 之下，其中較著名的方法如生物防治 (biological control)，是利用自然界中的捕食性、寄生性或病原菌天敵來抑制害蟲族群，使其族群下

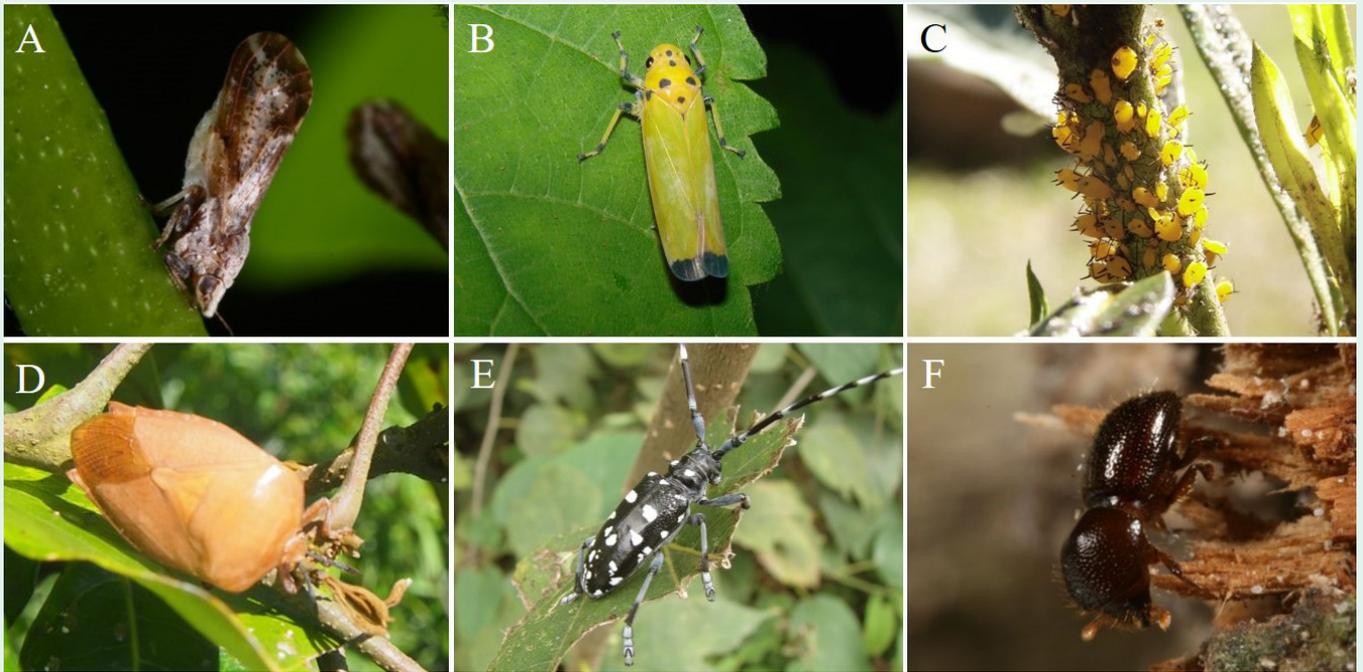
降至對於作物不會造成顯著經濟危害。然而防治害蟲用的天敵常為刻意由國外引入之外來種，在引進前若沒有完善的風險評估常會對當地生態造成危害，且執行生物防治的成本高，在田間大量釋放天敵前，包含天敵飼育及品系篩選、商品化及量產、半田間試驗評估等皆須耗費大量人力及時間，而真正施放至田間的效果也可能不如預期，失敗案例不在少數，若有更多非農藥防治的選擇多管齊下，應更能達成綜合害蟲管理之效益。

昆蟲的聲音溝通

許多昆蟲會藉由發出聲音訊號進行溝通，特別是雌雄間的求偶行為 (courtship behavior)，較顯為人知的例子如半翅目的蟬、直翅目的蟋蟀及螞蚱 (圖一)，這些類群的雄蟲會發出呼喚聲 (calling signal) 來吸引雌蟲，進而交配產卵，這類訊號音量大且主要是以空氣傳播，也稱為空氣傳播訊號 (air-borne signals)，人耳聽得見，也是過去聲學昆蟲研究的主流，常用於探討昆蟲聲音行為的演化 (evolution)、近緣種辨識 (specific recognition) 及性別選汰 (sexual selection) 等科學議題。但近年來，科學家發現更多昆蟲其實是以振動



圖一、較為人熟知會用聲音進行溝通的昆蟲，如直翅目的 (A) 蟋蟀、(B) 螞蚱及半翅目的 (C) 蟬。



圖二、會以振動聲波來進行溝通的各類昆蟲，如半翅目的 (A) 木蝨、(B) 葉蟬、(C) 蚜蟲、(D) 椿象及鞘翅目的 (E) 天牛及 (F) 小蠹蟲等。

訊號 (vibrational signal) 來進行個體間的溝通 (圖二)，這些昆蟲利用翅膀、足或腹部的振動或敲擊來發出振動波，這類訊號主要是藉由植物枝條等介質來進行傳遞，又被稱為介質傳遞訊號 (substrate-borne signal)，在運用這類型訊號的昆蟲中，雌雄蟲通常會以對唱 (duet) 來建立配對關係，雌雄蟲藉著來回對唱確定彼此的位置，進而交配產下後代，但這些聲波因為音量很低加上主要的傳播介質為植物枝條，人耳幾乎聽不見，過去受到技術層面的限制因此較不受到科學家們關注。但隨著振動偵測技術的發展及普及，相關研究也越來越多，目前已記錄運用這類振動波的昆蟲物種有超過 19 萬 5 千種，實際物種數一定遠高於此，如雙翅目的果蠅、脈翅目的草蛉、翅目的石蠅、鱗翅目的小灰蝶、鞘翅目的天牛及小蠹蟲、蜚蠊目的白蟻、半翅目的椿象、蟻蟬、葉蟬、角蟬、粉蝨及木蝨等昆蟲皆會運用振動波進行溝通，目前國際上以生物振動學 (Biotremology) 一專有名詞來稱呼這些以固體或液體介質傳遞振動訊號的生物學研究，是一個結合動物行為學 (Animal

behavior) 及物理振動學 (Tremology) 的新興跨領域學門，目前全世界各國都有相關的研究團隊，如美國、義大利、德國、斯洛維尼亞、澳洲、日本及臺灣。

以聲波來防治害蟲的案例

振動波在昆蟲的求偶行為及群聚生活中扮演著很重要的角色，因此利用這些聲音訊號來監測害蟲的族群量，或是干擾昆蟲的求偶行為，理論上可以降低害蟲交配的成功率進而抑制害蟲族群的增長。應用聲學來進行害蟲監測與防治的案例早在 1900 年代初期即有零星報告，最初是藉由偵測木材內蛀蝕害蟲啃食或行動的微弱訊號來監聽這些害蟲，如白蟻、天牛及象鼻蟲。1980 年起，這類型的研究開始蓬勃發展，至今已有超過上百篇研究報告、專書及專利產出，除了被動監聽害蟲之外，學者們也開始運用回播技術 (playback) 將錄製或人工合成的訊號用於干擾昆蟲求偶行為來降低雌雄蟲交配率，其概念與利用人工合成的性費洛蒙 (sex pheromone) 進行鱗翅目害蟲的交配干擾法 (mating

disruption) 是一致的，皆可使害蟲交配率下降，減少害蟲產卵量，當害蟲族群遭受抑制則可保護農作物。除了農田之外，也有學者利用聲音訊號干擾木材或家具內害蟲一小蠹蟲的繁殖並以此申請專利技術，此技術宣稱可廣泛應用於其他木材害蟲，包含白蟻、天牛及吉丁蟲等。

聲學防治法除了對環境友善 (environment friendly) 之外還可同時與其他防治方法搭配，也符合綜合害蟲管理的理念。早期研究多數仍停留在室內試驗階段，但近年來已開始正式應用於田間，例如義大利的團隊針對葡萄帶葉蟬 (*Scaphoideus titanus*) 的研究，此種葉蟬在 19 世紀無意間被引入歐洲且是傳播葡萄金黃化菌質體 (Flavescence dorée) 的媒介昆蟲，因為此種葉蟬的雄蟲會發出頻率約 180 赫茲 (Hz) 的干擾訊號 (disruptive signals) 來中斷其他雌雄蟲的對唱行為，藉此來增加自己找到配偶的機率，科學家們直接利用這種行為特性，將葉蟬的干擾訊號錄製下來以振動器 (buzzer) 於葡萄園中播放，並且連接電纜將這些訊號傳遞至整個葡萄園中 (圖三)，結果顯示相較於控制組，播放干擾訊號的園區，葉蟬的交配率顯著降低。



圖三、義大利團隊利用振動器播放干擾訊號並藉由連接電纜來傳遞給葡萄園中的葡萄植株，用於干擾葡萄帶葉蟬的交配 (圖引用自 <https://doi.org/10.1002/ps.3848>)。

同一團隊也同樣針對茶翅蝽 (*Halyomorpha halys*) 進行相關研究，茶翅蝽原產於東亞地區，臺灣也有分布，後來入侵美洲及歐洲地區，取食範圍廣，危害作物包含蘋果、杏、梨、桃、櫻桃、玉米、葡萄、番茄、胡椒、皇帝豆及大豆。他們第一步先瞭解茶翅蝽的振動溝通行為，確定茶翅蝽是以雌雄蟲對唱的方式建立配對關係，再利用雌蟲訊號進行回播，發現雌蟲訊號可以有效吸引大量雄蟲掉入聲學陷阱中 (acoustic trap)。除此之外，美國農部也針對國際重大害蟲柑橘木蝨投入不少研究心力，研究顯示柑橘木蝨雌雄蟲會以頻率 170~250 赫茲的振動訊號互相對唱，美國研究團隊則設計一小型振動器 (microcontroller) 可固定在植物枝條上並發出模擬雌蟲的訊號，藉此吸引雄蟲前來，再以黏蟲紙 (sticky trap) 捕捉，建構自動化系統，以此來刺激雄蟲主動搜尋振動器的位置以滅雄，進而降低木蝨交配率，自動化系統能有效減少人力、電力及設備的損害，前述多個例子表示聲學防治法確實可應用於不同害蟲類群。

結語

目前以聲波防治法正處於新興發展階段，這類型的防治法對環境友善且相較於其他非農藥防治法，成本相對較低，但在研發上仍遭遇許多技術與資源投入的限制。鑑於此種對環境友善之防治方法非常符合綜合害蟲管理 (IPM) 的理念，可彈性運用並整合各種防治方式來降低化學農藥的使用，相當值得投資，國際上已有多個國家開始投入大量人力及資金研發有效的聲波防治方法，臺灣雖才剛剛起步，但短短幾年的研究已發現臺灣許多害蟲具有運用振動波溝通相關行為，也顯示聲波防治對此類害蟲應具有相當防治潛力，透過此文的整理，期待更多人能投入聲波防治的研究與開發，讓臺灣在此領域的研究底蘊未來能在國際間發光發熱。