

地理資訊系統(GIS)及全球定位系統(GPS) 在蟲害管理上之應用

趙榮台¹ 孫志鴻²

¹臺灣省林業試驗所森林保護系

²國立台灣大學地理學系

摘要：地理資訊系統(geographic information system, 簡稱GIS)是一種能輸入(input)、儲存(storage)、分析(analysis)、展示(display)及尋取(retrieve)空間資訊(spatial information)的軟體系統(通常也包含硬體在內)。除了早期診斷、尋找與相關的因子之外,根據其資料庫內的各種環境資訊,配合電腦模式, GIS可以預測植物在未來受到蟲害感染的風險、時間、地點、分佈範圍、死亡率及經濟損失,從而提供土地管理者及早訂定防治決策,進行管制或發展必要的研究計畫。全球定位系統(global positioning system, 簡稱GPS)則是使用者透過能接收衛星訊號的接收器,精確、迅速達到標定地面座標的系統。GPS所標出病蟲害發生地點或分佈的經緯度,誤差範圍僅有數公尺或數十公尺。GPS所測得的座標資料能完美地納入GIS,結合多重資訊,從事更詳盡的蟲害動態監測(monitors)。本文介紹這兩種系統的基本原理和功能,同時也討論將GIS與GPS應用在蟲害管理上的實例。

關鍵詞：地理資訊系統、全球定位系統、蟲害管理。

前 言

過去30年,許多專業、學域對於使用具有時間、空間特性資訊的需求,越來越大。於是地理資訊系統(geographic information system, 簡稱GIS)這個能夠自動儲存、分析、展示地理資料的嶄新科技,就在市場的需求下,迅速發展,應用到各種專業、各類工作上。例如自動化的地理資訊系統已經應用在軍事、工程、地籍、火災事件、犯罪事件、人口統計、土地規劃等的繪圖,它也可以應用在環境監測、自然資源管理和都市計畫上。

另外一個原本用在軍事、導航的科技產品—全球定位系統(global positioning system, 簡稱GPS),在後冷戰時期解禁,並逐漸發展出形形色色的商業產品,供人快速、精確地定出經緯座標,例如今天的登山者可以藉著掌上型的GPS在很短的時間內定出自己所在的位置,不必再帶著一大堆地圖上山了。最近大多數上市的GPS還標榜它們具有結合GIS的功能,使兩個系統相得益彰,發揮更高的效率。這些先進的科技可不可以用在蟲害防治上呢?答案是肯定的。事實上,已經有一些GIS和GPS應用在蟲害防治和昆蟲調查的先例可供參考。

我們從CAB International截至1995年8月的文獻資料庫中找出18篇以GIS(含GPS)應用在蟲害管理的期刊報告(表1)。表1顯示以這兩種工具應用在昆蟲專業的研究報告處於萌芽階段,其數量

並不算多，但卻有逐漸增加的趨勢。表1也顯示這樣的應用主要出自於北美地區，在亞洲還沒有人發表類似的研究⁽⁸⁾的報告雖然在韓國發表，卻是在美國科羅拉多州做的)。本文的目的就是要介紹GIS、GPS以及它們在昆蟲學，尤其是蟲害管理上的應用。我們相信，隨著科技的進步與跨學域的統合，這些工具必然會在昆蟲學專業產生更大的影響，其發展動向值得我們關注。

表一、以GIS (含GPS) 應用在蟲害管理 (pest management) 的18篇期刊報告分析 (據 CAB International 1995年9月前文獻資料庫)

Table 1. An analysis of 18 journal papers (obtained from CAB International database by September 1995) that relate to applications of GIS (including GPS) on pest management

Year	No. of papers	Geographic Area	No. of papers
1988 & 1989	2	North America	13
1990 & 1991	4	Europe	3
1992 & 1993	5	Africa	2
1994 & 1995	7		

地理資訊系統的原理與結構

GIS是一種能輸入(input)、儲存(storage)、分析(analysis)、展示(display)及尋取(retrieve)空間資訊(spatial information)的軟體系統(通常也包含硬體在內)。GIS是一套工具，它可以藉著標準的座標系統，整合空間資訊形成一個資料庫(database)，然後透過查詢、分析，模擬各種狀況，提供決策者衡量、判斷。因此GIS是理想的決策支援系統(decision support system, DSS)，可以協助決策者有效地管理生物、政治、經濟或土地有關的資源。由此看來，只要建立充分、完整的資料庫，GIS一樣可以幫我們做好蟲害管理的決策。GIS的空間資訊，包括了位置資料(locational data，例如點、線、面、地形、座標等)以及屬性(attributes，例如變數、數值、名字等)，而位置資料和屬性資料必須彼此相互關聯。此外，GIS更重要的特性是它還涵蓋了第三個元素—時間。雖然不同的GIS軟體對各種數據有不同的設計和管理方式，但是基本上都在處理這三類的數據。

地理資訊系統本身有四個主要的組成，亦即輸入、管理、分析應用及展示。在資料輸入方面，可以利用鍵盤、掃描器、數化儀(digitizer)或錄音等方式。有些位置資料需要透過數化儀加以數化(digitize)。有些數化的過程要靠人工操作(manual)，還有一些則是自動的(automatic)。例如美國的大地衛星(landsat)和一些影像處理(image processing)設備能夠自動地把衛星影像轉換為具有座標系統的衛星影像，以便與GIS資料整合。當基本資料輸入之後，還有許多繁複的處理(processing)和編輯(editing)工作，這些工作相當系統化而且技術性，因此不擬在本文中詳述。至於GIS的資料分析功能基本上包括了空間資料處理(spatial manipulation)、空間資料分析(spatial analysis)、數值地形分析(digital terrain analysis)、網路分析(network analysis)等，由於電腦的發展日新月異，GIS的分析能力也日益多元化。最後，GIS還能迅速地尋取資料，將之展示出來。在視覺上，GIS的空間形態(spatial pattern)展示功能有很大的溝通效果，極具說服力。

GIS在蟲害管理上的應用

GIS應用在森林學上已有數十年的歷史，無怪乎它在蟲害管理上的應用也以森林蟲害管理為最早。以加拿大為例，太平洋區森林每年因昆蟲所造成的林木死亡超過2,500萬立方公尺，大約是年收穫量的1/3。森林蟲害問題也使木材外銷在檢疫(quarantines)上受阻，並造成林地、美學和遊樂上的損失，而火災發生的風險更大為提高。加拿大林務署的森林病蟲害調查局(Forest Insects and Disease Survey, FIDS)每年都調查並報告森林病蟲害的現況，做為森林經營決策、區域、國家、國際植物檢疫管制、以及研究發展計畫的參考之用。加拿大在1940年代即以航空調查(aerial survey)偵測森林蟲害並予以製圖，1960年後，這些空中調查已納入例行調查。從大面積的林地來看，航照圖一直是一年一度從事蟲害偵測和初步調查最有效的步驟。過去以人力判識、分析的空中調查資料(含各種森林病蟲害圖)，如今都已輸入GIS。每年的航空調查之後，技術員便將目前的森林感染區域(polygon)數化，並將害蟲種類、嚴重程度、年度、林區和圖檔編號等屬性輸入GIS。在校正誤差之後，今年的感染情形與前一年的感染情形可以立刻在電腦螢幕上分別出來。各省林務局、木材業者和國家公園等相關單位依其需要，結合數十到上百張的電腦輸出圖，就能進行預防蟲害的規劃工作(詳見 Van Sickle⁽¹⁶⁾)。

美國也是最早把GIS應用在蟲害防治上的國家之一，美國農部林務署(USDA Forest Service)及其相關單位所擁有的森林病蟲害的調查資料、圖檔更是詳盡。1869年從歐洲引進美國的舞毒蛾(gypsy moth, *Lymantria dispar*) 在20世紀前已成為美國東北區重要的林木害蟲，從此造成週期性猖獗，以1981年為例，舞毒蛾曾使1,300萬英畝的林地落葉殆盡。百年的為害歷史以及長期累積的調查、研究資料使舞毒蛾具備充分應用GIS分析的條件。比方說把美國大煙山國家公園(Great Smoky Mountains National Park)人類的可及性(accessibility)與舞毒蛾除葉(defoliation)程度這兩個因子納入GIS的模型(model)之後，決定了國家公園內除葉的數量，並根據北美過去蟲害除葉情況所判定的死亡級別系統(mortality rating system)評估大煙山國家公園內闊葉林的脆弱程度(vulnerability)。國家公園也藉著GIS就舞毒蛾的危害進行危險評估(hazard assessment)，展示可能會造成林木大量死亡的地區。有了這些分析和地圖，大煙山國家公園負責經營管理的行政部門在舞毒蛾還沒有造成損害之前，就已經有了可以被大眾接受的防治對策⁽¹⁾。舞毒蛾這類外來害蟲歷年擴散的情形也可以利用GIS顯示出來，Liebhold *et al.*⁽⁹⁾把彙集的歷史記錄納入GIS分析，把1900-1990年間舞毒蛾在北美擴張速率的變化分成四個階段，由於實際觀測的分佈範圍擴張速率高過理論計算值，他們才能提出舞毒蛾的擴散可能與人為因素有關的推論。Liebhold *et al.*⁽¹⁰⁾又彙集了1969-1989年賓州舞毒蛾造成的林地除葉航照圖，這些資料輸入GIS之後便能區分最易受害的林型(例如火炬松/短葉松(loblolly pine/shortleaf pine)林)和最不易受害的林地(例如山毛櫸(beech)林)，這一方面可以瞭解舞毒蛾偏好取食的樹種，另一方面則可以供未來育林、經營之參考。以上這些分析都要使用大量的疊圖以及圖上多邊形(polygon)的裁切、合成等，如果沒有GIS，工作根本不可能完成。

除了舞毒蛾之外，還有一些以GIS應用在森林昆蟲的例子。1987年西部捲葉螟(western spruce budworm) 啃食83萬4千多公頃的花旗松(douglas-fir)葉片，造成英屬哥倫比亞省有史以來最嚴重的蟲害。西部捲葉螟蟲專吃當年新葉，因此連續數年下來，損失就十分嚴重。欲了解受害最嚴重

的地區和程度，將1983-1988年的除葉圖疊圖分析，結果顯示1/2的受害區在6年中只有1年林木葉片被噬盡，36%連續兩年被除葉，15%連續3-4年被除葉，只有1%連續5-6年被除葉。Lee⁽⁸⁾以GIS將森林立地特性(stand characteristics)、氣象條件(weather conditions)、地形因子(topographic factors)等介量(parameter)疊圖(overlay)分析，製做成山松小蠹蟲(mountain pine beetle)的危險指標圖(hazard index map)，這對蟲害預警、森林經營和整體規劃都有實質助益。Power and D'Eon⁽¹²⁾則以GIS處理昆蟲為害圖(pest infestation map)和森林調查圖(forest inventory map)，以相關資料庫管理系統(relational database management system, RDBMS)處理枯竭因子(depletion factors)並加以統計，他們用這個方法找出最容易受害的林地，同時估算出雲杉捲葉蛾(spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*)幼蟲造成之森林枯竭(forest depletion)。Doggett and Tweed⁽⁴⁾收集北卡羅萊那州1960-80年的資料以GIS架構南方松小蠹(southern pine beetle, *Dendroctonus frontalis*)的地理分佈圖。他們利用每千英畝寄主樹木(大多為松樹)中的受害數(以點(spots)表示)代表小蠹蟲的密集程度，把這些點標在圖上，鑑定出受害最嚴重的地區。

蟲害診斷是害蟲管理中重要的一環，因為只有確認受害情形與區域，才能執行蟲害的防治工作。在蟲害偵測方面，Chamignon and Maniere⁽²⁾利用歐洲發射的SPOT衛星偵測法國東南區的森林覆蓋並評估昆蟲為害。他們發現以XS3波段最容易區分植被型態(水域、草原、森林等)和森林中的樹種，而利用多光譜資料(multispectral data)以及植被指數差異就能評估 *Larix decidua* 被 *Zeiraphera diniana* 為害的情形。Orland⁽¹¹⁾結合遙測(remote sensing)影像、地面影像和GIS的視覺影像，用來展示昆蟲為害(食葉昆蟲和小蠹蟲)的效應、昆蟲猖獗早期樹冠層的顏色改變以及森林結構的改變，這種技術當然也有利早期的蟲害偵測，從而預謀對策。Everitt *et al.*⁽⁶⁾用彩色紅外線和黑白近紅外線(near-infrared)錄影影像偵測美國德州 Lower Rio Grande Valley 的柑橘粉蝨 *Aleurocanthus woglumi* 為害，蚜蟲引起的煤煙菌(sooty mould fungus, *Capnodium citri*)使得葉片產生明顯的灰黑影像，受害柑橘樹的近紅外線數化錄影影像(digitized video images)的數值則比未受害的柑橘顯著為低，因此可以迅速診斷大面積柑橘的受害情形。

GIS是很好的跨學域統合工具，過去病蟲害分佈型態和生物地理氣候區、氣象因子、林型、坡度等的相關性很難評估與量化，GIS使得這些分析均能順利進行。像Jagtap⁽⁷⁾將烏干達(Uganda)全國種植香蕉之地區的生態狀況數據輸入GIS分析，成功地求出香蕉病蟲害水平和生產損失的關係。花旗松毒蛾(Douglas-fir tussock moth)取食花旗松幼林和成林的葉片，造成生長緩慢甚至死亡。加拿大森林病蟲害調查局自1916年地記錄了8次花旗松毒蛾猖獗的圖片。每次猖獗的期間持續1-4年。將這些8次猖獗的圖片與森林棲地(forest habitat)和氣候圖重疊，就能指出最易感染的區域和最容易造成猖獗的關鍵氣候狀況⁽¹⁶⁾。Dull *et al.*⁽⁵⁾以16種資料檔(包括地形、交通、水文、雲杉球蚜(balsam woolly adelgid, *Adelges piceae*)的歷史和干擾歷史等)納入GIS分析，結果算出美國東南部高海拔有26,610 ha的雲杉/冷杉(spruce/fir)林，其中大多數都在衰退之中。他們將森林的死亡率分級，發現樹木死亡率隨海拔高度而增加，也與雲杉球蚜的為害一致。Veblen *et al.*⁽¹⁷⁾將在科羅拉多的洛磯山脈林地中林火、雪崩(snow avalanches)及雲杉小蠹蟲(spruce beetle, *Picea engelmannii*)大發生的空間和時間型態調查結果輸入GIS分析，以計算不同干擾因子影響的範圍，並檢驗不同干擾的空間關係。結果顯示林火大發生在1470、1630和1870年代，雲杉小蠹蟲大發生約在1716、1827和1949年。大約在1633年以後9%的調查區域受到雪崩影響，38.6%受到小蠹蟲的影響，而59.1%則受到林火的影響。平均每 202年發生一次大雪崩，每116.5年有一次小蠹蟲大發

生。火災或大雪崩等干擾之後，荒廢的林地無法支持足夠的雲杉小蠹蟲造成大發生，可以解釋何以近來林火和蟲害大發生的時間分佈沒有重疊的現象。

找出適合猖獗的環境因子和猖獗的限制因子，就能預測未來猖獗發生的時間和地點，更重要的是，GIS可以預先估計在某種氣候變化的狀況下(例如大氣污染和全球暖化)，因蟲害造成的損失可能有多大。GIS可以展示植物和蟲害的分佈以及作物生產的其他屬性，並做成模型(modelling)把這些多重的資料庫輸入同一個座標系統。此外，加上氣象和高度資料，就可以監測並預測病蟲害的發展。GIS已用在預測舞毒蛾的物候學發展(phenological development)，同樣的技術也用在馬鈴薯晚疫病(potato late blight, *Phytophthora infestans*)和蘋果瘡痂病(apple scab, *Venturia aenqualis*)⁽¹⁴⁾。事實上，大多數GIS都有一套資料的空間分析(spatial analysis)程式，所以用它預估蟲害的發展和大發生的風險便就方便多了。Coop *et al.*⁽³⁾以GIS評估奧勒崗州梨木蝨 *Cacopsylla pyricola* 對擬除蟲菊酯抗性(Pyrethroid resistance)的發展。每年在開花前噴撒兩次擬除蟲菊酯，害蟲就可能產生抗性，並在10-12年內就無法繼續控制蟲害。Wood *et al.*⁽¹⁸⁾在加州北部和中部的野外資料顯示，稻株的冠層(canopy)越早形成，稻田越靠近家畜牧場，則其分佈在240,000 ha 水稻田內的瘧蚊 *Anopheles freeborni* 幼蟲族群越大。以遙測偵測稻作冠層發展的反射測計，並以GIS測計稻田和牧場的距離，就可以區分蚊子幼蟲數量多寡的稻田。在蚊子幼蟲族群達到巔峰的前兩個月，就已經可以用上述分析區分出這兩類稻田，預測準確度高達90%。Tappan *et al.*⁽¹⁵⁾以綠度(greenness)做成植被指標影像圖(vegetation index image maps)，預估植被的狀況，再將這些數據與數化的地圖資料(digital cartographic data)輸入GIS，用以監測(monitored)可能的跳蝗(grasshopper)以及飛蝗(locust, *Schistocera gregaria*)棲地，以便預測蝗蟲族群的變化。

全球定位系統的原理及其在蟲害管理上的應用

全球定位系統是由美國國防部(U. S. Department of Defense, 簡稱DoD)以衛星為基礎的無線電導航系統(navigation system)。為維持該系統之運轉，DoD固定地維護24顆GPS衛星，無論天氣狀況如何，GPS均可以提供24小時的全球導航能力。

GPS的組成包括了1)衛星；2)控制系統；3)使用者。所有的衛星都在與赤道呈55°傾斜的6個軌道面繞著地球打轉。每一軌道都是圓形，距離地面20,183公里。每一顆衛星發出兩段無線電頻率： α_1 在1575.42 MHz; α_2 在1227.6 MHz，做為定位之用。使用者的接收器(receiver)如果能同時接收四顆以上衛星的訊號，計算它和各衛星的距離，經過三角定位(triangulation)，便產生接收器(亦即使用者)的絕對位置(absolute location)。許多遙測系統(remote sensing system)現在也把GPS納入，經過訓練的作業人員可以順利地把GPS用來繪製立地的界限、公路或步徑的調查地區。GPS的精確度由接收設備以及數據處理方式而定。衛星是美國發射的，因此美國國防部隨時都能以選擇性取得(Selective Availability, 簡稱SA)降低GPS的精準度。SA的設定能降低民用導航接收器密碼，使其對位置(position)之計算誤差達到數百公尺之遠。不過，有了微分校正(differential correction)之後，SA的誤差幾乎已被完全排除。

使用GPS之前，應該先考慮一個基本問題：「為配合日後的分析，我要搜集的資料應該精確到什麼程度？」假如日後要把目前的GPS資料輸到一個100m×100m方格(grid)的GIS，那麼，40公尺到100公尺的誤差都在可以接受的範圍。但是，如果要確認某一植株的位置，則其誤差就不

能大於2公尺。同樣的，昆蟲為害或農藥污染面積的估算也不必像劃定伐木基地或保留區疆界那麼準確。

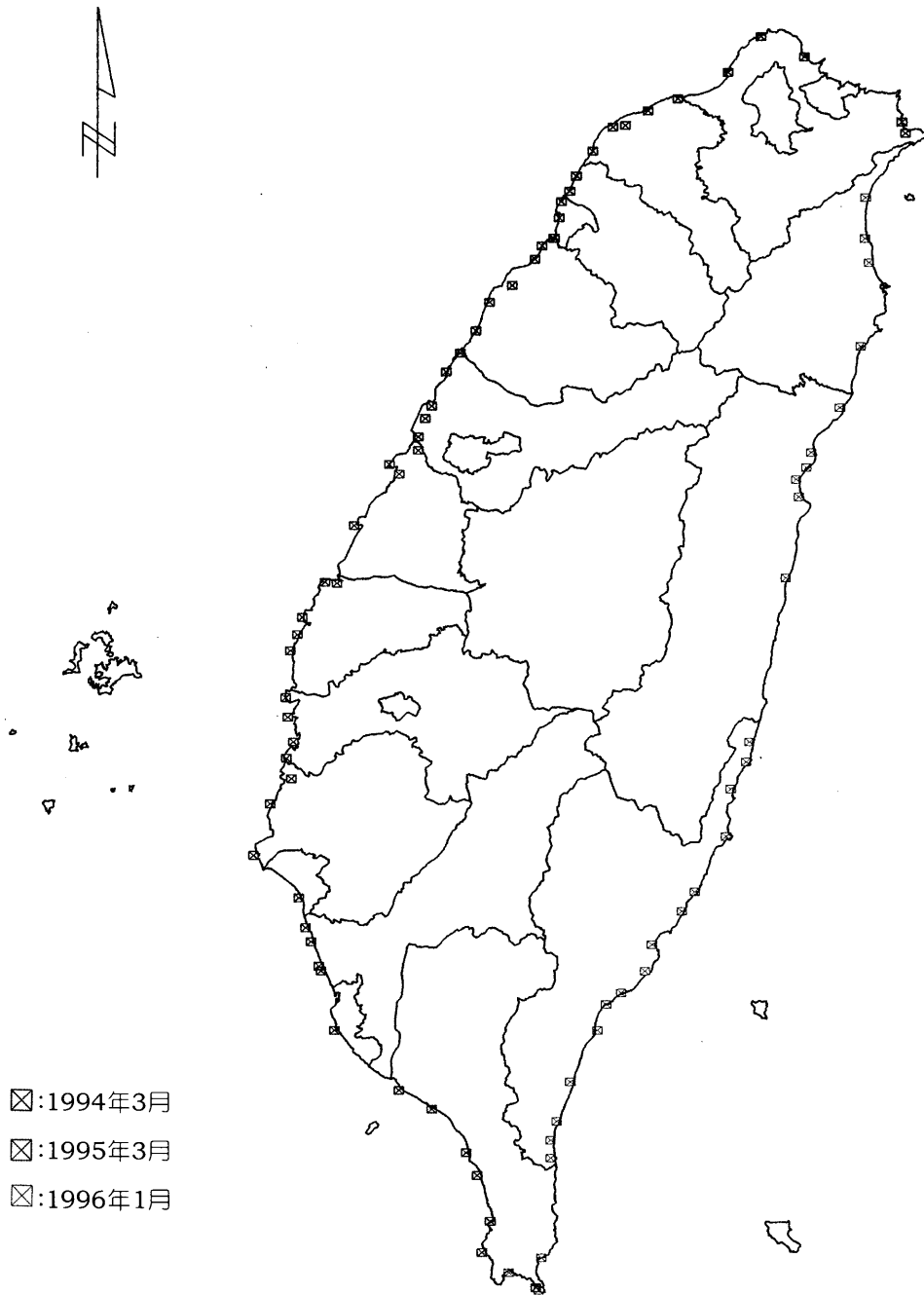
資料精確程度的要求，攸關資料搜集設備的選擇。基本上，接收器分為誤差以公分計的調查級(survey-grade)和誤差以公尺為單位的製圖級(mapping-grade)。調查級的接收器必須在某一點(site)停留相當時間，不能用在動態狀況，而且它的費用也極其昂貴。製圖級的接收器應足以符合蟲害管理的需要。如果有兩個接收器同時監測同一顆衛星的話，大多數接收器的誤差都不到5公尺。其中一個接收器(基站，base station)必須放在已知的座標，另一個接收器(移動站，rover)只要在距離基站600公里之內使用，日後都可以將移動站獲得的資料對照基站加以微分校正。如果移動站以非靜態(not stationary)的方式搜集資料，校正後的誤差可能會大到15公尺。不論那一型接收器，垂直(高度，elevation)讀數誤差通常都是水平讀數誤差的2-3倍。

在經費不足只能購買一個接收器的狀況下，獲取誤差數十公尺的經緯座標仍然比沒有這些資料要好。如果只有一個接收器，如何降低誤差呢？解決的辦法是透過關係，請其他擁有接收器的單位或個人在你定位的同時打開他(們)的接收器，也就是說你可以把他人的接收器當做基站，以自己的接收器做移動站，定位之後再與該基站微分校正提高精準度，這不失為一個既省錢又可以得到精確經緯座標的方法。

GPS除了確定‘點’的位置，也可以用來確認‘線’和‘面’。線如果要劃定一塊昆蟲為害的地區，取得座標觀測資料之後，需經過下列步驟，才能製圖：(1)將資料從接收器灌到電腦上；(2)計算並進行微分校正(無基站者不必此道手續)；(3)去掉未經修正之點的檔案；(4)求得每一檔案的平均位置；(5)求每一區所有檔案之和；(6)繪圖(plotting)。GPS不但能取代手繪(hand-sketches)、快速地勾勒為害範圍，同時還能提供害蟲空間分佈(spatial distribution)的資訊。當然，只要合乎格式，GPS資料也可以順利結合GIS，做更多元、更深入的分析，例如 Everitt *et al.*⁽⁶⁾ 就利用GPS記錄蚜蟲為害地點的經緯座標，把這些座標輸入GIS之後，不但劃出受害果園的範圍，同時也有利於日後持續監測這片大面積果園的受害情形。本文第一作者及其研究同仁目前進行海岸防風林黑角舞蛾(*Lymantria xyliana*)的調查，每個樣區都以GPS定位，並輸入GIS(圖1)。這些記錄的資料使任何人都能回到樣區重複調查或長期觀察樣區受害的變化(趙榮台，未發表資料)。以上都是GPS結合GIS應用在蟲害管理上的實例。

結 語

"Pest control"這個名詞從1940年代起逐步演變為"integrated pest control"、"pest management"，到了1970年代初期改成"Integrated Pest Management, IPM(綜合管理)"之後，就不再有重大改變。可是晚近環境、社會與科技的快速變化，使得IPM無論在觀念和內涵都面臨必須再加斟酌的地步⁽¹³⁾。IPM需要綜合各種知識做成決策，而許多的知識在今日都強烈依賴電腦科技。除了專家系統(expert system)、遙測和其他新科技以外，Sarrenmaa⁽¹³⁾特別提出“昆蟲學家應該強調把GIS帶進(這個領域)的重要性……”，Seem⁽¹⁴⁾則說明了GIS處理大量蟲害和其相關環境資料、數據的能力，以及GIS在蟲害發展風險評估上的優異特性，這些都可以幫助我們解決昆蟲學專業所面對的新挑戰。



圖一、以GPS記錄在台灣沿海防風林內調查黑角舞蛾(*Lymantria xyline*)卵塊的地點，將這些地點的座標輸入GIS後的列印展示(趙榮台，未發表資料)。

Fig. 1. GIS output map of study sites for a *Lymantria xyline* egg-mass survey along the coastal windbreaks of Taiwan. Precise coordinate data of each site was recorded by GPS and entered into a GPS system (Chao *et al.*, unpublished data).

本文已提及GIS的功能與應用，舉凡全國或地區的歷史資料，例如蟲害之鑑定、寄主、分佈、發生頻率和週期都可以納入GIS從事分析。資料庫可以聯結成爲巨集(batch mode)，而各種地圖都能存入、輸出、可以重疊、並分析它和害蟲的分佈、歷史、植物調查、生物地理、物候、行政界限、氣象或其他因子的關係。分析的結果有助於評估害蟲的分佈是否已經擴張？可能的蟲害所造成的風險有多高？協助檢疫和管制的決策，展示受害區以便規劃防治工作，並比較害蟲和其他因子的關係。GPS則可以提供全時間、全方位的準確位置資料。執行野外試驗時，全球定位系統是一個快速、可靠的工具。它可以用來精確快速地畫出地理範圍(boundaries)、改善手繪地圖，同時也能更新(updating)航空照片(aerial photographs)。另一方面，它也可以用來確定生物(例如昆蟲)的空間分佈。在這兩個層面，GPS都能和GIS相結合，發揮更大的功用。由於GPS所測到的座標(coordinate)都存在電腦檔案裡，不但可以隨時到原座標點重複取樣，同時使得日後持續監測(monitored)野外試驗的動態改變也成爲可能。

使用電腦的人在最近幾年見證電腦科技的突飛猛進，我們一方面感受快速轉換所引起的衝擊，訝異電腦的威力，另一方面又享受電腦帶來的方便。同樣，以資訊和通訊科技爲基礎的GIS與GPS也已經開始帶給各種專業類似的革命性改變。在一切快速運轉的時代，我們也將享受GIS與GPS的發展所帶來更多研究、管理上的方便。GIS和GPS在蟲害管理上的應用勢必愈來愈見廣泛，我們希望更多昆蟲專業人士投入，在這些嶄新的科技領域和昆蟲學的交集上發展。

謝 辭

本文承林業試驗所森林保護系梁素珠、陳景亭協助繕打、編輯，陸聲山協助稿件處理及製圖，特此申謝。

參考文獻

1. Barret, H. R., and S. C. Nodavin. 1991. The use of GIS in evaluating impacts of hardwood forestry by the gypsy moth (*Lymantria dispar*). GIS/LIS '91 Proceedings. p.834 (Abstract)
2. Chamignon, C., and R. Maniere. 1990. Forest cover type mapping and damage assessment of *Zeiraphera diniana* by SPOT 1 HRV data in the Mercantour National Park. International Journal of Remote Sensing 11(8): 1439-1450.
3. Coop, L. B., B. A. Croft, and H. Riedl. 1994. Pear psylla development of pyrethroid resistance: geographic information systems analysis. Bulletin OILB/SROP 17(2): 43-47.
4. Doggett, C. A., and D. R. Tweed. 1994. Geographical intensity of southern pine beetle infestations. Southern Journal of Applied Forestry 18(4): 145-146.
5. Dull, C. W., J. D. Ward, H. D. Brown, G. W. Ryan, W. H. Clerke, and R. J. Uhler. 1988. Evaluation of spruce and fir mortality in the southern Appalachian mountains. Protection Report - Southern Region, USDA Forest Service (No. R8-PR-13): ix+92pp.
6. Everitt, J. H., D. E. Escobar, K. R. Summy, and M. R. Davis. 1994. Using airborne video, global positioning system, and geographical information system technologies for detecting and mapping

- citrus blackfly infestations. *Southwestern Entomologist* 19(2) : 129-138.
7. Jagtap, S. S. 1993. Diagnostic survey site selection using GIS for effective biological and integrated control of Highland banana pests. p.25-36. in C. S. Gold and B. Gemmill(eds.) Biological and integrated control of highland banana and plantain pests and diseases: Proceedings of a Research Coordination Meeting. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadania, Niger.
 8. Lee, K. S. 1989. Geographic information systems (GIS) use in forest pest management: a simulated study on mountain pine beetle infestation. *Journal of Korean Forestry Society* 78(2): 168-176.
 9. Liebhold, A. M., A. J. Halverson, and G. A. Elmes. 1993. Gypsy moth invasion in North America: a quantitative analysis. *Journal of General Virology* 74(1): 513-520.
 10. Liebhold, A. M., G. A. Elmes, J. A. Halverson, and J. Quimby. 1994. Landscape characterization of forest susceptibility to gypsy moth defoliation. *Forest Science* 40(1): 18-29.
 11. Orland, B. 1994. Visualization techniques for incorporation in forest planning geographic information systems. *Landscape and Urban planning* 30(1/2):83-97.
 12. Power, J. M., and S. P. D. Eon. 1991. Quantifying pest-caused forest depletion using geographic information systems and database technologies. Information Report - Petawawa National Forestry Institute, Forestry Canada (No. PI-X-105): iv +17pp.
 13. Saarenmaa, H. 1992. Integrated pest management in forests and information technology. *Journal of Applied Entomology* 114(4): 321-332.
 14. Seem, R. C. 1993. Geographic information systems for localized pest predictions. *Bulletin OEPP* 23(4): 639-646.
 15. Tappan, G. G., D. G. Moore, and W. I. Knausenberger. 1991. Monitoring grasshopper and locust habitats in Sahelian Africa using GIS and remote sensing technology. *International Journal of Geographical Information Systems* 5(1): 123-135.
 16. Van Sickle, G. A. 1989. GIS---A tool in forest pest management. *GIS Applications in Natural Resources*. pp.349-353.
 17. Veblen, T. T., K. S. Hadley, E. M. Nel, T. Kitzberger, M. Reid, and R. Villalba. 1994. Disturbance regime and disturbance interactions in a Rocky Mountain subalpine forest. *Journal of Ecology* 82 (1): 125-135.
 18. Wood, B., R. Washino, L. Beck, K. Hibbard, M. Pitcairn, D. Roberts, E. Rejmankova, J. Paris, C. Hacker, J. Salute, P. Sebesta, and L. Legters. 1991. Distinguishing high and low anopheline-producing rice fields using remote sensing and GIS technologies. *Preventive Veterinary Medicine* 11(3-4) : 277-288.

Applications of Geographic Information System (GIS) and Global Positioning System (GPS) on Pest Management

Jung-Tai Chao¹ and Chin-Hong Sun²

¹Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute

²Department of Geography, National Taiwan University

Abstract

Geographic Information System(GIS) is a computer software system (often including hardware) with which spatial information may be captured, stored, analyzed, displayed and retrieved. GIS has been applied for detecting pest infestation and early stages of insect outbreaks at regional or national scale. GIS also makes it possible to quantify and evaluate relationships among pest distribution, phenological factors, climatic variables, topographic attributes, crop mortality and economic loss. Through the help of GIS, land managers will be able to decide an acceptable response prior to the arrival of the inevitable damage caused by various pests. The Global Positioning System(GPS) provides full-time and fast ground coordinates data within meters of accuracy by receiving signals from earth-orbiting satellites. GPS has been used to record latitude-longitude coordinate data of infested localities. Precise location data obtained from GPS fit nicely into GIS and this, combined with other multiple data sets, allows a more accurate monitoring of pest dynamics. This paper introduces principles and functions of GIS and GPS and discusses different applications of GIS and GPS on pest management.

Key words: GIS, GPS, pest management.