

發展精準農業之淺見

◎農試所農藝系　楊純明

傳統的農耕措施與管理方式係以田區爲操作單位，採用一致性的耕犛、播種、施肥、噴藥及灌溉等作業。然而隨著農業知識的累增和科技的進步，發現此一作法忽略了自然與人爲造成土壤及作物的持續性變異，容易引發耕作農地的不當使用，而衍生許多經濟與環境問題；諸如產量顯著降低、病蟲原與雜草相遷移、農藥成本劇增、毒害氣體釋放或滲漏、有毒物質長期殘留、及作物生長環境劣化等現象，均可能在傳統農耕制度中逐一引爆。精準農業(precision agriculture，或稱精準農耕precision farming)理念因此產生，期依照土壤性質、農作物生長需要及環境狀況，給予匹配的資源投入及處理措施，避免多餘的資源投入和對環境的破壞。所以，同一耕作農地將可能有差異性的操作(differential treatment)，視土壤肥力與含水量、農作物生長表現、病害與蟲害罹患程度、雜草蔓延與危害情形等實施不等量肥料、農藥、灌溉等作業。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護及經濟效益上得到最佳動態平衡。惟欲發展精準農業仍需主觀與客觀條件的配合，詳善的評估與規劃，匯集各方意見後再做實施與否結論。

一、前　言

爲期人類長存於孕育萬物的地球，近年來有識之士已意識到科技與文明的衝突，認眞思考科技與文明的發展是否履行於正途、常軌，帶領人們朝向「永生」福祉，抑或引領走向「滅絕」末路。此一覺醒意識，掀起回歸自然、善待環境的認同熱潮，民衆也日益重視生態保育與環境保護議題，希望留給自已和後世子孫一個清淨的生存空間。在農業層面上，識者亦開始檢討人造化學品使用及資源過度開發利用的利弊，並衍生農業永續(sustaining agiculture)問題。自此農業的永續性經營成爲時代的潮流與全球農業的發展趨勢，共同努力的目標，亦成爲我國重要農業政策之一。

精準農業(precision agriculture)，又稱精準農

耕(precision farming)或特定地區農業(site-specific agriculture)，即爲了邁向環境的、生態的、與經濟的永續農業而衍生之農耕體系，以特定地區精準經營管理方式，配合農田地力分佈而有層次、有計畫的合理善用資源及運用栽培措施，來獲得最適的農作物生產與農產品質。精準農業內涵異於傳統者，在於以差異性處理方式調節土壤肥效、噴藥(除草劑、殺蟲劑、殺菌劑等)作業、與灌溉水量等等，而非傳統平頭式的一致性處理，使得農業資源(能源、資材、人力等)獲得妥善利用，避免不必要的浪費及污染。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護、及經濟效益上得到最佳動態平衡。近年來更有將精準農業理念伸張擴及林、漁、牧者，或縮小規模衍用於設施栽培者，無論如何，精準農業的意義與內涵是不變的，著重於『精準』與『妥善』。

二、精準農業內容

精準農業從觀念的啓蒙至實際作業系統的發展歷史甚短，在美、加、澳洲等先進國家的研發亦僅十餘年，歐洲地區及日本更短，而我國仍處於觀念建立及研究規劃階段。

綜合來說，精準農業爲一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物經營管理體系，掌握時空即時資訊，藉著完整詳善的相關資料庫模擬及決策，連結自動化管理操作系統的作業配合，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。爲符合體系的各項要求，理想的精準農業作業系統必然包括(1)農耕資料庫(cultivation database)、(2)土壤資料庫(soil database)、(3)地理資訊系統(geographic information system)、(4)全球定位系統(global positioning system)、(5)遙測技術(remote sensing technology)、及(6)具變異率功能(variable-rate function)的自動化農機操作系統等六大要素，同時由一套完善的軟硬體整合串連（或稱決第技援系統），擁有組構、偵(檢)測、整理、分析、決策、和作業等多重性能。

㈠精準農業作業系統六大要素

1.農耕資料庫

不同的農作物有其特定的生長環境及栽培條件，對土壤性質、氣象組成、肥料用量、及栽植方法的需求不一，病害蟲害的發生與防治方法亦有分別，生育期間的經營與管理各有獨特要件。因此，針對不同農作物必須建立其完備的農耕知識與技術，從種子生產、種苗建立、植株生長、直至產量收穫與調製等系列過程，瞭解其在常態與逆境狀況下的差異及因應措施。尤有甚者，更需要將這一切過程予以數學化、程式化、與邏輯化，建構實施流程與模式、評定優先次序，得以系統化的自動或半自動作業。

由此可知，農耕資料庫的內容眾多，擴及耕犛整地、農作物生育、病蟲害防治、雜草管理、施肥、灌溉、氣象環境等等有

關資料。資料庫愈豐富，涵蓋的逆境處理對策愈詳善，未來的應用層面及處理狀況當然就愈廣泛、愈準確、愈能達到「精準」的要求。據此，依照農作物種類當包括必要的農藝或園藝、農化、病蟲害、農業微氣象等專家，融合作物栽培、逆境生理、植物營養、病蟲害與雜草管理、試驗統計、及農業微氣象等知識，建立農耕過程各種資料庫(包括常態、逆境、及氣象干擾等歷年紀錄)。再配合電腦軟硬體專業人員，整合做成分析與決策系統，能夠將農作物即時遙測資料分析與判斷，提供現場專業操作人員做出作業決策而展開立即行動。

2.土壤資料庫

實施精準農業的特定農地各有不同，無論係礦物組成分、理化特性、可利用營養元素、或地下水位等土壤性質均有差別，必須逐次分析建檔釐清變(差)異性。這些土壤因子影響農作物的生長與產量表現，而且播種前、後隨時空演變，需要定期追蹤。土壤資料庫可以地理資訊系統繪製土壤性質分佈圖，將特定農地各地點土壤性質輸入，作爲肥料變(差)異性處理及不等灌蓋量前、後的區分及鑑別。如此，避免土壤、地面與地下水及周遭環境的污染，減少水資源浪費，確保農業資源的合理與適當投入。

土壤性質在每次作季前後不一，若能累積該地區歷年土壤變異，給予整理分析找出其規律或變異，對於往後農作物的栽培將有極大幫助。因此，土壤資料庫的建立需要花費相當人力與時間，項目愈詳細，處置作業愈周延，對精準管理的效果就愈大，亦可以降低對環境的污染與破壞。

3.地理資訊系統

農地及農作物有關資料必須空間對位而予網格化，即精準的在座標方位上標示正確的土壤與農耕資料及地理與地形，形成多層次資料檔。此一工作可藉由地理資訊系統從事：(1)資料的輸入與輸出、(2)資料的保存與更新、(3)資料的顯示與比較(對)、(4)資料的分析與決策、及(5)結果及決策的顯示與製圖(表)等五大項工作。行政院內政部的「國土資訊系統」即爲一例，國內在此方面的技術與經驗甚強，發展在精準農業體系上應無困難。當前要務係如何整合各方資料，有系統有層次的分類、彙整與連結，發揮地理資訊的最大功能。

4.全球定位系統

本項系統主要在於方位座標的精準空間對位，將目標農地各地點(區)正確的標示地理與空間資料，配合遙測資訊及地理資訊系統進行即時配對與比對(較)，以便執行往後程序及農機作業。全球定位系統的發展歷史雖然不長，科技卻有驚人進展，不久未來公尺內的誤差輕易達成。

5.遙測技術

遙感探測爲一門利用感測儀器不與被測物接觸即能獲得測量物特性與資料的技術與科學，能蒐集與傳遞遠端事件即時資訊，同時完成觀測、判讀與決策等系列過程。利用遙感探測技術於農業天然或人爲災害之偵(檢)測，不

僅可以非破壞性的遙測廣大受害面積，亦能系統化的快速判別與區分危害等級，助益於救災、賑災、重建功能之發揮。在農作物生產力估測上，可應用於栽培作物種類之區分與栽培面積之估算，各種作物生育狀況(態)之追蹤與管理，並予評估與預測大面積農作物產量。

在精準農業體系應用上，首先當以遙測技術建立農作物植被光譜與植被生長(覆蓋)之關係，利用來追蹤與估測作物的生育、病蟲害感染、雜草干擾、災害損害等及預測產量。當完整的植被光譜與農作物生育特性模式建立後，就能應用於當季農作物生長表現的即時遙測，輸入資料庫進行研判與決策。遙測作業平台可視需求調整，從低尺度、中高尺度、至太空等依農地面積及政策需求選擇。此外，遙測亦能利用於土壤監測及農機具操作效果檢測(驗)等，在時間及空間變異性測定上提供時效性結果，助益於時間與空間序列上之判讀與評估。

6.具變異率功能的自動化農機操作系統

精準農業的精神在於「因地置宜」與「恰到好處」。所以針對農地特定地點的差異，以變異性方式給予最適與最佳的處理，節約資源節省開支，且獲得適當收益；諸如耕犛、肥料、農藥、灌溉等能源、資材與人力的投入，將得以精準控制。透過遙測技術得到的農地及作物即時資訊，以全球定位系統標出方位座標，顯明於地理資訊系統上，再由農耕與土壤資料庫組成的鑑別及決策，找出農地及作物的變(差)異性，配合具變異率功能的自動化農機操作系統實施變(差)異性處理，達成精準感測、控制與處理。

所以，一套完整的自動化農機操作系統，將同時配備各種必要感測系統及自動控制裝置。一方面感應與接收遙測資料(可以來自地面、高空或太空)，另方面發出決策指令做出自動化作業處理，在目標農地的各網格點位置施放不等量的種子(或種苗)、肥料、農藥、水量等等。這樣的操作系統精密而價格昂貴，必須由相關專業人才來組裝，將前述五大要素的機組整合。

㈡作業系統整合

當此六大要素全備之後，即可展開作業系統整合工作，將各要素橫向、縱向、交差串連，構成感測-決策-作業系統。然作業系統之整合不但需要依靠電腦的計算、整理與分析，更仰賴專業人員做出決策及處理操作，並非一般人員所能勝任。因此，在研精準農業體系時，應以常設單位(團隊)爲考量，常設單位應有各種專業人員，能將研發成果整合成作業系統，並隨著科技發展進行系統軟硬體更新。

三、精準農業實施規畫及限制

欲實施精準農業體系，當地必須具備優異的傳統農耕知識與技術，並擁有各種必要的先進科技、旺盛的研發潛力、及各種人才。除了前述系統六大要素及整合軟硬體之外，尚需備妥高昂研發成本的

支援。換言之，必須資本雄厚的大型農業經營公司(集團)或政府機關，才可能募集相關學門領域人才及研發經費，以團隊組訓方式積極發展各個環節，單憑個人或弱勢團隊是無法執行的。

㈠現階段實施精準農業之可行性評估

在發展精準農業之前，必先妥予評估其必要性及經濟效益，再實施規劃和進行研發工作。臺灣地區屬於「小農」農業經濟體系，農田型態爲「拼盤式農業」，即每一農戶(家)擁有的農地面積平均僅約1公頃，而在這1公頃面積內卻可能栽植多種農作物。在此前題之下，原本不適「精準農業」體系，因爲比照國外目前實施「精準農業」農場200～5,000公頃規模及每一農場單純農作物種類，國內農地現狀確實不宜。又在經濟效益的準則下，建構「精準農業」系統的研發費用及實施在每一作季的必要成本，怎麼算在臺灣地區實施皆不符合農產回收水平。再由於土壤長期化學肥料及農藥的施用，宜農地區的土壤全賴肥料及農藥的繼續使用來維持農業生產，欲改變現行作業方式勢將遭逢各方極大阻力。貧脊地區則因資本投入甚高，更不適宜。而臺灣地區複雜的氣象環境，各地域多變的天候，亦不利於精準農業的實施。依諸觀點，臺灣地區似乎不適合發展國外採行之「精準農業」體系。

若由於政策考量或爲提昇農業競爭力之故，發展合乎臺灣特色與獨特需求的「精準農業」系統仍然值得嘗試。惟無論理由如何，均應該考慮以下三項可行條件，在答案是正面的評估結果時再爲之:

1.研發團隊的組成

欲進行這類關係多學門領域、多專長人才的大型研發計畫，因時程長而項目繁，絕非僅窮個人之力可以克盡其功，一定要組成工作團隊分進合擊才有可能。本文因此建議事前評估的重要性，務先邀集農政決策首長、業務主管、相關學者專家和農民團體代表等共同商議其前瞻性、可行性、時效性及適用性，描繪藍圖，確立目標。同時決定經費來源與額度、發展時程與階段及體系未來運作花費等，並指定或成立常設業務單位負責執行、擔負成敗責任。隨即組成研發團隊，募集必要研究人才(如農業、農經、遙測、資訊、電子、機械…)和農政人員，展開研發及系統測試工作。研發工作的成功與否，端賴適才適所，找對人、做對事。任務有發展前景，人員有使命感，加上團隊溝通互動良好，成就自然可期。

2.相關知識與技術的配合

由前述精準農業作業系統的六大要素，可知相關知識與技術的多樣化與難度。凡國內欠缺、貧乏者，以技術引進或人才培訓(育)方式彌補；有待行政配合者，以專案行之。縱然如此，仍應當將本文陳述各要點詳加評估、審核，確定技術、機具(件)、人才、經費等均無疑義，未來專責單位足以擔負重任，選定的農作物及實施的地區符合經濟效益，再予客觀的綜合評估可行性。

3.研發成果的落實(設置常設業務單位)

花費龐大人力與經費之目的，乃爲了落實成果於實務，應用於產業日常運轉。所以，在規劃前務必考慮到研發成果的落實，而非僅僅只是研究結果(光屬研究結果不需要如此勞民傷財)。爲達到實際利用經過精密分工和長期投資才辛苦獲得的研發成果，本文建議設置常設單位統籌辦理。由此一常設業務單位和人員承接、統籌研發團隊各項終端成果，建構經常性與常態性的作業系統，充分發揮精準農業體系的最大效益。類似案例如行政院農委會第二辦公室(前臺灣省政府糧食處)的現行航照判讀作業單位，即經年以固定的編制組織和人員從事例行航照判讀，估算糧食作物的栽植面積及預期產量。此單位的形成及任務，即本文所謂設置常設業務單位的意義和目的。值得注意的是，此項業務的研發、建制乃至於常態運轉先後歷經一、二十年的摸索才步入常軌。否則，單純進行這些研發工作而不求落實應用，是毫無作用及意義的，徒勞無功耳。

㈡精準農業實施規劃及限制

國內對於「精準農業」的涵義多仍止於初識，意念懵懂。當瞭解精準農業爲一以資訊與技術爲基礎的農耕經營管理體系時，就能明白精準農業其實爲一經營管理農業的手段，利用來偵測、鑑別、與管理某特定地區農地和作物隨時空之變異性(度)，期能兼顧生態環境與農作生產平衡，維持農業永續。國內在規劃時，當就體系內容項目、作物種類、應用對象、實施目標及地區幅員等具體確定。當技術上完成精準農業體系後，其推廣與應用即需考量經濟因素。系統的研發是一回事，眞正落實應用又是另碼事，如何攤平研發與作業成本，甚至得到應有收益，全都是問題。系統的目標以增加農作物生產抑或保護農業環境爲主，更需要由農政最高決策者拍板定案，以釐清責任以確定目的，展望未來的實用情景，現在就當規劃精準農業體系的推展實務。

精準農業體系所需的農耕與土壤資料庫，國內知識與技術均已足夠，欠缺的是模式化及系統化。如何建構擬實施精準農業的特定農地相關資料，是主觀的人爲問題，只要適當的專業人才配合，假以時日就能建立各種資料庫。地理資訊系統及全球定位系統皆屬技術層面，進展容易，國內的人才和技術足以支援。將兩者結合後可以迅速的定位遙測資料的方位座標、主題位置及資料層次，俾利後續的處理。將來定位型衛星數量必然多過現今24顆，差分修正技術亦更爲進步，目標農地的定位誤差將可現場立即獲得，同步指揮後續動作。

現今航空器及太空載台光譜遙測多爲多頻譜(multi-spectral)掃瞄資料，光譜解析度較粗，未來若增加頻譜數量或改爲高光譜(hyperspectral)遙測後，波段偵測能力將大幅提升，對於農作物及土壤等時空變異判讀將更爲精細而準確。再者，現有衛星遙測之空間解析度多高

於20公尺(即每一像元多在20公尺x20公尺以上)，且資料重覆性與再現性較低(即同一地點同一光譜數據需間隔若干天才能再次獲得)，空間解析力及時效性稍嫌不夠。在航空器遙測上，受限於光譜儀更新、專業飛機數量、飛航人員及時效性要求，仍存在許多實務問題。未來隨著科技的進展、農政單位自主能力的提高及我國自有衛星的掌控，這些缺點將可逐漸獲得改善，當足以滿足臺灣地區精準農業體系的需求。而在高空與地面載台光譜資料的連結上，因需校正大氣干擾、農地地理位置、及衛星軌道等偏差，必須要同步偵測資料，使得地面建立之光譜與生長等關係模式能因此串連利用，此類試驗研究仍待積極進行以建立必要基礎資料庫。

一套完整的自動化農機操作系統，必須有合適的感測元件與技術，更須由相關專業人才來組裝，將前述五大要素的機組整合。此部分在國內甚欠缺，未來配合前景亦堪慮，勢必以機具(件)和技術引進方式爲之，再依臺灣現狀修正及改良，問題仍多。

四、結　語

任何一件新興事業或方案的推行(動)，最怕虎頭蛇尾，最忌三分鐘熱度。在發展精準農業之前，務請三思而行，經過審愼評估。當政策確定後，務必澈底執行，不達目的絕不停止。從宏觀的視野鑑之，「精準農業」將是二十一世紀農業的願景，更是人類生存地球的一條主要途徑，現在不做明日或將後悔。天理人道自始即明，沒有自然環境何來天生萬物，沒有平衡生態人類何能苟存。精準農業體系的實行，不僅確保農業永續，也爲生態環境增加一條活路，爲地表萬物提供長命契機，人生抉擇莫此爲甚。

