

出國報告（出國類別：研究）

## 有機穀物生產研究

服務機關：農委會畜產試驗所恆春分所  
姓名職稱：王紓愨/副研究員  
派赴國家：美國  
出國期間：98年4月27日至10月27日  
報告日期：98年11月25日

## 摘 要

有機芻料是有機畜產發展的基礎，目前我國有機畜產正在起步階段，自有有機穀物的生產將是影響的重要關鍵之一。有機穀物生產原則與一般農作並無不同，但是主要供給經濟動物利用，故須儘可能利用物種特性，採低投入的方式生產並兼顧適當品質與產量，才有推廣發展的可能。因此本計畫的主要目的為赴美了解先進國家的低投入有機生產原則與實際狀況，以協助國內有機畜產之發展。本計畫之執行地為美國賓州州立大學作物與土壤科學系。穀物玉米、大豆與苜蓿以及其他多年生牧草的輪作是當地主要的有機芻料生產方式，其中輪作組合與覆蓋作物的利用是低投入有機生產的重要關鍵，不僅降低雜草與病蟲的為害，同時可以增進土壤性質，提供永續生產力。

## 目 次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	3
參、心得.....	9
肆、建議.....	12

## 壹、目的

農業過去曾是台灣發展的重要基礎，然時空環境改變，農業占國民生產毛額的比例逐年降低，雖然如此，但並不表示其重要性也隨之降低。台灣全島面積僅約 3.6 萬平方公里，而人口超過 2300 萬，平均人口密度高達 638 人/km<sup>2</sup>，加上僅有約 1/3 為平地，環境負荷相當的沉重。因此，農業對現代台灣而言，除生產之外，其對自然之水、土與生物資源的維護功能將愈趨重要。

台灣耕地面積約 85 萬公頃，1990 年代由於國際貿易逆差擴大與加入 WTO 的影響，開始推動水田轉作休耕計畫，目前年休耕面積達 22 萬公頃。現有農地利用中大部份為耕作（水田及早田面積約略相等），占約 90%，其中約有 8800 公頃為畜牧用地，畜養動物家畜約 9114 千頭，家禽約 122925 千隻。台灣農業主流為集約耕作、機械化並高度依賴化學肥料與農藥，化學肥料與農藥的年消耗量為 1013714 公噸及 8782 公噸(97 年年報資料)。此外，台灣也有少量的有機農田，雖然有機農田面積逐年增加，至今已超過 2000 公頃，但是相較於目前主流的慣行農業，有機農業所占的比例仍然極低，主要以稻米、蔬菜、果樹及茶等農作產品為主，有機畜產尚在起步。

有機農業是指在完全不使用化學肥料、農藥等非自然產物的情形下，應用生態法則所進行的農業生產，它不僅關注食物或纖維的生產，同時也注意在生產過程中對環境（生物與非生物）造成的可能衝擊與影響，也就是說這是一種重視整體且友善環境的農業生產方式。造成這種類型農業興起的主因可以說是對目前主流農業的反思，新品種、化學肥料、農機與農藥的問世雖然讓 20 世紀的農業產量大幅提高，但同時也帶來土壤劣化、流失、水源污染等多種問題。1924 年德國科學家 Dr. Rudolf Steiner 最早提出對於現代慣行農業的反思，1935 年日本岡田茂吉倡自然農法，之後，美國、歐洲也陸續發展出具相似精神的農業型態，但各有不同的名稱與施作方法。由於對環境議題與食品安全的重視，這種重視整體、友善環境的新農業生產方式在近年快速的發展，促使各國都開始重視並訂定各自的生產規範與驗證方式，而全球有機農地面積已從 2001 年的 1500 萬公頃成長至 2006 年的 3100 萬公頃，目前已有 120 多個國家採行有機農業，且持續增長中，有機農產品市場的年成長率約為 5~10%，其中以北美地區的 15~20%年成長率為最高。

台灣的有機農產品市場也在近年大幅增長，並已吸引多家大型企業跨足經

營，這反映了台灣民眾的生活水準提高以及對健康與環境議題的重視，但是由於自產數量不足，因此有相當數量的有機農產品為國外進口。這樣的發展其實相當吊詭，因為這些進口產品雖然都是採用有機農法生產，但是長途運輸過程的能源消耗與污染卻違背了有機農業友善環境與資源永續利用的精神，而台灣有機農田增加緩慢的原因之一為其執行難度較高。台灣地處亞熱帶，全年高溫多溼，病、蟲與雜草的威脅終年存在，土壤有機質分解快速，65%以上的農地土壤有機質含量在 2%以下，使有機農法的施行在實際執行上有相當的難度，也因此國內盛行的有機蔬果栽培多是採用設施或精緻高投入的方式生產。

有別於有機蔬果之精緻化栽培，有機穀物之生產主要在提供家畜禽利用，只能採用低投入之粗放栽培，以降低生產成本，但仍必須維持適當產量，以確保相當之收益。有機穀物的生產須克服高度病、蟲與雜草壓力及土壤肥力貧乏的現況，確實是極具挑戰之目標。如何考慮調整耕作制度，利用豆科牧草與穀物輪作、設計適當機械作業、組合豆科綠肥、以及利用多物種混作等方式，一方面改善土壤條件，提高土壤養分利用效率，另一方面避免連作障礙、降低雜草與病蟲害的衝擊，並增強生產系統之生態穩定性，以達到經濟有效生產之目的。而各參與作物間之交互作用對穀物生產與豆科固氮效率是否有影響？以及何種組合下可以創造經濟有效的有機穀物生產系統？將是本計畫探討重點。因此本計畫赴美了解先進國家的低投入有機生產原則與實際狀況，以建構可供國內應用之有機穀物生產模式。

## 貳、過程

### 一、賓州州立大學

美國賓州州立大學是一個歷史悠久的大學，其前身為 1855 年應賓州農業協會(Pennsylvania State Agricultural Society)的要求而設立的學校，主要提供農業相關的訓練與傳統的數學與語文課程，之後成為美國首批州立贈地大學(Land-Grant College)，歷經多任校長的經營，提供的課程由原先的農業相關科學，因應需求逐漸擴增機械、人文藝術、法律及醫學等各項領域而成為今日之樣貌，共包含 24 校區分布於賓州境內。作物與土壤科學系位於 State College 之主校區內。

賓州位於美國東北部，受大西洋影響為溼潤大陸型氣候，雨量分布平均，年雨量約 1000 mm 上下，生長季節因地區而異約 5-7 個月，酪農業發達，乳及乳製品銷售金額約 152 萬美金，占全美總消耗量之 6.7%，因此牧草與穀物種植普遍，牧草以苜蓿、果園草為主，穀物主要為玉米及大豆，此外尚有部分的小麥。當地農夫不論採慣行或有機農法，在農業研究人員的推廣協助下都非常習慣輪作，輪作組合或為不同穀物，或為穀物與多年生牧草。由於當地平均農地的大小為 418 英畝，面積廣大，因此輪作的方式可在年度間進行或在同一年度不同區域下進行。主作物收穫後則種植覆蓋作物，以降低土壤侵蝕以及雜草與病蟲發生。覆蓋作物包括：黑麥(rye)、苕子(vetch)、毛葉苕子(hairy vetch)、油菜、蕎麥等，而以黑麥及毛葉苕子的利用最多。

### 二、雜草生態研究室

雜草生態研究室的主持人 Mortensen 博士是應用生態學家，其研究室的主要研究重點在於了解雜草在不同耕作系統下的變動，協助農民認識雜草生態以及如何利用生態原則進行雜草管理。已進行的研究包括多種雜草的動態、預測模式以及管理策略研究，其中對玉米與大豆有機耕作下的雜草管理研究是本次研究進修的重點。此一試驗進行二種不同類型有機耕作與慣行農法長期操作下土壤與雜草之變動調查，並討論不同耕作條件下之雜草競爭性與對作物的影響。三種耕作系統都採用同樣的輪作組合：玉米—大豆—小麥，每一個耕作系統為一個主區，每一主區分為三個裂區，輪流種植三種作物，每一試區重複 8 次，經 5 年連續操作，雜草管理處理於試區中另分隔小區進行，試驗結果顯示不同耕作

系統下的雜草發生情形有顯著差異，有機耕作系統下的雜草發生率高於慣行耕作系統，但較高的雜草入侵並未造成有機玉米或大豆的產量降低，試驗顯示有機耕作系統對雜草的競爭能力較慣行耕作高且反應也與慣行耕作系統不同，同時有機耕作系統下的土壤特性顯著較慣行耕作佳。



圖 1. 研究人員進行覆蓋作物的土壤取樣與土壤可溶性氮監測試驗，以比較豆科覆蓋作物與禾豆混合覆蓋作物分解時對地區水源可能造成之潛在危險。左圖為覆蓋作物試驗試區，中圖為土壤可溶性氮取樣情形，右圖為設置於田間之土壤可溶性氮監測設備。



圖 2. Dr. Mortensen 與博士研究生進行之覆蓋作物黑麥對大豆雜草防除研究。左上圖為試驗田區，包含不同大豆播種密度與不同覆蓋厚度，右上圖為黑麥經機械壓倒覆蓋田區的情形，左下圖為大豆自覆蓋試區萌芽出土的情形，右下圖為試區進行覆蓋作物生物量調查後的情形，由取樣邊緣可以清楚看見覆蓋深度可達 10 cm。

除試驗研究之外，雜草生態研究室也是賓州州立大學永續工作小組的成員之一，參與外來植物入侵控制、永續農業雜草控制、本地植物資源利用、植物相變動對當地蜜蜂群落影響等工作，並與賓州永續農業協會(PASA, Pennsylvania Association for Sustainable Agriculture)、羅德研究所(Rodale Institute)等機構合作進行研究與推廣。

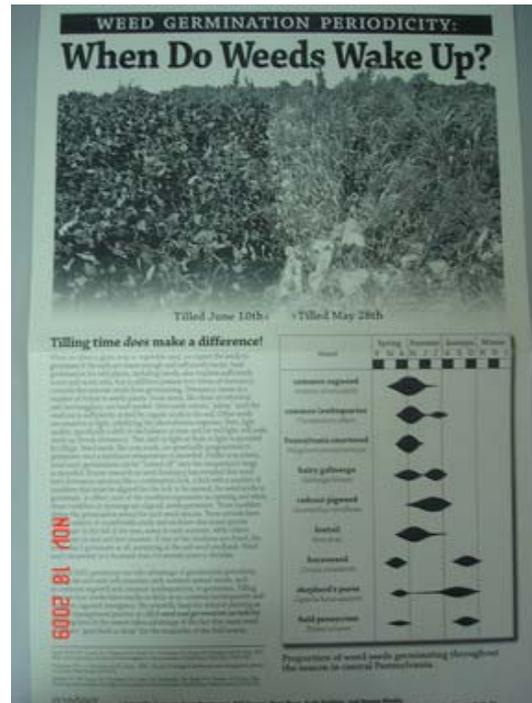


圖 3. 上圖為雜草生態研究室將當地雜草萌發週期之研究結果設計為方便查閱了解的宣傳資料，協助農民進行雜草管理。下圖為 Dr. Mortensen 協助社區居民解決外來植物入侵時之說明簡報資料。

### 三、羅德研究所

羅德研究所為美國有機農業先驅 J. I. Rodale 創辦，這是他在 1930 年代因為受到英國學者啟發，認為健康土壤是健康食物的重要基礎，為致力於有機概念的宣傳推廣而設立之非營利機構，有機「organic」一詞即出自此處，其主要任務為有機農業之研究與推廣。1972 年 J. I. Rodale 之子於美國賓州 Kutztown 附近購入 333 英畝的土地做為今日羅德研究所之基地，也在此地設立長期比較試驗，並與各地大學與研究機構合作進行有機農業相關研究。

羅德的長期農作系統比較包含一個慣行農法與二種有機農法，慣行農法依當地農民主要的操作方式輪作穀物玉米與大豆，肥料與農藥用量依賓州州立大學農學院之推薦量施用；有機農法之一為以動物廄肥為肥料來源，另一種以綠肥為肥料來源，主要收穫作物都是穀物玉米與大豆。長期農作系統研究最初設立的目的是希望了解造成有機農法較慣行農法低產的原因，以做為改善的基礎，因為 1980 年代美國農部的研究結果大都顯示有機農業的產量較低，但是持續研究之後發現最初五年有機農法的產量確實低於慣行農法，但之後有機耕作的產量即與慣行不相上下，有機農業在轉型初期的低產可能與雜草量太高以及土壤及生產系統之生物鏈未達平衡有關。有機農法實施多年之後產量高低已非焦點，因此，近年的研究重點已經轉為了解有機農業之農產品營養價值是否較高以及其對環境的影響，特別著重有機農業對碳固定與減緩全球暖化的貢獻。



圖 4. 羅德研究所的耕作系統長期比較試驗田(左上)與有機耕作推廣活動。

#### 四、賓州永續農業協會與永續農業研究教育計畫

SARE (sustainable agriculture research and education program) 為 1988 年美國農部為推動永續農業所設立之計畫，用以

鼓勵農民發展友善環境與符合永續精神的農業。賓州永續農業協會(PASA) 設立於 1996 年是賓州農民與農業研究人員共同成立的組織，用以協助農民經營永續農業。賓州大學作物與土壤系與 SARE 及 PASA 即合作推動多項永續農業計畫，也進行相關之研究並出版推廣手冊，同時還會舉辦觀摩會或以演講座談的方式與當地農民互動，一方面推廣新知，一方面也了解農民之需求。本人研習期間即參與多次雜草生態研究室成員與 SARE、PASA 之討論會議。



圖 5. Dr. Mortensen 研究室成員與賓州永續農業協會合辦覆蓋作物對農業資源維護之觀摩活動，參與者包含農民與農業推廣人員。

### 五、農夫市場與有機農產品

賓州永續農業協會在賓州各地區均設置農夫市場(farmers market)，以協助地方有機小農銷售自產農產品。State College 地區的農夫市場設立在交通便利的市區中心，從 5/29 至 11/20 期間每週五上午 11:30-下午 5:30，鄰近的農夫就會把自家生產的各種各樣農產品或農產加工品：各式蔬果、牛奶、雞蛋、乳酪、手工餅乾、麵包等烘焙產品以及花卉盆栽等集中在此地供大家選購，夏秋季的每個週五下午就會看到人潮聚集在農夫市場，是有機小農的重要銷售管道之一，此外，並設立網頁介紹各個供應農場，以及利用農場之旅宣傳在地消費，協助有機農產品包裝銷售。

除農夫市集外，當地之超級市場也有相當多樣的生鮮有機農產品與有機農產加工品銷售，當地之餐廳也會與地區農場合作，配合季節及活動推出不同的菜餚；此外，透過地區支持型農業的方式也是地區有機農場的生存方式之一。這些不同的市場與銷售管道對美國有機農業的發展應有相當之助益。

## 參、心得

### 一、有機穀物生產之雜草防除技術

雜草的定義很多，通常是指非適時適地生長的植物，但由於今天的作物可以是明天的雜草，而田間的雜草也可能是未來生態復育上的重要資源，因此很難說那一些植物是雜草而那一些不是，主要的差別來自人類的觀點以及利用的衝突。大致而言，會成為問題雜草的植物都具有一些特別的特性，如適應性大(含對一般環境與特殊環境下的適應)、可以在短時間內產生大量繁殖體(種子或可供繁殖的無性繁殖組織)、生長快、生活史短、具休眠性，模擬作物或對逆境之耐受性強等。由於雜草是伺機而動的機會主義者，降低其可利用資源是管理的重要原則。

可以應用於有機耕作的雜草防除方法有很多種，但基本原則只有一個—即在不影響耕作系統運作的條件下加大作物對雜草的競爭性。對有機耕作而言，雜草管理絕不只是除去耕作系統內的雜草而已，如果只是單向的針對雜草防除很難達到令人滿意的結果，對於位處亞熱帶之台灣而言尤其如此。

人類與雜草的戰爭持續不斷，1940 年代殺草劑問世之後，人類對雜草的控制力大幅提升，但是在競爭壓力的淘選下，更頑強的雜草以及具抗(耐)殺草劑特性的雜草陸續出現，同時因為化學藥劑的長期使用也造成生態系受損與環境污染，此時要再回到依循自然法則的有機農業，在施行上面臨的難度更勝於前。因此雜草防除策略的應用恰當與否是有機穀物生產成功與否的重要關鍵項目之一。有機農業的雜草防除策略主要原則就是：因時因地制宜，必須了解耕作地區的雜草來源、特性，依據耕作系統的限制與可用資源，組合各種可以應用的方法進行雜草控制，特別是頑強雜草及耕作早期的雜草控制。有機雜草管理主要是增加作物對雜草的競爭力，並不需要將雜草完全根絕，保留部份對作物競爭不強的雜草，可能不僅無害，還可能有益於農業生態循環與資源維護。

調整栽培制度、栽培品種、密度、栽培型式、各種機械除草、覆蓋、生物防除等等是有機農業常用之雜草防除方式，其中有機不整地栽培特別值得台灣有機穀物生產參考。台灣因為氣候高溫多溼以及耕犁頻繁，土壤有機質分解快速，加上夏季暴雨以及坡地利用，土壤侵蝕與流失的問題嚴重。減少耕犁或不耕犁已是農業上常用以降低土壤侵蝕威脅的操作，但過去使用此類栽培操作多

利用殺草劑做為雜草控制的方法，新的有機不整地栽培則是利用機械將覆蓋作物(cover crop)碾倒覆蓋田間做為敷蓋(mulch)並可附掛破土犁同時破土播種，敷蓋同時具有維持土溫、土壤溼度、減少降雨沖蝕、抑制雜草萌芽、增加土壤有機質、改善土壤特性、促進作物根系發育等多種好處。利用有機不整地栽培進行有機穀物生產不僅可以抑制雜草發生，同時可以增進土壤品質，維護水、土等重要農業資源，應有助於台灣農業之永續發展。

## 二、有機畜牧與複作農場—台灣有機農業的另一種選擇

台灣的有機農業已發展近 20 年，相對於國際的快速發展，台灣的有機農業的進展較慢。由生產者的角度出發，會覺得台灣發展有機農業的難度很高，需要克服的問題很多；但是由消費者的角度出發，民以食為天，食品的健康與安全乃是基本需求，此由有機產品市場的快速增長可見一斑，因此台灣有機農業確有成長的空間，而有機穀物的生產有可能成為促進台灣有機農業發展的重要核心。有機農業講求的是友善環境與整體生態系統的平衡，穀物生產可以做為糧食、可以飼養動物，動物的排泄物與植物殘體經過適當發酵處理回歸土壤可以繼續支持穀物的生產，形成良好且具生產力的農業循環系統。如果可以在台灣已有的有機生產系統下加上穀物生產與動物生產，則將不僅是產品項目的增加，而且將可促進舊有系統的生態平衡與生產效率。

目前我國甚少有有機畜產品的生產，缺乏自有有機穀物生產，動物飼養成本太高是最主要的原因之一，但是如果可以有部分有機農田開始生產有機穀物，則一切的發展可能將會非常不同。有機穀物的生產方式與台灣現有有機農場的最大不同在於所有的操作都是低投入的，沒有人工設施的保護，沒有大量的人力與資材投入，完全是利用生物平衡的原則進行生產，因此需要更多農業知識的整合應用與精緻的設計操作，國外的經驗顯示以有機農法進行大規模的糧食與飼料生產是可行的，而且同時納入動物生產可以更增加耕作系統的多樣性有助於系統的平衡與生產力維護。動物不僅可以提供土壤養分，同時也可協助雜草與病蟲的控制，此外草地或多年生作物（牧草）的加入對長期的農地利用有正面價值。畜產品的有機生產不僅在生態與環境層面上有益，在經濟上也不全然是無利可圖，一級的穀物可供食用或加工做為各種食品販售，農副產物與飼料級的穀物則可為動物利用，生產乳、蛋、肉等生鮮產品，此類有機產品只要生

產成本不是過高，是國際有機商品較難取代的部分，也是未來國內可以努力的空間，而這樣的系統在環境、生態與經濟上應該都是可期待的。

### 三、生態與農業—永續的未來之路

農業是利用自然資源生產食品與纖維的最古老製造業，同時也是人類生存與文明發展的奠基，因此在舊有傳統下農業一直被視為國家的根本，但是在商業至上的現代，大量生產大量消費才能創造利潤的思維下，農業的價值也被簡化為農業 GDP 值淹沒在眾多數值之後，而農業向工業看齊急起直追的後果是全球農產品貿易大戰，農產品價格下跌，大農苦撐，小農棄守，富國人民營養失調文明疾病纏身，窮國人民仍難脫飢餓的威脅，農業的價值隱而不見。

經過一整個世紀的揮霍，環境污染與全球暖化逼使人類不得不正視地球資源將會耗盡可能是事實，因此如何節能減碳、尋求替代能源系統以及可循環利用之生態型產業鏈將是未來產業不得不思考的方向。對於農業的未來，新科技或可提供部分助力，但是回歸本質利用永續農法或有機農法的生產可能也是方向之一，依據 Rodale Institute 與許多學者的研究，有機農法的生產力並不一定低於現行之化學農業，長期施行有機農法可以恢復農田土壤活力，進而建構可供永續利用之農業生態系，不僅可供生產，同時有助於自然資源之維護，此外有機耕作尚可以有效儲存碳素，增加有機農田面積有助於對抗地球暖化，協助解決未來困境。

## 肆、建議

- 一、熱帶與亞熱帶地區的低投入式有機穀物的生產是可行的，但是應更注意農田土壤的維護，增加綠肥及豆科植物之利用，以逐漸改善土壤環境，營造健康的農田生態鏈。
- 二、耕犁是有機農法上常用之雜草控制手段，但因我國多數農田土壤有機質含量不足，應發展適合本地環境的覆蓋作物，利用覆蓋、早期耕犁、適時耕犁以及發展多年生與單年生輪作組合等整體害物管理 (integrate pest management) 方式取代，同時達到雜草控制與增加土壤有機質之效。
- 三、由於有機農法是利用生物法則進行生產與害物控制，應更加強對生產環境相關研究，宜依各地環境條件設立不同的生產策略並進行長期試驗以為評估及策略修正。
- 四、有機綜合農牧場可能是值得未來發展推廣的農業模式之一，利用適當組合可以建立循環利用之永續農業，對地狹人稠的台灣而言，有機農業的推行不僅可供生產，其對自然資源的維護功能將更為重要。