

# 羅代爾研究所長期耕作系統 試驗成果簡介

文·圖/侯秉賦

## 羅代爾研究所 (Rodale Institute) 簡介

羅代爾研究所是由美國企業家羅代爾(J.I. Rodale)於1947年創立的非營利機構；研究目標著重於長期有機栽培及有機食物對人類與環境的益處，其宗旨為健康的土壤等於健康的食物等於健康的人們(Healthy Soil = Healthy Food = Healthy People)。此處的長期耕作系統試驗是北美地區歷史最悠久的有機試驗田。

羅代爾研究所總部試驗田區場域333英畝(約134公頃)，有超過25個進行中的研究計畫，同時此處也有專責培育訓練有機栽培農民及大學實習生的相關計畫，全年有3個密集的訓練課程，參與的農民以1至2年的時間，學習有機栽培的每個田間操作步驟並領取基本薪資。

羅代爾研究所特別強調再生有機農業(Regenerative organic agriculture)有別於永續性農業(Sustainable agriculture)，因再生性有機農業係強調整體系統性與自然環境共存，改善資源供應情形，而非僅是「維持」資源供應。

## 長期耕作系統試驗 (Farming System Trial, FST) 成果簡介

此長期耕作系統試驗為目前仍在執行比較有機及慣行操作的長期試驗之一。這個試驗始於1981年，以飼料玉米及大豆作為兩個主要的作物，不同輪作系統間作物



圖1. 部分耕犁有機區大豆生長情形



圖2. 耕犁慣行區大豆生長情形

尚包含小麥、黑麥、燕麥、苜蓿及野豌豆(hairy vetch)，迄今已超過40年。

此長期試驗包含三種不同的系統：1. 施用禽畜糞肥的有機農法(organic manure)、2. 以豆類肥為基礎的有機農法(organic legume)及3. 使用合成物質的慣行農法(conventional)。這個試驗在

2008年的時候為了因應慣行農業的操作，於是開始在慣行區使用基改作物(在美國有94%的大豆及72%的玉米是使用基因改造抗除草劑種子進行栽培)。並且因為土壤碳匯議題，也於同年導入了部分耕犁(有時會稱非耕犁)的處理試驗，因此，目前此處的長期耕作系統試驗共有2種耕犁處理(全耕犁、部分耕犁)(圖1, 2)、3種施肥處理(manure、legume、conventional)、3種輪作系統(不同作物組合)、4重複，總計多達72個處理小區。

## 一、土壤健康

經40年的試驗結果顯示，土壤碳含量增加最多的是在有機禽畜糞肥區，接者是有機豆類肥區，慣行區近幾年來則略為減少或是持平。有機禽畜糞肥區土壤有機質含量約為4.4%，有機豆類肥區有機質含量約為4.2%，慣行區則約為3.6%(圖3)。調查也顯示有機區增加地下水補充及減少逕流，地下水在有機區補充達15~20%，高於慣行區。

此外，近年來羅代爾對於土壤健康的探討著重於土壤物理性質，發現慣行區土壤穿透特性較有機區為差(在到達300PSI的壓力下，慣行部分耕犁區可穿透深度約20公分，而有機區可穿透深度約為31公分)，兩者相差約為0.5倍，此結果顯示有機區土壤較慣行區土壤更有利於作物根系向下生長；且有機區土壤有較佳的團粒結構(圖4)，對於乾旱情形下具有較佳保水保肥能力，在淹水情形下則可維持土壤空氣，有助作物根系呼吸，度過環境逆境。在水滲透性方面(圖5)，慣行區土壤每小時約可穿透土壤15公分，而在有機區，水分穿透速度可達30~35公分，兩者相差超過2倍；因此可推測在豪雨情形下，有機區土壤與養分流失程度將明顯較慣行區為低，慣行區地表逕流水所造成土壤流失及對於河川水源優養化的影響也較有機區為高。而在土壤微生物部分，土壤微生物生質碳含量有機禽畜糞肥區明顯較慣行區為高，可推測有機區土壤微生物族群數量較慣行區為高。

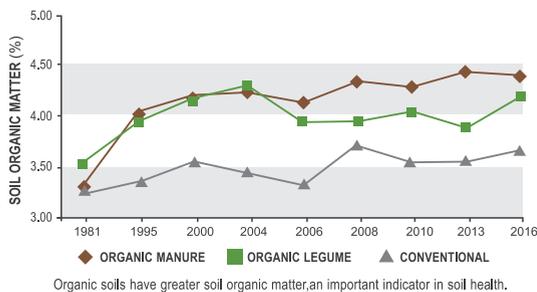


圖3. 長期不同施肥處理下，土壤有機質含量變化情形，至2016年結果顯示，有機禽畜糞肥區(organic manure)土壤有機質含量約為4.4%，有機豆類肥區(organic legume)有機質含量約為4.2%，慣行區(conventional)則約為3.6%(資料來源：羅代爾研究所出版品)



圖4. 相較於慣行區土壤(圖左)，有機區土壤顏色較深，土壤團粒結構穩定，置於水中不易崩解(圖右，紅圈處)



圖5. 測量土壤水滲透性(water infiltration)

## 二、作物產量

有機區的玉米及大豆產量與慣行區產量相當，小麥產量亦相當。當遭遇乾旱的時候，有機區玉米產量比慣行區產量高31%（圖6）。概略而言，有機禽畜糞肥區玉米平均產量與慣行區相當（每公頃約為7.5噸），有機豆類肥區產量則明顯偏低（每公頃約為6噸）。此外，在各農法系統中，部分耕犁產量均較全耕犁產量較低（圖7）。

## 三、市場經濟

從此處的試驗發現，有機生產比慣行有3倍的利潤（有機每年每公頃可達558美元，而慣行每年每公頃則是190美元）。而農人的支出在兩種有機栽培（使用自製有機肥）方式下，均較慣行栽培有顯著降低支出的情形（圖8）。雖然有機栽培有較多的田間操作，但有機栽培可較慣行栽培減少投入肥料與病蟲害防治的支出，因此，慣行栽培的總支出明顯較有機栽培為高。在營收方面，不論是否特別考慮有機產品有較高的售價，由於豆類肥區 (legume) 的產量偏低而導致淨收益為負值，惟有

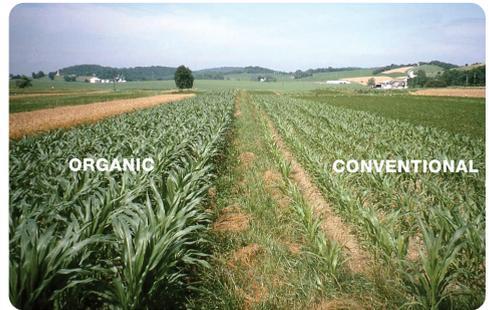
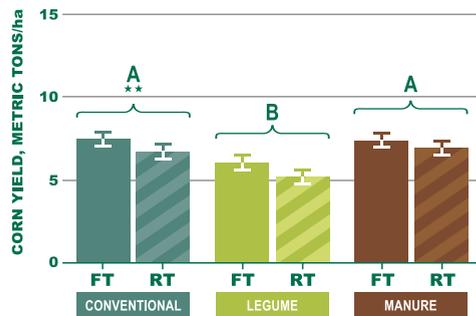
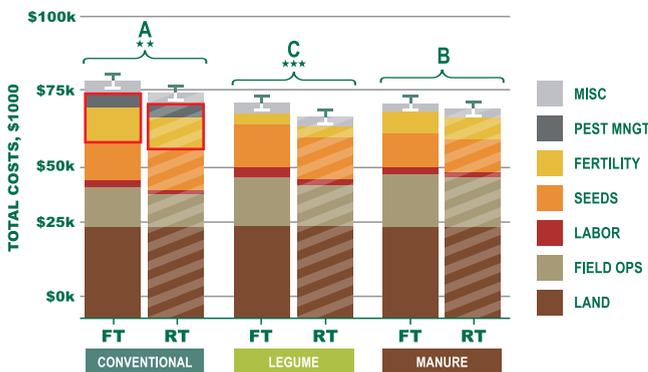


圖6. 1995年乾旱情形下，有機區玉米（圖左）與慣行區玉米（圖右）生長差異情形（資料來源：羅代爾研究所出版品）



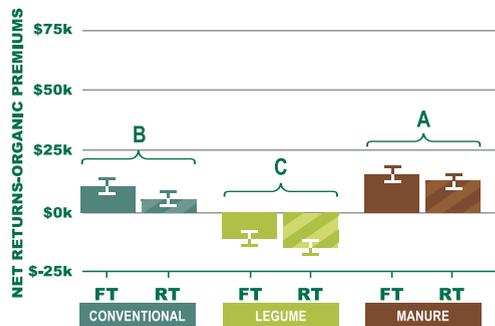
Average corn yield of each of the systems in the Farming Systems Trial (2008-2020)

圖7. 有機禽畜糞肥區 (manure) 玉米產量與慣行區 (conventional) 相當 (每公頃約為7.5噸)，FT：全耕犁，RT：部分耕犁（資料來源：羅代爾研究所出版品）



Total and individual costs of each of the systems (2008-2020)

圖8. 有機區 (legume, manure) 較慣行栽培 (conventional) 所使用的肥料與病蟲害管理的支出較低 (紅框處)。FT：全耕犁，RT：部分耕犁（資料來源：羅代爾研究所出版品）



Net returns of each of the systems (2008-2020) without organic price premiums

圖9. 有機禽畜糞肥區 (manure) 較慣行栽培 (conventional) 有較高的淨收益。FT：全耕犁，RT：部分耕犁（資料來源：羅代爾研究所出版品）

機禽畜糞肥區 (manure) 較慣行栽培 (conventional) 有較高的淨收益 (有機禽畜糞肥區栽培支出較少，兩者產量相當) (圖9)。

#### 四、能源需求

此處的資料顯示，有機使用的能源比慣行少45%，汽油燃料的使用是有機栽培最大的能源投入。而氮肥的投入占慣行能源的41%。此外，有機生產效率比慣行生產效率高28%。

#### 五、人類健康

慣行系統仰賴殺蟲劑、除草劑及殺真菌劑等等，他們之中有許多對人類及動物是有害的。這些物質幾乎可進入水資源中、食物中甚至是我們的呼吸系統。2018年調查發現，慣行區使用除草劑(草脫淨, Atrazine)，也在地表下水分收集器中發現1~3ppb殘留情形，而有機區則皆未發現。而除草劑草脫淨的接觸已被連結至與小孩有較低的數學及閱讀表現有關。而經將近40年的試驗發現，有機栽培的玉米有較高的蛋白質含量(有機區7.8~8%，慣行區約6.9%)，意即若要獲得相同蛋白質量，需要吃下肚的慣行玉米的數量會比吃有機玉米的數量要多。目前也發現玉米中較高的蛋白質含量與土壤中輕質有機質含量有顯著相關性。

#### 有機栽培未來展望

當面對不確定及極端氣候下，日益缺少及高昂的油價、水資源的缺乏及人口的增加，我們需要一個耕作系統可以適合、支持而還能生產健康及營養豐富的食物。經過40年長期的試驗研究，羅代爾研究所已展示，結合部分耕犁的有機農法，可透過覆蓋作物，維持健康的土壤同時達到土壤再生的操作系統，是現在比較好甚至是未來的一種耕作制度。

相較於目前我國的有機栽培方式，若能導入羅代爾研究所的部分耕犁及覆蓋作物的有機操作方式，搭配原有液肥及有益微生物的施用，再加上適當的田區生態營造操作，當可創造符合我國適地適種的有機栽培模式。

#### 結語

羅代爾研究所40年有機栽培成果顯示，有機土壤在物理性、化學性及生物性等各面向確實較慣行土壤更為健康，且對於維護環境更為友善。在慣行農田轉換為有機農田5年後，有機作物產量可以跟慣行相當，意即有機栽培可以養活這個世界。而在面對極端氣候(例如乾旱)下，因健康土壤質地的助益，有機栽培系統產量可以表現得比慣行好40%；同時可較慣行減少45%的能源消耗並減少40%的碳排放。全方位的探討有機栽培的好處時，可以得到超過除了產量以外更多的益處，也會發現更符合永續經營的社會責任。

(羅代爾研究所出版品引用來源：<https://rodaleinstitute.org/>)