

出國報告(出國類別：研究)

農委會農業菁英培訓計畫- 強化有機土壤的健康評估

服務機關：行政院農業委員會高雄區農業改良場

姓名職稱：侯秉賦 助理研究員

派赴國家：美國

出國期間：民國 111 年 5 月 25 日至 8 月 21 日

報告日期：民國 111 年 10 月 20 日

摘要

羅代爾(J.I. Rodale)在1947年創立了羅代爾研究所(Rodale Institute)，這個機構是北美地區有機農業的領導者之一，其長期有機農法試驗更是北美地區歷史最悠久的有機試驗田，其宗旨: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)影響許多人，而其中再生性有機農業(regenerative organic agriculture)是目前推動的主要目標。結合覆蓋作物及非耕犁操作的再生性有機農業，不僅可強化土壤健康，目前用於栽培玉米、大豆等糧食作物皆可達到大面積栽培目標，目前正測試用於短期蔬菜作物，如南瓜及小胡瓜。此栽培方式不僅可用於栽培有機或非有機作物，更可增加土壤碳匯，達到土壤再生的目的。本次小型盆栽試驗研究亦證實非耕犁有機栽培的土壤較慣行土壤對小胡瓜有更佳的發芽率及根系生長情形，因此，可推論有機土壤較慣行土壤有更為健康的傾向，可協助作物降低環境逆境帶來的負面影響。

目次

一、研習目的	-----3
二、研習過程	-----4
三、研習內容	-----5
四、研習心得及建議	-----23
五、附錄	-----26

一、研習目的

以適當的農耕方式、輪作制度及施肥方式等操作，理論上可恢復土壤的健康狀態，可有效控制土壤傳播性病害的發生，確保永續農業發展，且可兼顧農民收入、環境影響與作物生長。本計畫將藉由美國羅代爾研究所長期有機試驗的研究(超過 70 年)，探討羅代爾研究所在長期有機農法試驗田土壤理化性質變動、產量調查及病蟲害調查資料，期望有助提供我國有機及友善耕作栽培業者參考。羅代爾研究所目前持續進行多項主題計畫，包含長期有機耕作系統試驗(Farming Systems Trial, FST)、有機蔬菜系統試驗(Vegetable Systems Trial, VST)、水質影響試驗(Watershed Impact Trial)、工業化麻纖維試驗(Industrial Hemp Trial)、養豬試驗(Pastured Pork)、作物家畜整合試驗(Crop Livestock Integration)等。其中，長期有機耕作系統試驗(FST)，自 1981 年開始比較慣行與有機栽培的差異，其試驗方式基植於健康的土壤方能產生健康的作物，因此，著重於比較有機肥料(分為動物性肥料、豆科肥料)與慣行(化學肥料)的差異，此外，另有比較不耕犁的差異。因此，本短期計畫將配合上述羅代爾研究所的田間試驗期程，除實際參與田間試驗，進行田間調查與試驗工作外；亦將利用羅代爾研究所長期不同施肥條件下所取得之土壤，比較其健康狀態之評估(如物理性、化學性及生物性等)，並以盆栽試驗探討對於北美地區常用蔬菜作物種子(例如小胡瓜)，對於不同逆境下發芽及生長的差異表現。

臺灣自 1985 年起陸續發展有機栽培，目前更同步推展友善栽培，實為農委會重點施政主軸之一，相關栽培面積已超過 2%耕地面積，且持續增加中。而若不同栽培管理下造成土壤顯著差異，而又確實影響作物表現，則可推測有機栽培土壤具備增加植物耐逆境的條件，可能更能適應目前多變的氣候條件，故後續可多方鼓勵農友進行有機栽培。本計畫主要吸收北美地區長期有機試驗的典範試驗知識，良好的美國經驗能豐富試驗能量，加強有機及友善耕作政策之推廣成效，亦可增加我國與美國試驗合作之機會，展現推展有機農業的決心。

二、研習過程

日期	行程	工作紀要
5 月 25 日(三) ~ 5 月 26 日(四)	高雄區農業改良場→桃園國際機場→美國紐約約翰甘迺迪機場	由桃園國際機場搭乘 19:10 長榮航空 (BR 32)班機至紐約甘迺迪機場
5 月 26 日(四) ~ 8 月 19 日(五)	至羅代爾研究所(Rodale Institute)及其合作之 Stroud 水資源研究中心 (Stroud Water Research Center)及 I and J 農機製造廠	研習長期有機農法試驗 (FST)、有機蔬菜農法試驗(VST)、比較有機及慣行土壤對作物發芽及生長影響試驗研究、有機農業推廣實務與試驗經驗交流
8 月 20 日(六)~8 月 21 日(日)	羅代爾研究所→紐約約翰甘迺迪機場→臺灣桃園國際機場→高雄區農業改良場	搭乘 01:25 長榮航空 (BR31) 班機至桃園機場

三、研習內容

(一)羅代爾研究所簡介

羅代爾研究所是由美國企業家羅代爾(J.I. Rodale)於1947年所創立。他終其一生飽受健康問題影響，有一天他在黑板上寫下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.)。在1940年，為了對二次世界大戰所帶來的化學物質作為回應，他決定在賓州買下一座農場並開始實驗種植作物不使用化學物質，同時他把這種方式命名為有機(organic)。從此，他在1947創立了土壤跟健康基金會，也就是現在所熟悉的羅代爾研究所。

在1970年代，羅代爾研究所搬到現在位於賓州庫茲城(Kutztown, Pennsylvania)的總部。羅代爾的兒子Rober Rodale接掌了這邊的工作，並開始使用再生性(Regenerative)這個字來描述這邊的農法不只可維持資源，還可改善資源供應情形。

從此之後，羅代爾研究所開始在美國爆炸性的擴展，並且分享關於再生性農業的科學發現給農夫、政策制定者還有全世界的人們。除了位在賓州庫茲城(Kutztown, PA)總部之外，羅代爾研究所在賓州還有其他兩處試驗中心或農場，分別是Pocono Organic Center, Rodale Institute Founders Farm。此外，還有加州有機中心(California Organic Center)、中西部有機中心(Midwest Organic Center, Iowa)及東南部有機中心(Southeast Organic Center, Georgia)，約十幾位具博士頭銜的研究人員，分別就作物營養、土壤養分循環、有機作物栽培、病蟲害防治、水資源環境影響等主題進行相關試驗中。這個組織同時也訓練剛開始起步於有機栽培的農人，教育消費者如何做食物的選擇，並且同時在研究上連接土壤健康與人類健康。

羅代爾研究所總部試驗田區場域333英畝(約134公頃)，超過25個進行中的研究計畫，每年舉辦超過30場的教育導覽等重要活動，參與人數超過3,200人次。同時有3個密集的農夫訓練課程，每年超過35人次的農人參與訓練。除了在賓州有4個羅代爾的試驗田區外，在美國其他地區也有另外3個農場，分別進行不同的試驗標的及不同作物有機栽培試驗。

這個機構特別強調再生性有機農業(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的與自然環境共存，改善資源供應情形，而非僅是「維持」資源供應。

根據現有的科學資料顯示，在現行的慣行農業操作下，如果我們不改變操作方式的話，我們僅可擁有60年可耕種的表土。在此情形下，目前全美僅有約1%

的農地是有機驗證的農地。

(二)長期耕作系統試驗(Farming System Trial, FST)，40 年成果簡介

1. 前言

長期耕作系統試驗(FST)是美國目前最久且仍在執行比較有機及化學農業的長期試驗。這個試驗始於 1981 年，起初前幾年(約 4-5 年)經過產量降低的轉型期，有機系統產量很快的達到甚至超過慣行系統產量。這個試驗以飼料玉米及大豆作為兩個主要的作物，主要是因飼料玉米及大豆耕作面積佔了美國 49%農地的比例，其他的作物則僅有 21%，飼料作物 22%，而蔬菜則僅有 1.5%。全美有機耕地面積約占 1%，有機銷售每年達 550 億美金。而目前在美國有機栽培銷售金額最多者為加州，依序為威斯康辛州，第三則為賓州。在賓州，有機農友數從 2012 年的 581 戶，增加到 2019 年的 1048 戶，銷售最多的分別是有機禽畜 4 億 4 千 9 百萬美金，有機蛋 1 億 4 百萬美金，有機菇 7 千 7 百萬美金，有機牛奶 65 百萬美金。

此長期試驗包含三種不同的系統:施用禽畜糞肥的有機農法(manure, 簡稱 ORGM)、以豆科作物為基礎的有機農法(legume, 簡稱 ORGL)及使用合成物質的慣行農法(conventional, 簡稱 CNV)。這個試驗在 2008 年的時候為了因應慣行農業的慣行操作(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)，於是開始在慣行區使用基改作物。並且因為土壤碳匯的議題，也首次導入了非耕犁的處理。

以下介紹此三種不同農法處理:1. 有機禽畜糞肥(ORGM):使用豆科作物作為覆蓋作物，並定期施用經堆肥化之禽畜糞肥，目前在 10 年僅施用過 2 次。2. 有機豆類肥(ORGL):使用豆科作物作為覆蓋作物。3. 慣行農法(CNV):使用合成氮肥，並且使用化學合成除草劑，2008 年開始基改玉米及大豆開始導入此系統。

上述三種不同農法在 2008 年開始再一步區分為耕犁及非耕犁處理，非耕犁處理下在有機農法中使用新發明的輾壓機(roller crimper)，將覆蓋作物輾壓作為草毯，在草毯中種植作物。慣行農法則繼續使用除草劑。此外，作物的輪作方式在有機農法下較慣行農法更為複雜，ORGM 區在 8 年中輪作種植 7 種作物(玉米、大豆、小麥、黑麥、燕麥、苜蓿、野豌豆)，ORGL 區則是 4 年中輪作 4 種作物(玉米、大豆、小麥、黑麥)，而慣行農法則是 2 年中輪作 2 種作物(玉米及大豆)(慣行區於 2004 年增加小麥)。

2. 土壤健康

健康的土壤與土壤中有機質含量與微生物多樣性息息相關，且好的土壤結構與理化性質可以使作物渡過較差的氣候條件。土壤有機質含量在有機肥或豆科植

物處理下隨著時間增加，而慣行區則無大的變化。土壤有機質含量與碳含量呈現正相關，碳在土壤中扮演重要功能，例如植物營養成分的來源、維持土壤的結構且維持土壤溫度、提供微生物食物來源、與重金屬及農藥結合、影響保水通氣性等等，較多的碳含量對作物是比較有益的。

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。在試驗後近 40 年的觀察發現，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%，慣行區則約為 3.5%。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，在 2018 年的調查發現，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 1~3 ppb 的殘留情形，而有機區則皆未發現。

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(慣行區部分耕犁區(CNV-RT)可穿透深度約 20 公分，在到達 300PSI 的壓力下。而有機區可穿透深度約為 31 公分)，兩者相差約為 0.5 倍。而在水滲透性，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。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。

此外，由於慣行區是施用化學合成的肥料，故其施用於慣行的土壤更容易產生流失的現象，因有機區的營養來源是禽畜糞肥、堆肥或覆蓋作物，較容易存在土壤中，不像化肥容易流失。

3. 產量

良好的生產系統，或者稱為永續農業，必須考慮可以餵養全球的人口，且非僅是現在，十年後甚至百年後甚至更久的時間。FST 的試驗從開始的試驗後三年產量已與慣行產量相當，而當慣行區遭遇到抗藥性雜草時，有機區仍然可使用其他方式來克服雜草的問題。

在經過 30 年的試驗後，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%。在經過近 40 年的試驗後，有機禽畜糞肥區(ORG M)玉米產量與慣行區相當(每公頃約為 7.5 噸)，有機豆類肥區產量(ORGL)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。

4. 經濟

有機的市場持續成長，有機食品銷售額從 1990 年 1 億美元成長到 2010 年 26.7

億美元，而有機水果及蔬菜在 2010 年較 2009 年成長了 11.8%。有機農業可創造就業，可提供超過 30% 的工作機會。依據有機交易協會的資料，有機農民有 45,697 美元的利潤，慣行農友則僅有 25,448 美元的利潤。從 FST 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)。

經將近 40 年的試驗發現，農人的支出在兩種有機栽培方式下，均較慣行栽培有顯著降低成本的現象。在營收方面，不論是否特別考慮有機產品有較高的售價，有機禽畜糞肥區較慣行栽培有較高的淨收益。

5. 能源

隨著世界經濟危機增加，有效且聰明的使用能源是必須的。從 FST 的資料我們可以發現，有機使用的能源比慣行的少 45%，汽油燃料的使用是有機栽培最大的能源投入。氮肥的投入占慣行能源的 41%。有機生產效率比慣行生產效率高 28%。慣行系統每磅穀物釋放多 40% 溫室氣體比有機系統。造成慣行系統釋放最多的是肥料還有燃料的使用。最大的溫室氣體釋放來自原有機系統是燃料的使用。因此，從 FST 的試驗看起來，慣行系統產生更多的溫室氣體。

6. 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。已有許多的研究開始著手針對這些物質對人類及環境造成的傷害。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。草殺淨的接觸以被連結至小孩有較低的數學及閱讀表現。而研究發現有機磷劑被發現存在小孩尿液中，可以高達十億分之 14。

除草劑嘉磷賽現在已經可以合法的低劑量存在我們的食物系統中，可造成 DNA 的損害、不孕、精蟲數下降，造成大鼠行動匍匐或睪丸癌。殺蟲劑(包含現在使用或已經被禁止的)仍然被發存在牛奶及臍帶血中。在除草劑或殺蟲劑中不活化的成分被發現有毒性。

此外，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%)，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。

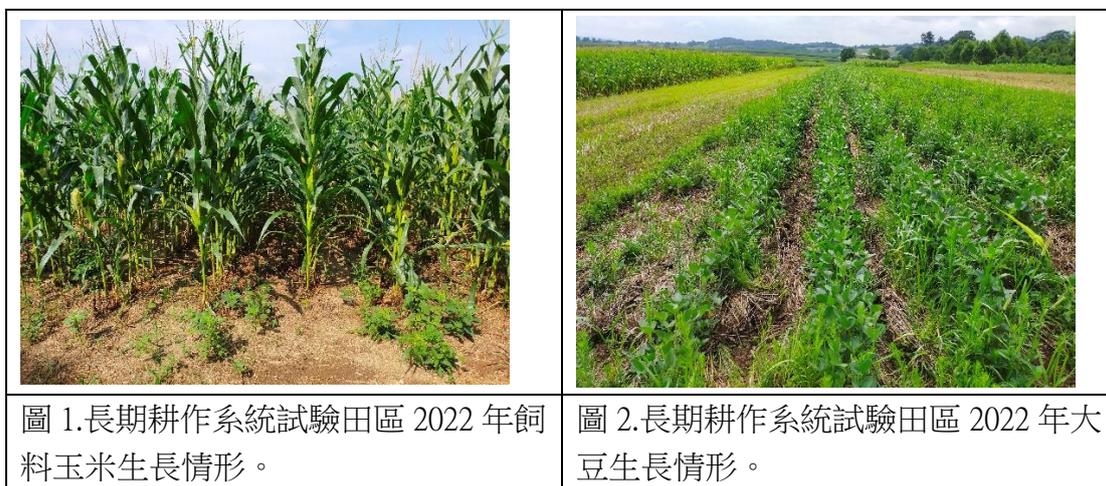
7. 未來展望

一個成功的永續農業系統，勢必一定是可以再生的系統，當強調永續農業勢必一定要有健康的土壤，因為土壤是現在及未來作物生長的基礎。有機農法遠強過慣行系統，尤其是它在建構、維持還有再生土壤的健康方面。當考量到產

量、經濟可行性、能源使用及人類健康的時候，有機農法式永續的，但現行的慣行操作則不是永續的。

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，意即有機可以養這個世界。有機栽培系統產量可以表現得比慣行好 40%，在極端氣候條件下，例如乾旱，同時可較慣行減少 45% 的能源消耗並減少 40% 的碳排放。土壤有機質含量在有機區較慣行區增加 17%，且可減少土壤有機質流失，更符合永續經營。

當我們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、支持或者甚至減少可以問題，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，有機農法是現在比較好餵食人類甚至是未來的一種耕作制度。



(三) 蔬菜耕作系統試驗 (Vegetable System Trial, VST) 成果簡介

蔬菜耕作系統試驗是羅代爾近年來新設置的系統試驗，這個系統試驗設置於 2016 年，占地 2.6 英畝，主要希望可以針對長期有機蔬菜不同耕作方式間探討其營養價值的關係，希望可以對人類健康問題做為直接的回應。不同耕作方式與 FST 系統相似，主要是希望可以推展少耕犁或不耕犁耕作，混和不同的輪作作物，達到維護土壤健康促進土壤再生，並可增加蔬菜作物營養成分的一個系統試驗。

這個系統試驗重要的蔬菜作物是南瓜，南瓜是一重要的礦物質營養來源(鉀、磷、鈣、鎂、鐵、硒)，也富含維生素 C、E、K、B1、B2、B6 及膳食纖維，胡蘿蔔素、酚類化合物等等。南瓜一般常利用耕犁方式來種植，但容易導致土壤流失等問題，利用比較傳統耕犁方式及減少耕犁方式對南瓜營養物質含量，可以得知減少耕犁方式是否有助增加南瓜營養價值。

研究人員比較了兩種少耕犁的操作方式(2呎寬的 roller-crimper 及曳引機帶動 10呎寬的 roller-crimper)與傳統耕犁之間的差異。少耕犁的操作方式，先在前一年 9 月種植覆蓋作物(小麥、野豌豆及苜蓿)，隔年分別於 5 月下旬及 6 月上旬使用 roller-crimper 將覆蓋作物滾平。傳統耕犁分別於 6 月下旬及 7 月上旬進行耕犁除草，少耕犁的部分則使用工人除草。試驗結果顯示，減少耕犁可以增加作物營養成分累積情形，例如胡蘿蔔素、葉黃素、鈣質及磷在儲存 60 天的南瓜上。少耕犁的操作方式也被農人認為可作為南瓜生產的方式之一。

(四)再生性有機農業(Regenerative organic agriculture)、土壤碳封存與雜草控制

再生性農業是指一種耕作原則，可以恢復整個生態系統並且增加自然資源的一種方式。這邊強調的是”可恢復及再生”，與強調永續農業可能僅是”維持”而有所不同。故，再生性農業特別重視營養循環、減少化學物質、好的作物品質及生物多樣性，並模擬自然生態的進展。某些再生性農業也包含動物福利及社會公平責任。簡單來說，一種農法若能順應且改善土壤的自然能力達到所具備之功能，以致於此星球乃至所有生命皆能具備該有的功能，就可稱作再生性農業。再生性農業因其操作方向的不同，也可被稱為農業生態學 (agroecology)、有機(organic)、生物動力學(biodynamic)、整體保育 (holistic conservation)、樸門耕作(permaculture)及農業森林學 (agroforestry)等等，但其目的都是在促進農地的再生。

在農業與碳的關聯性上，農業生產操作一直以來被視為增加碳排放的來源之一，估計約佔所有碳排放之 10%。若涵蓋肥料及農藥製造、處理、運輸、保存及廢棄物處理，則增加到 30%。而據統計，慣行農業操作下，土壤中碳消失的量約有 30-75%會逸散到大氣中。在美國 2/3 的土壤種植玉米及小麥的土壤有機質已少於 2%。據統計土壤中有機質的碳包含 3 到 4 倍大氣中的碳，故土壤中的碳的小量改變均可導致大氣中碳的大改變。

在 2014 年大氣中的二氧化碳濃度為 397ppm，至 2020 年二氧化碳濃度上升至 416ppm，每上升 1ppm 二氧化碳即表示有 20 億噸的二氧化碳被釋放至大氣中。據世界氣候研究計畫推測，依據現在二氧化碳上升的趨勢，到 2060 年二氧化碳濃度會到達工業化前二氧化碳濃度的兩倍，到達 560ppm，據推測屆時氣溫會增加 2.6-3.9°C，故，如果我們不反轉二氧化碳上升的趨勢，屆時將不適合持續生活在這種環境下。

有三種大量的溫室氣體，分別是二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)及氧化亞氮(N₂O)，一般溫室氣體的釋放均會換算成二氧化碳當量表示(CO₂e)，在 2018 年約有 55.3

Gt CO₂e 被釋放，其中二氧化碳約占 2/3，達到 37.5 GtCO₂。

表一、碳積存土壤潛力

地點/ 研究	農法與管理	主要作物	碳積存量(Mg ha-1 yr-1)		全球推估(Gt CO ₂ yr-1) ^b	
			C ⁺	CO ₂	CO ₂	% CO ₂ 減少量
農地(估計占可耕地之 30%)						
全球	覆蓋作物(全球 統合分析(meta- analysis))	多種	0.32	1.17	1.63	4.35
美國， 亞特蘭 州中部	再生性有機農業 -多樣輪作	穀類作物輪作	0.85	3.12	4.34	11.6
美國， 亞特蘭 州中部	再生性有機農業 -堆肥利用	玉米及小麥	2.36	8.66	12.04	32.11
哥斯大 黎加	農業森林學 (agroforestry)	可可與 Poro(<i>Erythrina poeppigiana</i>)	4.16	15.27	21.23	56.61
地中海	有機質添加	橄欖樹	5.3	19.45	27.05	72.13
全球熱 帶*	覆蓋作物及綠肥	玉米	5.8	21.28	29.60	78.93
美國西 南部*	真菌堆肥	碳(無傳統作物)	10.27	37.69	52.41	139.76
放牧地或牧場(估計占耕地面積 70%)						
美國中 西部	再生性放牧系統 (AMP)	牛肉	3.59	13.17	43.04	114.77
美國東 南部	輪作放牧	乳製品	8.0	29.36	133.37	355.65

^aC 係轉換為土中的碳(Mg ha-1 yr-1)及 CO₂則係等同於二氧化碳之當量 C 表示。

^b全部有潛力可碳積存的碳(Gigatons(Gt))，如果全球農地或放牧地轉換為再生性系統，減少的二氧化碳量係以 2018 年全球釋放量 37.5 Gt CO₂e 為基準。

*未經同儕審查。

從上表中可以發現，如果僅使用覆蓋作物至全球農地，則可減少約 4.35%的二氧化碳，可積存於土中。然而若使用再生性有機農業系統，則可積存增加 8 倍

的碳，達 32.11%的二氧化碳。甚至若全球的畜牧業可採用再生性放牧系統，可減少達 114.77%的二氧化碳。因此，若全球可結合覆蓋作物及再生性農業的作法，確實可明顯增加土壤碳積存的機會。

綜上，再生性農業係系統性方式，藉由支持地上部及地下部生物多樣性，增加碳積存及增加養分至土壤中而增加土壤的健康。作物及放牧地可以被再生，土壤有機質同樣可以恢復，只要藉由系統性再生性農業操作。

實際操作上，可以

1. 多樣化的作物輪作
2. 種植覆蓋作物、綠肥或多年生草類
3. 維持作物殘體
4. 使用自然來源的肥料，例如堆肥
5. 採用高度管理的放牧或兼顧作物及牲畜
6. 減少耕犁頻率及深度
7. 避免使用合成化學物質

另一方面，雜草控制一直是農人主要面對的挑戰，在 1940 年代之前，主要係利用手動移除雜草或是利用淹灌方式控制雜草，但除草劑的使用蓬勃發展，直到 1970 年代，使用除草劑控制雜草已經是美國農民經常使用的手段之一。此外，利用耕犁技術結合除草劑的方式，也為農民廣泛使用。然而，耕犁擾動土壤及除草劑的使用，均使得土壤生態遭受傷害，並且降低土壤吸水及減少水分逕流的好處，且直接破壞土壤結構。因此，土壤流失及土壤中養分流失也就不可避免了。此外，在現今的慣行栽培方式下，推測全球將有 75%的土地將降解失去原有功能，每年有約 360 億噸土壤流失。據推測因氣候變遷及土地流失可造成百萬的物種滅絕。另一方面，耕犁係能源密集的一種操作方式。除草劑除了傷害環境之外，也可能傷害人類的健康，尤其當逕流水夾帶除草劑流入河流及湖泊，甚至可能進入地下水造成類似環境賀爾蒙污染。

大約在 1950 年代黑色塑膠布被導入農田中用來控制雜草，相較於在裸露地種植蔬菜，使用黑色塑膠布可以明顯抑制雜草生長，並且可減少使用除草劑、耕犁或勞力密集的手動除草。此外，使用黑色塑膠布的另一好處是可以維持土壤溫度，也就是說甚至可以在寒冷季節提早定植，因此，直到現在，黑色塑膠布在農田仍廣泛的使用。

然而，使用黑色塑膠布仍有其明顯的缺點，最明顯的是，黑色塑膠布的製造必須使用石油，亦即此來源並不符合永續性的操作，而且非常難被循環再利用，每英畝的耕地使用黑色塑膠布會產生 100-120 磅的塑膠廢棄物，此外，當黑色

塑膠布被使用的時候，50-70%的耕地會轉變為不透水層，增加水份逕流達40%，移除的塑膠布造成裸露土壤流失可達80%。而在此區域使用除草劑則會導致更嚴重的有毒物質的流失及對環境的傷害。此外，研究也發現，使用黑色塑膠布，在夏天會導致土壤生物族群的改變，尤其是對細菌改變較真菌更大，而增加微生物的環境壓力。黑色塑膠布亦增加農人生產成本，每英畝的塑膠布需增加250-300美金的成本，及20美金的棄置成本。

因此，基於上述的理由，研究人員開始開發代替黑色塑膠布的替代方案，有數種覆蓋作物的蔬菜生產系統逐漸被開發及討論，而利用覆蓋作物代替黑色塑膠布的使用，則包括使用割草機(flail mowers)，滾壓式輾草(roller-crimpers)及切斷覆蓋作物等作法。研究人員發現，將覆蓋作物的殘體留在土壤表面可以增加植物對於病害的忍受能力，並且有較高的活力、產量及延遲衰老的情形，且使用覆蓋作物均較使用黑色塑膠布可減少成本，人力負擔及相關棄置費用。

此外，在目前大多數的有機栽培仍使用耕犁方式，作為種植前的標準操作方式，以達到減少雜草及將肥料施入土壤的目的，然而，耕犁對於土壤本身來說是有傷害的行為，因為可造成土壤有機質分解，有時甚至十分快速。此外，亦破壞土壤的理化結構，聚集性(aggregate)、滲透性(infiltration)等等。因此，對於有機操作而言，過度的耕犁常導致被批評不符合永續耕作的精神，尤其是有機蔬菜栽培者常在一年中進行數次的耕犁操作。

因此，關於使用覆蓋作物非耕犁的田間實際操作，在美國羅代爾研究所進行許多相關試驗，甚至不論在有機栽培或慣行栽培情形下均可採用。其中最常被使用的方式即是，在種植主要作物前一作栽培覆蓋作物，待覆蓋作物生長到一定高度後使用滾壓式輾草設備將覆蓋作物壓平，之後(1-2星期後)或同時使用播種機或移植機種植主要作物。

滾壓式輾草設備式羅代爾研究所所設計開發，其操作方式可附掛於曳引機前方或後方，不須動力驅動，僅使用本身重量及所設計之螺旋狀結構即可將覆蓋作物輾壓為平坦的平面，可達到抑制雜草的功能。因此種操作方式同時破壞覆蓋作物的莖部，故在正常的操作情形下，覆蓋作物(尤其是短期草本植物類)是無再生能力的。

為避免覆蓋作物再生，關於輾壓覆蓋作物的時間點十分重要，一般來說，當覆蓋作物生長到開花期即是最佳的輾壓時間，因此時期的植物最易受到傷害，且不易復原，對野豌豆(hairy vetch)而言，至少75%植株開花，或甚至100%開花都是理想的狀態，在賓州東部(也就是羅代爾附近)，將冬季黑麥及野豌豆混種的覆蓋作物輾壓的最佳時間是5月下旬及6月上旬。

此外，須注意需有足夠的覆蓋作物量方能達到抑制雜草的目的，至少需要 3-4 噸的乾草量方足夠每英畝的農地，達到抑制雜草的目的。此外，選擇適當的覆蓋作物，使其碳氮比達到 20:1 以上較好，因高碳氮比的情形下，所形成的覆蓋物比較不容易被分解，可以維持較長的時間，達到整個生長季覆蓋雜草的目的。

在羅代爾的試驗結果中，覆蓋作物以黑麥混合野豌豆的方式可產生較高的生質量(biomass)，皆會比僅單純種植黑麥或野豌豆來的高。也因此，以黑麥混和野豌豆的方式可有較高量的碳投入。平均來說，使用野豌豆每英畝約有 1790 磅的碳投入，而使用黑麥為 3450 磅的碳，黑麥混合野豌豆則為 3330 磅的碳。在氮素供應方面，以黑麥混和野豌豆可以較單純使用黑麥增加 2 倍的氮供應。

在主要作物產量部分，不同年度之間的產量差異頗大，可能係受天候、田間管理及病害影響。某些年度以輾壓式的栽培產量較高，某些年度則以覆蓋塑膠布的產量較高。但若總和三年的番茄產量計算，利用輾壓式栽培下仍可比塑膠布產量增加約 16%。

(五)天敵昆蟲綠籬建置

綠籬植物的建置需考慮作物耐乾旱或耐淹水的忍受程度，也可使用當地原生多年生的開花植物，開花植物易吸引食蚜蠅、瓢蟲及蜜蜂，甚至是蜂鳥。

有些植物，例如可食地景或賞心悅目的植物均可當成天敵昆蟲綠籬，對於一些較小規模的生產，例如花園等級或是小於 1/4 英畝的，可以種植小範圍的島狀或者沿者四周而設置的綠籬，均可提供天敵昆蟲的避難處所，並且提供天敵昆蟲食物來源。然而對大尺度的農業生產而言，較大面積及互相連結的綠籬範圍會比小範圍的綠籬要更好，條狀的連續天敵昆蟲綠籬又會比間斷的綠籬要好。一般而言，綠籬的寬度可為 3-5 呎寬，並可每 6-8 行設置一處，或者設置於田區四周。對於低遷移性的昆蟲而言，可能僅限於存在部分綠籬之中，而高遷移性者者具有較佳的移動能力，較能四處遷移。常見的天敵昆蟲遷移性可見參見下表：

常見的有益昆蟲種類及遷移性

低遷移性(僅在附近田區)	中遷移性(<1/4 英里)	高遷移性(>1/4 英里)
地下甲蟲	中型寄生蜂	食蚜蠅
瓢蟲	捕食性蜂	蜻蜓、寄生蠅
小型寄生蜂	捕食性半翅目	大型寄生蜂

參考 Zehnder G. 2013. Farmscaping: Making use of Nature' s Pest Management Services.

在天敵昆蟲綠籬的設置中，配置具有開花特性的植物是不可或缺的，它們可以提供昆蟲充足的蜜源，而吸引更多樣化的昆蟲種類。因此，可以選擇種植多樣化的開花植物，例如具有不同的花形、花色、不同的開花時間等等，甚至可搭配不同植物的高度、形狀、大小等等作為搭配。

其中，花的結構是最為重要必須被考慮的，直立突出的花結構並且具有較長時間的開花期被認為是理想的綠籬植物，例如繖形科的植物就很適合做為綠籬植物，它具有細緻及淺的花朵特性，對於昆蟲來說容易接觸到花粉及花蜜，因此對於捕食蠅、寄生蜂、草蛉及瓢蟲來說均是有益的。

研究顯示，天敵昆蟲的豐富度會隨著花序及外部花蜜的密度增加而增加，外部花蜜是指花朵的腺體在外所產生的，具有外部腺體花蜜的植物例如蠶豆、豇豆、野豌豆及向日葵等，甚至是短期的十字花科作物，例如小白菜等。對小型的捕食蠅及捕食蜂來說，獲得蜜源可以讓它們產生下一代，而它們的下一代在幼蟲期即具備捕食植物害蟲的能力。

茴香、蠶豆、香雪球(sweet alyssum)等均是在春季早花且可提供蜜源的開花植物，也可在夏季提供良好的避難處所。鋸齒草(yarrow)在春末則為良好的蜜源植物，菊科植物(goldenrod)則是良好的越冬植物，可協助有益昆蟲的雌蟲在冬末快速展示攻擊有害昆蟲的能力。香蜂草是多年生的草本植物，可吸引寄生蠅、寄生蜂及食蚜蠅。另一種多年生草本植物山牽牛(black-eyed Susan)，開花時釋放的味道會吸引草蛉跟蜜蜂。

除了會飛的有益昆蟲外，也可考量存活在地上的地棲型天敵甲蟲，這些昆蟲是夜行性的捕食者，會吃害蟲的卵及蛹，甚至是像黃條葉蚤這樣的害蟲。地棲型的天敵昆蟲種類多達 2,000 種以上，要吸引或是提供這樣的昆蟲居住，必須要有陰暗、潮濕及具有保護的棲息地，例如苜蓿及多年生的豆科植物。此外，輾壓或切斷的葉片及覆蓋植物等均是適當的天敵處所。

植物種類	學名	棲地與開花特性	吸引昆蟲種類
苜蓿(Alfalfa)	<i>Medicago sativa</i>	多年生豆科植物，耐寒。	地棲型甲蟲、草蛉、瓢蟲、小黑花椿象、捕食性椿象等。
金盞花屬	<i>Calendula</i>	一年生開花植	瓢蟲、食蚜蠅、

(Calendula)	<i>officinalis</i>	物，耐寒。	蝴蝶、蜜蜂等。
茴香(Dill)	<i>Anethum graveolens</i>	一年生植物。	瓢蟲、草蛉、寄生蜂或獨居蜂等。
蠶豆(Fava bean)	<i>Vicia faba</i>	一年生豆科植物。	瓢蟲、蜜蜂、小黑花椿象等。
菊科植物 (Goldenrod)	<i>Solidago</i> spp.	多年生植物，耐旱。	格質甲蟲 (latherwing soldier beetle)、食蚜蠅、蝴蝶等。
香蜂草(Lemon Balm)	<i>Melissa officinalis</i>	草本多年生植物。	寄生蜂、寄生蠅等。
香雪球(Sweet Alyssum)	<i>Lobularia maritima</i>	一年生開花植物	食蚜蠅等。

(六)使用覆蓋作物野豌豆(Hairy vetch)，作為整合性管理冬季南瓜(winter squash)白粉病之探討

白粉病(*Podosphaera xanthii*)是瓜類(例如櫛瓜、南瓜、胡瓜、香瓜等等)在美東地區主要病害之一，白粉病病徵出現在瓜類葉表，葉柄跟莖部，並且通常由下位葉開始出現。隨著病勢發展，黃色小斑出現在葉片表面，直到葉片枯萎死亡。密集真菌藥劑的處理可以有效地管理這種病害，但是耗時且所費不貲。對於有機栽培而言，真菌藥劑管理白粉病是有限制的，並且通常不像慣行栽培這樣的成功。因此，整合性管理措施，包括抗病品種的使用，生物性、物理及化學性的防治策略應該被蔬菜栽培者所納入考慮。

野豌豆(*Vicia villosa*)(按:*Vicia*屬在臺灣比較常見的豆科植物是紫雲英)，是一種十分常見的覆蓋作物，常被當作氮肥來源且可覆蓋雜草作為非耕犁使用(no-till)的一種有機栽培操作方式。利用野豌豆當作非耕犁番茄的覆蓋作物，發現相較於使用黑色塑膠布覆蓋或不覆蓋處理，可以增加產量，並減少早疫病(*Alternaria solani*)、葉斑病(*Septoria lycopersici*)的發生。雖然覆蓋植物的殘體可以減少雨水噴濺到作物上，進一步的研究顯示，增加作物產量並減少葉片病害問題也包含了分子機制。這些參與的基因包含光合作用、植物衰老與抵抗病原的調控。

野豌豆被發現可以抑制瓜類土壤傳播性病害，特別是當它被當作綠肥作物的時候。例如在西瓜上視不同的品種及接種量，萎凋病最高可以降低達 63%。在南瓜(*Cucurbita pepo*)上，野豌豆作為冬季覆蓋作物或者野豌豆及黑麥混種的情

形下可較裸露地栽培，可以增加產量與品質，同時降低三種嚴重的植物病害問題。此三種植物病害問題包含，葉片上出現的白粉病、真菌性病原菌造成的枯萎(Plectosporium blight)(*Plectosporium tabacinum*)，及果實上黑色腐爛情形(black rot)(*Didymella bryonidae*)。基於上述這些發現，我們在 2018 到 2019 年間進行一個試驗，評估野豌豆對於降低冬季南瓜(*Cucurbita moschata*)白粉病的發生情形。就我們所知，使用野豌豆防治冬季南瓜白粉病的試驗尚未在有機或慣行的蔬菜栽培系統中進行試驗。

田間試驗:在 2017 及 2018 年的秋天，黑麥及黑麥混種野豌豆，比較在有機及慣行田區用來種植冬季南瓜的蔬菜系統試驗中(Vegetable Systems Trial, VST)被導入作為覆蓋作物，在慣行田區覆蓋作物的栽培標準是每英畝 100 磅種子，在有機田區則是每英畝 90 磅黑麥種子及 30 磅野豌豆種子，所有的覆蓋作物都在春天耕犁。冬季南瓜(品種 Waltham)種植在黑色塑膠布的畦上株距 4 英吋，行距 24 英寸。這品種的種子來源為慣行或有機驗證的來源，且此品種對白粉病並無抗性。每種處理皆採用 RCBD 設計。白粉病勢的發展是採用 Everts 的方式調查評估。簡單來說，在開始出現白粉病病徵時，所有在 1 公尺內的葉片隨機的採樣來調查白粉病病徵在葉片上的覆蓋程度(0~100%)，每片葉子的葉表及葉背均做這樣的調查，然後再進行統計分析。小區調查每兩周調查 1 次，從 7 月 2 日開始到 8 月 8 日。期間在 8 月 1 日使用過 1 次真菌藥劑防治。有機區是每英畝噴施硫磺製劑 7 磅，慣行區則是使用四氯異苯腈每英畝 28.2 盎司。噴藥裝置設定壓力為 200 psi，每英畝噴灑 14 加侖。

從結果來看，有機或慣行處理間並無明顯差異，不同的覆蓋作物間也無明顯差異。此結果並沒有符合預期的結果，那就是野豌豆處理組應可降低白粉病的感染。但仍有個趨勢即有機區黑麥跟野豌豆的處理有比較嚴重的白粉病情形，雖然並無統計上的差異。這樣的結果並無法得到明確的結論且需要更多的工作來驗證野豌豆在這邊扮演的角色。這邊 1 年的試驗是使用單一品種的野豌豆，更多且較長期的試驗需要再進行，包含考慮抗白粉病的品種還有其他覆蓋作物的部分。

有機栽培白粉病管理策略:此時被認可的有機防治白粉病資材相對於慣行農藥來說仍是比較少的，但好的白粉病管理策略在有機栽培體系下仍是可達成的。考量慣行栽培時真菌性藥劑的抗藥性挑戰，好的綜合管理措施(IPM)仍是被推薦用於各種蔬菜生產上。底下的防治策略雖不全面，但仍可用於管理瓜類的白粉病。

在瓜類的生產中實行至少 2 年或更長的輪作。選擇適當的抗白粉病品種。這方式可以延遲白粉病發生或者減少或去除真菌性藥劑的使用，特別是在某些例子

上。實施好的田間衛生，這可以避免病原菌接種源的傳播，特別是從感染田區的設備、衣物及其他的器具所帶來的傳播。導入植物材料到土壤中，可避免感染到其他田區，並減少病原菌來源。在美國北部瓜類白粉病可能不會越冬，但可能藉由南到北的模式進行傳播，尤其當瓜類作物被連續栽培的時候。較早的種植時間避開嚴重感染時期。使用化學藥劑為最後的手段，但定期巡田是白粉病好的管理方式之一，但仍須及時進行防治，當白粉病很嚴重時防治往往效果不好。好的覆蓋是需要的，因為有機生產主要有效的只有在植物的一部分，特別是接觸覆蓋的部分。

有機可用的真菌藥劑的選擇仍在測試當中，有些對抗白粉病有效的藥劑列於下，包括

微硫醇跟硫磺為基礎的產品。

以銅劑為基礎的產品

礦物油(mineral oil)

苦楝油(neem oil)

茶樹油(Tea tree oil)

(七)農機使用簡介

羅代爾使用眾多農機設備協助田間操作，降低人力負擔，且適合於大面積栽培耕作。大多數農機皆附掛於曳引機前後，而曳引機大多採用美國強鹿(John deer)品牌。為方便田間操作，後輪胎寬度皆不超過 30 英寸，符合播種大豆及玉米的常用行距。



圖 3.曳引機附掛割草機。



圖 4.曳引機附掛施肥打洞機。



圖 5. 曳引機附掛施肥打洞機，於雜草抑制蓆 PE 布打洞及施用液態肥料情形。



圖 6. 曳引機前方附掛滾壓式輾草設備，後方附掛播種機。



圖 7. 曳引機前方附掛滾壓式輾草設備，後方附掛播種機。田間滾壓式輾草及播種情形。



圖 8. 滾壓式輾草設備近照。



圖 9. 曳引機附掛液態施肥機。



圖 10. 曳引機附掛中耕除草機。



圖 11. 曳引機附掛堆肥攪拌機。



圖 12. 曳引機附掛乾草收集器。



圖 13. 曳引機附掛前方電擊除草機，後方發電機。



圖 14. 電擊除草機近照。



圖 15. 發電機近照。



圖 16. 曳引機附掛黑色塑膠布覆蓋機。



圖 17.雜糧(小麥)收穫機。	圖 18.曳引機附掛坂犁機。
	
圖 19.曳引機附掛圓盤犁機。	圖 20.曳引機附掛整平機。

(八)短期研究試驗設計與結果

1. 試驗設計(請參閱附錄資料)

由此處先前的試驗結果得知，非耕犁區的土壤穿透性在有機區及慣行區存在極大差異，故在預備試驗(pilot study)時，即打算利用物理差異性最大的兩種土壤進行比較。因要利用土壤物理差異性，故採樣土壤樣品時必須考量維持土壤物理特性，方能進行比較。

因緣際會之下，剛好喬治亞大學的 Raven 教授帶學生來這邊採土做實驗，看著他們的採土工具，直覺可以直接用這種方式來採我需要的土樣，於是在這邊找到了類似的工具，主要是用來測量土壤總體密度的採土工具，於是就先採了 4 個土樣進行「前預備試驗」，發現確實可行，於是就開始規劃真正的試驗了(詳如附錄)。

2. 試驗結果

在不同水分處理下(分別為 0ml、5ml、15ml、30ml、45ml、60ml、80ml)，非耕犁有機土壤與非耕犁慣行土壤確實對小胡瓜發芽及植株生長，特別是根系生長有不同的影響。在澆水 5ml 處理下，發芽率無明顯不同，但發現慣行土壤容易對小胡瓜苗造成缺水，造成植株倒伏;根系調查時亦可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展。在澆水 15ml 處理下，發芽率無明顯不同，植株生長情形亦無明顯不同，但根系調查時可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展，普遍有較長的根長。在澆水 45ml 處理下，有機土壤的發芽率明顯較慣行土壤為高，在初期可達顯著差異，後期則無顯著差異;植株生長情形無明顯不同，但根系調查時可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展，普遍有較長的根長。在澆水 80ml 處理下，有機土壤的發芽率明顯較慣行土壤為高，但因有機土壤可能存在不均質情形，或採樣時造成土壤結構破壞，故亦有不發芽的情形，而導致無統計上顯著差異性;植株生長情形無明顯不同，但根系調查時可見有機土壤較慣行土壤更有利於根系發展，普遍有較長的根長。

此外，本操作系統下由根系發展情形可知，小胡瓜最適水量在有機土壤具有較寬範圍，可介於 15~45ml 之間，而慣行土壤則以 45ml 較為適合。過少或過多的水量均造成小胡瓜根系縮短。過少的水量直接影響根系細胞生理作用，過多的水量則可能造成土壤氧氣含量下降，進而影響生理作用。

綜合上述，小胡瓜種子在不同水量處理下，利用羅代爾研究所的非耕犁區土壤可發現，有機區土壤均較慣行區土壤更容易使小胡瓜發芽，且不論何種水量處理下有機區土壤可使小胡瓜具備更深的根長。因此可推論，面對極端氣候，特別是降雨不均的情形下，有機土壤可降低氣候帶來的逆境因子，使作物具備更高的韌性以渡過不良環境。



圖 21.澆水 5ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 22.澆水 5ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 23.澆水 15ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 24.澆水 15ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 25.澆水 45ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 26.澆水 45ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 27.澆水 80ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。



圖 28.澆水 80ml 對小胡瓜種子發芽及生長影響，左:非耕犁有機土壤，右:非耕犁慣行土壤。

四、研習心得及建議

羅代爾研究所從事再生性有機農業(Regenerative organic agriculture)相關試驗已近 20 年，對於有機相關試驗更達 70 幾年，試驗成果豐碩，也希望從中可以串起創辦人最初的構想，「健康的土壤等於健康的作物等於健康的人們」。本次有幸可以到此處參訪學習並進行相關土壤試驗，著實感覺收穫良多，也對於羅代爾研究所在有機栽培試驗上的精神深受感動。個人在這邊也吸收些許有機的精神，將可成為未來自己在有機栽培上研究重要的養分。

從去年(2021 年)8 月得知可以申請農委會菁英培訓計畫後，便積極與羅代爾研究所聯絡，幸賴此處長期農法試驗主任 Dr. Yichao Rui 大力協助，方能獲羅代爾同意前往研習，並同時提供個人宿舍。然而也藉此機會建議主辦單位或申請單位，由於大多數申請者若無熟人介紹往往很難申請國外長期研習機會，主要的困難點在於國外機構對於單獨個人的申請者學經歷及主要研習動機幾乎無從考

證。在與羅代爾聯絡時，需視訊討論及多次電子郵件確認相關資訊，而此時若主辦單位或申請單位可以提供適時協助，參與討論確認研究方向與相關資訊，對農委會、申請單位及申請者而言均可互相保障其權益，且更能加速相關申請進度，達到赴國外研習的主要目的。或者，利用國與國之間簽訂雙邊交流短期研究之相關規範，或許亦可加速相關流程。

在此三個月的時間，衷心感謝羅代爾研究所提供的單人宿舍，讓我可以這邊安住。可能因為這個機構的性質跟改良場很像，三不五時總有人來參訪，也有暑期實習生在這邊接受這邊 PI 的指導上課研習討論不定期演講，還有美國農部及喬治亞大學的 PI 來這邊做實驗。6 月 27 日也在中午時間(lunch-learning)以 1 小時的演講，介紹關於自己在臺灣所做的有機農業試驗。此外，這邊不論是研究人員或是大學教授，都會自己下田採集土壤樣品或者做實驗，甚至連澆水有時候也會自己來，讓人充分感受到他們熱愛實驗的態度，這也是十分值得學習之處。反過來說，在臺灣我們可能每天忙於處理行政雜事，連自己做實驗的時間都沒有，這也間接導致研究量能的下降。甚至到這邊 3 個月的時間裡，發現英文進步十分有限，後來才發現，因為常上午半天都在處理臺灣的管考事務，中文還是很流利，難怪英文一直沒進步。

羅代爾的研究人員經常溝通討論意見交流，農場管理有專責的人負責，技工僅需負責調查記錄，研究人員可以專心整理試驗數據及撰寫計畫，而每週的農場工作排程都是所有的人員一起討論先規劃好的，橫向溝通交流其實十分重要的，而這是我們最欠缺的。此外，整理這邊的試驗成果資料發現，當此處執行計畫完畢之後，一定會把計畫成果整理後發表，不論是研究所內的小手冊或是網路上的文章，一定會做整理後結案，而這樣的小手冊或是文章，內文一定會有相關的參考文獻，這樣的知識才能累積。另一方面，我常看到失敗或者試驗數據不漂亮的試驗成果文章，但即便如此，他們還是勇於呈現試驗結果。這或許是我們必須思考的：難道所有的試驗都一定必須是預期的成功嗎？過多的管考 KPI 呈現，難道不會有不能失敗的壓力嗎？作為一個研究人員，忠實的呈現試驗成果，不論是否符合預期成果，就是最棒的成果。

印象深刻的是，在羅代爾的田間試驗幾乎都以系統性考量為中心，包含土壤健康、土壤碳匯及人類健康，並非僅是著重於產量。是故，在比較有機栽培及慣行栽培是會有因配合作物生長而有不同的栽培時間，甚至是不同的栽培品種的差異(慣行用 GMO 品種，有機非 GMO 品種)，非僅是肥料處理的差異，這是跟臺灣有機試驗最大的不同。這樣做的好處是，因為是整體系統性考量，故更能針對不同作物輪作、收益及逕流水汙染等議題作完整比較。但也因為是整體性比較，對於單年產量或效益較難獲得結論，需要較長的時間進行比較方能有所結論，而這也是這邊長期有機試驗的可貴之處。此外，此處的農業諮詢推廣服

務有專責的人負責，研究人員只要專心把研究工作做好即可，這跟農改場現今研究人員集試驗研究、採購、推廣、農民服務、參展於一身的導向十分不同。

此外，個人覺得這邊還有一個特色，就是推廣教育做得很好，非常多的網路解說(YouTube channel)都是免費可收看的資料，而且有專責的人在負責製作相關影片，不論是生產、機械使用或推廣教育的相關資料都可以在網路上尋找的到，而且很多空拍影片製作非常精美，這樣的影片是我在羅代爾增加知識並且可練習英文聽力最好的來源之一。當然，或許因為羅代爾為非營利機構，故在推廣再生性有機農業上更有彈性，甚至推出了再生性有機農業的認證標章(Regenerative organic certified)，並且對於附近的農場進行有機農業推廣不遺餘力，也非常鼓勵地產地銷，不僅是種植作物，也包含動物相關製品，可謂完整的有機農產業生產推廣體系。

在羅代爾研究所幾乎整年都有實習生在這邊實習田間操作，今年夏季約有 30 位實習生，實習生主要有兩種，一種是農夫實習生，意即在這邊實習後即打算以經營有機農場為主要工作項目，實習時間最長可達 2 年，實習期間給予最低薪資保障。另一種是大學實習生，由附近各大學機構的大學生提出申請，經羅代爾審查後篩選適當的學生到此進行為期 10 周或數個月的實習，薪資則由學校或羅代爾提供。而在個人提出盆栽試驗的構想後，雖然在試驗的過程中經歷種種困難，但最後幸賴羅代爾研究所提供一位大學實習生 Ms. Amanda Michleski 協助採取土壤樣品及協助相關調查，否則此試驗絕無法順利完成，在此一併致上最高的謝意。



圖 29.與實習生進行盆栽試驗採樣與調查。



圖 30.與研究人員及實習生參訪 I and J 農機製造廠。



圖 31.與研究人員及實習生參訪 Stroud 水資源研究中心(Stroud Water Research Center)。



圖 32.與羅代爾研究人員聚餐討論。

五、附錄

(一)盆栽試驗設計

Pilot study June 23th, 2022

According to the prominent reports about the soil health (chemical properties, compact, infiltration properties and etc.) from Rodale Institute, we supposed that conventional no till is the worse soil under pathogen, drought or flood stress. Organic no till may be (or not) getting better than till one. Thus, this pilot study is mainly focused on compare conventional no till soils with organic no till soils in the beginning.

Topic: Pot bioassay for drought and flood stress test of soils

Soil sampling: 2 soil types, only from 1 soil number to collect 28 cores.

Soil types		Numbers	Planting crop now	Previous crop
Conventional	No till	432	Corn	Corn
Organic	No till	421	Corn/rye	Wheat/vetch

Seeds of crop: based on my previous experience, cucumber seed may be suitable for this test, rather than corn, bean or others. Thus, cucumber seed is chosen to the assay.

Optional: Pathogen stress: I prefer the pathogen *Rhizoctonia solani* isolated by myself. If it is not available, this stress will be

passed or ignored.

Detail list of materials:

item	name	Number or description
1	soils	2 kinds of soils, only 1 spot from the same soil, each spot collect 28 cores.
2	pots	56 pieces (small square pot, depth around 10~20 cm)
3	Measuring cup for pouring water	100 ml*1 piece 500 ml*1 piece 1000 ml*1 piece
4	seeds	At least 1,000 Cucumber seeds (any commercial cucumber seeds will be ok)
5	Heat dryer	For drying fresh plants
6	envelop	56 pieces, to fill up the fresh plants
		Below are not must necessary (for isolating fungi pathogen)
1	petri dish	20~30 pieces
2	Potato Dextrose Agar (PDA)	100 g
3	agar	50 g
4	pick needle	1 piece
5	knife blade	1 piece
6	clip	1 piece
7	alcohol lamp	1 piece
8	alcohol	1 bottle
9	lighter	1 piece
10	Tissue paper	1 box

Place for growing:

A frame or rake in the green house or just put pots on the ground with covering

Procedure: for drought and flood stress

1. Prepare clean 56 cores.
2. Collect soils from the FST (between each row space, not just on the row of corn). Maintain the original structure of these soils

- without sieving and put them into the pot as much as possible.
3. Put cucumber seeds on the soils. Each cores 3 seeds.
 4. Serial irrigating (pouring water)

Treatment of serial irrigating (pouring water per pot every day)	T1 (4 cores replicat ions)	T2 (4 cores)	T3 (4 cores)	T4 (4 cores)	T5 (4 cores)	T6 (4 cores)	T7 (4 cores)
Conventional no-till	0 ml	5 ml	15 ml	30 ml	45 ml	60 ml	80 ml
Organic no-till	0 ml	5 ml	15 ml	30 ml	45 ml	60 ml	80 ml

5. Observation and survey the height and death rate of the cucumbers every day.
6. After two weeks survey, the last survey will be including weight for each plant for fresh and dry weight.

Survey items:

1. Germination rate for each pot
2. Death rate for each pot
3. Fresh weight of germinated plant for each plant
4. Dry weight of germinated plant for each plant

Anticipated results:

It is likely that the structure of soil plays an important role in helping plant growth or tolerance against drought or flood situation. Then, the compact, infiltration or chemical properties of soils may play important roles.

1. Germination rate of the cucumber plant will be higher sowed on organic soils than conventional soils.
2. Death rate of the cucumber plant will be lower sowed on organic soils than conventional soils.

Fresh weight and dry weight of the plant will be getting higher from organic soils than conventional soils.

(二)參考文獻

Andrew Smith, Rick Carr, and Gladis Zinati. Investigating the Use of Hairy Vetch Cover Crop as an Integrated Approach to Manage Powdery Mildew in Winter Squash. Rodale Institute.

Gladis Zinati. 2018. Invite insect allies to your farm using insectary strips: field guide to control striped cucumber beetles. Rodale Institute, 611 Siegfriedale Road, Kutztown, PA 19530.

Gladis Zinati. 2021. Variations in Soil Health Indicators as a Result of Cropping Systems and Management Practices in the Vegetable Systems Trial at Rodale Institute. Rodale Institute, PUBLISHED ON JUNE 23, page 1~4.

Gladis Zinati*, Lavanya Reddivari, and Dan Kemper. 2019. Reduced-Tillage Increases Nutrient Concentrations in Stored Winter Squash: α -Carotene, Lutein, Phosphorus and Calcium. Rodale Institute, Published on February 27, page 1~4.

Jeff Moyer, Andrew Smith, Yichao Rui, and Jennifer Hayden, 2020. REGENERATIVE AGRICULTURE and the SOIL CARBON SOLUTION. Rodale Institute, page 1~21.

Jessica Feeser, Gladis Zinati, and Jeff Moyer. 2014. Beyond black plastic: cover crops and organic no-till for vegetable production. Rodale Institute, page 1~23.

The Farming Systems Trial Celebrating 30 Years. Rodale Institute, 611 Siegfriedale Road, Kutztown, PA 19530.

(三)致謝

感謝行政院農業委員會經費支持(計畫編號: 111 農科-1.3.1-科-aK), 感謝陳駿季副主委、王仕賢處長、國立中興大學詹富智副校長、「亞蔬—世界蔬菜中心」(World Vegetable Center-WorldVeg) 林彥蓉副主任、國立臺灣大學農學院盧虎生院長、本場戴順發場長、本場旗南分場周國隆分場長、熱心協助代為處理公務的朱雅玲助理研究員與其他長官同仁的支持方能成行。在羅代爾期間, 承蒙 CEO: Jeff Moyer, HR: Becca Kahle, Research team: Dr. Yichao Rui, Dr. Andrew Smith, Dr. Reza Afshar, Dr. Madhav Dhakal, Dr. Philip Hinson, Dr. Gladis Zinati 及 Ms. Annie

Benson 等諸多協助並提供寶貴資料，特別感謝實習生 Ms. Natalie Hutras 及 Mr. Johnny Williams 在住宿期間陪伴與照顧，實習生 Ms. Amanda Michleski 在盆栽試驗期間協助採土調查並協助建置資料。若需更詳細之相關資訊，請不吝指教：
befuhou@gmail.com ; befu@mail.kdais.gov.tw。