



因應氣候變化下西南沿海農業區的耕作模式設計

江志峯^{1*}

摘要

設計新的耕作制度並實質進行大面積驗證，以 (1) 篩選合適作物或品種、耕種方法、耕犁方式等，並評估現有環境特性，調整目前的耕作制度，以因應暴雨、長乾旱、高熱出現頻繁的氣候，求得最適佈置及較高收益；(2) 推廣新的耕作制度，有效利用農業資源，提高此地區產業價值。2018-2021 年於中部沿海低生產力地區建構一年三季水旱輪作制度與最少使用化學資材的耕作制度，主要栽培作物的模式為春作不整地旱作(玉米)-雨季直播水稻-秋作不整地旱作(大豆)的方式一年三作的節約資源型的耕作系統；配合本區域旱澇季明顯的氣候型態及作物的需水與耐旱特性，實施以二期作(雨季)直播水稻為主，每年輪換作物方式進行。作物栽培原則選擇以互補的可共享資源而不會導致後續作物的水與養分缺乏，提高水肥利用效率。需氮量高的作物可在固氮豆科作物之後(例如：大豆-玉米)。對需經耕犁的作物也應跟隨在不整地旱作物栽培後，強化深層土壤構造的保水力，可減少當季作物灌溉水量利於加深土壤有效供水深度(玉米-水稻)。當土壤肥力水平最低時，應在輪作結束時佈置土壤生產力低的作物，以利於繼承上季作物收穫後殘留的土壤水分(水稻-大豆)。現地進行結果顯示，保育耕犁春作玉米或毛豆-二期作直播水稻及不整地秋作大豆-食用玉米或小麥等作物的行播種植之新耕作模式，除可增加 30% 農田產能外，相對兩期作水稻季提高 51-121% 的總粗收益。

關鍵詞：輪作系統、作物型態、農地資源管理、作物接替

¹ 農業部農業試驗所農業化學組。

*通訊作者(cfchiang@tari.gov.tw)



前言

大氣中溫室氣體 (GHG) 的積累已明顯的影響氣候變化並受到國際社會的高度關注。自然災害也在迅速發生變化，前所未有的熱浪、熱帶氣旋、洪水、風暴、叢林大火和乾旱經常發生在世界各地，影響到世界糧食的穩定供應。前年與今年在台灣所謂的罕見事件（百年大旱）發生的頻率更高、強度更大，而且有些事件具有以前沒有見過或經歷過的特徵。這些變化已經對世界各地農村社區和其經濟體的生計和集體福祉產生負面影響。最近，科學家們開始將重點從遏制二氧化碳排放轉向適應二氧化碳排放。此等意味著有必要重新思考農業生態系統，現在經常用於農業的自然資源是不永續管理方法 (Brown et al., 2000 ; Tilman et al., 2002)。

台灣耕地有限，加上工商業經濟發展，農地流失嚴重；另存在勞力老化、人工短缺、工資昂貴的問題，使大部分的作物生產成本提高，而無法與其他國家產品競爭；又因氣候異常頻發，自然資源供應困頓且糧食自給率偏低的台灣，更因農產品貿易的國際化、自由化而備受壓力，市場價格受國際市場物價波動影響相當明顯，社會大眾對於農產品物價的變動幅度大頗有怨言。農業面臨著重大挑戰，既要滿足糧食生產的需求，又不能顯著增加種植面積 (Stevenson et al., 2013) 和造成環境退化 (Hobbs et al., 2008)。近年來，永續糧食生產面臨的挑戰一直存在，部分原因是氣候變化影響作物的生產 (Palm et al., 2013 ; Paudel et al., 2014a)。面對這種困境，農業生產必須以重點農產品的供需、國民營養及農民合理收入等觀念進行耕作制度的調整來考量。

為應對日益增長的糧食、飼料和能源需求以及氣候變化帶來的環境挑戰，農業部門擁有獨特的機會藉由創新和再生農業操作提高農業生產力、生態系統服務等達成聯合國設定的永續發展目標和人類福祉。改進的管理操作，包括：如減耕或免耕管理、作物殘留物添加、作物輪作和增加土壤有機碳 (SOC) 施用，以及平衡養分應用，以提高農業永續性 (Six et al., 2002 ; West and Post, 2002 ; Vanden Bygaart et al., 2003)。推動減耕或免耕的管理方式，配合農業資源再生的措施，可使土壤吸存碳和維持最佳的保水性，減少蒸發、逕流與沖蝕，為友善的耕作方式之一。

碳農業是常被提出的農業新制度，目的在緩解農業氣候變化的農場管理操作，包括：



土地和牲畜的管理、土壤、材料和植被中的所有碳庫，以及二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 的通量。它包括碳去除 (碳在土壤和生物量中的封存和永久儲存)、避免排放 (防止已經儲存的碳損失) 和減排 (即，將溫室氣體減少到當前農場排放水平以下)。所有農業系統都可以緩解，儘管緩解潛力的水平因農場類型和不同地區而異。在衡量農業對永續性的影響及其改進貢獻的眾多可持續性指標中，我們重點關注農業部門的溫室氣體 (GHG) 排放，將其作為關鍵環境指標，從應用於農業的生命週期分析的角度評估幾種溫室氣體減排操作 (Kwon et al., 2021)。

一、過去耕作系統的研究

水稻是連作障礙最小的作物之一，若配合其他雜糧及園藝作物採輪作方式栽培，效果會更好，過去曾有許多解決嚴重的連作障礙的經驗。輪作水稻後不僅利於作物生產，對雜草防除及病蟲害管理亦有很好的效果，是最簡便的土壤管理方法。在雜草防除方面，水旱田輪作可改變雜草相，尤其是利用浸水控制旱田雜草，具有很好的雜草控制效果 (李，1999)。

複作制度為增加糧食產量的主要途徑之一，但須整體考慮影響作物生產的各種因素及相互之間的關係，及應用何種管理來配合環境，以達最高收益的生產，其中經濟性的評估至為重要。檢討作物產量與複作指數之變化趨勢，過去四十年土地使用頻度之大幅增加，並未抵銷技術所引進之作物增產，而隨後之複作指數降下，亦未導致單位面積產量之明顯提高 (蔡等人，1991)。

輪作是任何永續農業系統的重要組成部分。在正常生長季節，輪作作物的產量通常比單一栽培作物的產量高 10%，在乾旱生長季節高出 25%。三種或多種具有不同特性的作物輪作通常會導致土壤健康發生積極變化，從而促進作物生長 (Magdoff and van Es, 2021)。種植的作物類型、產量、產生的根的數量、收穫的作物部分以及田區管理作物殘留物的方式都會影響土壤有機質含量。大量的活性有機質 (為土壤生命提供食物)、團聚體內部高含量的有機質 (幫助形成和穩定團聚體) 以及分解良好的土壤有機質或腐殖質 (以提供更多的陽離子交換能力)。很少有實驗關注輪作對土壤生態的影響。農作物在田間留下的殘留物越多，土壤微生物的數量就越多。在俄勒岡州半乾旱地區進



行的實驗發現，兩年小麥休耕系統中的微生物總量僅為牧場下微生物總量的 25% 左右 (Magdoff and van Es, 2021)。

作物栽培之終極目標為單位面積作物生產標的的產值達最大，過去農民生產作物，一向追求在單位土地時間內獲得最高收益為目標，在進行適合的耕作制度的測試比較，往往以收益為指標。但農作物無論於國內或國際的市場價格變動大，此一指標並不容易應用於不同地區或時期，且適合的耕作制度或農業生產用地規劃，不但應能提高耕地及農業勞動力之生產效率，更應能維護長期的土壤生產力。

二、以雨季水稻為基礎的旱作不整地栽培系統中增加土壤有機碳的挑戰和機會

土壤維持作物生產力是改善糧食安全和農業永續性的最大挑戰。以水稻栽培為主的生產系統被認為是最穩定的土壤有機碳 (SOC) 保存系統 (Lal, 2004b)。研究顯示減耕和免耕管理、作物殘留物添加和改進養分管理策略對提高 SOC 和作物產量的影響很大。在水稻的系統中土壤的交替乾濕環境使我們對水旱交替耕作、作物殘留和養分管理操作的理解，以及包括對土壤系統中的 SOC 的周轉率、儲存和損失的理解更加複雜。

農民根據市場需求改變種植方式，較少關注其保護效益。由於免耕和其他保護措施，在土壤剖面中積累 SOC 需要數年時間，並且在耕種後產生的收益很快就會消失 (Ghimire et al., 2014)。讓農民保持相同的作物輪作和管理操作可能是提高永續性的最大挑戰，尤其是在小農農業受試圃場的牽連影響很大。

材料與方法

田間試驗運作歷程及管理

2018 年起主要在苗栗通霄、臺中外埔、彰化和美、大城及雲林土庫試區等 5 區配合當地季節與水自然資源條件進行一年三作不整地食用玉米 - 直播水稻 - 不整地大豆的耕作模式運作與觀察。為期 4 年田間耕作制度，包括：兩種耕作方法、兩種耕作技術和四種作物設計之新耕作系統進行農田區穩定性的確證。參考當地的資源因素以複因子交互作用的試驗設計，如圖 1，現地實施以二期作雨季以直播水稻為中心，一年輪換作物



順序主要為春作不整地食用玉米 - 直播水稻 - 秋作不整地大豆之一年三作的耕作系統。並以地區性的耕作制度為對照。作物品種、施肥、灌溉等皆以當地農民慣用的模式選用配合進行。

以現地進行結果，保育耕犁春作玉米或毛豆 - 二期作直播水稻及不整地秋作大豆 - 食用玉米或小麥等作物的行播種植之新耕作模式，如圖 2，與兩期作水稻比較計算，以農糧署統計資料庫各縣市兩期作水稻收益資料參考。

結果與討論

本計畫投入的概念與操作技術包括：

一、田區地表平整度與水分管理

目前農田整平作業大抵在栽種水稻前浸水、犁田糊化作業時一併進行，但受一般機械平整設備自身缺陷和人工操作平整精度較低的限制，土地平整精度在達到一定程度後無法繼續提高。近 50 年來，新的平整機械設備不斷研發和改良，雷射光控制技術在土地整平上已廣為應用於提高土地平整作業的效率和精度，農地雷射整平技術是利用雷射光進行量測，精準度遠高於目前慣行以人工和機械操作。

農業試驗所農業化學組 20 年來曾致力於發展雷射整平水田節水技術，在評估水稻直播節水之效益已屬可行，可大幅度提高田間土地的平整精度。在嘉義溪口農場的表土土壤質地為粉質壤土 - 粉質粘壤土的水田區小田區 (0.60 ha) 水平高低差平均為 6 cm，全區 (1.5 ha) 水平高低差 12 cm；旱田全區 (2 ha) 水平高低差平均為 22 cm，以雷射整平機可以整平達到高低差 3 cm/200 m 以下，估計每灌一次水稻田即可減少 300 m³/ha 水量，全年可以減少 25-30% 的用水量 (農試所年報，2007)。旱田慣行整平後的高低差一般比水田更大。近年在西南沿海區導入雷射整平技術後，畦溝灌溉效率也可大幅提升 (江，2022)，減輕農民管理負擔，也大幅增加和產量。我國因為田區面積小而忽略此項雷射整平機在田間的利用，過去因需進行田區測量作業及機械組件與迴轉犁不同，同時犁具選配太小型造成整平工時偏高，不能普遍落實民間採用。2021 年農試所已建置全台



RTK 網絡，提昇農地精準整平的契機，選配具精準整平功能的掛在機組，應可以普及推展。

二、水旱耕作制度與兩期水稻作土壤性質的比較與現地實施要點

在水旱輪作系統中，土壤物理性狀在水旱兩季存在明顯差異。在水稻季，傳統的稻田耕作要在移栽水稻前進行帶水耕耙，將耕層土壤打漿使大土粒分散成為團粒或細小粘粒，多年的水耕後，粘粒在耕層下逐漸澱積而形成密實犁底層，這有助於減少農田滲漏，提高水分和養分的利用效率，同時控制雜草，利於插秧。然而，淹水種稻時土壤表層的漿狀結持力和多年形成的緊密犁底層，在由水田轉換為旱地時容易引起土壤板結，從而影響後季作物的生長發育，最終導致作物產量降低，這也被認為是水旱輪作條件下後季作物生長發育的主要障礙因子。由於過去機械不當耕犁，加上密集式的水稻栽培，使犁底層的出現深度高低不一，間接影響旱作的播種深度與根部的伸展發育，管理上需再進一步克服。水稻季推行改良耕犁以及剩餘生物質留田和其他有機質物料的施用，均能減輕耕層土壤粘密和旱季作物的土壤板結問題。

過去二十年，由於政策緣故，大多農民選擇鑿井灌溉的兩期水稻為主，近年來更由於政府推動雜糧的種植，使得部分農民選擇利潤較高的一些雜糧作物，如大豆、玉米與小麥。為探討作物制度的穩定性及對於當地資源利用的永續性，期能減少大量工業輔助能的投入。

三、COM(保育耕犁、有機質添加、敷蓋)一年三作複合式新耕作制度的現地實施

現代密集耕作模式有四個方面為人們所批評 (一) 過度依賴於添加的肥料、殺蟲劑和灌溉，加速了農業資源的枯竭，降低了農業的永續性。(二) 過量使用持久性合成肥料和農藥過度污染地表水和含水層。(三) 儘管其中一些可能是由於未能完全遵守保護措施，但過程中仍有太多的土壤侵蝕。(四) 單作栽培的實踐，由於其低投入的有機質 (OM) 以及過度耕作和缺乏輪作，往往會耗盡土壤有機質 (SOM)，增加侵蝕和蟲害問題。人們普遍認為輪作可以改善土壤結構、滲透性、微生物活性、儲水能力、有機質含量和抗侵蝕能力，從而提高作物產量和生產系統的永續性 (Bullock, 1992 ; Karlen et al., 1994)。



(一)春作不整地玉米栽培

栽培玉米所追求的目標是產量與品質。生育期長短又和作物的輪作、土地利用效率、管理時間長短及安全生育期間的長短有所關係。如安全時間太短，則風險增高，或氣候不適而勉強栽培，則產量不高。玉米對氣候尤其雨量有絕對性的影響。不整地栽培，顧名思義，是在田裡直接播種作物而不耕犁的作法，可讓土壤中原本存在的有機質不因耕犁而分解損失，並且穩定土壤的團粒結構，維持較佳的通氣性，面對突如其來的豪雨時，良好的土壤團粒結構可快速將多餘的水分排出，減少等待土壤乾燥期，而不耽誤農時(江等人，2022)。試驗結果顯示，以慣行畦溝式栽培食用玉米，因春作播種期與成熟期降雨時間不長，試區食用玉米平均果穗鮮重為 5,000-6,500 kg/ha 為屬正常範圍，避免播種期雨量的危害，春作不整地玉米的栽培技術為開發的技術方向。

(二)雨季直播水稻

水稻直播種植方式為新耕作制度中心作物季，主要解決育苗業者缺工導致秧苗價格高漲及機動的搶降水時水稻栽培的農時，5 個試區均可在雨季直播水稻，與同時間插秧種植方式比較則遭受不等病蟲草危害及鳥襲造成產量低或無收，其中土壤滲透性高的大城試區最為成效，稻穀產量最高達 7800 kg/ha，與插秧水稻的產量不相上下。未來實施時將朝 1. 田面整平，增加有效灌溉；2. 保育耕犁，深耕鬆犁底層方式；以及 3. 有機物質的添加，改善表底土壤構造，增加滲透力三方向改進。

(三)秋作不整地大豆栽培

穀物豆類通常作為作物輪作或序列的組成部分來處理，而不是作為連續的單一栽培，因為它們與任何其他耕種物種一樣容易受到土傳病原體和害蟲的積累。為了優化病蟲害、雜草和疾病的管理，並通過土壤剖面利用養分有效性，作物輪作或序列應納入具有不同生命週期、生長習性、根系結構和害蟲譜的物種 (Cook, 2013；Garrison et al., 2014；Reckling et al., 2016a)。

與穀物根部的細網絡相比，穀物豆類的主根結構和粗側根有助於水分滲透並形成後續作物根部所遵循的通道，但也可能影響浸出 (Dunbabin et al., 2003；Neumann et al., 2011)。本耕作模式春作不耕犁播種大豆，在不用雜草防治與肥料的前提下，發芽的大



豆無法與雜草競爭，但雨季水稻後的秋作在少耕犁播種大豆可以適度的控制雜草生長。5 試區中以雲林土庫和嘉義朴子分別進行少耕犁和不耕犁的大豆栽培，其中少耕犁的栽培法大豆生長良好，同時不用除草劑防治雜草的管理方式，大豆對於資源的競爭高於雜草；土庫試區不耕犁的大豆栽培方式由於發芽其利用前季水稻殘留下的土壤水分足以供應其發芽，其發芽情形良好，同時也以遺留的稻草進行敷蓋，加上適當使用除草劑，雜草的生長也在控制範圍內，未來秋季灌溉水供應不足下，此作物制度與栽培技術具發展潛力。

四、COM的耕作制度與土壤有機質累積及養分循環利用

本耕作模式根據地區性光與降水的自然資源特性於試區佈置春作食用玉米 - 夏季直播水稻 - 秋作大豆的一年三作複合式耕作制度，管理上該制度包括保護性耕作的組合，主要提供改善的有機物質，表面留下大量的有機物質，提供了結合最好的有機和集約化農業的可能性，並承諾長期可持續，提供適當的栽培採用的方法使新系統切實可行。結果顯示，3 種作物目標收量鮮重產量分別為玉米果穗含苞葉為 19,500-21,500 kg/ha，水稻稻穀乾重為 4,500-7,800 kg/ha，毛豆含豆莢鮮重 1,700-5,700 kg/ha，大豆乾重產量為 1,800-4,160 kg/ha，結果也表明，3 季作物的產量均能可達到歷年作物的產量，原型作物制度的設計乃根據作物物候期配合地區性光與水的充分利用，主要原則為避開雨季種植玉米而栽種生長前期較不忌水的水稻，當季作物施氮量則是前季作物需氮量的多寡而定，例如玉米需氮量較大施用氮肥量多，夏季水稻便可減施氮肥，不但不會降低單位面積產量更能增加農田生產效能也能增加農民收益，如表 1，此項複合式作物生產耕作系統能提高光與水的利用效率，藉由田間試驗觀察其系統之穩定性，雖然試驗結果 3 季每項作物產量無法達地區單作最高產量，但已增加土地利用的效率，如圖 3，同時參照政策獎勵作物的品項，區域性一年三作耕作系統的參考作物形態模式，至於系統的耐受力的土壤管理因子，未來將進一步修正以達其產量的穩定性。

五、剩餘物與雜草管理

土地平整的耕作方法，選擇競爭性作物品種，機械除草、萌前和萌後除草劑的應用和相關的水管理作為控制雜草不可少的組成技術，也已成功建立水稻直播雜草管理的架構，需要更多的期作試驗驗證。



(一)敷蓋

作物殘留物或堆肥可用作土壤表面的敷覆蓋物。這種情況在一些減少耕犁系統中經常發生，當時產生高殘留的作物或敷蓋作物殘留在地表上。敷蓋有許多好處，包括 1. 由於更好的滲入土壤和更少的土壤蒸發，提高作物的水分利用率；2. 土壤溫度變化不太劇烈；3. 雜草控制的問題。新耕作制度以機具將上季殘留物於當季作物播種同時進行敷蓋作業，對於種子發芽產生很好的效果，同時可防止入滲土壤的水分更少的蒸發，留待當季作物的利用。當用作覆蓋作物時，穀物豆類可以為後續作物提供氮，同時保護裸露的土壤，豆類與其他作物的混合物進一步降低了淋濾潛力 (Tosti et al., 2014)，其中野豌豆最具成本效益 (Büchi et al., 2015)。

(二)作物根留存

一些研究顯示，植物根及堆肥對土壤有機碳的存留高於秸稈的碳，根部的碳比地上部的碳對土壤有機碳的衝擊較大也較穩定。根部已經分佈良好並與土壤密切接觸，因此往往貢獻更大比例的耐分解的有機物，而不像是地上殘留物。此外，與地上植物部分相比，許多作物根部含有大量分解相對較慢的物質，例如木質素。一項用燕麥進行的實驗發現，一年後只剩下三分之一的表面殘留物，而 42% 的根部有機物仍留在土壤中，是顆粒有機物的主要貢獻者。

六、生物質增匯抵碳的負碳效益

豆科植物通過一系列“間斷作物 (本研究為水稻及玉米)”、“氮”和“豆科植物特異性”效應影響後續作物 (Chalk, 1998 ; Peoples et al., 2009)。當缺乏多樣性的種植序列 (例如歐洲大部分地區典型的小粒穀物 (小麥和大麥) 的連續生產) 被闊葉作物或麥田“破壞”時，就會出現間斷作物效應 (Robson et al., 2002)。其效果最重要的部分是減少穀物土傳病害 (Kirkegaard et al., 2008)，而其他部分包括清除其他害蟲宿主以及使用替代方法和農用化學品來減少害蟲、病原體和雜草的機會 (Prew and Dyke, 1979 ; Stevenson and van Kessel, 1997) 以及土壤結構的改善 (Chan and Heenan, 1996)。

計算大豆季後的不整地玉米氮平衡量除通霄試區玉米為正值，顯示系統獲得額外氮源，而土庫與霧峰 2 試區為負值，說明玉米收穫後剩餘物遺留田間，如表 2，利於後二



期直播水稻對於土壤剩餘的氮養分的使用，不同土壤管理組類型所繼承的氮源不同，低地石灰性粗質地排水不完全沖積土的土庫試區以礦質態氮為主，而低台地淺層排水良好沖積土的霧峰試區則以有機氮為主，如表 3。另外，3 季作物根的留存量較兩期作水稻根留存，可增加每年儲存在土壤的生物質量，具有高碳吸存的潛在效益，如表 4。氮效應是指從豆類殘留物中釋放出生物固定的氮，其釋放速率受到其相對較低的碳氮比的影響，並且對後續作物的影響在砂質土壤中比壤質土壤中更明顯 (Jensen et al., 2004)。

結論

新耕作制度在單期田供水區既可滿足糧食生產的需求，也有負碳效益，減緩環境退化的潛力，未來推展目標：(1) 依不同稻田土壤性質當診斷指標，完成不同土壤質地於雨季直播水稻栽種與部分管理技術改良，提高更多面積田區稻種苗立率與管理技術，建立適合我國直播水稻的操作標準作業模式，作為擴大推廣規模的基礎。直播水稻可避開灌溉水不足的乾旱風險，穩定水稻的生產達到一般的平均產量水準；(2) 加強利用現代農機具進行水稻直播與旱作不整地播種的兩項栽培技術實施於主要農業生產區進行推展，持續利用區域性農地資源不斷地調整農業生態操作區域性的耕作制度來適應當地的農業生物多樣性，以應對未來氣候變化的威脅。

稻田產生的溫室氣體，如 CH_4 和 N_2O ，具有更大的暖化潛勢，可能會抵消 SOC 儲存和減緩 CO_2 排放帶來的好處。瞭解不同耕作方式下的溫室氣體通量、殘留物和養分管理以及它們的碳當量和淨碳儲存等等對於擬定政策舉措和減緩氣候變化很重要。未來更需要更多的研究應該集中在一般具體的水稻田、旱作輪作的生產系統上，以提高我們對受耕犁、殘留物和養分管理操作影響的溫室氣體排放和 SOC 吸存的理解。碳農業具有緩解氣候變化和帶來其他好處的巨大潛力；促進農業氣候減緩的大規模實施應該是我國的全民負碳工程優先事項。碳農業帶來社會協同效益（包括生物多樣性、土壤健康、水質等）。低碳農業減緩必須是永久性的，低碳農業實施不當可能會對其他社會目標產生負面影響。需要進一步開發低碳農業監測方法，增加操作經驗，改進對低碳農業潛力的評估，以增加知識並減少低碳農業知識吸收的障礙。



誌謝

承行政院農業委員會 2018-2021 年農科計畫「建立農業生產資源及生態環境友善管理新模式」經費支持本報告的工作運行，謹此 致謝。

參考文獻

- 江志峯。2022。農地雷射整平技術於畦溝灌溉應用與推展成效。技術服務季刊 130: 10-14。
- 江志峯、劉滄琴。2022。玉米旱作不整地栽培方法 創造新栽培制度及農民利益。技術服務季刊 132:39。
- 行政院農業委員會農業試驗所。2007。行政院農業委員會農業試驗所 96 年度試驗研究報告—農業化學 - 農地資源調查與土壤理化。
- 蔡俊雄、楊小慈、賴森雄、鄒簾生。1991。耕作制度研究資料的儲存、系統分析與應用之探討。輪作制度對土壤肥力及作物之影響研討會論文集。中華土壤肥料學會，pp.117-134。
- 李文輝。1999。稻田輪作制度。鄧耀宗編，台灣稻作發展史，初版。南投：台灣省政府農林廳出版。pp. 519-552。
- Brown, L., Flavin, C., Fench, H. 2000. State of the world 2000. W.W. Norton and Cie, London, ISBN 0-393-04848-9.
- Büchi, L., Gebhard, C. A., Liebisch, F., Sinaj, S., Ramseier, H. and Charles, R. 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. Plant and Soil 393:163-175.
- Bullock, D. G. 1992. Crop rotation. Crit. Rev. Plant Sci. 11:309-326.
- Chalk, P. M. 1998. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. Aust. J. Agr. Res. 49:303-316.
- Chan, K. Y. and Heenan, D. P. 1996. The influence of crop rotation on soil structure and soil



- physical properties under conventional tillage. *Soil Till. Res.* 37:113-125.
- Cook, D., Grum, D. S., Gardner, D. R., Welch, K. D. and Pfister, J. A. 2013. Influence of endophyte genotype on swainsonine concentrations in *Oxytropis sericea*. *Toxicon* 61:105-111.
- Dunbabin, V., Diggle, A. and Rengel, Z. 2003. Is there an optimal root architecture for nitrate capture in leaching environments? *Plant Cell Environ.* 26:835-844.
- Garrison, A. J., Miller, A. D., Ryan, M. R., Roxburgh, S. H. and Shea, K. 2014. Stacked crop rotations exploit weed-weed competition for sustainable weed management. *Weed Sci.* 62:166-176.
- Ghimire, R., Norton, J. B., Pendall, E. 2014. Alfalfa-grass biomass, soil organic carbon, and total nitrogen under different management approaches in an irrigated agroecosystem. *Plant and Soil* 374:173-184.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., Gupta, R. 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philos. T. Roy. Soc. B.* 363:543-555.
- Jensen, C. R., Joernsgaard, B., Andersen, M. N., Christiansen, J. L., Mogensen, V. O., Friis, P. and all 2004. The effect of lupins as compared with peas and oats on the yield of the subsequent winter barley crop. *Eur. J. Agron.* 20:405-418.
- Karlen, D. L., Varvel, G. E., Bullock, D. G. and Cruse, R. M. 1994. Crop rotations for the 21st century. *Adv. Agron.* 53:1-45.
- Kirkegaard, J. A., Christen, O., Krupinsky, J. and Layzell, D. 2008. Break crop benefits in temperate wheat production. *Field Crops Res.* 107:185-195.
- Kwon, H., Liu, X., Xu, H. and Wang, M. 2021. Greenhouse gas mitigation strategies and opportunities for agriculture. *Agron. J.* 113:4639-4647.
- Lal, R. 2004b. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304:1623-1627.
- Magdoff, F. and van Es, H. 2021. Building Soils for Better Crops: Ecological Management for Healthy Soils. The Sustainable Agriculture Research and Education (SARE), University of



- Maryland Printing Services.
- Neumann, A., Torstensson, G. and Aronsson, H. 2011. Losses of nitrogen and phosphorus via the drainage system from organic crop rotations with and without livestock on a clay soil in southwest Sweden. *Organic Agriculture* 1:217-229.
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2013. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agr. Ecosyst. Environ.* 187:87-105.
- Paudel, B., Acharya, B. S., Ghimire, R., Dahal, K. R., Bista, P. 2014a. Adapting agriculture to climate change and variability in chitwan: Long-term trends and farmers' perceptions. *Agr. Res.* 3:165-174.
- Peoples, M. B., Brockwell, J., Herridge, D. F., Rochester, I. J., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., and all. 2009. The contributions of nitrogenfixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48:1-17.
- Prew, R. D. and Dyke, G. V. 1979. Experiments comparing 'break crops' as a preparation for winter wheat followed by spring barley. *J. Agr. Sci. Cambridge* 92:189-201.
- Reckling, M., Hecker, J. M., Bergkvist, G., Watson, C. A., Zander, P., Schläfke, N., Stoddard, F. L., Eory, V., Topp, C. F. E., Maire, J. and Bachinger, J. 2016a. A cropping assessment framework—evaluating effects of introducing legumes into crop rotations. *Eur. J. Agron.* 76:186-197.
- Robson, M. C., Fowler, S. M., Lampkin, N. H., Leifert, C., Leitch, M., Robinson, D., and all. 2002. The agronomic and economic potential of break crops for ley/arable rotations in temperate organic agriculture. *Adv. Agron.* 77:369-427.
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S. M., Sa, J. C. D., Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755-775.
- Stevenson, F. C. and van Kessel, C. 1997. Nitrogen contribution of pea residue in a hummocky terrain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:494-503.
- Stevenson, J. R., Villoria, N., Byerlee, D., Kelley, T., Maredia, M. 2013. Green revolution



- research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. *P. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110:8363-8368.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.
- Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Tei, F. and Guiducci, M. 2014. Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. *Eur. J. Agron.* 54:34-39.
- VandenBygaart, A. J., Gregorich, E. G., Angers, D. A. 2003. Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83:363-380.
- West, T. O., Post, W. M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1930-1946.



表 1 各種輪作方式三年的平均總收益及其標準偏差 (萬元 / 公頃)

Table 1 Average yearly revenue of different crop rotation systems from 2018 to 2020.

輪作物制度分類 *		彰化	雲林
2018 至 2020 年 3 年全國	水稻 - 水稻	37.2±1.7	37.2±1.2
稻穀生產成本調查報告 #*			
2018 至 2020 年 3 年試驗	食用玉米 - 水稻 - 大豆		64.7±12.1
輪作物制度 *			
	食用玉米 - 水稻 - 食用玉米	82.1±10.3	
	大豆 (毛豆) - 水稻 - 小麥	56.3±14.3	

#: 2018-2020 年農糧署統計資料庫各縣市兩期作水稻收益資料

*: 食用玉米 20 元 /kg; 水稻 25 元 /kg; 毛豆豆莢 30 元 /kg; 小麥 25 元 /kg

表 2 不整地春作不同品種玉米栽培施氮量 140 kg N/ha 在不同前作物下之產量及氮平衡

Table 2 Yield and nitrogen balance of different previous crops under the nitrogen application rate of 140 kg N/ha in spring cropping with conservation tillage for different varieties of corn.

試區	土壤 管理組	品種	前作物	產量 #(t/ha)	地上部 累積氮 量 (kg/ ha/)	土壤氮 差額 (kg/ha)	氮平 衡量 *(kg/ ha)	耕犁方 法 / 種 植方式
苗栗 通霄	A5b	台農 5 號糯	玉米	10.5	137	-24.2	20.8	畦溝 / 苗栽
雲林 土庫	L4b	美粒甜	大豆	17.6	67	-13.4	-59.2	不整地 / 播種
台中 霧峰	T5a	802 糯	大豆	19.7	120	45.7	-65.4	不整地 / 播種

#: 含苞葉鮮果穗重

*: 氮平衡量 = 收穫植體地上部氮量 - 施氮量 - 土壤氮差額 (種植前後根域土壤礦質氮相差量)



表 3 2021 年春作玉米試區種植前後土壤有機質差異

Table 3 Differences in soil organic matter before and after planting in the 2021 spring

	土壤 深度	苗栗通霄	雲林土庫 g/kg	臺中霧峰
種植前	0-15	13.0	18.5	9.3
	15-30	8.4	12.6	7.6
種植後	0-15	13.2	18.4	14.1
	15-30	9.8	15.0	9.8

crop corn test plot.

表 4 作物最大生物質產量的碳量, kg C/ha/yr

Table 4 Carbon amount for maximum crop biomass production, kg C/ha/yr.

	穀粒	葉	莖	根	葉 + 莖 + 根
玉米 #	4123.6	2267.9	2267.9	1649.4	6185.2
大豆 #	1229.2	772.6	772.6	702.4	2247.7
水稻 *	3750	1675.5	1675.5	877.7	4228.7
Total(A)				3229.5	12661.6
兩期作水稻 *	7500	3351	3351	1755.4	8457.4
Total(B)				1755.4	8457.4
A-B				1474.1	4204.2

#: 資料來自 DNDC 作物生長模型作物參數

*: 資料來自 江, 2012



	JAN 1月	FEB 2月	MAR 3月	APR 4月	MAY 5月	JUNE 6月	JULY 7月	AUG 8月	SEPT 9月	OCT 10月	NOV 11月	DEC 12月	JAN 1月	FEB 2月
通霄				食用玉米			夏季直播水稻			食用玉米				
外埔				食用玉米			夏季直播水稻			大豆				
和美			食用玉米			夏季直播水稻				食用玉米				
大城			小麥	毛豆		夏季直播水稻				小麥				
土庫			食用玉米			夏季直播水稻				大豆				

圖 1 2018 年 5 處試區以二期作濕田直播水稻為中心的作物複作制度

Fig. 1 5 test areas centered on the second-phase wet field direct-seeding rice cropping system in 2018.



圖 2 COM 複合式耕作制度的管理

Fig. 2 COM complex multi cropping management.

JAN 1月	FEB 2月	MAR 3月	APR 4月	MAY 5月	JUNE 6月	JULY 7月	AUG 8月	SEPT 9月	OCT 10月	NOV 11月	DEC 12月	JAN 1月	FEB 2月
		水稻						水稻					
JAN 1月	FEB 2月	MAR 3月	APR 4月	MAY 5月	JUNE 6月	JULY 7月	AUG 8月	SEPT 9月	OCT 10月	NOV 11月	DEC 12月	JAN 1月	FEB 2月
		食用玉米			二期作直播水稻				食用玉米				
		食用玉米			二期作直播水稻				大豆				
		大豆 (毛豆)			二期作直播水稻				小麥				

圖 3 彰雲作物複作制度增加土地利用的效率

Fig. 3 The cropping system increases the efficiency of land use in Chang-Yun area.



Cropping pattern design in southwestern coastal agricultural areas in response to climate change

Chih-Feng Chiang (1)*

Abstract

A land stability validation of a new cultivation system designed for single-phase field water supply area is conducted to promote new cropping model upgrading production value by efficient use of agro-ecological resources and better selection of crops, cultivars, cultivation methods and tillage for the design of new cropping system with best income (compared to existing system). During 2018-2021, a rotation system of three-crops per year (spring non - tillage fresh use corn - direct seeded rice - autumn non - tillage soybean) combined with less chemical material input are introduced in Southwestern coastal agricultural areas of poor productivity. The benefits observed from rotation among mutual complementary (paddy-upland) crops are co-sharing resources greatly enhance water/nutrient use and avoid water/nutrient efficiency of neighboring or subsequent next crop. The cropping order arranged for high N requirement crop can be after previous N-fixing legumes (soybean-corn), and that of tillage requiring crop can be after previous non-tillage upland crop (corn-paddy), which would strengthen water retention capacity of deep layer soil structure, reducing irrigation demand of current crop and hence, increasing soil available (supplying) water depth (corn-paddy). After a rotation cycle, when soil fertility at least level. Low fertility required crop should be select to plant for inheriting uptake of remaining residue soil moisture of last crops. The new cultivation



models of conservation tillage of spring corn or soybean—2nd direct seeded rice and autumn non-tillage soybean-- fresh use corn/wheat (row planting) have resulted in not only increasing field productivity potential up to 30% but upgrade gross income 51~121% of two crops of rice.

Keyword: Rotation system, Cropping pattern, Agricultural resources management, Crop succession