

臺灣推展節水與友善環境稻作強化栽培體系之策略研究

蔡明華 水利技師公會全聯會常務理事
蔡逸文 台北科技大學博士生候選人
許素禎 台灣農業工程學會計畫副研究員
張煜權 醒吾科技大學教授
甘俊二 台大生物環境系統工程學系名譽教授

一、前言

稻作強化栽培系統 SRI(The System of Rice Intensification, 簡稱 SRI)係由法國人 Fr. Henride Laulanie, S.J 於 1983 根據在馬達加斯加協助農民改善稻作技術的經驗而提出的方法。SRI 主要是透過對作物、土壤、用水與肥料在管理上的改變，來增加灌溉稻作之生產量。SRI 發展至今已經超過三十年，推廣的國家已達 53 個國家，臺灣於 2010 年參加推展，被列為第 45 個推廣國家。

近年來在國際灌溉排水協會 (ICID) 年度報告、國際水田與水環境工程學會 (PAWEES) 研究報告及國際稻米研究中心 (IRRI) 等學術性刊物，常可看到有 SRI 之研究成果登出。SRI 現已成為世界性共同推動友善環境的農法，每個國家根據其當地的水文、氣象、土壤、耕作性質及農民習性等有著不同面向的發展成果。

有鑑於 SRI 已成為世界性共同推動友善環境的農法，行政院農委會於 2010-2012 年，成立研究計畫從事實證試驗，以三年的時間將世界 SRI 的技術準則，依照台灣農作環境，確立符合台灣執行的準則。試驗期間承蒙世界 SRI 主席美國康奈爾大學教授 Uphoff 博士及日本 SRI 主席東京大學教授 Yamaji 博士提供寶貴技術指導，將台灣列入世界第 45 個 SRI 經驗國，讓台灣 SRI 經驗得以推廣到世界其他國家。農委會計畫研究報告中指出在 3 年試驗期間，雖然以現行國際 SRI 準則在台灣各地試驗當中可以有效的提升田間灌溉水之生產力，但該準則在後續推廣中卻會遭遇各種適應性的困難及實施上的盲點，尚須配合台灣現行農民耕作習性及農田水利會之灌溉管理制度作調適修正。

2013 年，民間企業甘泉大地研究團隊基於對台灣農業的關懷，繼續在農委會研究計畫試驗地點台南市後壁區進行更進一步的試作研究，獲得增產的成果。臺灣之研究成果透過 Uphoff 博士及 Yamaji 博士的協助，將國際 SRI 準則調整為適合台灣條件的 Taiwan SRI 體制，並共同發表於 2014 年 10 月在台灣高雄市舉開之國際水田及水環境工程學會 (PAWEES) 2014 國際會議，該項重大成果在論文發表時，引起包含泰國及印度等國家與會人員的重視。

2014 年，財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會與社團法人台灣農業工程學會合作成立 2014 年度「都會型農田水利會灌區成立 SRI 稻米產銷專區之研究」計畫，計畫宗旨為落實行政院農業委員會推動稻作強化體系(SRI)之研究成果及友善環境理念，提高農民收益，使農民得到比照公糧收購價格，進而努力提高稻米生產品質，使消費者能食用到安心安全的良質米。計畫之推動理念，贏得熱愛台灣本土環境的成

功企業家繁葵集團之認同，響應本計畫推動理念，簽署合作同意書願意合作以政府保證價格與農民契作，收購經本計畫輔導生產並經檢驗合格之稻穀，自 2015 年開始試作施行。

因應氣候變遷須精進節水技術，為穩定糧食供應須推廣 SRI 技術，為重視食安及農業永續發展須友善環境，生產無毒讓消費者安心食用之良質米，可提高稻米價值及農民收益，因此推展節水與友善環境稻作強化栽培體系（SRI）應是未來發展趨勢。為推展臺灣 SRI，今後臺灣應根據當地的水文、氣象、土壤、耕作性質及農民農作習性等狀況，分地區依不同灌溉水源別及水源豐枯情況，建立推展節水與友善環境稻作強化栽培體系（SRI）之策略，期望逐步適時適地推展。

筆者等有幸參與「都會型農田水利會灌區成立 SRI 稻米產銷專區之研究」計畫之研究，完成建構一套可適合應用台灣水稻灌溉農業環境之「臺灣稻作強化栽培體系（稱為 Taiwan SRI）及友善環境模式」，此模式可推介應用於台灣各地農田水利會灌區，乾旱時期採用省水方式、降雨時期採用蓄水調洪及補注地下水原則，實踐政府引進國際新農業技術 SRI 之推動理念。

二、國際推動水稻強化栽培體系 SRI 情形

自從綠色革命以來，各國專家學者不論在理論上或實際實驗中，均有相當好的成果與成功的案例，雖然在不同階段對世界稻作生產有很大的影響，但就整體生產而言，似乎還有很多國家或地區的稻作生產情況並未獲得全面性的改善，這也就興起世界各國對區域稻作栽培體系強化的重視。目前許多國家的水稻生產面臨水資源缺乏及農耕地減少的問題，如何在這樣惡劣的情形下使每年約 5.45 億公噸的水稻產量增加到 7 億公噸，以滿足 2025 年額外增加的 65 億米食人口需求，將是一大挑戰。

據估計全球到了 2025 年將有 15 至 20 萬公頃的灌溉稻作會遭遇不同程度的缺水，而缺水最直接的影響就是農民會抽用地下水補充灌溉不足，在沒有合理的管制下很容易造成區域地下水位下降，進而對土地形成長久性的傷害。台灣也有地下水超抽導致地盤下陷問題，今後如何減少地下水抽取量是重要課題。

一般對應缺水最直接的想法，就是希望農民採用節水技術(Water Saving Technology)。然而對農民自身而言，節水必須是在預期可取得水源下，有適當的儲存空間且具有將水留到下次使用、做為其他用途或減少灌溉成本等目的，方能誘發節水的動機。所以在區域發生缺水時，農民只在乎自己是否可以得到足夠的水量，水管理者並沒有足夠的誘因要求農民採用節水措施，因而造成節水技術在田間推動的困難。

水稻灌溉主要在確保稻作能得到作物正常生長所需之水量，其餘包括田面蒸發量、土壤滲漏量、田埂側滲及溢流量與輸配損水等，在缺水地區都是應該設法避免發生的水量。因此除了推動田間節水技術外，增加田間蓄存空間及適當的田間管理均能有效提升水資源利用效率。例如在農地準備階段，維護田間水路、翻犁耕作土壤、提升整地精準度及維護田埂等，均有助於減少輸漏水及滲漏損失；在稻作栽種階段則可以利用浸田及錯開期距的方式，降低渠道尖峰用水量，並且縮短浸田、整田及插秧間隔的時間，避免土壤無謂的蒸發及滲漏量；至於在作物生長階段則需教育農民採用淺

水灌溉管理，降低田面湛水深所造成的滲漏水損失，利用間斷灌溉減少水暴露在大氣中的機會，減低田面蒸發量。

目前國際盛行的稻作強化系統 SRI 正是應用了上述原理，使 SRI 不但提升灌溉稻作整體的生產力，更促成了日本提出解決飢餓、貧困及水不足等問題的稻作革命。SRI 係法國神父 Henri de Laulanie 在 1983 年所提出田間稻作栽培的方法，該方法源自於 Laulanie 神父在 1960 年至 1983 年間於馬達加斯加協助農民改善稻作栽培的方法，產量可較當地慣行農法增加 50% 至 100%，而用水量可節省 25% 到 50%。但因當時缺乏理論基礎而被相關研究者詬病。一直到 1993 年 Laulanie 神父根據日本 Katayama 教授的稻作分蘖與根系研究，才提出 SRI 的理論基礎，包括乳苗單株移植以充分利用分蘖優勢；透過乾濕交替用水管理增強根系生長潛力及疏植插秧以發揮大穗優勢。同年美國 Uphoff 教授在「環境與農業」的一系列調查中，認為 SRI 是一種友善環境的作法 (Environment Friendly)，透過 SRI 可以找到農業生產與環境保育的平衡點，因此開始積極推廣，並加入有機農業的想法。

目前在各國實施的經驗裡，SRI 大致可分為 Laulanie 神父在 1983 提出的基本 SRI 及 Uphoff 教授在 2009 所提出的有機 SRI 兩種，其中基本 SRI 原則包括插秧採用發芽後一周左右的乳苗；間隔約 25cm；使用 1 支苗進行插秧；抽穗期之前不湛水，採用間斷灌溉。至於有機 SRI 原則則為採用小苗插秧(或直播)；插秧時避免傷到秧苗的根；插秧時拉開苗的間距；全生育期不湛水；增加土壤通氣性；增加土壤有機質。

對農民而言，採用 SRI 的好處包括少株、稀植減少稻種用量；減少秧苗準備的空間；乳苗移植，可縮短秧田時間；乾濕交替灌溉(Alternative Wet and Dry, AWD)，可以省水省電；乾濕灌溉、中耕等通氣性措施，改善水田生態環境，防止早衰，減輕倒伏和稻熱病；減少化肥，增施有機肥，增肥地力；減少化肥、農藥，提高回歸水品質；提高稻米品質，綠色優質化；增加農友改善稻作技術的動力。

由於 SRI 原則不只可應用在灌溉水稻上，農民也嘗試將這些原則應用到其他作物體系，包括陸稻、看天田(Rain-fed Rice)、小麥、甘蔗、高粱、玉米、豆科、茄子、洋蔥、胡蘿蔔、芥菜及番茄等作物，因此又稱為作物強化栽培體系(System of Crop Intensification, SCI)，農民可透過 SCI 的實施使作物生產環境改善，產量增加。

由於慣行農法(Conventional practice, CP)往往是農民依據當地氣候、水文及土壤特性所調適出來的作法，因此對農民而言，CP 往往較 SRI 合理及容易接受。McDonald 等人就從馬達加斯加等十個國家收集了將近 40 筆的 SRI 資料，再與當地慣行農法的結果進行比較，並沒得到 SRI 在產量上有明顯的優勢。紀錄中包括馬達加斯加實施 SRI 所增加的產量並沒有超過 22%，如果扣除馬達加斯加的紀錄，SRI 甚至是減產的，總計在 35 筆的 SRI 紀錄中，有 24 筆 SRI 的產量記錄比當地慣行農法減少 11% 以上。McDonald 等人並警告在未開發國家以外的地區推廣 SRI 必須特別注意，SRI 事實上並未改變稻作生理上的生產潛能。另外，根據 Moser 與 Barrett 在未開發國家(如馬達加斯加)對 SRI 所作的調查，由於實施 SRI 需耗費相當的人力與耗費推廣作業來改變農民現有作業方式，因此並不建議採用 SRI。

以減少田間水量投入的觀點來看，稻作在灌溉技術上可採用的方法有漫灌、續灌、

濕潤灌溉、乾濕交替灌溉、溝灌、滑灌及噴灌等可供選擇。雖然後者能減少水量的投入，但相對的所需花費的勞力或設施成本也會增加。臺灣輪灌技術已實施 60 年並建立技術經驗，為各地農田水利會因應乾旱灌溉水源水量不足時之灌溉管理措施，其田間灌溉操作為灌水 5 天後維持 2 天乾田狀況，2 天乾田狀況可減少田間滲漏損失，達到節水目的，土壤也增加通氣性，對水稻並無減產現象，與 SRI 所推行之乾濕交替灌溉理論相似。

農民比較關心的是如何省工、省錢及使產量增加，因此這也造成 SRI 在推動初期往往會遭遇到很多困難，但在實際執行之後，由於 SRI 可以使植株壯大、穗粒數增加與飽滿結穗，因此有很多農民在嘗試 SRI 之後，會轉為積極支持 SRI 的使用，進而使田間的水量可以大量的節省。

三、臺灣引進強化水稻用水栽培體系之研究探討

行政院農委會引進的稻作栽培技術 SRI 計畫，強調的是友善環境，有效地節省農業用水，並將水資源廣泛地利用。農委會於 2010-2012 年引入技術進行試驗研究三年，把 SRI 的基本理論及概念引入台灣，並結合台灣稻作生產環境。此外，在台灣更以完整的生產履歷為目標，以確保糧食產量及安全安心的米糧，並追求低成本高產出的生產新技術。期望台灣能建立一套友善環境及節約用水的新技術，並達省水的目的，以期能有效利用水資源。

關於 SRI 在台灣之推動，由行政院農業委員會於 2010 年至 2012 年以「強化水稻用水栽培體系可行性評估及其對水資源之影響計畫」進行試驗研究探討，三年的時間將世界 SRI 的技術準則，依照台灣農作環境，從事實證試驗，已確立符合台灣執行的準則，提出強化水稻用水栽培體系活用原則。計畫報告指出，在用水管理方面，不管是一期作或是二期作，SRI 所建議的淺水間斷灌溉之用水量為最低，然而淺水間斷灌溉之水深往往受到降雨、土壤質地、整地水準、施肥、施藥及除草等作業的影響，無法確實地執行，但在降雨的部分，若農民維持 SRI 淺水間斷灌溉將多餘的降雨排出，不但會降低有效雨量也會使下游排水容量的增加；至於在土壤質地的部份，若土壤滲漏量大(偏砂質)則很難維持田面淺水的狀態，造成農民需增加灌溉次數，增加灌溉操作勞力；在整地水準部份，為達全區低水位的灌溉，除非提高整地水準，否則很難達到全區水分均勻分布的狀態；最後在施肥、施藥及除草作業的配合上，目前農民仍習慣以固態施肥及施藥為主，會利用淹田的方式使肥料及農藥溶解，或讓雜草種子無法固定發芽，因此造成 SRI 的淺水間斷在實施上的困難，未來應可仿效日本，引進液態有機肥料及農藥的田間管理，透過灌溉即可達成均勻施肥及施藥的目的。

台灣面臨氣候變遷，並且常有颱風豪雨及病蟲害的影響，福壽螺危害，稻作普遍採行機械插秧作業，無法採用單株幼苗，農民高齡化推行小地主大佃農，今後如何因應小地主大佃農的發展趨勢，讓農民利用 Taiwan SRI 調適氣候變遷的環境課題，將是下一個階段 Taiwan SRI 重要課題。

四、臺灣推動稻作強化栽培體系 SRI 之經過

2013 年，民間企業繁葵公司及其甘泉大地研究團隊基於對台灣農業的關懷，在農委會研究計畫結束後，支持以農委會 2012 年在台南市後壁試驗地執行研究計畫試驗之原班人馬繼續在該試驗地進行更進一步的深入研究，獲得增產的成果。2014 年，財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會與社團法人台灣農業工程學會合作成立 2014 年度「都會型農田水利會灌區成立 SRI 稻米產銷專區之研究」計畫，計畫宗旨為落實行政院農業委員會推動稻作強化體系(SRI)之研究成果及友善環境理念，提高農民收益，使農民得到比照公糧收購價格，進而努力提高稻米生產品質，使消費者能食用到安心安全的良質米，並以台北市七星水利會灌區為研究對象。

台北地區都市近郊水田隨著都市發展、土地利用邊際效益的轉變及農民勞力老化，原本以稻作生產為主的營農形態，逐漸轉變成「養地」為主的代耕形態。水稻田在整個生產過程中大部份均已委託外地的代耕業者進行操作，收割後的稻穀亦多數以濕穀被外地糧商賤價收購，農民真正從稻作生產過程中所得到的利潤相當低，而在生產過程中幾乎完全無品質管控的機制。有鑑於此，本研究擬落實政府推動稻作強化體系(SRI)之研究成果，使農民得到比公糧收購價格更好的選擇，提高農民收益，進而努力提高稻米生產品質，使消費者能在合理的價格下食用到安心安全的良質米。

本年度研究目標，希透過七星農田水利會灌區 SRI 稻米產銷專區的推動，將此項政府新進農業技術加以落實，藉此達成稻米品質的提升，進而透過代耕作業排程及稻米品質分級收購制度，使農業水土資源得以合理有效利用，並能使消費者在合理的價格下，買到安全安心的良質米。研究成果簡述如下：

(一) 完成「臺灣稻作強化栽培體系 (Taiwan SRI) 及友善環境模式」

完成建構一套可適合應用台灣水稻灌溉農業環境之「臺灣稻作強化栽培體系 (Taiwan SRI) 及友善環境模式」，此模式可推介應用於台灣各地農田水利會灌區，乾旱時期採用省水方式、降雨時期採用蓄水調洪及補注地下水原則，實踐政府引進國際新農業技術 SRI 之推動理念，示意圖如圖 1 及 2。

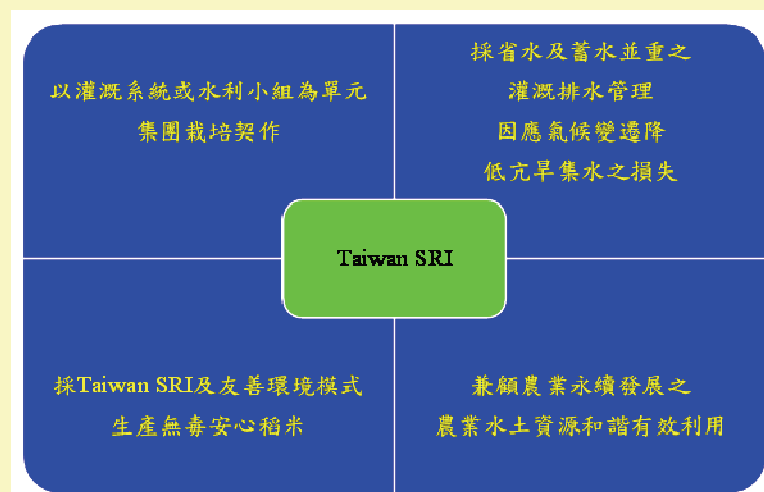


圖 1 稻作強化栽培體系 Taiwan SRI 及友善環境模式

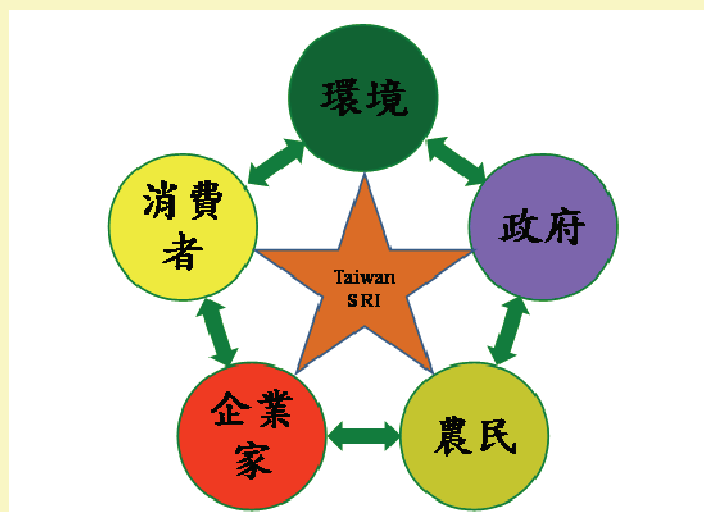


圖 2 Taiwan SRI 關聯系統圖

(二) 協助提供農民比照公糧收購價或更高的 SRI 收購機會提高農民收益

本計畫之推動理念，經與企業洽商，贏得得熱愛台灣本土環境的成功企業家--經營國際醫療器材之繁葵集團劉清繁總裁之認同、讚賞、響應，願意與本計畫合作，以政府保證價格與農民契作，收購經本計畫輔導生產並經檢驗合格之稻穀。合作同意書業於 2014 年 10 月 23 日下午 2 時在經濟部水利署台北辦公室 12 樓會議室，由七星農田水利研究發展基金會董事長周師文、農業工程學會理事長楊偉甫及繁葵集團總裁劉清繁共同簽署完成。預定自 2015 年開始合作施行強化稻作栽培體系 Taiwan SRI 與友善環境模式試作及示範，地點位於台北市七星農田水利會灌區。

(三) 協助讓消費者在合理的價格下買得到 SRI 安全安心的稻米

本研究計畫已參考農糧署之良好稻作規範研訂一套台灣 SRI 的農業新技術 SOP (如圖 3)，計畫推動過程將運用產銷履歷的管控方式，實際紀錄田間稻作的作業事項，監督農民合理化施肥，減少農化肥料和病蟲害防治藥物的使用量，並將生產之稻穀進行檢驗，確定生產之稻穀符合「行政院衛福部米類殘留農藥及重金屬容許量」規定，多重把關，讓消費者食用安心。

(四) 探討七星農田水利會灌區建立稻米產銷專區的可行性

行政院農業委員會農糧署為因應加入世界貿易組織(WTO)，稻米開放進口對我國稻米產業的衝擊，並有效區隔進口與國產稻米之市場，突顯產地及品牌特色，乃積極進行稻米產業結構調整工作，自 2005 年起透過「稻米產業結構調整計畫」項下之「輔導建置稻米產銷專業區計畫」積極輔導於優良稻米產區，具有行銷能力之農民團體或糧商結合轄區內稻農、育苗業者及加工碾製業者等產、製、銷資源，建置稻米產銷專業區，擴大稻米產業經營規模，專業區農民遵行稻米良好農業規範，導入產銷履歷驗證制度，並實施生態化、安全化、標準化的田間作業、管理及記錄制度，生產到銷售嚴格控管，另辦理 CAS 食米驗證，突顯產地及品牌特色並建立永續經營的農業生產環境，因此，專業區生產的稻米，將是符合健康、安全、有保障的台灣優質好米。稻米產銷專業區之遴選條件，由具備下列條件之農民團體及（或）糧商擔任營運主體並負責與稻農契作及營運：

- 1.具協調整合、企劃、行銷能力之農民團體或依糧食管理法辦理 糧商登記之營利事業或團體。
- 2.自備稻米碾製加工相關之設備機具及產銷推廣中心，且具完整明確之財務會計機制與經商標註冊之自有商業品牌。
- 3.參與成員應包括稻農、育苗業者及加工碾製業者、行銷人員等成員。
- 4.2009 年度專業區單期作區生產面積至少達 60 公頃。
- 5.專業區水質及土壤經抽樣檢測須符合安全性。

依農糧署 2012 年統計資料，台北市耕地 3,221.15 公頃，水田面積 1,132.21 公頃，種稻面積 247 公頃，產量 1,011 公噸，每公頃平均產量 4,091 公斤。3013 年第一期作種稻面積 248 公頃，2014 年第一期作種稻面積 248 公頃。種稻地區均屬七星農田水利會灌區，第一期作種稻面積 248 公頃超過上述專業區單期作區生產面積至少達 60 公頃之條件，惟尚須與具協調整合、企劃、行銷能力之農民團體或依糧食管理法辦理糧商登記之營利事業或團體合作才能促成。七星農田水利會要建立「七星米」或「關渡米」之品牌是可行，但尚需與企業或團體建立合作夥伴關係。結合宣導友善環境的理念思維，籲請響應計畫理念的企業家及消費者認購本計畫生產之稻米。

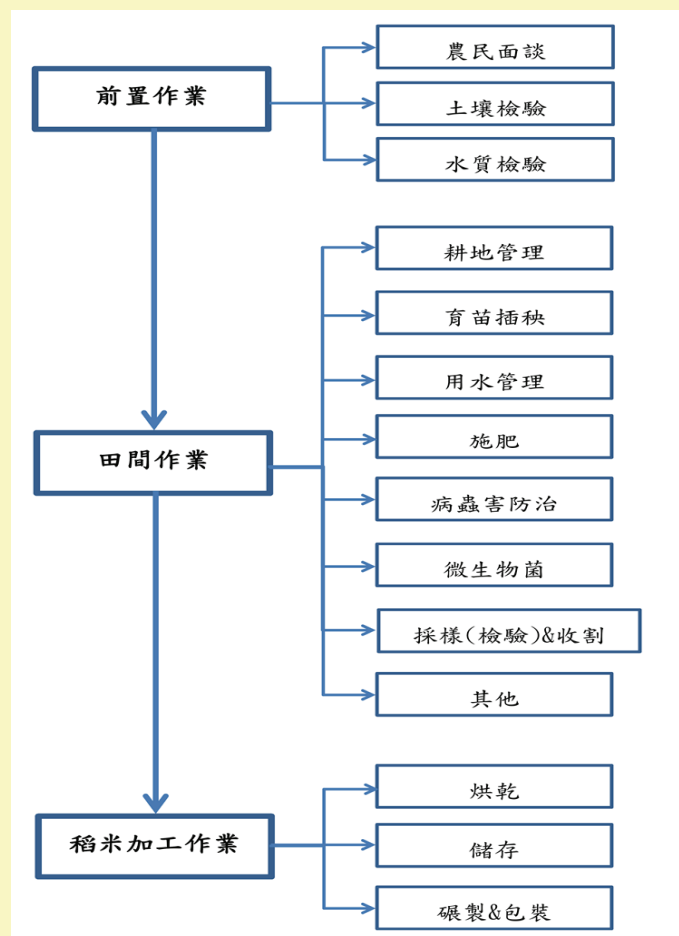


圖 3 台灣 SRI 的農業新技術 SOP

五、臺灣稻作強化栽培體系 (Taiwan SRI) 及友善環境模式

(一) 融合理念

新建構之臺灣強化稻作栽培體系 (Taiwan SRI) 與友善環境模式設計，係融合下列之理念：

1. 世界稻作革命 - SRI 省水高產技術，
2. 臺灣稻作灌溉最佳管理技術，
3. 與環境和諧友善之農業水土資源永續利用理念，
4. 雨期善用水田蓄水調洪及補注地下水功能，
5. 推動友善環境減少施用化肥與農藥之稻作經營管理，
6. 配合稻米產銷專區集團栽培契作政策模式推動，
7. 運用水利會組織功能協調促成農地集團栽培。

(二) 模式特色

臺灣強化稻作栽培體系與友善環境模式之特色為：

1. 因應氣候變遷水文豐枯情況，並依不同灌溉水源系統特性，採行機動調適作灌溉排水管理。
2. 農田水利會參與協調農民，促成集團栽培或契作。
3. 雨季善用水田發揮蓄水調洪功能。
4. 從事友善環境耕作，輔導化肥及農藥的減量。
5. 順應臺灣現行耕作習性，逐步改進技術。

(三) 實施效果

臺灣強化稻作栽培體系與友善環境模式實施之預期效果，包括：

1. 水稻栽培期間，加強發揮水稻灌溉農業之三生功能，全民共享。
2. 節省農業灌溉用水，因應亢旱並可提供支援用水。
3. 雨期蓄水調洪及涵養補注地下水，將多餘逕流水轉蓄存於地下水層，作為地表水源不足時之救命水源，有助於農業水土資源永續利用。
4. 因應氣候變遷調適，機動作灌溉排水管理，減低旱災及水災之損失。
5. 節省農業生產成本，生產無毒稻穀，提高產品價值及出售價格，增加農民收益。
6. 實施稻米生產及品質管控，消費者可安心買到無毒良質米，願意認購。
7. 農民友善環境之經營方式，贏得關心台灣環境永續發展之企業響應，願意以政府保證價格收購之價格全部認購表示支持。
8. 綜合效益：農民收益提高、消費者安心、政府政策落實及環境保育因應氣候變遷等四贏。

(四) 臺灣 SRI 之灌溉用水策略

在灌溉管理方面，針對各類水源特性，採因地、因時制宜方式，因應氣候變遷之水文豐枯情況，機動作灌溉排水管理調適。建議由各農田水利會配合地區當時之農業水資源供需情況，作適切的灌溉排水管理，使農業水土資源和諧並有效利用，提升稻作栽培的產量與品質，增進水資源利用效率與效益，並發揮水田蓄水調洪及補注地下水功能，蓄存豐水期逕流水補注地下水，使地下水成為未來遇非常乾旱時

之救命水源。

台灣各農田水利會之灌溉水源分由水庫供水、取用地下水及河川取水等三類型灌溉系統，不同水源情況之灌溉經營策略不同，所採策略分別建議如下：

1. 在水庫供水及取用地下水灌溉地區

在此兩類灌區，水源水量是珍貴之資源，並可節水蓄存於水庫或地下留用，為節省灌溉用水量，第一期作及第二期作均可直接採 SRI 原則，以最省水方式以乾溼交替輪灌方式計畫供灌，並配合降雨情形充分利用有效雨量。湛水濕田後乾田日數可維持 2 天，田間土壤水分剛好達田間容水量，對水稻產量不會有減產影響。但乾田日數維持太長，田面會發生龜裂，如龜裂深度超過水田之硬盤層，下次之灌溉用水量會增加，反而不省水，須加留意。

重視土壤通氣，促進根部伸長方面，在水稻栽種期間，於有效分蘖終期至幼穗形成始期前，為利土壤通氣促進根部伸長及抑制無效分蘖，台灣採取排水曬田之作法，農民均已熟悉並列為慣行，應繼續採行。此外，在成熟後期至收割前，為讓收割機械能進田收割操作不會沉陷，也必須排水放乾田區。

2. 在河川取水供灌地區

第一期作插秧及生育初期，河川水量屬枯水期，插秧末期屬灌溉用水之尖峰期，須採節約用水方式讓全灌區均能順利插秧完畢。

台灣地區在 5-6 月期間為梅雨期，通常會有梅雨，可實施深水湛水灌溉，減少田間灌溉操作次數及灌溉操作勞力，深水灌溉並可抑制雜草及土壤病蟲害，此外也可提高有效雨量利用率，但遇乾早年，梅雨期晚到或梅雨量較少時，則形成乾旱缺水，當灌溉水源水量不足灌溉計畫用水量時，農田水利會須以節水原則加強灌溉管理，採減少灌溉水深方式或採延長灌溉期距方式，使田間呈現濕乾交替之情況，以輪流灌溉公平配水至每一田區，共度過缺水難關，維持全灌區之農業生產，所採行方式及精神與 SRI 省水方式相近。

第二期作於 7-8 月前完成插秧，台灣 7-10 月間屬颱風期，颱風來時帶來強大風速及豐沛降雨，採深水湛水灌溉可減低植株受風害程度，抑制雜草及土壤病蟲害發生，減少田間栽培除草及施農藥作業成本，並促進水循環活動補注涵養地下水，降豪雨時，善用水田當作平地水庫，發揮水田蓄水調洪之生態功能，降低下游地區之排水尖峰流量，發揮防洪功用。

至於重視土壤通氣促進根部伸長方面，在水稻栽種期間，於有效分蘖終期至幼穗形成始期前，為利土壤通氣促進根部伸長及抑制無效分蘖，台灣以往採取排水曬田之作法，農民均已熟悉並列為慣行，應繼續採行。此外，在成熟後期至收割前，為讓收割機械能進田收割操作不會沉陷，也必須排水放乾田區。

SRI 之操作管理模式在國內外試驗中，確實是可以達到省水的目的。因應台灣雨量豐枯兩極化的惡劣環境，稻作用水管理的調配與運用更為重要。依照土壤特性適度地調整水田地湛水深度，並增加多曬田，亦為 SRI 管理原則之一。

透過七星農田水利會灌區 SRI 稻米產銷專區的研究推動，建構一套可適合應用台灣水稻灌溉農業環境之「臺灣稻作強化栽培體系 (Taiwan SRI) 及友善環

境模式」，協助農民執行 SRI，並尋求企業家來收購稻米，使稻農收益提升，進而讓消費者買得到 SRI 所生產安全安心的良質米，建立台灣稻作三贏目標的新指針。加上因應氣候變遷水文豐枯情況，並依不同灌溉水源系統特性，採行機動調適作灌溉排水管理，雨期採蓄水調洪及涵養補注地下水，將多餘逕流水轉蓄存於地下水層，作為地表水源不足時之救命水源，有助於農業水土資源永續利用。臺灣稻作強化栽培體系之綜合效益，可創造農民收益提高、消費者安心、政府政策落實及環境保育因應氣候變遷等四贏。

(五) 加強福壽螺物理性防治策略

臺灣稻作強化栽培體系 (Taiwan SRI) 及友善環境模式之推動，福壽螺能否有效防治是重要關鍵，尤其針對少苗及乳苗建議，亟待解決。福壽螺在熱帶及亞熱帶地區造成了嚴重的農業與生態危害，已被世界自然保護聯盟列為全球 100 種惡性外來入侵物種之一。福壽螺入侵台灣，危害農作物多年，尤其是水稻，造成農業經濟損失重大，估計每年耗費台幣 2 億元於防治福壽螺工作上，合計有形與無形的社會成本高達台幣百億元。

以往防治福壽螺多使用化學藥劑消滅，雖可有效控制部分的福壽螺災害，但多年來仍無法徹底防治。為推動符合友善環境之台灣 SRI 栽培技術，須加強採用物理性防治技術清除。

福壽螺喜食嫩葉幼苗，對水稻田危害多集中在秧苗成活期至生長期間，根據研究，福壽螺在水田無水乾燥土壤狀況下爬行力低，在本田期間無湛水的乾田日數期間雖呈潮溼土壤狀態下爬行力亦低，福壽螺喜歡棲息於水深高於螺高的區域，在低於螺高之田區不願爬行或可能鑽入泥土內。因此綜合相關文獻及實驗結果，提出四不(進不來，爬不動，吃不到，啃不了)三好(好抓螺，好維護，好環保)的物理性防治管理策略。物理性防治對土壤、水中其他生物及農民在田間之工作環境並不會造成藥害或汙染，對生產之稻米因無滅螺藥害之殘留，可以讓消費者食用上更安心，清除之福壽螺沒有藥害之疑慮，可轉做飼料、肥料或其他用途使用，從而節省福壽螺防治成本。建議今後農民加強採行物理性防治策略及管理方法，逐年減少化學藥劑之施用。加強物理性防治策略及管理方法建議，如下述：

1. 整田灌溉用水前，清空灌溉渠道渠底福壽螺

從源頭開始管理，建議每期作於整田灌溉用水之前，在灌溉渠道處於乾燥情況時，全面清除積存於溝底福壽螺，避免這些福壽螺於通水時隨著水流進入田間危害。

2. 渠底清除福壽螺後，在灌溉渠道渠首段增設攔污柵及攔螺網袋

在水稻田區給水口上游之灌溉渠道，設置攔污柵及二道金屬網袋，以攔阻通水灌溉時再次由河川水源流入之較大污物及福壽螺體進入田區。原則上，網袋內福壽螺螺體於每次灌溉通水結束後進行清理，定期檢視時若發現數量過多，則先清理袋內福壽螺後，再繼續擺放 (每個給水口最好有 2 組網袋可供替換)。

3. 在田區進水口採用較小網目設備，過濾及收集灌溉水內可能夾帶的螺卵及小螺

福壽螺之卵呈圓形，直徑 2mm，因此在水田取水口施設網目小於 2mm 之

濾網袋，進行過濾及收集，避免卵塊隨灌溉水流進入水田中，濾網呈網袋狀，可以增加螺卵及小螺過濾量及減少濾網更換頻率，濾網以木頭或金屬等硬性材質作為支撐框架，框架前設攔污柵攔阻進水口雜物進入濾網袋而不影響取水量（如圖）。在田區排水出口，也應設置簡易之類似過濾裝置，避免福壽螺從排水出口進入田區。

4. 完成溼田整地後，在田區四周田埂旁挖導引水溝，誘集福壽螺棲息，方便清除
在整地完成後，建議在田區四周田埂旁邊，用開溝機挖設寬約 30cm，深約 10~15cm 之淺導引水溝。插秧後 20 天內，盡可能每日檢視與撈除導引水溝內福壽螺；20 日後則視實際狀況不定期機動撈除。導引水溝可以誘集福壽螺棲息，農民可以很方便地站在田埂手持撈網清除福壽螺。採取淺水灌溉時，導引水溝也可導引灌溉水流動，提高田間灌溉效率。

5. 插秧用 14 日齡以上秧苗，減少秧苗在田間被啃食時間與機率

福壽螺喜食嫩幼秧苗，因此插秧採用 14 日齡以上秧苗，減少秧苗幼嫩葉子可能在田間被福壽螺取食的時間與機率。插秧秧苗每叢採用 3~5 株，萬一被害蟲或福壽螺取食 1~2 株，還有 1 株可以成活，減少補插秧苗的數量與頻率。

6. 插秧後 20 天內利用淺水灌溉及乾田操作，抑制成螺取食新苗機率

以往生長初期之灌溉常採取維持湛水深 3~5cm 的作法以減少灌溉次數，可以省人工。因湛水深 3~5cm 是福壽螺喜歡棲息活動之水深環境，前期作殘留棲息於田間之福壽螺都爬到田區啃時剛插下之秧苗，造成嚴重缺株。福壽螺不喜歡在無湛水或湛水深低於螺高之田區土面上爬行，基於福壽螺防治目的，建議插秧後 20 天內實施淺水灌溉（水深約 2cm），淺水灌溉可以抑制與減緩成螺爬行機率；此外，增加乾田日數（1~2 天），可抑制福壽螺爬行。上述 2 種作法都能減少福壽螺取食新苗的機率。所謂淺水灌溉為每次灌溉灌至湛水深約 2cm 即停止灌溉，經過田間蒸發散及滲漏作用至無湛水狀態，繼續維持乾田狀態 1~2 天後，再進行下一次灌溉至湛水深約 2cm。

7. 防螺設施維護管理

原則上，灌溉渠道渠首段攔污柵及攔螺網袋內福壽螺螺體於每次灌溉通水結束後進行清理，定期檢視時若發現數量過多，則先清理袋內福壽螺後，再繼續擺放（最好有 2 組網袋可供替換）。在灌溉通水期間與結束後，定時檢視田區進水口較小網目設備，是否阻塞通水或排水，並作適當處理。插秧後 20 天內，盡可能每日檢視與撈除導引水溝內福壽螺；20 日後則視實際狀況不定期機動撈除。

8. 灌溉水路渠底採用複式斷面設計

根據本研究於田間灌溉渠道調查觀測結果，發現渠道斷水後之福壽螺會聚集在渠底水分較多的地方。所以建議在新設或更新改善農田灌溉水路時，將渠底設計改為具有淺槽之複式斷面，使斷水後淺槽內會有一點水深，誘使福壽螺聚集於淺槽內，方便無水時集中清理，提高清除效率與節省人力。

綜上物理性防治策略及管理方法重點，包括在灌溉水路渠底採用複式斷面，提高清除福壽螺效率與節省人力；在渠道渠首段設置攔捕福壽螺螺體之網

袋；在田區進水口採用較小網目設備過濾福壽螺幼螺集及卵塊，以有效防堵福壽螺進入田間危害之機會。在田間灌溉管理技術上，利用導引水溝誘集福壽螺棲息，以利清除；插秧選用 14 日齡以上秧苗並在插秧後 20 日內實施淺水灌溉及乾田操作，抑制福壽螺在水田之爬行活動，降低危害秧苗機率，以減少補苗操作成本，從而降低農民耕種成本。

六、結語

今年春旱缺水，將由水庫供水灌溉之水稻田，採公告停灌休耕面積共達 4 萬餘期作公頃，估計減產糙米超過 12 萬公噸，所幸今年庫存稻米尚豐，尚不影響糧食安全供應。但水田種水稻過程，具有顯著的生產、生態及生活等方面之三生功能，政府公告停灌休耕雖對農業耕作者有補償，但對生態及生活等方面之損害則未有補償或替代措施，仍引起批評，尤其對代耕業者、大佃農、專業有機農等造成生活上之衝擊，新聞媒體關心。今後氣候變遷發生乾旱缺水之機率將會增大，可考慮採行比現行輪灌更省水之 SRI 技術，減少公告停灌休耕面積，農業工業共存共榮，共度缺水難關。另一方面，今後氣候變遷發生豪大雨洪水之機率也將會增大，因此雨季可考慮善用水田具有蓄水調洪及涵養補注地下水之功能，將多餘逕流水轉蓄存於地下水層，作為地表水源不足時之救命水源，藏水於農，有助於農業水土資源永續利用。

福壽螺防治非一蹴可及，建議應由政府農業單位與各地農田水利會合作指導農民，動員各方力量與資源共同合作，全面加強採行物理性防治方法逐步減少化學藥劑施用量及施用頻率，甚至不用施藥，達到友善環境的目標，讓消費者食米更安心，耕地土壤能永續農業經營。

臺灣稻作強化栽培體系之綜合效益，可創造農民收益提高、消費者安心、政府政策落實及環境保育因應氣候變遷等四贏。

公共電視現場訪問
解說水田蓄水調洪補注地下水功能



七、謝誌

本研究對財團法人台北市七星農田水利研究發展基金會之經費支助及甘泉大地實業公司研究團隊相關人員之協助，謹申謝忱。

投稿 104.04.17
校稿 104.04.28
定稿 104.05.04