水稻節水栽培之可行性探討(一)
水分消耗與節水空間

◎ 農試所農藝組　陳榮坤　楊純明

一、前言

臺灣地區位處於副(亞)熱帶地域，又因位於亞洲大陸東南邊緣，四面環海，在氣候分類上被歸屬亞熱帶海島型氣候。在常態氣象平年時，周年溫暖潮濕，平均年降雨量可達 2,510 公釐。雖然豐沛的降雨(水)係臺灣地區水資源的主要來源，可惜雨量在時間與空間分佈上卻極不平均，不僅形成明顯的豐、枯水期，而且南北迥異。加上河川坡陡水急，很快流入大海而不易保存，以及近年來聖嬰年、反聖嬰年等不規則氣象現象的交迭出現，使得降雨頻率與分佈混亂而難以預測，總此造成臺灣地區水資源的不穩定性與不確定性。

另一方面隨著國內人口的持續成長，工商業的蓬勃發展，以及社會經濟的興盛繁榮，大幅產業結構的變動，引發了水資源的分配運用問題。當經濟重心自農業移轉至工商業後，工商業的用水需求急劇增加，在相互競爭水資源情況下，排擠了常年來大量使用水資源的農業灌溉用水。此一難題，除了突顯國內水資源利用的捉襟見肘景況，也彰顯出「農業水資源合理化利用」在現行國家經濟發展上的重要性。由於水資源被視爲現階段臺灣工商業發展和滿足民生需求的根本，因此農業生產勢必採用節水栽培並提高水分使用效率與效能，才能迎合國家社會發展的實務要求。換言之，農業生產必須在有限的水資源供應下獲取最大的生產效(收)益，以最少用水發揮最大限度的生產與產值。

水稻是目前臺灣地區栽培面積最廣而產值最高的糧食作物，稻米生產被公認具有生產、生活與生態等三項功能，也富含國防安全、穩定民生及延續民俗傳統等多元意義。只是現行水稻湛水栽培耗用大量水源，成爲農業灌溉用水的最大宗，因而其灌溉作業及用水調節常受到各界質疑，普遍認爲應有調整改進的空間。其實在農業灌溉用水當中，有 64 % 是可完全回收的“活水”，因爲無論係補注地下水源(66%)或回歸地面水源(34%)於溝渠、河川、湖泊、大海等，均爲自由流動可被人類直接利用的水源。另外的 36% 當中，有 95% 以上經由地面蒸發及作物植體蒸散進入大氣，貢獻於調節天氣、氣候及增加降水機率，亦再生入地球的水資源庫；僅有 5% 眞正應用於作物生產流程中的構成物，部分成爲食物，部分轉成腐植質、地面殘留物或燃燒回歸大氣。因此，縱使農業灌溉用水表面上消耗大量的水資源，實際上絕大多數(>95%)仍然回流地球的水資源庫中，被循環再生與再利用。

儘管如此，本文依然站在客觀的角度，研議水稻栽培的水分消耗、節水空間與可行策略，期以有助於未來開發合適臺

作　　者：陳助理研究員榮坤
聯絡電話: 04-23302301-144

灣地區農業情境的節水栽培技術，善盡研究人員的職責。

二、水田灌溉與水稻生長

在水稻栽培體系中，水的效用可概分爲二部分，其一爲生理層面，其二爲生態層面。從水分生理的立場，水是稻株生長的必要元素，進行光合作用的材料，也是生理生化反應的介質與溶劑，親水性化合物的載具。水亦是植體生長時細胞膨壓的驅動力，支撐植株的鏈結材質。當稻株生活在多變的環境時，水是調和體溫的動源，維持植體於合理溫度範圍。所以，當水分供應不足時，由輕微至嚴重，稻株可能發生代謝異常、生長停滯、植體凋萎乃至植株死亡等景況；而當水分供應過量時，將使得根部無法正常呼吸，妨礙常態吸收轉運功能，導至植體脫水甚至死亡。

從生態面言，湛水栽培方式可使水稻獲得較大的環境調節能力，具有緩衝低溫寒害或高溫熱浪危害的效果。湛水的水量也可緩和驟起的強風或季節的盛行風，防止或減輕稻株倒伏。湛水與晒田的交互措施，有利於土壤中的通氣性與氧化還原狀態，提高營養元素的有效性。此外，湛水狀態有抑制雜草發芽的功效，減少稻株生育前期的病蟲害，間接助益於水稻生長。

再者，不同水稻生育期對水分的需求不盡相同。秧田準備及本田整地時，需要大量灌溉水，以提供種子發芽及幼苗生長良好環境。秧苗移植成活後，水稻將經歷分蘗期、分蘗盛期、幼穗形成期、孕穗期、抽穗開花期及成熟期等不同階段，不同生育期對水分的需求程度並非一致。一般而言，以成活期、幼穗形成期及抽穗開花期對水分的需求最高，分蘗盛期及孕穗期次之，分蘗後期和成熟期的需水量最少。而且，不同生育時期缺水對產量所造成的影響不一，又因品種而異，惟不同時期對水分的敏感度最終可反應在產量表現。例如， De Datta 等人 (1973)曾以 30 個水稻品種進行不同生育時期的缺水試驗，發現不同水稻品種之產量對缺水的敏感度可分爲三大群；第一群的 10 個品種，營養生長期缺水較生殖生長期缺水影響產量；第二群的 14 個品種，生殖生長期缺水較營養生長期缺水影響產量；第三群的 6 個品種，生殖生長期缺水對產量影響非常嚴重。 Bouman and Tuong (2001)試驗結果也指出，不同品種間在相同生育期下，產量對同一缺水程度的敏感度並不相同。

顯而易見，栽培水稻的節水策略應從品種開始，清楚釐定各品種的水分利用效率，對單位用水量的生產效率，再依生育期不同計算其需水量。依此原則，勢必將以往較爲粗放的灌溉方式轉化爲精準的用水管理，灌溉不但要求適時適量，更要採用綜合評估作物需求及環境條件後的精算數字準確的供應水量。

三、水田中的水分消耗與節水空間

灌溉用水中眞正被稻株生長所利用的生理水分比率甚少，低於 5% 。進一步來說，水田中的水分來自於灌溉(irrigation)、內向滲流(seepage inflow)、降水(precipitation)及虹吸升流(capillary rise)等，而分別以水平的逕流(runoff)、溢流(drainage)、外向滲流(seepage outflow)和垂直的滲漏(percolation)、蒸散作用(transpiration)、蒸發作用(evaporation)等型式離開。因此，水稻生育全期的需水量將受到土壤種類、氣候、水稻品種、栽植期間及栽培方法等因素影響，任何一項改變，皆將牽動水分的消耗或流失。

所謂田間需水量(water requirement on field)係指作物自播種(或插秧)日起至成熟

收穫止，爲維持植株正常生育所消耗的總水量。以水稻言之，稻田的需水量以降雨及灌溉水爲最主要的二種來源。當雨水及灌溉水進入稻田後，將可能以稻株蒸散、田面蒸發、側滲流(seepage)、垂直滲漏及田面逕流或溢流等五種方式流失或消耗，其空間分佈如圖一所示。

(一)稻株蒸散

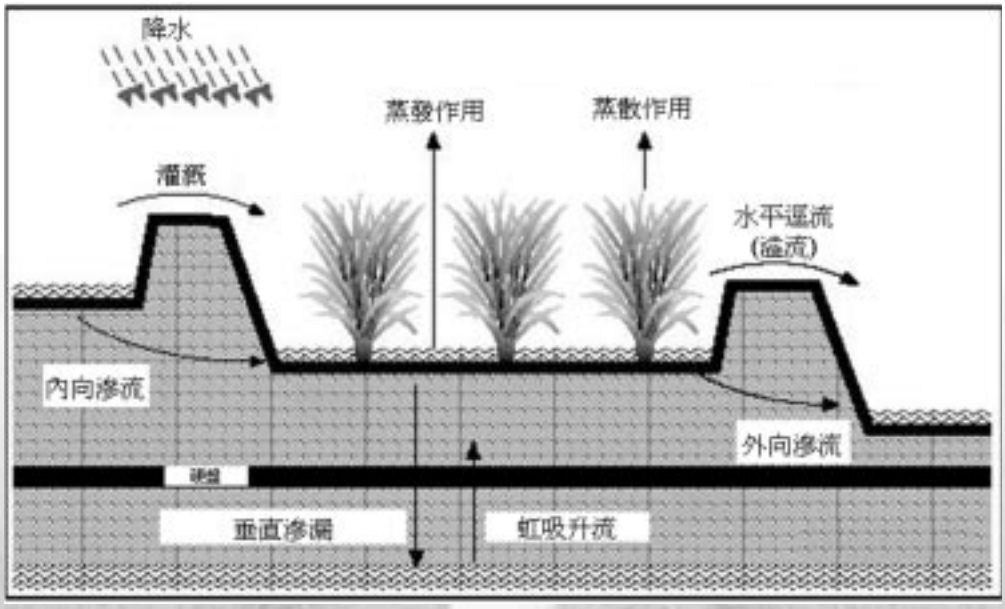
稻株之蒸散量係指水稻植體內水分以氣體形態自氣孔、皮孔及表皮細胞向空氣中逸失的量。蒸散量的大小隨著稻株生理需求、形態改變及環境變化而有差異。例如，氣孔數目、絨毛多寡、生育時期及稻身面積等品種特性，氣溫高低、日照強弱、時間長短、風速大小、濕度升降、土壤水分狀態及土壤質地等環境因素，都會影響水稻蒸散量。爲期降低稻株蒸散量，除了依照品種特性愼選低蒸散量的品種之外，栽植地點微氣象的調節及氣孔開度的調整是二條可行途徑，前者爲物理性的人爲改進措施，後者屬化學性的藥劑處理。

(二)田面蒸發

田面蒸發量爲水分以氣體形態自水面或土面逸失於空氣中的量。同樣的，可能會受到氣象因子、品種特性、栽植密度、灌溉方法、土壤質地及土壤水分狀態等條件的影響。當水稻族群葉面積伴隨生育進展而增加時，對地面的覆蓋率也逐漸升高，因此蒸散量上升而蒸發量下降。由於水分蒸發阻力的減少，湛水狀態的田面蒸發量較趨近水分飽和的土面蒸發量爲高，因此維持於適當土壤水分狀態將有助於降低田面蒸發量。又土壤理化性質及土壤質地也影響水分的蒸發，通常土壤團粒結構佳者保水性較優，質地之粘粒含量愈高者保水力較大。所以，愼選土壤作爲水田，可以減少田面蒸發量。

(三)側滲流與垂直滲漏

當田面在淹水狀態下，因爲重力及水壓的關係，土面上及土壤中的水分將橫



圖一、稻田中水分的平衡狀態。(取自 Tabbal 等人， 2002)

(側)向滲流及下方滲漏。在相互毗鄰的大面積稻田，地形平坦時，田間的橫向滲流趨近於零，主要爲向下的滲漏。垂直滲漏則受到土壤質地、土層構造、地下水位、灌水深度、土壤水分含量、地形地勢、水稻生育時期及晝夜差別等因素影響。在土壤粘粒含量高、表土下有硬盤(hard pan)、地下水位高、湛水深度淺、地勢平坦、生育旺盛期及白天等情況下，單位時間內的滲漏量較低，尤以土壤質地及層次構造的影響最大。而在飽和土壤水分狀態及土壤孔隙間無重力水存在時，滲漏量趨近於零；反之，土壤持續乾旱致使表土水分含量低於下層底土水分含量時，底土水分可藉由土壤毛細管虹吸作用，由底土往表土移動，使得滲漏量轉變爲負值。因此，欲控制側滲流與垂直滲漏，必須注意田間設計、農地土質選擇及灌溉方法等。

(四)田面逕流或溢流

當灌溉水深超過田埂高度時，將造成灌溉水溢出田區流失。最直接的因應做法，就是注重田埂平整度及高度，隨時調整灌水深度。因此，田區管理者對溢流的多寡扮演關鍵角色，有經驗的農場管理人員即可避免無謂的溢流發生。

一般言，稻田灌溉水的消耗以垂直滲漏爲主因，經濟灌溉原則在於減少滲漏量，卻又能保持水稻的正常生育與產量。最經濟的灌溉方法將視農地、氣象環境、品種、栽植方式及灌溉方法而異，在不影響生育需求下，採行適期、適法的灌排水管理，儘量減少滲漏量及蒸發量，就有機會節省田間需水量。陳等(1998)以砂質粘壤土進行盆栽水稻的耐旱性評估，發現無論一、二期作水稻， 10 天的灌溉期距不影響水稻產量。

四、結語

欲探討水稻節水栽培的可行性，或進一步開發節水栽培技術，首要之務在於充分瞭解稻田水分消耗的途徑，然後再試予評估可能的節水空間。由本文的整理說明，指出水稻節水栽培的可行方向與潛力，更重要的是任何節水栽培體系都必須確保可接受的產量及品質前提下實施才具意義和價值。

最後，再提出幾點國內未來可行的研究方向，其一，直接自種原庫中篩檢適當生產質量的耐旱性稻種，種植於水源短缺地區，以維持可耕地適量的稻米生產。其二，評估現行主要水稻栽培品種之耐旱性，篩檢對缺水較鈍感者種植於各合適地區，或強化品種耐旱能力，以立即減少灌溉用水解決水源分配難題。其三，研發提高水分利用效率及單位水分生產效率之節水技術，節約灌溉用水量並提高水分利用經濟效益。其四，檢討現行灌溉作業、期距及方法，降低非必要的水分浪費及消耗，打破農民根深蒂固的舊觀念，重新建立最佳化的灌溉制度。

五、參考文獻

陳清田、陳錦嫣、溫英煌、劉景平。 1998 。嘉義技術學院學報。 56:39-50 。

盧守耕。 1956 。稻作學。正中書局。台北市。

Bouman B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Agricultural Water Management. 49:11-30.

De Datta, S.K., W.P. Abilay and G.N. Kalwar. 1973. p.1-18. In: Water Managerment in Philippine Irrigation Systems: Research and Operations. IRRI, Los Banos. Philippines.

Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman, S.I. Bhuiyan, E.B. Sibayan and M.A. Sattar. 2002. Agric. Water Manag. 56:93-112.