



水稻深水灌溉可行性之先期研究

Preliminary Study on the Feasibility of Deep Water Irrigation in Paddy Fields

國立台灣大學生物環境系統
工程學系教授

甘俊二

Chun-E. Kan

國立台灣大學生物環境系統
工程學系博士班研究生

陳鈞華

Jen-Hwua Chen

國立台灣大學農業工程學系
碩士

黃昱舜

Yuh-Shueen Hwang

摘 要

台灣以「米」為主食，地處在亞熱帶區域，雨量充沛、高溫多濕，故在有水源之地不論平原或坡地，均盡量栽培水稻田。行政院農業委員會一直提倡種水政策，也是本著水田所具有之三生概念，主要為善用水田之蓄水滲透功能，利用現成之取水、引水灌溉系統，將多餘河川逕流水引入水田；或將休耕水田田埂加高，增加蓄水容量蓄積雨季降雨，藉土壤之透水性滲透補注地下水。水田休耕時，可盡量增加湛水深；種稻時，在不影響糧食生產的狀況下，提高湛水深度，所蓄積在水田面積中之水量，無形中就是水資源利用最佳的選擇來源。以台灣目前現有水田面積 35 萬公頃，田間蓄水深度由 6 公分增加至 25 公分，所蓄存於農業水田內相當於有 665,000,000 立方公尺之水量。吸取日本水稻深水栽培的概念，在配合台灣一般水稻種植，本實驗研究利用在台大農場之滲漏計，分成 A 區(淺水)、B 區(深水 1)及 C 區(深水 2)進行實驗性之研究探討。針對水稻不同生長期把淺水區及深水區控制不同之水深，藉由深水高度抑制其分蘗數多寡，在不影響糧食生產及水稻生育發展，藉由實驗佐證水稻深水灌溉之可行性，結合水資源之利用開創台灣農業多功能之前景。

關鍵詞：水稻深水栽培，水稻深水灌溉。

ABSTRACT

Rice is a major food in Taiwan. In Taiwan it's full of rain ; high temperature and the moist climate in subtropical zone. No matter what plains and sloping fields should cultivate paddy fields in the source of water. The Council of Agriculture in Executive Yuan always promotes the policy of ponding water in paddy fields which have the

concept of three style functions. The main function of storage and seepage uses well in paddy fields that apply natural irrigation system of demanding water. It will induce excess river runoff to paddy fields or increase boundary highly for sabbath of paddy fields. It will increase storage volume in rainy season and permeate groundwater recharge by soil's permeability. Sabbath of paddy fields can increase water depth as possible. We can increase water depth when growing paddy rice without reducing foodstuff production condition. The water volume stored in paddy fields is the best choice of water resources. There are about 350 thousand Hectare paddy fields in Taiwan now and the storage of water depth in paddy fields increase to 25 centimeter from 6 centimeter. The water volume of storage in paddy fields have 665,000,000 cubic meter. This research refers to the experience of paddy rice on deep ponding cultivation in Japan and the concept of paddy fields growing in Taiwan. This search does experiments in Lysimeter of NTU and divides it into three parts, A(shallow water) 、B(deep water 1) and C(deep water 2). And this research controls different water depth and tillers between the areas of shallow water and deep water in different growing periods of paddy rice. It can prove the feasibility of paddy rice on deep water by experiments without foodstuff production and paddy rice reproductive development and then to combine with the utilization of water resources and to look into the prospect of agriculture in Taiwan.

Keywords: Paddy rice deep ponding cultivation, Paddy rice deep water irrigation.

一、前 言

加入 WTO 是我國經濟發展必然要走的路，然而加入 WTO 需大幅撤除關稅與非關稅貿易障礙，因此對於部分保護較高，競爭力較低的產業勢必造成相當的衝擊。以稻米而言，加入 WTO 後由於競爭力低，水田被迫勢必減少，然而水田對國家安全、國土保育等具有其他產業所不能取代的地位，且不易回復，因此未來應適度的調整農地結構。

本文之主要目的，擬配合農委會種水政策之推動，針對有關水稻深水灌溉相關之技術從事研究，深入瞭解並評估台灣實施水稻深水栽培之可行性，利用其較為粗放且簡便之灌溉配水管理，維持原有的糧食生產，提高蓄存在田間水量的利用率。對於枯水季節長的台灣地區，深水灌溉似乎是一個極端矛盾之概念。然而縱觀近年來水稻的栽培面積逐年下降，由民國 51 年的 79 萬公頃，減少至現今的 35 萬公頃，預期我國加入 WTO 之後，水稻栽培面積將會再減少。針對僅餘的水田執行深水栽培，應不致產生水源不足之窘境。

過去曾經進行過跟深水栽培類似之田間實

驗，例如超量灌溉就是，以下僅就二者作一簡單之說明，以資區分：

- (1)超量灌溉：其作法是將區域內之可用水量盡量引入灌溉田區，藉由灌溉水之大量引進來改善區域之環境，其田間水深並未加以控制
- (2)深水栽培：其作法是控制水田之灌溉水深，配合不同生長時期之需水特性、田區土壤等立地條件以水深高度控制水稻分蘖數，除了研發提升稻米較佳之質與量外，但也兼具超量灌溉的優點，使水資源有效蓄存利用。

本文為深入瞭解水稻深水栽培之技術，特別蒐集了國內外相關文獻資料及報告，在台大農場滲漏計實驗田(Lysimeter)種植水稻，田區共三塊，每塊面積 6 平方公尺(長 4 公尺、寬 1.5 公尺)，田埂以混凝土砌成，形狀規模均勻，坐向呈坐北朝南，田區四周有塑膠布包圍可以不考慮天然之降雨，由水龍頭引自來水充作灌溉用水並控制水深的變化，圖 1 為滲漏計之實際圖。插秧之前先使土壤泡水浸軟一星期左右，並於 3 月 14 日第一天插秧開始為期 120 天左右的生長期距，希望藉由開始種植、觀測，並擬定以下各項之工作項目，藉以完成計畫。

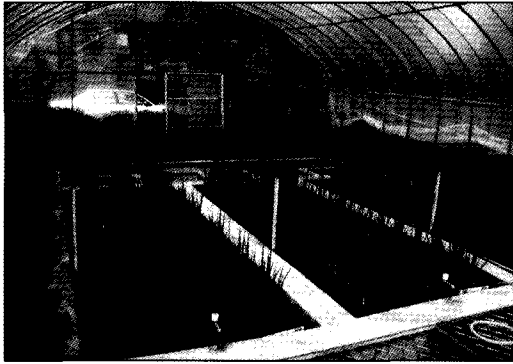


圖 1 滲漏計實際圖

1.1 相關資料之蒐集與分析

- (1) 蒐集國內外對水田灌溉之時態資料及文獻。
- (2) 從水稻栽培之自然環境、灌溉用水型態、歷史背景，分析水田灌溉之各種可能機能。就其功能及貢獻藉由實驗輔助，達到有力的宣導效果。

1.2 探討深水栽培對水稻生長之影響

- (1) 規劃包含 A 區(淺水)、B 區(深水 1) 及 C 區(深水 2)，以進行實驗比較之。
- (2) 實驗、觀測深水灌溉後對水稻不同生長期之影響。
- (3) 比較深水栽培對稻米之品質及產量之影響。

二、相關研究回顧

水稻栽培有極為悠久的歷史，水稻之品種數以千計，由於其廣泛之適應性，使稻作栽培遍及各國。世界人口以米為主食者約佔全部人口之半，尤以亞洲國家更多以食米為主。

台灣之水稻栽培遍及全省，無區域之限制(台灣之水稻灌溉(1970)，水稻栽培灌溉排水管理(1977)，水稻灌溉用水(1998)...)等。甚至在無灌溉設施之地區，亦有賴雨季降雨栽培水稻之「看天田」。台灣之水稻品種甚多，其中不乏優良品種，新品種更不斷育成。但大致上可分為蓬來日本型與在來印度型兩種。

台灣地區水旱災頻傳，主要原因在於降雨豐沛，但是在時間上與空間上都分配不均，河川

短，坡度大，洪水期與枯水期的流量相差懸殊，常年約有 80% 逕流入海中，就水源水量的觀點來說，相當於每年約有 536 億立方公尺的水資源未加以利用，及直接逕流入海。在水資源永續經營的概念，要盡量鼓勵田間蓄水，水量最多只為「滿田」，或只稱之為「滿庫」，實不必做無謂的限制，在豐水期水源充裕甚至過多的情況下，節約用水已無太大的意義，反而將多餘的降水引入水田，強化田間調蓄的功能，維持適當的滲漏量，增加補注地下水，節省灌溉管理費用，創造親水環境(超量灌溉，1996)。

施嘉昌(1980)在中壢農業工程研究中心做了四年水稻淹水試驗。前兩年清水，後兩年濁水淹浸。處理項目分淹水時期，淹浸日數及淹水高度，分田區與盆栽兩種。收穫後調查其生長差異，比較產量變化，繪出迴歸曲線，並以生物統計方法比較其顯著性，其產量變化呈二次拋物線型態。本計畫之處理項目分淹水時期、淹水日數及淹水高度作處理，以期比較出產量的變化。

日本水稻收穫量自二次世界大戰後，國內經濟景氣開始復甦，致力於水稻產量增加的研究，而在 1987 年度日本水稻產量和世界各國之比較下，名列前十名。最近幾年來，為了省力及省工，逐漸走向機械式插秧，以替代傳統的人力式種植，對於水稻的栽培方式的改變，具有節省勞力及時間的優點(星川親清，1994)。

浮稻是生長在深水中，其莖的高度隨水深而上長，可以高到 1 公尺甚至到達 2 公尺高，其型態與普通稻不同，浮稻的分佈區域頗廣，亞洲的泰國有一百餘萬公頃、巴基斯坦及越南亦多、非洲獅子山、歐洲葡萄牙、美洲的墨西哥等均有浮稻的記錄。惟浮稻品種及栽培技術鮮有注意研究改良故面積未見推廣(David Catling, 1992)。

三、實驗配置研究

本文主要是參考日本水稻深水栽培之模式，結合水田超量灌溉之方式，提供現今台灣地區水資源永續利用最佳化。本滲漏計之實驗田區整體以塑膠布包圍，為一溫室試驗田區，所以不考慮大氣自然降水、風速吹拂等因素之影響，本

表 1 實驗田區土壤資料記錄

土壤深度 (cm)	土壤機械組成份				真比重	假比重	田間含水量 (%)	凋萎點 (%)	飽和水份 (%)	孔隙率 (%)
	質地	砂粒 (%)	矽粒 (%)	粘粒 (%)						
0-20	壤土	32.9	40.2	26.8	1.36	2.69	18.40	9.38	45.0	49.44

實驗主要分成 A、B、C 三區；A 區是以一般台灣水稻種植方式，即「淺水」（水深為 6cm），B 區採仿照日本深水灌溉的方式種植，即「深水 1」，C 區亦為深水灌溉，就當作「深水 2」處理，以防 B 區實驗失敗，至少還有 C 區可以補救（B、C 田區水深均為 25cm）。藉由 B、C 兩區深水灌溉方式跟 A 區淺水灌溉做比較，並來驗證深水灌溉是否在台灣有其可行性。

插秧前必須先整地泡水使土壤鬆軟，整地泡水大約要花一星期左右，整地完畢排除所有水量，施基肥（第一次施肥），讓土壤有充分的養份以利秧苗生長，此實驗配合台大農場於 3 月 14 日（第一天）以人工方式插秧，採用品種為台梗 14 號稻，行株距各採 23.5 公分；田區小不適合機械式插秧，成活期內田面水深保持約 3 到 5 公分左右。一期作成活期約略 15 天，此時期內一些枯死不適合的秧苗可以立即更換，欲更換的新秧苗都置於田區四周角落，實驗主要目的是要分別控制水深做比較，並列出田區土壤資料分析如表 1。

3.1 實驗田區氣象資料

在田區內設置一乾、濕球溫度計，除了觀測田區之氣溫狀況外，藉由乾球及濕球溫度計的對照可以看出田區濕度的變化情形，如圖 2 及圖 3；一期作之氣溫變化則由低到高之走向，乾濕球溫度計的高度為距地面 1.5 公尺左右。

3.2 實驗田區水溫變化

實驗田區內另外置放一枝水銀溫度計，主要的用途在於量測三區水溫的變化情形。考慮水溫

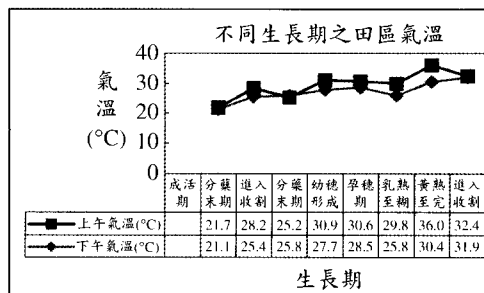


圖 2 不同生長期滲漏計實驗田區之平均氣溫圖

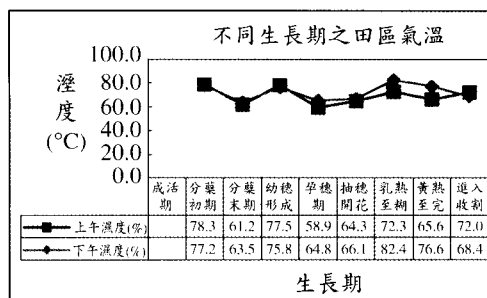


圖 3 同生長期滲漏計實驗田區之平均溼度圖

連續性原理，量測以溫度計插到田區最深處（從水面到土面上方），靜至兩分鐘之後讀取讀數並記錄之，如圖 4 及圖 5，其水溫變化隨著氣溫增高而增高，而在淺水區之早晚水溫變化比深水區來得容易升降。

3.3 肥料用量標準

水田中天然肥份來源大概有三，(1)來自土壤本身(2)來自雨水(3)來自植物，而除此之外必須靠施肥以利作物良好的生長。肥料所含的元素不外乎氮肥、鉀肥、磷肥這三元素，在肥料施用上必須取各平衡點，此實驗施肥的標準用量是參考肥料學書籍及北部農民慣用之推薦肥料量為主，由 1 公頃肥料之用量換算成我們實驗田區所應該之使用標準，實驗田每區 6 平方公尺如表 2。

3.4 水稻灌溉需水量

「水稻灌溉需水量」之定義，就是作物葉面蒸發散量加上田面（水田時為水面，旱田時為

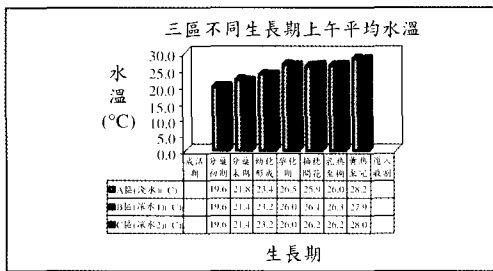


圖 4 三區不同生長期之上午水溫圖

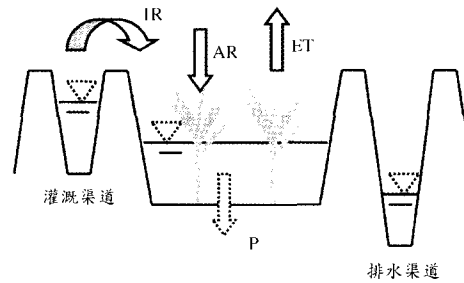


圖 6 田間簡易水收支示意圖

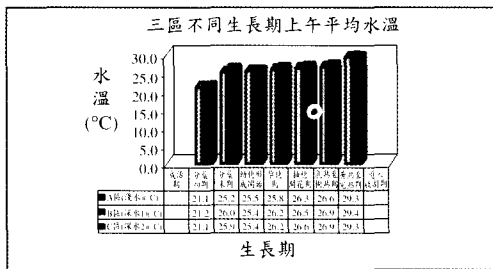


圖 5 三區不同生長期之下午水溫圖

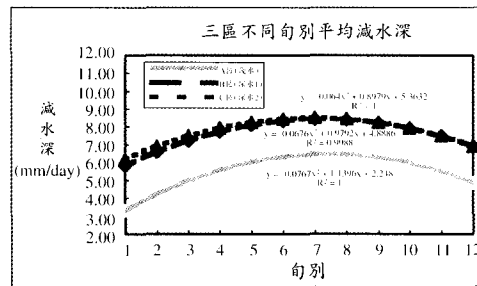


圖 7 三區經迴歸後不同旬別減水深二次曲線圖

土面)蒸發量之和,再加上田間滲漏量即是。如圖 6 就水田單一坵塊而言,水田由坵塊進水口引入水量(IR)進行灌溉,灌溉後其中部分水量為作物蒸發散量(ET)消耗掉外,其餘在土層中經由垂直及橫向滲漏之水量,由於對該坵塊而言,並不具有迴歸利用之功效。因此,作物蒸發散量(ET)與滲漏量(P)皆視為在單一坵塊之水田灌溉中之純消耗水量部分。因此,單一坵塊水田之消耗水量可表示為如式(1)。而滲漏計實驗田區採類似溫室方式進行,而在做作物蒸發散量的量測,控制滲漏計底下排水閥門,忽略其天然有效降雨及排水之滲漏量,把複雜因子簡單化,因此式(1)可以得到更簡略之估算式為式(2)。

$$IR = ET + P - AR \dots\dots\dots(1)$$

$$IR = ET \dots\dots\dots(2)$$

- IR : 灌溉需水量(mm/day)
- ET : 作物蒸發散量(mm/day)
- P : 水自土中滲漏量(mm/day)
- AR : 自然有效雨量(mm/day)

表 2 實驗之肥料使用總量

肥料化學元素	N(氮)	P(磷)	K(鉀)	選取
1.(kg/ha)	130	60	50	
2.(g/6m ²)	78	36	30	▲

所觀測的數據經由迴歸可得到二次趨勢線方程式,如式(3)~式(8)及圖 7。

(1)趨勢線方程式

A 區(淺水):

$$-0.0613X^2 + 0.9601X + 2.5339 \dots\dots\dots(3)$$

B 區(深水 1):

$$-0.0958X^2 + 1.578X + 1.4327 \dots\dots\dots(4)$$

C 區(深水 2):

$$-0.1048X^2 + 1.6714X + 1.2619 \dots\dots\dots(5)$$

(2)生育期內之作物需水量

A 區(淺水):

$$10 \int_0^{12} (-0.0613 X^2 + 0.9601X + 2.5339)$$

$$dx = 642.25\text{mm} \dots\dots\dots(6)$$

B 區(深水 1) :

$$10 \int_0^{12} (-0.0958 X^2 + 1.578X + 1.4327) dx = 756.28\text{mm} \dots\dots\dots(7)$$

C 區(深水 2) :

$$10 \int_0^{12} (-0.1048 X^2 + 1.6714X + 1.2619) dx = 751.19\text{mm} \dots\dots\dots(8)$$

公式(3)至公式(8)所代表物理意義為水稻生育期間作物維持生長對水分需求之累計關係，此水分消耗在農業水資源利用為絕對消耗用水量。變數 X 表示作物之各日絕對消耗用水量（實驗觀測時用減水深表示）；變數 X 之單位為 mm/day，回歸值代表生育期間之用水量，單位為 mm，積分式之上下限由 0 至 12 所指整地與生長期之旬別。

滲漏計實驗經過比較，深水耗用之灌溉水量所計算的結果是比淺水來得多，深水區大約比淺水區多 110mm 左右。在計算水稻田灌溉耗水量是有一定的誤差存在，不過藉由滲漏計之實驗觀測，此結果可以作為往後水田深水灌溉用水之參考依據。

四、實驗結果分析

4.1 生育期株高之觀測

水稻深水栽培經過吾人實驗觀測，研究目的希望水稻提高深水灌溉後，在不影響國人糧食生產來源為前提，水稻深水栽培仍可適用，並獲得廣大之推行。有關生育調查之結果，我們採樣是取每塊田區六叢稻株作為生育調查之分析，並以隨機抽取方式採樣調查。如圖 8 剛開始三區差異性不大，之後在開始分蘗後一直到收割前深水區的生長情形顯然比起一般區良好，顯然水深提高，基於水稻需水原理，水根吸收的多自然對稻株發育頗有顯著的貢獻。

4.2 生育期分蘗數之觀測

分蘗乃是稻株在進行營養生長之際自末伸長節間的節葉腋或其他分蘗上所長出的分支，而

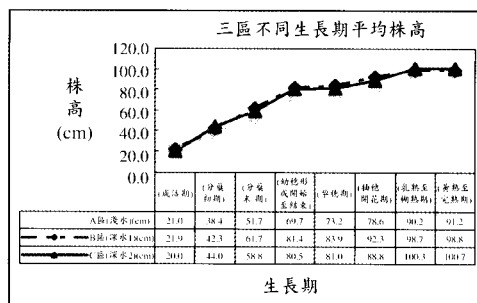


圖 8 三區不同生長期之平均株高圖

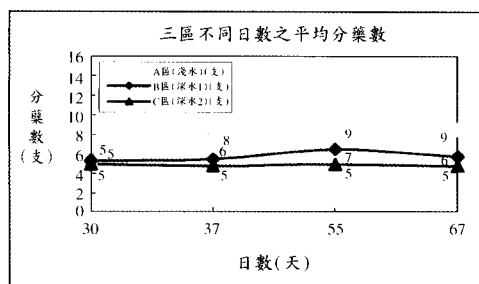


圖 9 三區不同日數之平均分蘗數圖

分蘗又分成有效分蘗及無效分蘗兩種，凡分蘗能抽穗成熟者曰有效分蘗；不能抽穗成熟者或雖然抽穗但成熟期穀粒不充實成熟，曰無效分蘗。從開始分蘗一直持續到幼穗形成之觀測，分蘗數已漸趨穩定，當中深水的部份因為水深蓋過其分蘗節位的高度，所以分蘗數也有減少。整體而言，淺水區的分蘗情況是比深水區來得好，可見深水的確是有效的控制分蘗數，使之不分蘗太多，三區分蘗情形如圖 9。

4.3 生育期穗數之觀測

穗之分化成熟後即由葉鞘內抽出，通常穗尖由葉鞘頂端露出時，即為抽穗（或稱為出穗）。穗之形成常名孕穗，孕穗之開始大約於分蘗終止前及出穗時。當穗只有部分抽出時，穗頂的穎花也隨之開始開花，因此出穗日和開花日是相同的。根據觀測之結果，在生長期第 85 天時，B、C 兩區深水灌溉出穗開花的情形比起 A 區淺水灌溉來得快，整體而言出穗數的多寡快慢，則以

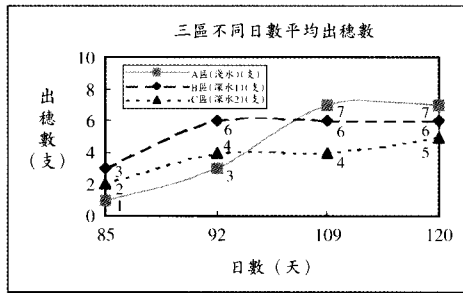


圖 10 三區不同日數的平均出穗數圖

B 優先、C 次之、最後才是 A，三區分蘗情形如圖 10。由本實驗之結果可得，深水灌溉管理，可抑制無效的分蘗數，減少營養分的消耗，惟增加稻米產量除利用深水灌溉技術外，尚須有施肥等作物栽培技術之配合，才得以收最大之成效。

4.4 產量換算

三區經由抽樣調查觀測之結果，A 區(淺水)總成熟穗數 33 支、B 區(深水 1)總成熟穗數 28 支、C 區(深水 2)總成熟穗數 26 支，若以 A 區(淺水)飽實粒數 2240 粒、B 區(深水 1)飽實粒數 2020 粒、C 區(深水 2)飽實粒數 1928 粒，分別除以各區成熟穗數，可以得到 C 區(深水 2)每穗平均粒數 75 粒、B 區(深水 1)每穗平均粒數 73 粒、A 區(淺水)每穗平均粒數 68 粒；經過挑選秤出千粒重，每個樣本之成熟穀粒數未達 1000 粒，在計算千粒重時則是隨機選取 100 粒秤重三次，三次平均後反推 1000 粒則為所求之千粒重。A 區(淺水)平均 23.42g、B 區(深水 1)平均 23.69g、C 區(深水 2)平均 24.61g，

$$\begin{aligned} & \text{稻穀每平方公尺產量} = \text{每株成熟穗數} \\ & \quad \times \text{每成熟穗之飽實粒數} \times \text{稻穀千粒重} \\ & \quad \times \text{每平方公尺之株數} \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

稻穀每平方公尺產量(kg)
 每株成熟穗數(支)
 每成熟穗之飽實粒數(粒)
 稻穀千粒重(g)
 每平方公尺之株數(叢)

根據式(9)所推求出之數據乃水稻田每平方

尺所得之收穫產量，經過單位運算乘上 10000 則是每公頃水稻田成熟穀粒所需之收穫量。可得 A 區(淺水) 1624kg、B 區(深水 1)1470kg、C 區(深水 2)1569kg。B 區(深水 1)及 C 區(深水 2)都是以深水方式進行實驗，先決條件及實驗過程方法相同，兩區數據取平均當作是此深水產量之結果。因此，若 A 區(淺水)產量若以 100 當基數，換算深水灌溉後之產量基數則為 93.5；並以飽實粒百分比做比較，同理 B 區(深水 1)及 C 區(深水 2)兩區取平均和 A 區(淺水)做比較，若 A 區(淺水)飽實粒百分比以 100 當基數，則深水灌溉後之飽實粒百分比基數為 99.3，經過實驗之推估結果不難發現深水灌溉後和一般淺水灌溉之產量及品質差異性不大。

五、結果討論

1. 溫度在水稻的生長上與水是同等的重要，也是水稻生育的必要環境因子。因為一期作適逢北部三月有時陰雨不斷、氣溫偶爾偏低，剛開始日照時數不甚充足，由圖 2 看出不同生長期內之平均溫度，一期作之氣溫是由冷到熱，進入成熟期氣溫越高有助於水稻生育旺盛並強健。對於深水灌溉來說抑制分蘗數之多寡是實驗重點之一，顯然深水的高度有抑制分蘗的可行性。但深水在保溫方面，根據圖 4 及圖 5 數字資料顯示，和一般淺水區差距不大，而淺水灌溉之水溫反而容易隨氣溫的差異變化幅度大過於深水灌溉。
2. 而在深水區方面，平均高度比起淺水來得好，在相同的灌溉管理方式、生長環境、氣候條件、土壤、肥料成份等立地條件下，唯有水深的不同而已。B(深水 1)、C(深水 2)兩區深水灌溉水很多，比起 A 區(淺水)淺水灌溉水很少，在營養吸收方面深水比淺水又將近高出約 20cm 左右之水深，水根吸收水中有機質成為水稻的營養生長來源，因此佐證出水稻深水灌溉之生長條件絕對是比淺水灌溉來得好(星川清新(1994))。
3. A 區(淺水)平均整體晚了大約一星期左右出穗，不過最終在統計的結果還是出穗數比較

多，畢竟原本在之前所觀測的分蘗數還是 A 區(淺水)比較多。出穗數比分蘗數少，顯然有些分蘗是無效的分蘗。而吾人量測出穗之變化則持續至最終收割時，而這當中的穗數有成熟穗及未成熟穗，最後在粒數及千粒重的調查都必須把未成熟穗剔除。

4. 在實驗田 A 區(淺水)、B 區(深水 1)、C 區(深水 2)，我們有分別擺置了量測水深變化的標尺，以肉眼概估減水深變化量；我們所觀測是以水深減少量做觀測紀錄，而觀測誤差在合理範圍內可以忽略不計。換算成水稻 120 日生長期之需水量，A 區(淺水) 642.25mm、B 區(深水 1) 756.28mm、C 區(深水 2) 751.19mm，深水灌溉耗用之灌溉水量比淺水灌溉來得多。如果扣除人為觀測所佔的誤差，所得的結果實屬合理，換成另一層面思考，若水田以蓄水為概念，深水灌溉則比較能符合農業水資源經營之構想。
5. 這次水稻深水栽培以滲漏計實驗田模擬，由於研究執行只是第一次實驗，經驗上不甚豐富，在環境地域上的選擇並不是一般農民實際耕作的田地，我們也只能當作新田處理，所以在灌溉管理操作上恐有疏漏之處，因此在實驗田裡所得到的一些結果資料相當珍貴，未來相關計畫研究之推行最好能配合大區域的栽培為目標，並推廣給農民有此深水的概念，相信對於未來水田面積減少，在生產供給面的維持還是可以有穩定的水準。經過深水栽培之實驗，在不影響水稻生長的情況下，應在多加配合水稻育種專家之指導，相信產量之生產會有良好成果。
6. 經本實驗之結果顯示，深水灌溉和淺水灌溉產量差異性不大，經過深水長期浸泡下不僅雜草減少，減少不必要的人工，達到省時省力之功效，而生長期內之排水是滿重要的一環，沒有在適當時機放水促進土壤空隙養分的交換，長期湛水導致循環效果差，但如果分蘗期排水又可能造成無法抑制分蘗數或是浪費較多之農業灌溉用水，所以處理過程的拿捏是要多花心思研究。考慮到是深水灌溉

之條件下，完全依照自訂生長期距所需灌溉水深之情況，並不考慮排水，一來深水區分蘗數可以有效控制不置於產生太多無效分蘗，二來水深高，雜草被覆蓋過難以生存，對低產值水稻可以減少不必要之人力開支。

六、結論與建議

1. 水稻深水灌溉經過滲漏計試驗後是有其可行性，然而執行此一套新概念，廣義來說必須適用在水源豐富及川流式引灌為主之區域；狹義方面考量原有配水容量，在供給不足需求時，只有等待休耕有多餘之水量才可引灌。然而蓄積在田間之水量除了供水稻需水外，未來也可提撥做其他標的之用水，站在農業水資源的觀點，是使水資源的利用上更佳充分妥善。
2. 現今國內糧食生產過剩，稻米應力求產銷的平衡，所謂補貼，則是維持平衡的一種手段。目前國內的糙米需求從 70 年的 238 萬噸/年，遞減到 88 年的 156 萬噸/年，一直呈現逐年減少之趨勢。目前水稻田面積連看天田加總高達 350,000 公頃，政府每年還要補貼農田水利會 20.26 億元的營運經費，算是國家稅收上的重大負擔，如何善用水權之概念，使蓄積在水田之水量做有效之投資利用。
3. 農委會水田種水政策形成之背景，主要為善用水田之蓄水滲透功能，利用現成之取水、引水灌溉系統，將多餘河川逕流水引入水田，或將休耕水田田埂加高，增加蓄水容量蓄積雨季降雨，藉土壤之透水性補注地下水。水田休耕時，可盡量增加湛水深。種稻時在不影響糧食生產及水稻生長之發育，採用深水栽培，同樣也是達到蓄水利用的效果。
4. 從水資源的觀點，25 cm 與 6 cm 的差距 19 cm，若以台灣 35 萬公頃水田面積當作一貯蓄水庫利用，其水量將達 6.65 億噸(一公頃水田蓄積 1mm 之水深是 10 噸水)，比目前台灣的任一水庫之蓄水量還多。國際上水資源的效益認知，除了生活、生態及生產的「三生」效益觀念外，還有「水田坵塊 即為小蓄水

庫」的水資源蓄留及效率化應用的功能。當前政府的政策在暫時不建造水庫的前提下，以開發替代水源方面而言，無論是針對靜態或動態的水源，存放在水田之水都是屬於珍貴之水資源。水田深水灌溉的推展，不但可增加區域水資源之涵養，且對下游工業區及其他標的次級用水的需求，亦可提供不同程度之用水保障。甚至參加 WTO 後的農業衝擊，導致大面積水田休耕時，將可以較少的現存水田，承擔蓄留水資源及補充地下水的三生功能。故此深水灌溉方式，可為今後水資源研究值得深思之重要課題。

5. 水稻深水灌溉是維持一段頗長的時間，如果在田間結合魚塭養魚的概念，平時可種水稻又可兼作部分養殖的功能。就日本最近連續四年來稻穀豐收，稻穀庫存量今年已達二百萬噸而成問題，台灣目前在糧食方面也是有如此過剩的情況產生。而實際田間高度由高到低，排水口幾乎會流通，對水的循環淨化作用自然比實驗田區好，養魚在生態方面是很好的概念，除了在水稻收成時也可在排水口架網捕魚，唯一缺點，水田難免噴灑農藥，對魚類的存活產生威脅，除非政府往後開始注重推廣生產有機米，施肥使用有機肥料，以不影響稻作及魚群達成雙贏之局面。
6. 在現有水利會配水的條件及輸水渠道容量下，如果未來考慮水田深水灌溉，其目前的水利設施能否符合有效之配水。農民本身的意願也是主要的考量，如何提倡水稻深水灌溉新概念，也是後續必須努力的一個方向。

在技術面考量農民用水習慣，農田水利會未來多角化的經營，深水栽培必須把現有台灣水田的田埂加高以增加蓄水空間，且田埂材質的建造必須考慮不透水功能方能達到水田貯蓄利用。

謝 誌

本文得以完稿，承蒙湯松義老師在水稻栽種期間不吝指正，使得本實驗如此順利進行，感謝台大農工所灌溉排水研究室全體人員努力，完成本篇之論文。

參考文獻

1. 陳買，1977，「水稻栽培灌溉排水管理」。
2. 中國農村復興聯合委員會水利工程組及國立台灣大學農學院農業工程學系，1970，「台灣之水田灌溉」。
3. 張煜權、鄭昌奇，1996，「超量灌溉對環境影響之研究」，中國農業工程學會，pp23-41。
4. 蔡明華、黃慶修，1993，「水田灌溉之公益效能剖析研究」。
5. 水稻灌溉用水，1998，「農田水利教材—水田灌溉」。
6. 張正賢，1988，「稻作學精要」。
7. 吳淑麗、陳鈞華、劉以銓、許勝雄，1997，「台灣水田之外部經濟效益評估方法之探討」，1997 年中日農業水利生態研討會，行政院農業委員會，p.476-485。
8. 陳鈞華，「水田灌溉對居民生活品質提升之研究」，1997，1997 中日農業水利研討會，台灣省農田水利會聯合會，p.382-394。
9. 吳再益、盧榮祥，「水稻田轉作吳郭魚養殖之可行性評估」，1999，財團法人曹公農業水利研究發展基金會，pp45-57。
10. 蔡明華，「水稻田生態環境維護對策之推行」，1995，1995 年中日農業水利生態研討會，中國農業工程學會，p23-34。
11. 嚴宗銘，「台灣水稻田環境效果之研究」，1994，中興大學農業經濟所博士論文。
12. 林啟超，1997，「水田灌溉用水迴歸利用之研究」，台灣大學農業工程所碩士論文。
13. 湯松義，1999，「灌溉排水實習手冊」。
14. 星川清親，1994，「水稻增收技術」，家之協光會。
15. 馬場糾，1958，「稻作增收基礎知識」。
16. 關矢信一，1992，「水田的功能」。
17. 福田仁志，1981，「灌溉地水收支」，東京大學出版會。
18. David Catling, "Rice in Deep Water", 1992, IRRI (International Rice Research Institute).

收稿日期：民國 90 年 12 月 14 日

修正日期：民國 91 年 2 月 18 日

接受日期：民國 91 年 2 月 26 日