

稻麥輪作系統之節水效益與收益評估¹

楊金英、林訓仕²

摘 要

本研究為探討稻麥輪作之節水效益與收益評估，於彰化縣大城鄉以水稻-小麥輪作栽培模式為處理，慣行之水稻-水稻(連續灌溉與乾濕輪灌)連作為對照，生育期間調查需水量，成熟後調查其產量性狀。試驗結果顯示，水稻乾濕輪灌-小麥輪作處理，全年度每公頃需水量為 13,190 m³，為最節水栽培模式，較水稻連續灌溉-小麥節水 810 m³ (5.8%)，較水稻乾濕輪灌-乾濕輪灌連作節水 2400 m³ (15.4%)，較水稻連續灌溉-水稻連續灌溉節水 3,325 m³ (20.1%)。生產成本調查與效益評估顯示，小麥生產成本每公頃合計 58,350 元，其中以人工費(含機械包工費)佔總成本 50.5%最高，換算每公斤小麥生產成本為 17.3 元；一期稈稻每公頃生產費 123,000 元，人工費(含機械包工費)佔總生產成本 51.2%最高，每公斤水稻生產成本為 17 元，二期稈稻生產費 117,200 元，人工費(含機械包工費)佔總生產成本 54.6%最高，每公斤水稻生產成本為 21.6 元。綜整全年度栽培模式，水稻小麥輪作農家賺款可達 122,823 元，與水稻水稻連作 115,353 元相近，倘稻麥輪作再納入小麥轉作補助每公頃 45,000 元，每公頃收益較水稻連作增加 52,471 元，可增加農民轉作誘因。綜上結果，在因應節省水資源與缺工問題下，稻麥輪作可做為推廣栽培之推薦選項。

關鍵字：稻麥輪作、節水、收益

前 言

在亞洲，稻麥輪作耕作模式面積約有 1,800 萬 ha，廣泛分布於印度、巴基斯坦、孟加拉、尼泊爾，是南亞地區重要的糧食生產栽培系統。常見的耕作方式包括整地、低整地及不整地等，不同耕作方式可能改變小麥田的土壤結構，包括土壤總體密度及水分滲透率，進而影響小麥根系發展與伸長，以及攝取土壤養分與水分的能力差異，最終則表現於產量的高低⁽¹⁾。不同耕作方式可能改變小麥生長的微環境，包括土壤構造、土壤資源利用效率及植體發育的差異等，最終影響小麥產量的變動⁽⁹⁾。耕作首先影響的是土壤理化性質，由總體密度(bulk density)可以瞭解土壤的通氣性及保水性，總體密度高代表土壤密實及保水，總體密度低則表示土壤疏鬆而易排水，各種耕作處理會使土壤總體密度及滲透率發生不等程度的變化⁽⁸⁾。研究調查發現不整地耕作平均總體密度高於整地及低整地，由於慣行整地經由多種耕犁機具的操作以翻動土壤，使表土疏鬆利於種植，因此總體密度較

¹ 農業部臺中區農業改良場研究報告第 1062 號。

² 農業部臺中區農業改良場助理、助理研究員。

低，相對地也具有較高的水分滲透率，而不整地的土壤未經翻轉較為夯實，使總體密度較高，水分較不易由表層往土壤深處滲透，低整地則介於兩者中間⁽¹⁰⁾。有學者認為整地及低整地使土壤結構較為鬆散而具高的水分滲透性，有助於小麥根系發展及截取水分，促進小麥生長發育，可能是產量造成差異的原因之一^(8,10)。進一步分析小麥根系在不同耕作土壤中的分布，發現小麥根系在整地及不整地土壤中的密度具有顯著差異，約有 25-50% 的根系集中於 0-0.6 m 的土壤層，其中整地耕作的根系密度多於不整地，可能使整地處理之小麥生長較不整地為佳^(8,13)。

因國人飲食習慣改變，小麥已成為水稻以外的另一主食，臺灣近年來每年需進口約 120-130 萬 ton 小麥，主要作為麵包、麵食及餅乾使用。小麥為溫帶作物，地處亞熱帶的臺灣冬季裡作為最適種植期，1960 年全臺栽培面積曾高達 25,208 ha，然而，據農糧署統計，臺灣 2021 年本土小麥栽培面積(含金門縣)為 2,241 ha，產量 2,905 ton，僅占需求量約千分之二⁽¹¹⁾。近年來因休耕地活化轉契作進口替代作物、大糧倉等政策推動，逐步增加國內小麥栽培面積。中部地區小麥主要產地(彰化縣大城鄉、二林鎮、臺中市大雅區)多採水稻-水稻-小麥栽培模式，此模式受限於一期水稻需栽培早熟品種，連帶影響產量與收益，另因在原本一、二期作後增加小麥冬季裡作，對水資源需求則更加提升^(11,12)。水稻為臺灣地區栽培面積最廣也是國人主要糧食作物，現行的水稻栽培多採湛水模式，在水稻生育期間除曬田過程外，通常維持 3-6 cm 水深，需要不斷灌水以補充植株蒸散及水田蒸發所需，生育期間灌水措施除影響水稻生長外，最終亦會反應於產量及品質表現上^(1,5,14)。因此，穩定水稻產量與生產品質持續為國家所重視，近年來隨著氣候變遷，導致降雨不穩定，水資源分配成為新的挑戰。根據經濟部水利署 2020 年統計，全年農業用水 11,592.48 Mm³，約占全臺用水量的 69.7%，其中灌溉用水又占農業用水最大宗，水稻亦是用水量較高的作物，因此，如何提高水稻節水栽培韌性，穩定國內稻米生產係為近年來重要的議題^(2,3)。

材料與方法

一、稻麥輪作與水稻連作產量及水分利用效率調查

(一)試驗地點與材料

本研究於 2021 年彰化縣大城鄉進行，小麥參試品種為台中選 2 號，水稻參試品種為台南 11 號，稻麥輪作之水稻插秧日期為 7 月 15 日，小麥播種日期為 11 月 15 日；水稻連作之插秧日期分別為 2 月 5 日及 7 月 10 日。

(二)栽培管理

試驗皆採逢機完全區集設計(*Randomized complete block design, RCBD*)，4 重複，以水稻-小麥輪作栽培模式為處理，對照為水稻-水稻連作，其中水稻另分連續灌溉(*continuous irrigation, CI*)與乾濕輪灌(*alternate wetting drying, AWD*)兩種栽培模式，肥培管理採合理化施肥模式，基肥每公頃施用氮素 54 kg、磷鉀 50 kg 及氧化鉀 40 kg，第一次追肥施用氮素 36 kg，第二次追肥施用氮

素 45 kg 及氧化鉀 40 kg，幼穗形成期施用氮素 45 kg。水稻每公頃施用氮肥 180 kg，分配比率分別為基肥 30%、分蘖始期之第一次追肥 20%、分蘖盛期之第二次追肥 25%及幼穗形成期之穗肥 25%。需水量調查於播種後利用水量計統計灌水量，成熟後調查產量，栽培期間訪談並記錄各項生產成本，進行生產成本與收益評估。

二、生產成本與收益調查

資料蒐集與調查：小麥與水稻生產成本及收益調查係於彰化縣大城鄉實際訪談農友並參考行政院農業委員會農產品生產成本統計年報進行整理，將生產成本分為「第一種生產費」及「第二種生產費」，其計算方法說明如下⁽⁵⁾：

(一)第一種生產費 = 種子費 + 肥料費 + 病蟲害防治費 + 能源費 + 其他生產資材及運銷費 + 其他雜費 + 人工費(自家工工資 + 僱工工資) + 折舊費

1. 種子費：購入之種子以市價計算

2. 肥料費：化學肥料及有機質肥料，依購入之市價或取得成本計算

3. 病蟲害防治費：田間病蟲害及雜草防治費用

4. 能源費：在生產與運銷過程中使用之農機具或設備所用之汽油、柴油、潤滑油、水電等

5. 其他生產資材及運銷費：農場使用之包裝袋、包裝紙箱、運費、手續費等

6. 其他雜費：農產品標章費、驗證費(含有機蔬菜驗證年費、水質和土壤檢驗費用、產品檢驗費用、維修費)

(二)第二種生產費 = 第一種生產費 + 地租 + 資本利息

(三)粗收益 = 產量 × 單價

(四)損益 = 粗收益 - 生產費用總計(第二種生產費)

(五)家族勞動報酬 = 損益 + 自家工工資

(六)農家賺款 = 家族勞動報酬 + 自給地租 + 自給資本利息

結果與討論

一、稻麥輪作與水稻連作之產量及需水量調查

水稻乾濕輪灌技術係 2000 年由國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 提出，於田間設置可觀察水位的直管，水稻生育期間將水灌至逾土壤表面 5 cm 高後，讓水位自然下降，並透過直管觀察土面下之水位，當水位低於土壤表面 15 cm 時再行補水，可有效降低灌溉次數及灌溉用水，並確保水稻不會因缺水造成傷害^(3,9)。本次試驗地點為彰化縣大城鄉，小麥台中選 2 號於 11 月 15 日播種，生育期間以水錶記錄灌溉水量，2020-2021 年小麥全生育期用水量為 3,650 m³，主要灌水時期為播種初期，其次分蘖盛期、孕穗期及開花期，皆為少量灌溉。該年度小麥抽穗日數為 63 天，成熟日數 131 天，株高 87.5 cm，每公頃產量 3,885 kg，換算水分利用效率為 1.06 kg/m³。

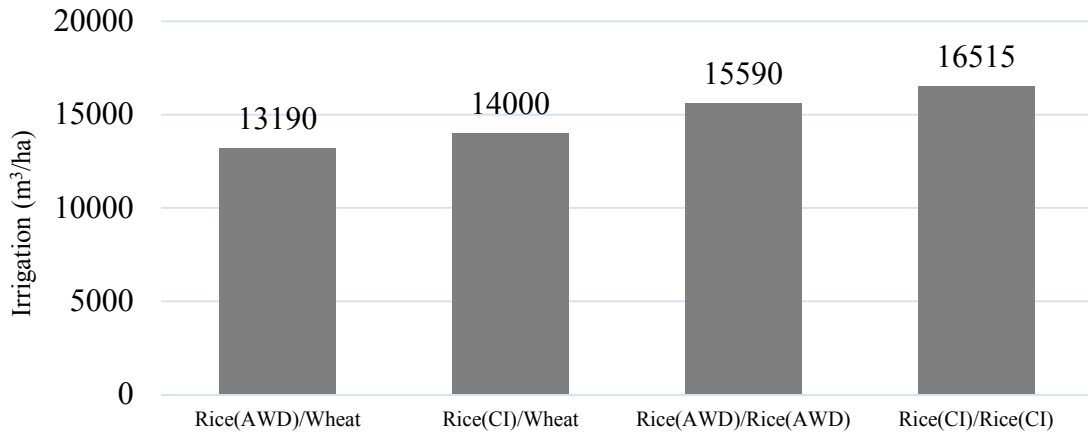
對照處理種植水稻台南 11 號，於 2 月 5 日插秧，分為連續灌溉與乾濕輪灌處理，連續灌溉每公頃用水量 $10,350 \text{ m}^3$ ，水稻每公頃產量 $7,220 \text{ kg}$ ，水分利用效率為 0.7 kg/m^3 ；乾濕輪灌處理每公頃用水量 $9,540 \text{ m}^3$ ，水稻每公頃產量 $7,105 \text{ kg}$ ，較連續灌溉減產 115 kg ，但其水分利用效率達 0.74 kg/m^3 。二期稻作連續灌溉處理用水量 $7,580 \text{ m}^3$ ，水稻每公頃產量 $6,165 \text{ kg}$ ，水分利用效率為 0.81 kg/m^3 乾濕輪灌處理用水量 $6,850 \text{ m}^3$ ，水稻每公頃產量 $6,050 \text{ kg}$ ，水分利用效率為 0.88 kg/m^3 ，水稻連續灌溉與乾濕輪灌相較，每公頃乾濕輪灌較連續灌溉節水 810 m^3 (7.8%)，產量連續灌溉處理僅較乾濕輪灌增產 115 kg ，本研究灌溉水量與前人研究相近，顯示利用乾濕交替灌溉模式可顯著降低灌溉水用量，節省水資源消耗，提高水分利用效率⁽³⁾。綜合上述結果顯示，小麥較一期作水稻(連續灌溉)節水 $6,700 \text{ m}^3$ ，達 64.7%，較一期作水稻(乾濕輪灌)節水 $5,890 \text{ m}^3$ ，達 61.7%，較二期作水稻(連續灌溉)節水 $3,930 \text{ m}^3$ ，達 51.8%，較二期作水稻(乾濕輪灌)節水 $3,200 \text{ m}^3$ ，達 46.7%，顯示小麥實為耐旱節水作物(表一)。綜合不同輪作制度之灌溉水量顯示，水稻乾濕輪灌-小麥輪作全年度每公頃需水量為 $13,190 \text{ m}^3$ ，為最節水栽培模式，較水稻連續灌溉-小麥栽培模式節水 810 m^3 (5.8%)，較水稻乾濕輪灌-乾濕輪灌連作節水 2400 m^3 (15.4%)，較水稻連續灌溉-水稻連續灌溉連作節水 $3,325 \text{ m}^3$ (20.1%)(圖一)。

表一、不同灌溉模式下之小麥與水稻產量及水分利用效率調查

Table 1. Grain yield and water use efficiency (*WUE*) for irrigation of wheat and rice under various irrigation regimes

Treatment	Irrigation(m^3/ha)	Yield (Kg/ha)	WUE (kg/m^3)
2020-2021 Wheat	3,650	3,885	1.06
2021 Rice1 st (AWD)	9,540	7,105 a	0.74 a
2021 Rice1 st (CI)	10,350	7,220 a	0.70 a
2021 Rice2 nd (AWD)	6,850	6,050 a	0.88 a
2021 Rice2 nd (CI)	7,580	6,165 a	0.81 a

Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.



圖一、全年度不同耕作模式下總累積灌溉水量

Fig. 1. The accumulation of water under different cropping systems.

二、生產成本調查與效益評估

石(2017)研究指出，由農糧署 2009 年至 2015 年平均統計資料顯示，一般農民雙期作種植水稻的平均產量為 6.3 ton/ha/crop，生產成本為 116,535 元/ha/crop，收入為 141,663 元/ha/crop，淨收益為 25,127 元/ha/crop，農家賺款為 63,411 元/ha/crop，全年度的總收益為 12,6823 元/ha/year⁽²⁾。吳等(2014) 研究報告指出，雲嘉南地區農民雙期作種植水稻，平均產量為 6.5 ton/ha/crop，生產成本為 94,296 元/ha/crop，收入為 152,782 元/ha/crop，淨收益為 58,486 元/ha/crop，農家賺款 98,486 元/ha/crop，全年總收益約 196,971 元/ha/crop⁽⁴⁾。本研究之小麥生產成本調查顯示，每公頃小麥生產成本中，直接費用合計 45,750 元，間接費用 1,600 元，第一種生產費合計 47,350 元，第二種生產費(第一種生產費+地租，地租屬向其他農戶承租價錢，自給為自有耕地承租價值)合計 58,350 元，其中以人工費(含機械包工費)佔總成本 50.5% 最高，其次為地租與肥料費(表二)，換算每公斤小麥生產成本為 17.3 元，每公頃小麥合計粗收益為 101,100 元(公頃產量 3,370 kg，每公斤製作收購價 30 元)，損益 42,750 元，農家賺款 51,250 元(損益+自家工+自給)，加上政策轉作補貼之 45,000 元可達 96,250 元(表三)，較農糧署 2009 年至 2015 年轉作硬質玉米之 53,289 元收益佳⁽²⁾。一期硬稻第一種生產費 100,000 元，第二種生產費 123,000 元，人工費(含機械包工費)佔總生產成本 51.2% 最高，其次為肥料、農藥及種苗，換算每公斤水稻生產成本為 17 元，每公頃水稻粗收益為 160,573 元，農家賺款 71,573 元。二期硬稻第一種生產費 101,200 元，第二種生產費 117,200 元，人工費(含機械包工費)佔總生產成本 54.6% 最高，其次為肥料、農藥及種苗，換算每公斤水稻生產成本為 21.6 元，每公頃水稻粗收益為 132,979 元，農家賺款 43,779 元。綜上調查顯示，小麥與水稻栽培生產成本主要差異係小麥栽培不須育苗及插秧，生育期間亦不進行病蟲害防治，因此人工費(機械包工費)顯著低於水稻生產。

整合一年二期作，水稻小麥輪作農家賺款達 122,823 元，較水稻連作 115,353 元增加 7,471 元，倘稻麥輪作再納入小麥轉作每公頃 45,000 元補助，每公頃收益可較水稻連作增加 52,471 元(表四)。可增加農民轉作誘因。綜上結果，在因應節省水資源與缺工問題下，稻麥輪作可為推廣栽培之推薦選項。

表二、小麥與兩期作水稻之生產成本

Table 2. Production cost of wheat and two cropping rice

Item	Wheat		Rice 1 st crop		Rice 2 nd crop	
	Cost (NTD/ha)	%	Cost (NTD/ha)	%	Cost (NTD/ha)	%
Seed	5,100	8.7	10,000	8.1	10,000	8.5
Fertilizer	8,800	15.1	12,600	10.2	13,300	11.3
Labor	29,500	50.5	63,000	51.2	64,000	54.6
(Family labor)	2,000	3.4	-		-	
Chemical & herbicide	0	0	10,000	8.1	12,000	10.2
Energy	350	0.6	-		-	
Direct cost	45,750	78.4	98,000	79.7	99,300	84.7
Equipment & farming tool	1,600	2.8	2,000	1.6	1,900	1.7
Indirect cost	1,600	2.7	2,000	1.6	1,900	1.6
Primary prod. cost	47,350	81.1	100,000	81.3	101,200	86.3
Land rent	11,000	18.6	23,000	18.7	16,000	13.7
Capital interest	6,500	11.1	-		-	
Secondary production cost	58,350	100	123,000	100	117,200	100
Total production cost	58,350		123,000		117,200	

表三、小麥與兩期作水稻收益分析

Table 3. Revenue of wheat and two cropping rice

Item	Wheat	Rice 1 st crop	Rice 2 nd crop
Yield (kg/ha)	3,370	7,220	6,165
Gross revenue (NTD/ha)	101,100	160,573	132,979
Net revenue (NTD/ha)	42,750	37,573	15,779
Income (NTD/ha)	51,250	71,573	43,779

表四、稻麥輪作與水稻連作生產成本及收益比較

Table 4. Comparison of production cost and revenue between rice-wheat rotation and rice monocropping

Item	Rice/Wheat			Rice/Rice		
	Rice	Wheat	Total	Rice 1 st crop	Rice 2 nd crop	Total
Primary prod. Cost (NTD/ha)	100,000	47,350	147,350	100,000	101,200	201,200
Secondary production cost (NTD/ha)	123,000	58,350	181,350	123,000	117,200	240,200
Gross revenue (NTD/ha)	160,573	101,100	261,673	160,573	132,979	293,552
Net revenue (NTD/ha)	37,573	42,750	80,323	37,573	15,779	53,352
Income (NTD/ha)	71,573	51,250	122,823	71,573	43,779	115,352

參考文獻

1. 丁文彥、黃秋蘭、江瑞拱 2009 節水灌溉栽培模式對水稻與陸稻生育及產量之影響 臺東區農業改良場研究彙報 19: 1-16。
2. 石郁琴 2017 雲嘉南地區水稻及硬質玉米大專業農經營規模及效益之研究 臺南區農業改良場研究彙報 69: 69-95。
3. 林家玉、吳東鴻、吳以健、楊靜瑩、楊明德、賴明信、張素貞 2022 不同氮肥施用量對截水栽培水稻臺南 11 號產量之影響 苗栗區農業改良場研究彙報 11: 67-78。
4. 吳昭慧、王仕賢、黃涵靈 2014 國產大豆競爭力提昇策略之探討 臺南區農業改良場研究彙報 63: 31-39。
5. 陳世芳、戴登燦 2009 有機蔬菜農場經營效益之個案研究 臺中區農業改良場研究彙報 105: 13-21。
6. 陳榮坤、楊純明 2005 水稻節水栽培之可行性探討(二)灌溉對水稻生產影響 農業試驗所技術服務 61: 1-5。
7. 經濟部水利署各項用水統計資料庫 <https://wuss.wra.gov.tw/annuals.aspx>
8. Arora, V. K., A. S. Sidhu, K. S. Sandhu and S. S. Thind. 2010 Effects of tillage intensity, planting time and nitrogen rate on wheat yield following rice. *Expl. Agric.* 46: 267-275.
9. Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2000. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agric. Water Manag.* 1615: 1-20.
10. Gangwar, K. S., K. K. Singh, S. K. Sharma and O. K. Tomar. 2006 Alternative tillage and crop residue management in wheat after rice in sandy loam soils of Indo-Gangetic plains. *Soil Till. Res.* 88: 242-252.

11. Hsiao, C. L., C. M. Yang, C. H. Ho and H. S. Lin. 2016 Influence of rice-wheat rotation system on weed population, weed density and weed management. *Weed Sci Bull.* 37: 207-216.
12. Saharawat, Y. S., B. Singh, R. K. Malik, J. K. Ladha, M. Gathala, M. L. Jat and V. Kumar. 2012 Evaluation of alternative tillage and crop establishment methods in a rice-wheat rotation in North Western IGP. *Field Crop Res.* 116: 260-267.
13. Xu, X., M. Zhang, J. Li, Z. Liu, Z. Zhao, Y. Zhang, S. Zhou and Z. Wang. 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. *Field Crops Res.* 221: 219-227.
14. Yang, J., Q. Zhou and J. Zhang. 2017 Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Crop J.* 5: 151-158.

Evaluation of Water-Saving and Revenue in Rice-Wheat Rotation System¹

Jin-Ying Yang and Hsun-Shih Lin ²

ABSTRACT

This study discussed the water efficiency and profitability of rice–wheat rotation. The rice–wheat rotation model was implemented in Dacheng Township, Changhua County, and compared with the conventional rice–rice rotation model incorporating conventional irrigation (CI) and alternate wetting and drying (AWD). The water requirement was investigated during the growth period, and the yield traits were examined at maturity. The results revealed that the annual water demand per hectare was 13,190 m³ for the rice AWD–wheat rotation model, which was the most water-efficient model and required 810 m³ less water than the conventionally irrigated rice (CI) –wheat rotation model (5.8%), 2,400 m³ less water than the rice AWD–rice AWD model (15.4%), and 3,325 m³ less water than the conventionally irrigated rice (CI)–conventionally irrigated rice(CI) model (20.1%). According to the production cost and benefit analysis, the total production cost of wheat per hectare was NT\$58,350, with labor and mechanical contract labor accounting for 50.5% of it. In other words, each kg of wheat cost NT\$17.3 to produce. The total production cost of first-crop rice per hectare was NT\$123,000, with labor and mechanical contract labor accounting for 51.2% of it. In other words, each kg of first-crop rice cost NT\$17 to produce. The total production cost of second-crop rice per hectare was NT\$117,200, with labor and mechanical contract labor accounting for 54.6% of it. In other words, each kg of second-crop rice cost NT\$21.6 to produce. In summary, each farmer adopting the rice–wheat rotation model could earn as high as NT\$122,823 per year, which was nearly equal to a profit of NT\$115,353 for a farmer adopting the rice–rice rotation model. If the subsidy for the crop type transfer to wheat (NT\$45,000/hectare) is incorporated into the rice–wheat rotation model, then the farmer adopting this model can earn NT\$52,471 more than a farmer adopting the rice–rice rotation model. This provides an incentive for farmers to switch the type of crops they plant. The rice–wheat rotation model is recommended as a cultivation model to conserve water and address agricultural labor shortage.

Keywords: rice-wheat rotation, water-saving, revenue

¹Contribution No.1062 from Taichung DARES, COA.

²Assistant and Assistant Researcher of Taichung DARES, COA.