

不同氮肥施用量對節水栽培水稻臺南 11 號產量之影響

林家玉^{*1}、吳東鴻²、吳以健³、楊靜瑩⁴、楊明德⁴、賴明信²、張素貞¹

¹ 行政院農業委員會苗栗區農業改良場

² 行政院農業委員會農業試驗所

³ 行政院農業委員會臺中區農業改良場

⁴ 國立中興大學

摘 要

水稻為灌溉水需求量較高之作物，調整灌溉方式以減少用水量，提高水分利用效率為近年來重要的議題，另外氮肥施用量會影響水稻產量、品質及栽培風險等，配合品種、氣候等栽培條件之合理化施肥量亦為國內重要研究方向。本研究測試於氮肥施用量 60 kg N/ha、180 kg N/ha 及 260 kg N/ha 下乾濕交替及慣行灌溉對水稻臺南 11 號產量之影響，氮肥施用量方面，高氮肥施用量無法增加產量，反而造成倒伏及病害發生等栽培風險上升，節水栽培方面，乾濕交替灌溉模式可較慣行灌溉模式節省 36.9% 灌溉用水，減少灌溉勞力需求且對產量無顯著影響，可供農友參考使用。

關鍵詞：水稻、乾濕交替、節水灌溉、水分利用效率

*論文聯繫人

e-mail: 328@mdais.gov.tw

前 言

水稻是臺灣地區栽培面積最廣也是最主要的糧食作物，穩定生產與提高品質的兩大目標向為人所重視，隨著氣候變遷，造成降雨不穩定，水資源分配成為新的挑戰，根據經濟部水利署 2018 年統計，農業用水約占全臺用水量的 71%，其中水稻

又是用水量最大的作物，如何提高栽培韌性，穩定國內稻米生產量為近年來重要的議題。目前臺灣水稻最主要的栽培模式為多本植且湛水灌溉模式進行管理，如果想獲得良好的產量，每個月需要 1,800~3,000 m³/ha 的水量（蔣和黃，2004），對灌溉用水需求較大，對此，國內外已發表多種水稻節水栽培技術，其中較常見的有強化稻作栽培體系 (System of rice intensification, SRI)、通氣稻栽培體系 (Aerobic rice system) 及乾濕交替技術 (Alternative wetting and drying irrigation, AWD) 等，強化稻作栽培體系建議提早移植、以單本植或少秧方式種植，增加株距促使植株分蘗增加，減少肥料施用減輕病蟲害發生，並配合乾濕交替技術進行田間水分管理（鄭，2013），目前在馬達加斯加等國測試，均有不錯之效益；通氣稻栽培體系係以育成具有良好耐旱能力且產量穩定的通氣稻 (Aerobic rice) 為主要目標，目前已有超過 10 個以上之數量性狀基因座 (Quantitative trait loci, QTLs) 可作為分子育種之標的，通氣稻產量及需水量均介於陸稻及水稻之間，在難以獲得灌溉的田區可獲得穩定之產量，目前在中國已有完成命名之品種 (Meena *et al.*, 2019a; Xu *et al.*, 2020b)；乾濕交替技術於 2000 年由國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 提出，係於田間設置可觀察水位的直管，水稻生育期間將水位灌至逾水田表面 5 公分高後，讓水位自然下降並透過直管觀察土面下之水位，當水位低於水田表面 15 公分時再行灌水，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 (Bouman and Toung, 2000)。本研究為減少農友使用困難，將灌水管理簡化為於水稻生育期間將水位灌至逾水田表面 3~5 公分高後讓水位自然下降，當水位下降至 0 公分後，隔一天再進行灌溉至水位高度 3~5 公分，以此重複的管理田間水分，達到減少灌水量之效果，其栽培管理及雜草防除等方式亦與國內較為接近。

氮肥用量是水稻栽培時最易調控因子之一，且其對產量及產量構成要素之影響甚大，前人研究中顯示，增加氮肥施用可使水稻單株穗數及每穗粒數增加，進而達到增產之效益（賴等，1996）；但是過量施用氮肥則會造成水稻株高增加，葉片柔軟下垂，增加倒伏之風險（蘇和劉，1985），無效分蘗增加，提高病蟲害發生情形（廖等，2016），並導致稔實率下降，因此配合農友栽培品種、當地氣候環境及栽培管理技術，推薦氮肥合理化施肥用量為各試驗改良場所之研究目標；本研究進行不同氮肥施用量下慣行灌溉及乾濕交替灌溉對產量及產量構成要素之影響。

材料與方法

一、試驗材料：水稻臺南 11 號

二、試驗期間：2019 年 1、2 期作及 2020 年 1、2 期作進行 4 期作試驗

三、試驗方法：

- (一) 栽培管理：採裂區設計，灌溉管理為主區，氮肥施用量為副區，2 重複，行株距 30 cm x 21 cm，多本植。田間管理及病蟲害防治依照水稻高級試驗田區管理模式實施。
- (二) 灌溉管理：慣行灌溉依據農友現行灌溉方式，水稻生育期間維持田間水位高度 3 公分~5 公分，於最大分蘗期進行晒田 10 天~14 天；節水栽培採乾濕交替灌溉模式，灌溉水位高度與慣行灌溉一致，惟當水位自然下降至 0 公分後，次日才進行灌溉至水位高度 3 公分~5 公分，於最大分蘗期進行晒田 10 天~14 天。
- (三) 氮肥施用量：氮肥施用量分別為 60、180 及 260 kg N/ha；氮肥分 4 次施用，分別為基肥、第一次追肥、第二次追肥及穗肥，基肥為 60 kg N/ha，其餘氮肥則分 3 次，平均施用，第一次追肥一期作為插秧後 15 天，二期作為插秧後 10 天，第二次追肥一期作為插秧後為 30 天，二期作為插秧後 20 天，穗肥依據田間生育情形，於幼穗形成期進行施用。

四、調查項目：

- (一) 農藝性狀：於收穫後進行產量構成要素包括單株穗數、每穗粒數、稔實率、千粒重及產量等性狀調查。
- (二) 灌溉水用量：利用弓銓企業股份有限公司環保式水量計（型號：IN 50）進行灌溉水用量記錄，降雨量以本場氣象站資料進行計算。

五、統計分析

產量及產量構成要素數據以 Windows Excel 進行變方分析 (ANOVA)，處理組差異以最小顯著差異 (Least significant difference, LSD) 測驗，在 5% 顯著水準下比較。

結果與討論

一、不同灌溉模式對灌溉水用量之影響

2019 及 2020 年試驗結果顯示（表一），2019 年 1 期作慣行灌溉 (Conventional practice, CP) 用水量為 17,366.3 m³/ha，乾濕交替灌溉 (Alternative wetting and drying irrigation, AWD) 用水量為 9,250.8 m³/ha，降雨量為 10,622.2 m³/ha，總計慣行灌溉總進水量為 27,988.5 m³/ha，乾濕交替灌溉總進水量為 19,873.0 m³/ha，乾濕交替灌溉模式省水率約為 29.0%；2019 年 2 期作慣行灌溉用水量為 21,382.0 m³/ha，乾濕交替灌溉用水量為 6,844.0 m³/ha，降雨量為 5,835.0 m³/ha，總計慣行灌溉總進水量為 27,217.0 m³/ha，乾濕交替灌溉總進水量為 12,679.0 m³/ha，乾濕交替灌溉模式省水率約為 53.4%。

2020 年 1 期作慣行灌溉總進水量為 26,463.7 m³/ha，乾濕交替灌溉總進水量為 16,861.3 m³/ha，乾濕交替灌溉模式省水率約為 36.3%；2 期作慣行灌溉總進水量為 11,364.8 m³/ha，乾濕交替灌溉總進水量為 9,272.9 m³/ha，乾濕交替灌溉模式省水率約為 18.4%。

由結果可得知，利用乾濕交替灌溉模式可顯著降低灌溉水用量，可節省水資源消耗、提高水分利用效率。乾濕交替灌溉不需長時間維持湛水高度，除可減少垂直滲漏水量外（陳和楊，2004），亦可延長灌溉間隔時間，減少灌溉所需勞力約 30%，有助於提高農友栽培效率；另外生育期施用 2 次除草劑，即可有效控管田間雜草；且因間歇灌溉栽培期間多次將灌溉水位低於土壤表面，有助於提高土壤透氣性，使根部發育健壯，減少稻田窒息病等病害發生，並可減少水稻田溫室氣體排放量 (Minamikawa and Sakai, 2004)，對環境保育亦有相當優良之效益。

二、不同氮肥施用量及灌溉管理對臺南 11 號產量及產量構成要素之影響

2019 及 2020 年試驗結果顯示（表六、表七），在不同灌溉管理下，在產量及產量構成要素方面無顯著差異，顯示在適當管理下，乾濕交替灌溉不會造成植株生育逆境及產量之損失情形，與前人研究結果相近（呂和羅，2014）。

不同氮肥施用量方面，在大多期作內，氮肥施用量對產量及產量構成要素無顯著差異，僅於 2019 年 2 期作時，氮肥施用量 260 kg N/ha 處理組產量顯著較另外兩組為低，另外於 2020 年 2 期作時，高氮肥施用造成每穗粒數增加，但是千粒重減少之情形，對產量亦無影響（表二、表三、表四、表五），顯示苗栗地區高氮肥施用對產量增加並非絕對因素，因苗栗地區日照量及溫度皆較南部為低，且降雨日數較多，導致每穗粒數增加時稔實率及千粒重之下降，造成氮肥利用率較差之情形。除此之外，試驗田間生育情形亦顯示，高氮肥施用會導致生育延遲，稻穀成熟期延後之情形，依據前人研究，可能造成胴割及未熟粒比例增加，糙米完整粒比例減少（賴等，1997），影響乾穀折算率，造成農友收益損失，不可不慎。另外高氮肥施用之處理組會導致稻熱病及紋枯病等發生情形嚴重，藥劑防治次數增加，栽培成本上升，亦導致成熟期倒伏風險增加，在栽培管理上需多加注意。

表一、不同灌溉模式下灌溉水用量

Table 1. The water consumption by different irrigation models

Year	Crop season	Irrigation model	Irrigation (m ³ /ha)	Rainfall (m ³ /ha)	Water input (m ³ /ha)	Water saving (%)	Water use efficiency (kg/m ³)
2019	First	CP	17,366.3	10,622.2	27,988.5	29.0	0.22
		AWD	9,250.8		19,873.0		0.28
	Second	CP	21,382.0	5,835.0	27,217.0	53.4	0.17
		AWD	6,844.0		12,679.0		0.33
2020	First	CP	21,426.5	5,037.2	26,463.7	36.3	0.23
		AWD	11,824.1		16,861.3		0.41
	Second	CP	9,693.9	1,670.9	11,364.8	18.4	0.40
		AWD	7,602.0		9,272.9		0.56

註：

CP：Conventional practice，慣行灌溉

AWD：Alternative wetting and drying irrigation，乾濕交替灌溉

表二、2019 年度 1 期作不同氮肥施用量及灌溉管理下產量及產量構成要素變方分析表
 Table 2. ANOVA table of yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in first crop in 2019

Source	DF	Mean square				
		Grain yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grains weight
Block	1	3,476,341	4.45	20.80	4.941	0.14
Irrigation	1	638,485	9.67	67.21	0.001	26.11
Irrigation x Block	1	7,885	4.44	132.00	1.401	3.74
Nitrogen	2	1,751,974	30.40	563.83	55.308	10.90
Irrigation x Nitrogen	2	538,031	0.42	21.91	9.811	1.25
Error	4	317,256	6.54	108.65	26.711	4.22

表三、2019 年度 2 期作不同氮肥施用量及灌溉管理下產量及產量構成要素變方分析表
 Table 3. ANOVA table of yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in second crop in 2019

Source	DF	Mean square				
		Grain yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grains weight
Block	1	517,505	5.33	19.51	109.81	40.33
Irrigation	1	818,079	6.75	407.17	2.71	34.00
Irrigation x Block	1	48,794	9.01	38.52	2.52	1.20
Nitrogen	2	775,898	4.55	427.56	180.60	10.93
Irrigation x Nitrogen	2	39,475	3.40	0.12	37.85	5.63
Error	4	100,010	1.99	85.94	49.94	13.86

表四、2020 年度 1 期作不同氮肥施用量及灌溉管理下產量及產量構成要素變方分析表
 Table 4. ANOVA table of yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in first crop in 2020

Source	DF	Mean square				
		Grain yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grains weight
Block	1	1,189,692	0.05	7.21	68.16	2.71
Irrigation	1	2,626,791	0.01	0.19	65.33	0.24
Irrigation x Block	1	279,502	9.72	55.04	17.28	0.70
Nitrogen	2	239,258	8.17	17.72	135.21	0.39
Irrigation x Nitrogen	2	341,493	2.54	9.20	81.33	0.02
Error	4	654,832	1.90	16.60	27.47	0.47

表五、2020 年度 2 期作不同氮肥施用量及灌溉管理下產量及產量構成要素變方分析表
 Table 5. ANOVA table of yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in second crop in 2020

Source	DF	Mean square				
		Grain yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grains weight
Block	1	1,280,991	10.45	619.20	10.08	10.27
Irrigation	1	1,280,860	0.05	27.00	44.08	7.52
Irrigation x Block	1	249,437	1.92	100.92	114.08	102.67
Nitrogen	2	175,913	32.65	1363.96	30.08	96.14
Irrigation x Nitrogen	2	26,230	4.58	199.03	25.08	19.66
Error	4	279,102	4.10	107.83	16.58	5.21

表六、2019 年度不同氮肥施用量及灌溉管理下臺南 11 號產量及產量構成要素

Table 6. The yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in 2019

Crop season	Irrigation model	Nitrogen rates (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	Panicle number per hill (tiller)	Spikelet number per panicle (No.)	Fertility (%)	1000-grains weight (g)
First	CP	60	6920 ± 769 ^x a	21.9 ± 2.1 a	78.0 ± 13.7 a	81.8 ± 2.7 a	26.5 ± 0.6 a
		180	5997 ± 154 a	27.7 ± 2.4 a	70.7 ± 5.6 a	82.7 ± 0.9 a	24.5 ± 1.7 a
		260	5382 ± 769 a	23.6 ± 0.3 a	93.6 ± 5.4 a	78.6 ± 6.6 a	24.0 ± 0.9 a
	AWD	60	5767 ± 384 a	25.7 ± 2.7 a	68.0 ± 2.3 a	83.1 ± 0.2 a	23.9 ± 2.4 a
		180	3605 ± 154 a	30.8 ± 0.5 a	69.6 ± 6.0 a	84.9 ± 2.2 a	22.5 ± 0.4 a
		260	4844 ± 1000 a	28.0 ± 0.5 a	90.4 ± 2.3 a	75.0 ± 1.1 a	19.8 ± 0.6 a
Second	CP	60	5184 ± 25 a	18.4 ± 0.4 a	101.6 ± 4.1 a	62.7 ± 6.0 a	26.1 ± 0.1 a
		180	4667 ± 390 a	20.8 ± 1.5 a	97.1 ± 2.4 a	52.0 ± 8.8 a	22.3 ± 0.1 a
		260	4205 ± 16 a	21.5 ± 0.5 a	116.7 ± 4.9 a	44.0 ± 4.6 a	25.8 ± 6.3 a
	AWD	60	4634 ± 520 a	18.3 ± 2.3 a	112.9 ± 5.4 a	57.2 ± 0.6 a	23.6 ± 2.4 a
		180	3961 ± 237 a	20.1 ± 1.8 a	108.9 ± 5.8 a	48.6 ± 3.9 a	20.8 ± 0.4 a
		260	3894 ± 57 a	17.9 ± 0.6 a	128.6 ± 9.6 a	50.0 ± 3.3 a	19.8 ± 1.8 a

^xmean ± standard error.

The same letters in the column means there are not significantly different among the different nitrogen fertilizer application rates under the same irrigation models

表七、2020 年度不同氮肥施用量及灌溉管理下臺南 11 號產量及產量構成要素

Table 7. The yield and yield components of Tainan 11 by different nitrogen application rates and irrigation models in 2020

Crop season	Irrigation model	Nitrogen rates (kg/ha)	Grain yield (kg/ha)	Panicle number per hill (tiller)	Spikelet number per panicle (No.)	Fertility (%)	1000-grains weight (g)
First	CP	60	5966 ± 9 ^x a	27.9 ± 0.4 a	56.4 ± 2.9 a	88.5 ± 0.2 a	32.0 ± 0.5 a
		180	5951 ± 92 a	28.5 ± 2.5 a	52.7 ± 0.8 a	90.0 ± 0.1 a	32.2 ± 0.5 a
		260	6247 ± 570 a	30.5 ± 0.1 a	59.4 ± 2.0 a	86.4 ± 3.4 a	31.7 ± 0.3 a
	AWD	60	6482 ± 66 a	26.9 ± 1.1 a	54.5 ± 1.3 a	92.5 ± 1.1 a	32.2 ± 0.1 a
		180	7554 ± 1295 a	30.4 ± 0.9 a	55.9 ± 4.8 a	86.0 ± 0.5 a	32.6 ± 1.1 a
		206	6935 ± 174 a	29.8 ± 0.5 a	57.3 ± 5.2 a	72.4 ± 9.2 a	31.9 ± 0.9 a
Second	CP	60	4635 ± 508 a	16.8 ± 2.8	67.6 ± 0.4 a	69.0 ± 4.0 a	36.1 ± 1.6 a
		180	4643 ± 754 a	22.1 ± 0.3	76.2 ± 12.4 a	61.5 ± 7.5 a	30.3 ± 4.2 a
		260	4278 ± 151 a	24.4 ± 0.9	91.3 ± 17.4 a	66.5 ± 0.5 a	27.2 ± 5.8 a
	AWD	60	5111 ± 191 a	19.2 ± 1.9	64.7 ± 9.8 b	72.5 ± 4.5 a	32.5 ± 2.5 a
		180	5437 ± 611 a	21.9 ± 1.4	69.0 ± 4.5 b	70.5 ± 0.5 a	33.8 ± 1.1 a
		260	4968 ± 254 a	22.6 ± 0.8	110.4 ± 1.4 a	65.5 ± 1.5 a	22.6 ± 2.4 b

^xmean ± standard error.

The same letters in the column means there are not significantly different among the different nitrogen fertilizer application rates under the same irrigation models

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會農業科技計畫經費補助(計畫編號：108 農科-13.2.4-苗-M2 及 109 農科-11.2.4-苗-M2)，並感謝洪偉嘉計畫助理及約聘雇人員羅春慶先生協助田間管理工作，謹致謝忱。

引用文獻

- 呂奇峰、羅正宗。2014。節水栽培對水稻產量及品質之影響。臺南區農業改良場研究彙報 64：10-19。
- 陳榮坤、楊純明。2004。水稻節水栽培之可行性探討(一)水分消耗與節水空間。農業試驗所技術服務 60：1-4。
- 廖勁穎、林駿奇、林家玉。2016。有機水稻田間管理策略。105 年度臺東有機農業發展暨試驗研究推廣成果研討會專刊：31-42。
- 鄭友誠。2013。強化水稻用水栽培體系可行性評估及對水資源之影響計畫執行成果。農政與農情 252：50-54。
- 蔣汝國、黃小珍。2004。直播及節水栽培對水稻用水量及產量之影響。臺南區農業專訊 50：13-15。
- 賴明信、陳正昌、郭益全、呂秀英、陳治官、李長沛、曾東海。1996。現行水稻推廣品種生產力與氮肥施用量之關係 I. 氮肥用量對水稻產量及產量構成要素之影響。中華農業研究 45(3)：203-217。
- 賴明信、陳正昌、郭益全、陳治官、李長沛、曾東海、林英俊。1997。現行水稻推廣品種生產力與氮肥施用量之關係 II. 氮肥用量對水稻容重及品質之影響。中華農業研究 46(1)：1-14。
- 蘇昌吉、劉瑋婷。1985。施肥方法及插植密度對水稻吉野 1 號倒伏性之關係。稻作改良年報：307-309。

- Bouman, B.A.M. and T. P. Tuong. 2000. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management* 1615: 1-20.
- Meena, R. K., N. Bhusal, K. Kumar, R. Jain, and S. Jain. 2019. Intervention of molecular breeding in water saving rice production system: aerobic rice. *Biotech* 9: 133-145.
- Minamikawa, K. and N. Sakai. 2004. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107: 397-407.
- Xu, P., J. Yang, Z. Ma, D. Yu, J. Zhou, D. Tao, and Z. Li. 2020. Identification and validation of aerobic adaptation QTLs in upland rice. *Life* 10(5): 65-82.

Effect of different nitrogen doses and irrigation levels on yield of rice cultivar Tainan 11

**Chia-Yu Lin^{*1}, Dong-Hong Wu², Yi-Chien Wu³, Chin-Yang Yang⁴, Ming-Der Yang⁴,
Ming-Hsin Lai², Su-Jein Chang¹**

¹ Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

² Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan

³ Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

⁴ National Chung-Hsing University

ABSTRACT

Rice is a crop with high irrigation water requirement, adjusting irrigation methods to reduce water consumption and improve water use efficiency has been an important issue in recent years. In addition, the amount of nitrogen fertilizer application will affect yield, quality and risks of cultivation, judicious use of fertilizer combined with variety and climate is also an important project. This study was conducted to investigate the effects of different irrigation levels and nitrogen doses on yield of rice Tainan 11 in 2019-2020. Two different irrigation model (conventional practice and alternative wetting and drying irrigation) and three different nitrogen doses (60, 180, and 260 kg N/ha) were applied to paddy rice. The results showed that high nitrogen fertilizer application rate could not increase the yield, but increase risks of cultivation such as lodging and disease. In addition, alternative wetting and drying irrigation mode can save about 36.9% irrigation water compared with conventional practice, reduce the labor of irrigation, and cause no significant impact on the yield, which can be used as a suggest for farmers.

Keywords: rice, alternative wetting and drying irrigation, water-saving cultivation, water use efficiency

*Corresponding author email: 328@mdais.gov.tw