

超級雜交稻在台灣產量潛力分析

卓緯玄^{1,*} 陳宗禮² 李長沛³ 賴明信⁴ 吳東鴻¹ 顏信沐¹

摘要

卓緯玄、陳宗禮、李長沛、賴明信、吳東鴻、顏信沐。2017。超級雜交稻在台灣產量潛力分析。台灣農業研究 66(4):343–355。

水稻為台灣最主要生產與消費的糧食作物，開發高產品種一直是水稻育種重要目標之一，其中雜種優勢運用是一可行的方向。本研究以大陸地區引進之「錢優 0508」(‘Qianyou 0508’; ‘QY 0508’)、「II 優 7954」(‘II You 7954’; ‘II Y 7954’)、「Y 兩優 689」(‘Y Liangyou 689’; ‘YLY 689’)、「Y 兩優 302」(‘Y Liangyou 302’; ‘YLY 302’)、「皖稻 153」(‘Wandao 153’; ‘WD 153’)、「五優 308」(‘Wuyou 308’; ‘WY 308’)、「株兩優 168」(‘Zhuliangyou 168’; ‘ZLY 168’) 等 7 個私型超級雜交稻組合為材料，對照品種為台灣私稻純系品種「台中私 17 號」(‘Taichung Sen 17’; ‘TCS 17’)，在台灣地區進行一年兩期作生育特性及產量潛力評估試驗。變方分析結果顯示，參試水稻品種的農藝性狀及產量構成要素在不同插植株數及不同品種間具有顯著差異。參試品種的產量、產量構成要素及農藝性狀的表現普遍比對照品種 ‘TCS 17’ 優異，而且一期作的增產效果明顯比二期作高。超級雜交稻高產的主要原因為一期作單株總穎花數(積儲容積)較高所致。一期作多本植的超級雜交稻平均產量較對照品種 ‘TCS 17’ 高 20%，兩本植則高 5%。二期作多本植的超級雜交稻平均產量較對照品種 ‘TCS 17’ 高 7%，兩本植則高 10%。不同插植株數間之比較，以兩本植產量較低，主因為兩本植之穗數不足所致。本研究顯示超級雜交稻在台灣栽培，必須保證其單株穎花數及維持一定的單位面積穗數，才能保證獲致高產。

關鍵詞：超級雜交稻、產量構成要素。

前言

近年來全球氣候變遷導致糧食生產的不穩定性增加，全世界正面臨著潛在的糧食短缺問題 (Long *et al.* 2015)，如何提高水稻單位面積產量，突破產量高原障礙，是水稻育種者追求的目標。國際上水稻產量潛力的提昇主要歷經了兩個重要階段，第一階段是國際水稻研究所 (International Rice Research Institute; IRRI) 將來自台灣品種的半矮性基因 *DGWG-sd1* 導入印尼傳統高大植株品種 ‘Peta’，於 1966 年育成改良型半矮性品種 ‘IR 8’，將熱帶地區水稻產量潛力由 6 Mg ha⁻¹ 提高到 10 Mg ha⁻¹

(Khush *et al.* 2001)；第二個階段為 1976 年，中國大陸以雜種優勢為基礎所發展的雜交稻成功應用於生產，將中國大陸的水稻產量提高了 20% 左右 (Yuan 2006)。台灣於 1935 年即開始以秈粳雜交 (japonica/indica cross) 方式增加遺傳歧異度，選育高產品種；2004 年育成之粳稻「台南 11 號」，兼具高產及優良米粒外觀與食味品質，單位面積產量高達 9.5 Mg ha⁻¹ (Lin 2004)，截至 2015 年已佔全台灣水稻栽培面積 60.73%，為目前全台領先栽培品種。中國大陸於 1996 年訂定了超級稻育種計畫，其產量指標分為 4 期：第 1 期 (1996–2000 年) 目標較 1996 年增產 20% (10.5 Mg ha⁻¹)，第 2

投稿日期：2017 年 4 月 5 日；接受日期：2017 年 5 月 22 日。

* 通訊作者：shyuan@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所作物組助理研究員。台灣 台中市。

² 國立中興大學農藝學系教授。台灣 台中市。

³ 農委會農業試驗所作物組副研究員。台灣 台中市。

⁴ 農委會農業試驗所作物組研究員。台灣 台中市。

期 (2001–2005 年) 目標增產 40% 以上 (12 Mg ha⁻¹)，第 3 期 (2006–2015 年) 目標為 13.5 Mg ha⁻¹，第 4 期 (2016–2020 年) 目標為 15 Mg ha⁻¹ (Yuan 2006, 2017)，並以北方粳型超級稻與南方秈型超級雜交稻同時發展。

作物會利用表現型的可塑性來調節器官的生長與發育，以適應環境的變化 (Schlichting 2002)。水稻產量由積儲大小和供源能力間的平衡決定 (Ohsumi *et al.* 2011)。在合適環境生長下，積儲容量大小被認為是穀粒產量的決定因素 (Sheehy *et al.* 2001; Yoshida *et al.* 2006)。積儲容量大小可透過提高單位面積穗數或一穗穎花數來增加，但是因為兩者具有很高的補償機制，使得我們很難同時提高這兩種性狀，因此想要提高產量通常是以增加單位面積的穗數 (Katsura *et al.* 2007; Badshah *et al.* 2014; Liang *et al.* 2014) 或是提高一穗穎花數 (Sheehy *et al.* 2001; Katsura *et al.* 2008) 來著手。Lai *et al.* (2016) 將 *Gn1a* 多粒數基因回交導入水稻「台農 71 號」中，提升了 26% 的一穗穎花數，但增產幅度僅 4.2%，其主因係稔實率由 78.8% 下降到 64.7%。因此在增加積儲容積時，仍要注意需有足夠的供源，才能獲得較好的增產效果 (Ohsumi *et al.* 2011; Yoshinaga *et al.* 2013)。超級雜交稻品種的開發是以理想株型為基礎，理想株型的主要特徵是大穗、少分蘗 (Peng *et al.* 2008)；單位面積穗數可透過早期增施氮肥、改變插植密度來改善，或在幼穗分化期施用氮肥提高一穗穎花數 (Yoshida *et al.* 2006)。然而，高產品種除了挑戰遺傳和生理產量上限之外，還必須具備良好的環境適應性，以便在氣候變遷、密植及高投施等風險挑戰下能維持產量的穩定性 (Rötter *et al.* 2015)。因此，育種者除了針對超級雜交稻的廣適應性進行研究外，仍須就不同栽種環境建立適合的超高產栽培模式。

台灣以往曾進行三系雜交水稻之研究，當時的研究認為雜種品系對環境較為敏感，產量穩定性較差 (Tseng & Huang 1987)。單交雜種品系的特殊組合力，因環境有很大的差異 (Huang *et al.* 1988)。雜交稻產量一般可較對照品種增產 10.1–24.9%，適當調整種植時期並利用其感光性，可使其發揮高產潛力 (Chen

et al. 1991)。後因台灣推動良質米政策及雜交稻米質提升困難，因而中斷研究。由於中國大陸對雜交稻研究長期持續進行，近來在超級雜交稻研究中屢有佳績，2011 年超級雜交稻「Y 兩優 2 號」產量已達 13.9 Mg ha⁻¹，「Y 兩優 900」於 2013 年在湖南省隆回縣與 2014 年在湖南省徐浦縣示範田中分別達到 14.8 Mg ha⁻¹ 和 15.4 Mg ha⁻¹ 的產量表現，2015 年「超優 1000」品種在雲南省箇舊市示範田中已成功將單位面積產量提升到 16.0 Mg ha⁻¹ (Yuan 2017)。水稻的產量會因地區、環境氣候、栽培技術等因素而有不同的表現 (Katsura *et al.* 2007; Yang *et al.* 2008)。這些具有超高產特性的超級雜交稻品種從未在台灣環境中進行產量表現的研究，因此本研究自中國大陸地區引進 7 個超級雜交稻組合為材料，並以台灣高產秈稻純系品種「台中秈 17 號」為對照品種進行產量比較試驗，以評估雜交稻在台灣環境下的生產潛力，期能提供台灣超高產水稻栽培及育種改良工作之參考。

材料與方法

試驗材料

本研究以行政院農業委員會農業試驗所 (以下簡稱農試所) 自中國大陸地區引進之「錢優 0508」(‘Qianyou 0508’; ‘QY 0508’)、‘II 優 7954」(‘IIYou 7954’; ‘IYY 7954’)、‘Y 兩優 689」(‘Y Liangyou 689’; ‘YLY 689’)、‘Y 兩優 302」(‘Y Liangyou 302’; ‘YLY 302’)、‘皖稻 153」(‘Wandao 153’; ‘WD 153’)、‘五優 308」(‘Wuyou 308’; ‘WY 308’)、‘株兩優 168」(‘Zhu-liang-you 168’; ‘ZLY 168’) 等 7 個超級雜交稻品種為材料，其中有 3 個品種為三系法雜交水稻，4 個品種為兩系法雜交水稻；比較試驗以台灣目前高產純系秈稻栽培品種「台中秈 17 號」(‘Taichung sen 17’; ‘TCS 17’) 為對照 (表 1)；雜交稻組合種子由中國大陸「中國水稻研究所 (China Rice Research Institute; CRRRI)」提供，「台中秈 17 號」種子則由農試所稻作研究室自行繁殖，所有參試品種 (系) 均屬秈稻 (*indica rice*)。

本試驗中 ‘ZLY 168’ 屬早稻品種；‘QY 0508’、

表 1. 本研究超級雜交稻與「台中秈 17 號」對照品種的特性^z。Table 1. Characteristics of super hybrid rice varieties and check variety 'Taichung sen 17' in this study^z.

Variety	Breeding method	Cross combination	Regional yield trial (kg ha ⁻¹) ^y	Growth duration (d)	Plant height (cm)	Spikelets per panicle	1000-grain weight (g)	Disease/pest resistance ^x
Qianyou 0508 (QY 0508)	Three-line hybrid	Qianjiang 1A/Zhehui 0508	8,527	119.7	108.1	153.3	26.40	HS to BL.
II You 7954 (II Y 7954)	Three-line hybrid	II-32A/Zhehui 7954	8,516	136.3	118.9	174.1	27.30	S to BL, MS to BBL, HS to BPH.
Y Liangyou 689 (YLY 689)	Two-line hybrid	Y58S/Wenhui 689	8,767	138.3	122.3	164.5	26.50	HS to BL, S to BBL, HS to BPH.
Y Liangyou 302 (YLY 302)	Two-line hybrid	Y58S/F302	9,064	136.5	131.9	178.1	26.50	HS to BL, S to BBL, HS to BPH.
Wandao 153 (WD 153)	Two-line hybrid	1892S/RH003	8,750	134.3	113.4	176.0	23.54	HS to BL, S to BBL.
Wuyou 308 (WY 308)	Three-line hybrid	Wufeng A/Guanghui 308	7,568	112.2	99.6	157.3	23.60	MS to BL, S to BBL, MS to BPH.
Zhuliangyou 168 (ZLY 168)	Two-line hybrid	Zhu 1S/R168	7,772	108.0	85.0	111.5	26.10	S to BL, MS to BBL.
Taichung sen 17 (TCS 17)	Inbred line	—	7,508 (I) 6,864 (II)	127.0 (I) 106.0 (II)	103.0 (I) 105.0 (II)	134.0 (I) 140.0 (II)	34.00 (I) 33.00 (II)	MR to BL, MS to BBL, R to BPH

^z The data compiled in this study. Hybrid rice data from Continental National Rice Data Center (<http://www.ricedata.cn/index.htm>).

^y (I): first crop; (II): second crop.

^x R: resistance; MR: moderate resistance; MS: moderate sensitive; S: sensitive; HS: high sensitive; BBL: bacterial blight; BL: blast; BPH: brown plant hopper.

‘WY 308’ 等屬晚稻品種；‘II Y 7954’、‘YLY 689’、‘YLY 302’、‘WD 153’ 等屬中稻品種。參試雜交稻品種依據中國大陸國家水稻數據中心資料整理顯示，其區域試驗產量表現約在 7,568–9,064 kg ha⁻¹ 範圍，台灣栽培品種 ‘TCS 17’ 區域試驗產量則為 7,508 kg ha⁻¹ (一期作) 與 6,864 kg ha⁻¹ (二期作)，所有參試品種的病蟲害抗性及其特性列於表 1。

試驗方法

除比較超級雜交稻在台灣產量潛力外，本試驗亦同時探討雜交稻在不同插植株數的產量表現，因此試驗採裂區設計 (split plot design)，不同插植株數為主區，品種為副區，重複 3 次，插植株數處理分為多本植及兩本植，於農試所農場試驗田進行。供試品種於 2012 年第一期作與第二期作，經育苗後分別於 2012 年 2 月 10 日及 2012 年 8 月 9 日移植，每小區種植 5 行 × 20 株，行株距為 28 cm × 16 cm (小區面積 4.48 m²)；肥料施用量為 N : P₂O₅ : K₂O = 132 : 72 : 48 kg ha⁻¹，分為基肥

(台肥 39 號複合肥料 200 kg ha⁻¹)、兩次追肥 (每次硫酸銨 200 kg ha⁻¹) 及穗肥 (台肥 39 號複合肥料 200 kg ha⁻¹) 施用，其他病蟲害防治及灌排水依一般慣行栽培法進行管理。栽培期間調查抽穗期、株高，成熟期記錄收穫時間，每小區收穫 4 叢，剪下稻穗後混合置於精密烘箱 (ULE-600, Memmert) 以 40°C 烘乾至水份含量約 13–14% 時進行考種，調查其穗數、穗長、穗重、稔實粒重、不稔實粒重、稔實粒數及不稔實粒數，並計算全生育期 (growth duration)、每株穗數 (panicle number per hill)、單株總穎花數 (spikelet number per hill)、單穗長 (panicle length)、單穗重 (panicle weight)、一穗穎花數 (spikelet number per panicle)、稔實率 (fertility)、千粒重 (1000-grain weight) 及單株產量 (yield per hill)。試驗小區全部採收烘乾至約 13–14% 時進行風選後稱重，並以容量式水分計 (PM-600, KETT) 測量水分含量、容重 (volume weight) 等，小區產量校正為水分含量 13% 之重量後計算單位面積產量 (yield per hectare) 及日產量 (daily yield)。

統計分析

調查性狀使用 SAS 9.2 版本軟體 (Systat-Software, Inc. 2006) 進行變方分析 (Analysis of variance; ANOVA) 及最小差異顯著性測驗 (Fisher's protected least significant difference test; LSD test), 分開一、二期作下探討各參試品種在不同插植株數間之表現差異, 以瞭解超級雜交稻在台灣環境栽種的生產潛力。

結果

一期作產量潛力分析

一期作下單株產量的插植株數與品種之交感效應不顯著, 單株產量在不同插植株數間不顯著但品種間具極顯著差異, 顯示單株產量的品種間差異性不會因插植株數而有明顯影響; 單位面積產量及日產量插植株數與品種之交感效應顯著或極顯著差異, 表示參試品種的單位面積產量及日產量會隨著插植株數不同而異 (表 2)。由表 3 結果發現, 單株產量在多本植時以 'WY 308'、'II Y 7954' 及 'YLY 302' 顯著較對照品種 'TCS 17' 高產, 兩本植時所有參試品種均與 'TCS 17' 無顯著差異。7 個參試品種的單位面積產量在多本植時均顯著較 'TCS 17' 增產, 兩本植時則僅有 'II Y 7954'、'WD 153' 兩品種顯著高於 'TCS 17'; 不同插植株數間則以 'QY 0508'、'YLY 689'、'YLY 302' 及 'WY 308' 等品種在兩本植時單位面積產量均顯著低於多本植。日產量以 'II Y 7954' 的日產量最高可達 85.8 kg ha^{-1} , 其次為 'ZLY 168'; 在多本植時 7 個參試品種的日產量均顯著高於 'TCS 17', 兩本植時則僅有 5 個品種顯著高於 'TCS 17'; 比較不同插植株數間的日產量, 以多本植之日產量有較高之趨勢, 其中又以 'II Y 7954' 的日產量表現最佳; 'ZLY 168' 之單株及單位面積的產量雖較差但日產量則有較佳成績, 顯示該品種能以較短生育日數達成一定的產量。綜合以上結果, 顯示參試超級雜交稻品種在多本植時的產量均較台灣對照品種 'TCS 17' 為高, 尤其日產量表現更為明顯, 其中又以 'II Y 7954' 的表現最佳。

一期作產量構成要素之變方分析顯示, 插

植株數與品種之交感效應, 除稔實率沒有顯著差異外, 每株穗數、一穗穎花數及千粒重均具顯著差異, 顯示參試品種在該 3 個產量構成要素之表現會隨著插植株數不同而異 (表 2)。由表 3 結果發現, 每株穗數在多本植時以 'WY 308' 與 'II Y 7954' 兩品種顯著高於對照品種 'TCS 17'; 兩本植時除 'ZLY 168' 與 'QY 0508' 兩品種之每株穗數與 'TCS 17' 無顯著差異外, 其他參試品種之每株穗數均顯著較 'TCS 17' 少; 比較不同插植株數處理之間, 多本植之每株穗數有較多之趨勢, 其中 'II Y 7954' 與 'WY 308' 兩品種在多本植與兩本植間的每株穗數差異極為懸殊, 顯示這兩個品種的分蘗能力最差。一穗穎花數在多本植與兩本植時, 除 'ZLY 168' 品種外, 其他參試品種均顯著高於對照品種 'TCS 17'; 比較不同插植株數處理之間, 兩本植的平均一穗穎花數比多本植多, 顯示在兩本植時參試品種會明顯提高一穗穎花數來因應, 尤其以 'II Y 7954'、'WD 153' 及 'ZLY 168' 最為明顯。一期作稔實率除 'ZLY 168' 品種在多本植時顯著低於 'TCS 17' 外, 其他參試品種均與 'TCS 17' 沒有顯著差異; 兩本植時所有參試品種的稔實率則與 'TCS 17' 無顯著差異。在千粒重方面, 不同插植株數均以對照品種 'TCS 17' 的穀粒顯著較大; 所有參試品種在不同插植株數間的千粒重差異則均無顯著。

一期作農藝性狀之變方分析結果, 除穗長外, 其餘性狀之插植株數與品種間交感效應均顯著或極顯著, 顯示參試品種在幾乎所有農藝性狀之表現會隨著插植株數不同而異 (表 2)。由表 4 結果發現, 一期作生育日數以 'YLY 689'、'YLY 302' 及 'TCS 17' 的生育日數顯著較其他參試品種長, 以 'ZLY 168' 為最早熟的品種; 兩本植植株的生育日數略多於多本植, 其中以 'QY 0508'、'WD 153'、'WY 308' 及 'TCS 17' 品種顯著較長。株高部分, 除 'ZLY 168' 外, 其餘參試品種均顯著比 'TCS 17' 品種高; 比較不同插植株數處理間的株高, 顯示不同品種在不同插植株數的株高表現有所不同。穗長在多本植有略短於兩本植之趨勢, 其中 'QY 0508'、'II Y 7954'、'YLY 689' 及 'ZLY 168' 等

表 2. 2012 年一期作不同水稻品種的產量、產量構成要素及農藝性狀之變方分析。
Table 2. ANOVA of yield, yield components and agronomic traits for different rice varieties grown in the first cropping season of 2012.

Source of variation	df	Mean square											
		Yield per hill	Yield per hectare	Daily yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grain weight	Growth duration	Plant height	Panicle length	Panicle weight	Spikelet number per hill
Block	2	8.25	357,519	30.8*	1.36	0.7	9.37	0.29	3.42	0.60	0.01	26,094	69.6
Seedling number (SN)	1	41.20	2,350,436**	217.1**	70.06**	2,655.6**	0.60	0.14	13.02**	8.38*	1.99**	152,439*	5.6
Error (a)	2	8.34	61,404	4.4	0.78	17.5	2.25	0.05	0.27**	2.21	0.00	13,918	223.0
Variety (V)	7	61.58**	3,268,237**	313.0**	8.54**	2,057.7**	23.53*	22.34**	452.45**	16.32**	0.81**	246,790**	2,528.7**
SN × V	7	23.15	487,945**	29.0*	10.90**	514.8**	8.70	3.20**	1.40*	8.84**	0.31**	133,676**	283.0**
Error (b)	28	11.82	142,916	8.9	1.19	51.2	8.38	0.33	0.59	1.71	0.03	23,440	48.9

*** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

表 3. 2012 年一期作不同水稻品種在不同插植株數下產量及產量構成要素之平均值比較。

Table 3. Mean comparison of yield and yield components for different rice varieties under different seedling numbers in first cropping season of 2012.

Character number	Yield per hill (g hill ⁻¹)		Yield per hectare (kg ha ⁻¹)		Daily yield (kg ha ⁻¹)		Panicle number per hill		Spikelet number per panicle		Fertility (%)		1000-grain weight (g)													
	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two												
QY 0508	39.8	Abc ^z	40.4	Aab	9,972	Aab	81.5	Aab	73.0	Bcd	13.9	Ad	13.8	Aab	122.6	Ab	126.3	Ac	87.9	Aab	87.8	Aab	26.7	Ac	26.4	Acd
II Y 7954	45.6	Aa	43.7	Aa	10,524	Aa	85.8	Aa	86.4	Aa	17.1	Aab	11.0	Bd	108.3	Bc	167.8	Aa	86.0	Aabc	85.7	Aab	28.6	Ab	27.6	Ab
YLY 689	38.4	Abc	32.8	Ac	9,316	Acd	71.7	Ac	62.8	Bf	13.9	Ad	10.8	Bd	128.6	Aab	135.7	Abc	83.7	Abc	82.8	Ab	25.8	Acd	27.0	Abc
YLY 302	41.7	Aab	39.2	Aabc	10,093	Aa	78.4	Ab	71.1	Bde	13.4	Ad	12.9	Abc	138.8	Aa	142.7	Ab	88.3	Aa	84.6	Aab	25.3	Ade	25.2	Ae
WD 153	36.8	Abc	39.7	Aabc	9,980	Aab	81.4	Aab	76.8	Bbc	13.3	Ad	12.1	Acd	129.8	Bab	146.6	Ab	86.3	Aabc	89.4	Aa	24.7	Ae	25.0	Ae
WY 308	46.4	Aa	37.4	Aabc	9,418	Abc	8,915	Bbcd	79.1	Ab	74.3	Bcd	18.6	Aa	131.1	Aab	141.0	Ab	83.4	Abc	87.5	Aab	23.0	Af	25.9	Ade
ZLY 168	36.3	Ac	35.8	Abc	8,751	Ad	8,299	Ade	84.4	Aa	80.1	Ab	16.3	Abc	95.9	Bd	102.1	Ad	82.7	Ac	82.8	Ab	28.0	Ab	27.8	Ab
TCS 17	35.5	Ac	36.9	Aabc	8,115	Be	8,703	Acde	62.6	Bd	66.3	Aef	14.8	Acd	88.1	Bd	100.0	Ad	87.6	Aab	87.1	Aab	31.2	Aa	29.1	Aa

^z Means within treatment of seedling number (in capital letter) and within variety (in small letter) for each character follow by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

表 4. 2012 年一期作不同水稻品種在不同插植株數下農藝性狀之平均值比較。

Table 4. Mean comparison of agronomic traits for different rice varieties under different seedling numbers in the first cropping season of 2012.

Seedling number	Growth duration (d)		Plant height (cm)		Panicle length (cm)		Panicle weight (g)		Spikelet number per hill		Volume weight (g L ⁻¹)	
	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two
QY 0508	122.3 Bb ^z	125.3 Ac	93.4 Ad	93.5 Ae	20.6 Bbcde	22.1 Abcd	3.2 Aab	3.2 Ac	1,700 Abc	1,741 Aabc	540.7 Ac	528.2 Abc
II Y 7954	122.7 Ab	123.7 Ad	102.5 Ab	102.5 Ab	21.0 Bbcd	22.5 Aabc	3.0 Bbc	4.3 Aa	1,854 Ab	1,848 Aa	554.7 Ab	561.8 Aa
YLY 689	130.0 Aa	130.0 Ab	102.1 Ab	99.9 Bc	22.3 Bab	24.6 Aa	3.2 Aab	3.4 Abc	1,785 Abc	1,464 Bcd	501.4 Af	509.5 Ae
YLY 302	128.7 Aa	129.3 Ab	113.8 Ba	117.4 Aa	23.4 Aa	24.0 Aab	3.4 Aa	3.4 Abc	1,867 Ab	1,838 Aa	532.4 Acd	513.0 Ade
WD 153	122.7 Bb	123.7 Ad	98.8 Ac	96.4 Bd	21.8 Aabc	20.9 Acde	3.0 Bbc	3.6 Ab	1,731 Abc	1,776 Aab	523.6 Ade	538.5 Ab
WY 308	119.0 Bc	120.0 Ae	90.5 Be	93.0 Ae	20.1 Acde	20.8 Acde	2.8 Bcd	3.5 Abc	2,422 Aa	1,650 Babcd	511.4 Aef	521.2 Acd
ZLY 168	103.7 Ad	103.7 Af	86.6 Bf	89.1 Af	18.6 Be	19.8 Ade	2.4 Be	2.6 Ad	1,565 Ac	1,554 Abcd	514.9 Aef	526.9 Ac
TCS 17	129.7 Ba	131.3 Aa	90.4 Be	94.0 Ae	19.5 Ade	19.5 Ae	2.6 Bde	2.8 Ad	1,302 Bd	1,452 Ad	572.3 Aa	557.8 Aa

^zMeans within treatment of seedling number (in capital letter) and within variety (in small letter) for each character follow by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

4 個品種多本植的穗長顯著較兩本植短。穗重除 'WY 308' (多本植) 及 'ZLY 168' (多本植與兩本植) 外，其他參試品種均顯著比 'TCS 17' 高，顯示大部分參試雜交稻品種的穗明顯較 'TCS 17' 大；'II Y 7954'、'WD 153'、'WY 308'、'ZLY 168' 及 'TCS 17' 等品種在兩本植的穗重顯著比多本植之表現為重。單株總穎花數在多本植時所有參試品種均顯著比 'TCS 17' 來得多；兩本植時則以 'II Y 7954'、'YLY 302'、'WD 153' 及 QY 0508 的單株總穎花數顯著較 'TCS 17' 高；兩本植的單株總穎花數以 'YLY 689' 與 'WY 308' 顯著低於多本植。在穀粒容重部分，以 'II Y 7954' 最高而 'YLY 689' 最低，但均低於 'TCS 17'。

二期作產量潛力分析

二期作單株產量、單位面積產量及日產量只有在不同參試品種間有顯著差異，顯示這些產量性狀在品種間差異性不因插植株數不同而異 (表 5)。由表 6 分析結果發現，不論多本植或兩本植，單株產量以 'QY 0508' 與 'WY 308' 顯著較對照品種 'TCS 17' 高，其他參試品種則與 'TCS 17' 無顯著差異。在單位面積產量方面，'YLY 689'、'YLY 302' 及 'WY 308' 等 3 個品種不論在多本植或兩本植時均顯著較 'TCS 17' 高產。參試品種以 'ZLY 168' 的日產量最高，多本植與兩本植可分別達 93.5 kg ha⁻¹ 與 94.9 kg ha⁻¹，其次為 'WY 308'，對照品種 'TCS 17' 的日產量則僅約 60 kg ha⁻¹，顯著低於所有參試品種。

二期作產量構成要素之變方分析結果，每株穗數與千粒重之插植株數與品種間交感效應不顯著，顯示其在品種間差異性不因插植株數不同而異；一穗穎花數與稔實率在插植株數與品種間交感效應顯著或極顯著，顯示參試品種間在這兩個產量構成要素之表現會隨著插植株數不同而異 (表 5)。由表 6 分析結果發現，'QY 0508' 之每株穗數不論在多本植或兩本植均顯著高於對照品種 'TCS 17'，多本植時 'II Y 7954'、'YLY 689' 及 'YLY 302' 等 3 個品種的每株穗數顯著較 'TCS 17' 少，兩本植時除 'QY 0508' 與 'WY 308' 外的其他參試品種均顯著較 'TCS 17' 來得少；多本植的每株穗數較兩

表 5. 2012 年二期作不同水稻品種的產量、產量構成要素及農藝性狀之變方分析。
Table 5. ANOVA of yield, yield components and agronomic traits for different rice varieties grown in the second cropping season of 2012.

Source of Variation	Df	Mean square												
		Yield per hill	Yield per hectare	Daily yield	Panicle number per hill	Spikelet number per panicle	Fertility	1000-grain weight	Growth duration	Plant height	Panicle length	Panicle weight	Spikelet number per hill	Volume weight
Block	2	19.17	178,753	11.6	2.85	349.4*	4.21	0.41	0.52	0.05	1.42	0.25*	56,649*	257.6*
Seedling number (SN)	1	0.00	183,460	12.6	9.63**	2,298.7**	4.07	0.46	0.33	11.21*	1.32	1.14**	14,352	51.0
Error (a)	2	5.12	100,037	8.8	1.76	59.8	3.23	0.08	0.27	7.65	0.56	0.06	23,221	17.7
Variety (V)	7	64.58**	1,073,018**	598.4**	25.67**	4,242.8**	119.55**	40.83**	592.13**	440.06**	26.53**	0.98**	533,111**	1,824.2**
SN × V	7	2.47	133,373	12.7	1.38	241.0*	29.77**	0.21	0.67	10.39**	0.52	0.13*	43,700*	23.2
Error (b)	28	6.67	116,082	9.7	1.01	76.6	3.60	0.14	0.80	2.28	1.14	0.05	15,788	50.1

*** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

表 6. 2012 年二期作不同水稻品種在不同插植株數下產量及產量構成要素之平均值比較。

Table 6. Mean comparison of yield and yield components for different rice varieties under different seedling numbers in the second cropping season of 2012.

Character	Yield per hill (g hill ⁻¹)		Yield per hectare (kg ha ⁻¹)		Daily yield (kg ha ⁻¹)		Panicle number per hill		Spikelet number per panicle		Fertility (%)		1000-grain weight (g)	
	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two
QY 0508	46.8 Aa ^z	45.2 Aab	7,753 Abc	7,509 Ac	74.5 Ab	72.2 Acd	16.8 Aa	16.7 Aa	118.5 Ae	107.6 Be	86.5 Ba	91.5 Aa	27.2 Ab	27.5 Ab
II Y 7954	37.2 Ad	37.7 Ac	7,956 Abc	7,896 Abc	74.3 Ab	74.3 Ac	11.2 Ae	9.4 Bd	145.7 Bbc	166.1 Abc	82.9 Bbc	87.6 Ab	27.6 Ab	27.5 Ab
YLY 689	38.9 Acd	40.8 Ac	8,363 Aab	8,336 Aab	73.6 Ab	73.8 Acd	12.0 Ae	12.6 Ac	153.9 Aab	167.8 Ab	82.8 Abc	77.0 Bd	25.6 Ac	25.3 Bc
YLY 302	39.6 Acd	40.4 Ac	8,366 Aab	8,427 Aab	75.1 Ab	75.7 Ac	12.8 Ade	11.8 Ac	155.8 Bab	189.7 Aa	81.8 Ac	74.8 Bd	24.4 Ad	24.3 Ad
WD 153	41.3 Abcd	39.5 Ac	8,126 Aabc	7,387 Bc	76.7 Ab	69.2 Bd	14.8 Abc	12.5 Bc	160.2 Ba	176.8 Aab	75.4 Ad	76.5 Ad	23.2 Ae	23.4 Ae
WY 308	46.0 Aab	46.2 Aa	8,610 Aa	8,767 Aa	88.5 Aa	89.8 Ab	16.0 Aab	15.3 Aab	138.5 Bcd	150.4 Acd	85.3 Aab	85.9 Abc	24.4 Ad	23.5 Be
ZLY 168	42.3 Aabc	41.6 Abc	8,133 Aabc	8,285 Aab	93.5 Aa	94.9 Aa	14.1 Acd	12.4 Bc	127.0 Bde	144.2 Ad	86.2 Aa	85.9 Abc	27.5 Ab	27.1 Bb
TCS 17	37.7 Acd	38.5 Ac	7,617 Ac	7,329 Bc	63.5 Ac	61.8 Ae	14.8 Abc	14.7 Ab	94.6 Bf	102.3 Ae	85.5 Aab	82.6 Bc	31.4 Aa	31.1 Aa

^z Means within treatment of seedling number (in capital letter) and within variety (in small letter) for each character follow by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

本植為多，尤以‘II Y 7954’、‘WD 153’及‘ZLY 168’的差異較大，顯示這 3 個品種在二期作的分蘗能力較差。一穗穎花數除‘QY 0508’(兩本植)外，所有參試品種在多本植或兩本植均一致較‘TCS 17’顯著為多；除‘QY 0508’外，其餘參試品種在兩本植之一穗穎花數均與多本植略多或顯著增加，顯示在兩本植時參試品種通常會提高一穗穎花數來因應。稔實率以‘WD 153’與‘YLY 302’在多本植顯著較‘TCS 17’低，兩本植則以‘WD 153’、‘YLY 689’及‘YLY 302’顯著較‘TCS 17’低，‘QY 0508’及‘II Y 7954’的稔實率則顯著較‘TCS 17’高；整體來看，部分參試品種在台灣二期作環境下栽培的稔實率有偏低之問題，尤其在插植株數較少時。千粒重則均以‘TCS 17’顯著較其他參試品種來得高。

二期作農藝性狀之變方分析結果，株高、穗重及單株總穎花數的插植株數與品種間交感效應顯著或極顯著，顯示參試品種間在這些性狀會隨不同插植株數而異；但生育日數、穗長及穀粒容重之交感不顯著，其品種間差異不因不同插植株數而有明顯差別(表 5)。由表 7 分析結果發現，二期作生育日數以對照品種‘TCS 17’的生育日數顯著較其他參試品種長，其中以‘ZLY 168’為最早熟品種；多本植與兩本植處理間的生育日數沒有顯著差異。不論多本植或兩本植之株高均以‘YLY 302’顯著較其他參試品種高；不同插植株數間以‘YLY 302’、‘WY 308’、‘ZLY 168’及‘TCS 17’在兩本植時顯著較高，其他參試品種則沒有顯著差異。穗長在多本植時以‘YLY 689’、‘YLY 302’及‘II Y 7954’顯著較對照品種‘TCS 17’長；在兩本植時除‘WD 153’外，其他參試品種的穗長均顯著較‘TCS 17’長。穗重除‘QY 0508’及‘WY 308’外，其他參試品種均顯著較‘TCS 17’高，顯示大部分參試雜交稻品種的穗明顯較‘TCS 17’大；穗重在兩本植有重於多本植之趨勢。單株總穎花數除‘II Y 7954’在兩本植時較少外，所有參試品種均顯著較‘TCS 17’來得多，其中又以‘WD 153’與‘WY 308’表現最佳。穀粒容重在多本植時以‘II Y 7954’較高，兩本植時則以‘ZLY 168’與‘II Y 7954’較高，且與對

照品種‘TCS 17’沒有顯著差異，其他參試品種之容重則均顯著低於‘TCS 17’，其中以‘YLY 689’容重最低。

討論

本試驗發現，參試超級雜交稻品種原生育日數與本試驗一期作調查結果極為相近，但不同品種表現略有增減(表 1、表 4)，推測可能與參試超級雜交稻品種大部分來自中國大陸南方，對於溫度、日長的反應與台灣環境接近有關；二期作則生育日數有明顯減少的情形(表 1、表 7)。試驗中，原生育日數較長的品種在台灣環境的生育日數也較長，但二期作則比一期作短約 17 d，且普遍比‘TCS 17’早熟，顯示這些參試品種可能對於溫度或日長反應較為敏感，主要可能為積溫需求已足夠，因此二期作超級雜交稻皆比‘TCS 17’早熟。

參試超級雜交稻品種以往從未在台灣進行產量比較試驗，本試驗結果發現，單位面積產量一期作以‘II Y 7954’品種的 10,524 kg ha⁻¹(多本植)與 10,688 kg ha⁻¹(兩本植)最高，顯著高於對照品種‘TCS 17’的 8,115 kg ha⁻¹(多本植)與 8,703 kg ha⁻¹(兩本植)，增產幅度約達 2,000 kg ha⁻¹。在二期作則以‘WY 308’品種的 8,610 kg ha⁻¹(多本植)與 8,767 kg ha⁻¹(兩本植)最高，顯著高於對照品種‘TCS 17’的 7,617 kg ha⁻¹(多本植)與 7,329 kg ha⁻¹(兩本植)，增產幅度約 990–1,438 kg(表 3、表 6)。但與超級雜交稻在中國大陸雲南省大於 15 Mg ha⁻¹的產量表現(Katsura *et al.* 2008; Yuan 2017)相比，仍有極大差距。惟中國大陸大部分的高產報導均為示範栽培的資料，所使用的栽培管理模式各地區亦不盡相同，需以一般栽培管理模式進行生產比較，才符合商業生產模式。

中國大陸水稻區域試驗技術規範與本試驗之產量比較試驗方法較為接近，為評估本試驗參試品種的產量差異，本研究綜整各品種的區域試驗資料，發現以‘YLY 302’產量最高(9,064 kg ha⁻¹)，‘WY 308’品種產量最低(7,568 kg ha⁻¹)，但都較‘TCS 17’高(表 1)。經本研究在台灣栽種的試驗調查結果，發現一期作各參試品種的單位面積產量明顯比各該品種原

表 7. 2012 年二期作不同水稻品種在不同插植株數下農藝性狀之平均值比較。

Table 7. Mean comparison of agronomic traits for different rice varieties under different seedling numbers in the second cropping season of 2012.

Character	Growth duration (d)		Plant height (cm)		Panicle length (cm)		Panicle weight (g)		Spikelet number per hill		Volume weight (g L ⁻¹)	
	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two	Multiple	Two
Variety												
QY 0508	104.0 Ae ^z	104.0 Ae	88.4 Ad	87.7 Ad	21.7 Abc	21.5 Ac	3.0 Acd	3.0 Ad	1,993 Ab	1,793 Bb	513.7 Acd	511.8 Abcd
II Y 7954	107.0 Ad	106.3 Ad	97.7 Ab	96.2 Ab	23.1 Aab	22.5 Ab	3.6 Ba	4.5 Aa	1,622 Ac	1,564 Acd	545.0 Aab	543.4 Aa
YLY 689	113.7 Ab	113.0 Ab	96.3 Ab	94.6 Ab	24.3 Ba	25.5 Aa	3.5 Aa	3.7 Ab	1,834 Bbc	2,097 Aa	504.2 Ad	504.3 Ad
YLY 302	111.3 Ac	111.3 Ac	108.1 Ba	111.9 Aa	25.5 Aab	25.5 Aa	3.3 Bab	3.8 Ab	1,982 Bb	2,228 Aa	521.8 Ac	521.3 Abc
WD 153	106.0 Ad	106.7 Ad	92.2 Ac	90.4 Ac	19.7 Bc	20.4 Ad	3.1 Abc	3.4 Abc	2,359 Aa	2,206 Aa	513.3 Acd	509.5 Acd
WY 308	97.3 Af	97.7 Af	84.9 Be	89.1 Acd	20.9 Bbc	21.4 Ac	3.0 Acd	3.1 Acd	2,213 Aa	2,294 Aa	535.0 Ab	525.3 Ab
ZLY 168	87.0 Ag	87.3 Ag	81.3 Bf	83.8 Ae	20.6 Abc	21.0 Acd	3.2 Bbc	3.5 Abc	1,786 Abc	1,783 Abc	539.6 Ab	543.7 Aa
TCS 17	120.0 Aa	118.7 Ba	85.6 Be	88.5 Acd	19.7 Bc	20.4 Ad	2.7 Ad	2.8 Ad	1,404 Ad	1,504 Ad	553.5 Aa	550.2 Aa

^zMeans within treatment of seedling number (in capital letter) and within variety (in small letter) for each character follow by the same letter(s) are not significantly different at 5% level by Fisher's protected LSD test.

本區域試驗的產量來得高；二期作則除 ‘WY 308’ 與 ‘ZLY 168’ 兩品種外，單位面積產量均明顯比原本區域試驗產量低 (表 1、表 3、表 6)。由於水稻的產量會因地區、環境氣候、栽培技術等因素而產生變化 (Katsura *et al.* 2007; Yang *et al.* 2008)，經本試驗所有參試品種在相同栽培環境下比較結果，參試超級雜交稻品種的產量普遍比對照品種 ‘TCS 17’ 高產，一期作的增產效果比二期作明顯，二期作產量明顯比一期作低，顯示超級雜交稻在台灣生產上有產量優勢，二期作適應之品種則須評估。

Chen *et al.* (1984) 認為積儲容積為台灣一期作之產量限制因子，而積儲容積大小可以單位面積穎花數表示。本研究發現一期作單株產量愈高的品種，其單株總穎花數也愈高；兩本植單株產量都比多本植低，因為其單株總穎花數亦較低 (表 3、表 4)。許多學者研究指出一些高產梗稻品種具有較大的積儲容量 (Yoshida *et al.* 2006; Kamiji *et al.* 2011)，且水稻高產的主要因素是具有較大的積儲容量 (Yoshinaga *et al.* 2013)。Huang *et al.* (2011) 研究發現超級雜交稻高產是因為單位面積穎花數之提高，與本研究獲結果一致。而單株總穎花數為每株穗數與一穗穎花數的乘積，可做為積儲容積大小代表，經本研究一期作試驗結果發現，參試超級雜交稻中除 ‘ZLY 168’ 品種外，單株總穎花數都很多。分析多本植比兩本植高產的主要因素為每株穗數較多，因而增加了單株總穎花數，亦即增加了積儲容積；而兩本植時，參試品種雖透過補償機制提高了一穗穎花數，但最終仍因每株穗數表現較低，導致積儲容積的限制而使產量較低 (表 3、表 4)。

二期作 ‘QY 0508’ 與 ‘WY 308’ 兩品種之單株產量不論在多本植或兩本植均為產量較高之品種，但 ‘QY 0508’ 的一穗穎花數顯著比 ‘WY 308’ 少，且兩品種之每株穗數皆較高，此為導致兩品種單株高產之主因 (表 6)。二期作 ‘YLY 689’、‘YLY 302’ 及 ‘WY 308’ 等三種單位面積產量較高，主要是每株穗數及一穗穎花數兩項特性相對較高所致。而 ‘WD 153’ 的單株穎花數雖與 ‘WY 308’ 沒有顯著差異，但單株產量卻顯著較低，稔實率較低是主因 (表

6、表 7)。試驗中亦發現二期作多本植與兩本植間的單株產量差異不像一期作那麼明顯，參試 7 個超級雜交稻品種在多本植時有 3 個品種的單株產量顯著比 'TCS 17' 高，在兩本植時則僅有 2 個品種顯著比 'TCS 17' 高 (表 6)，但是所有參試品種的單株總穎花數均顯著比 'TCS 17' 多 (表 7)，此為造成參試雜交稻二期作皆比對照品種 'TCS 17' 產量高的主要原因。

全球氣候變遷對於水稻栽培產生重大的影響，生育期長所面對的不確定風險亦高，但過度縮短生育期對產量會有負面影響，Huang *et al.* (2013) 研究顯示最高溫度每升高 1°C 也會使水稻生育期縮短 3.2 d，Yoshida (1981) 報告則指出約 100 d 是獲得合理高產水稻的最短持續時間，生育期再縮短將對產量產生負面影響。因此，如何穩定生長期與產量是未來克服全球暖化對水稻潛在負面影響的重要課題。日產量為計算穀物產量除以生長持續時間，適當縮短生育期且維持較高的日產量，對於環境因素變化的風險自然降低，是一個很好的品種生產力評估指標。分析參試雜交稻品種的日產量發現，不論一期作或二期作，參試品種的日產量均顯著高於對照品種 'TCS 17'，其中 'II Y 7954' 為日產量最高的品種，但在二期作則沒有相同的表現。本試驗參試品種一期作生育期範圍約在 103.7–130 d，二期作生育期範圍約在 87–113.7 d，'WY 308' 二期作僅需 98 d，而 'ZLY 168' 更短，僅需 87 d 即可收穫。'WY 308' 為二期作參試品種中最高產，分別為 8,610 kg ha⁻¹ (多本植) 與 8,767 kg ha⁻¹ (兩本植)，兩者因產量高，加上生育期短，因此日產量為參試品種中最高，甚至比一期作還高，是適合台灣二期作栽培的超級稻品種。Yuan (1998) 認為超級雜交稻的日產量至少應維持在 100 kg ha⁻¹，且過長的生育期會增加風險。本研究的參試超級雜交品種均尚未達到前述標準，仍有待進一步調整在台灣環境生產的栽培技術。

超級雜交稻品種的開發以理想株型為基礎，理想株型的特徵是大穗、少分蘗 (Peng *et al.* 2008)；一期作兩本植時 'II Y 7954'、'YLY 689'、'YLY 302'、'WD 153' 及 'WY 308' 等品種的每株穗數均較少，顯示這些品種的分蘗能

力較弱，但這些品種的一穗穎花數明顯較多，均符合超級雜交稻的一般概念。而 'QY 0508' 品種則屬於每株穗數與一穗穎花數兼俱的高產雜交稻品種。'ZLY 168' 品種則以每株穗數表現最佳，但終因其一穗穎花數偏低而造成產量的限制，惟因生育日數較短的優勢，使其在日產量上有優異表現。由於高產的超級雜交稻特徵為少分蘗、大穗，必須保證其單位面積穎花數，才能獲致高產，試驗中兩本植試驗的單位面積穎花數顯然無法達到滿足，歸納其原因主要為每株穗數的不足；試驗中多本植似乎可滿足其需求，惟雜交稻種子價格普遍較高，提高每叢插植株數，成本相對亦較高。單位面積穗數可透過早期增施氮肥或改變插植密度來改善；高氮肥可在初始生長階段刺激作物生長速率增加分蘗 (Yoshinaga *et al.* 2013)；在抽穗期有足夠的氮肥才能滿足穗對氮和碳水化合物的需求 (Zhang *et al.* 2007)。

整體而言，本研究針對參試超級雜交稻之品種間、期作間、插植株數間的產量差異進行分析，在台灣慣行多本植栽培法下所有參試超級雜交稻品種的產量都比對照品種 'TCS 17' 來得高，且產量表現比在中國大陸環境下的區域試驗資料更高，顯示超級雜交稻在台灣生產上有產量優勢，但仍需面對二期作低產的挑戰。單株總穎花數較高是一期作高產的主要原因，而二期作則為單株總穎花數與稔實率；亦即積儲容積較高是一期作超級雜交稻高產的主要原因；而二期作供源活性與積儲容積兩者均為超級雜交稻產量的限制因子；在兩個期作中，每株穗數是積儲容積 (單株總穎花數) 的主要影響因子。未來在超級雜交稻的栽培上可能需注意早期適度增施氮肥或重新調整株距方式，以發揮其高產特性。

引用文獻

- Badshah, M. A., T. Naimei, Y. Zou, M. Ibrahim, and K. Wang. 2014. Yield and tillering response of super hybrid rice Liangyoupeijiu to tillage and establishment methods. *Crop J.* 2:79–86.
- Chen, C. C., C. S. Huang, H. Y. Lu, F. C. Lin, B. K. Tsay, C. T. Kuo, S. L. Chueng, T. C. Kuo, C. J. Hu, M. C. Cheng, and L. F. Lee. 1991. Regional trial on the

- yield performance and adaptability of hybrid rice strains. *J. Agric. Res. China* 40:209–224. (in Chinese with English abstract)
- Chen, C. S., M. L. Wei, and D. J. Liu. 1984. The supply and demand of nitrogen and total nonstructural carbohydrates of the first and second rice crops. p.131–142. *in: Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and the Measures for Improvement.* (Liu, D. J. and S. C. Hsieh, eds.) Taiwan Agric. Res. Inst. Special Pub. No. 16. Taichung, Taiwan. 322 pp. (in Chinese with English abstract)
- Huang, C. S., C. C. Chen, F. C. Lin, H. T. Chang, C. T. Kuo, S. L. Chuang, U. C. Chiu, P. I. Su, C. J. Hu, U. T. Liu, C. S. Chen, and U. T. Lu. 1988. Yield performance of indica hybrid rice at different location in summer season. *J. Agric. Res. China* 37:225–238. (in Chinese with English abstract)
- Huang, M., W. Zhang, L. Jiang, and Y. Zou. 2013. Impact of temperature changes on early-rice productivity in a subtropical environment of China. *Field Crops Res.* 146:10–15.
- Huang, M., Y. B. Zou, P. Jiang, B. Xia, I. Md, and H. J. Ao. 2011. Relationship between grain yield and yield components in super hybrid rice. *Agric. Sci. China* 10:1537–1544.
- Kamiji, Y., H. Yoshida, J. A. Palta, T. Sakuratani, and T. Shiraiwa. 2011. N applications that increase plant N during panicle development are highly effective in increasing spikelet number in rice. *Field Crops Res.* 122:242–247.
- Katsura, K., S. Maeda, T. Horie, and T. Shiraiwa. 2007. Analysis of yield attributes and crop physiological traits of Liangyoupeijiu, a hybrid rice recently bred in China. *Field Crops Res.* 103:170–177.
- Katsura, K., S. Maeda, I. Lubis, T. Horie, W. Cao, and T. Shiraiwa. 2008. The high yield of irrigated rice in Yunnan, China: ‘A cross-location analysis’. *Field Crops Res.* 107:1–11.
- Khush, G. S., W. R. Coffman, and H. M. Beachell. 2001. The history of rice breeding: IRRI’s contribution. p.117–135. *in: Rice Research and Production in the 21st Century: Symposium Honoring Robert F. Chandler, Jr.* (W. G. Rockwood, ed.) International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. 224 pp.
- Lai, M. H., C. P. Li, W. S. Jwo, H. M. Yen, K. K. Hwu, and D. H. Wu. 2016. Study on development of Japonica breeding lines introgressed high grain number gene through Marker-Assisted Backcross approach. *J. Taiwan Agric. Res.* 65:31–44. (in Chinese with English abstract)
- Liang, W. H., F. Shang, Q. T. Lin, C. Lou, and J. Zhang. 2014. Tillering and panicle branching genes in rice. *Gene* 537:1–5.
- Lin, G. C. 2004. Development of a new japonic rice variety ‘Tainan No. 11’. Tainan Dist. Agric. Res. Ext. Stat. Res. Rep. 45:1–25. (in Chinese with English abstract)
- Long, S. P., A. Marshall-Colon, and X. G. Zhu. 2015. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential. *Cell* 161:56–66.
- Ohsumi, A., T. Takai, M. Ida, T. Yamamoto, Y. Arai-Sanoh, M. Yano, T. Ando, and M. Kondo. 2011. Evaluation of yield performance in rice near-isogenic lines with increased spikelet number. *Field Crops Res.* 120:68–75.
- Peng, S., G. S. Khush, P. Virk, Q. Tang, and Y. Zou. 2008. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential. *Field Crops Res.* 108:32–38.
- Rötter, R. P., F. Tao, J. G. Höhn, and T. Palosuo. 2015. Use of crop simulation modelling to aid ideotype design of future cereal cultivars. *J. Exp. Bot.* 66:3463–3476.
- Schlichting, C. D. 2002. Phenotypic plasticity in plants. *Plant Species Biol.* 17:85–88.
- Sheehy, J. E., M. J. A. Dionora, and P. L. Mitchell. 2001. Spikelet numbers, sink size and potential yield in rice. *Field Crops Res.* 71:77–85.
- Tseng, T. H. and C. S. Huang. 1987. Yield and combining ability of hybrid rice. *J. Agric. Res. China* 36:161–164. (in Chinese with English abstract)
- Yang, W., S. Peng, R. C. Laza, R. M. Visperas, and M. L. Dionisio-Sese. 2008. Yield gap analysis between dry and wet season rice crop grown under high-yielding management conditions. *Agron. J.* 100:1390–1395.
- Yoshida, H., T. Horie, and T. Shiraiwa. 2006. A model explaining genotypic and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-locational experiments in Asia. *Field Crops Res.* 97:337–343.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of Rice Crop Science.* International Rice Research Institute Press. Los Banos, Philippines. 269 pp.
- Yoshinaga, S., T. Takai, Y. Arai-Sanoh, T. Ishimaru, and M. Kondo. 2013. Varietal differences in sink production and grain-filling ability in recently developed high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Japan. *Field Crops Res.* 150:74–82.
- Yuan, L. 1998. Hybrid rice breeding for super high yield. p.10–12. *in: China and IRRI: Improving China's Rice Productivity in the 21st Century.* (Denning, G. L. and T. W. Mew, eds) International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 104 pp.

- Yuan, L. 2006. Super Hybrid Rice Research. Shanghai Scientific & Technical Publishers. Shanghai, China. 366 pp. (in Chinese)
- Yuan, L. 2017. Progress in super-hybrid rice breeding. *Crop J.* 5:100–102.
- Zhang, Y. H., J. B. Fan, Y. L. Zhang, D. S. Wang, Q. W. Huang, and Q. R. Shen. 2007. N accumulation and translocation in four Japonica rice cultivars at different N rates. *Pedosphere* 17:792–800.

Yield Potential Analysis of Super Hybrid Rice Grown in Taiwan

Woei-Shyuan Jwo^{1,*}, Chung-Li Chen², Charng-Pei Li³, Ming-Hsin Lai⁴, Dong-Hong Wu¹, and Hsing-Mu Yen¹

Abstract

Jwo, W. S., C. L. Chen, C. P. Li, M. H. Lai, D. H. Wu, and H. M. Yen. 2017. Yield potential analysis of super hybrid rice grown in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 66(4):343–355.

Rice is the most widely grown and consumed staple crop in Taiwan. Increasing rice yield potential is eventually a major target in rice breeding programs and the use of heterosis is also a feasible strategy. The objective of this study was to evaluate growth characters and yield potential of the recently developed hybrid rice in Mainland China. Field trials were conducted for two cropping seasons using seven Chinese varieties including ‘Qianyou 0508’ (‘QY 0508’), ‘II You 7954’ (‘II Y 7954’), ‘Y Liangyou 689’ (‘YLY 689’), ‘Y Liangyou 302’ (‘YLY 302’), ‘Wandao 153’ (‘WD 153’), ‘Wuyou 308’ (‘WY 308’), ‘Zhuliangyou 168’ (‘ZLY 168’) and check variety ‘Taichung Sen 17’ (‘TCS 17’). The results of ANOVA revealed that rice agronomic characters and yield-related traits were significantly affected by different seedling number and plant varieties. Grain yield, yield components and agronomic traits of all imported rice were superior than indica check variety ‘TCS 17’. In addition, grain yield in the first cropping season of all tested varieties was higher than that in the second cropping season. The high yield of super hybrid rice is due to the increase in the total number of spikelet per plant (sink size). In the first cropping season, average grain yield of super hybrid rice was 20% and 5% higher than check variety ‘TCS 17’ in multiple and two-seedling treatment, respectively. In the second crop, average grain yield of super hybrid rice was 7% and 10% higher than check variety ‘TCS 17’ in multiple and two-seedling treatment, respectively. Comparison between two treatments of seedling number showed that yield performance of two plants per hill was inferior than multiple seedling mainly attributed to the lack of panicle number. These results indicate that increased spikelet number per panicle and maintained enough panicle number per meter square are a foundation to obtain higher yield potential for super hybrid rice cultivated in Taiwan.

Key words: Super hybrid rice, Yield components.

Received: April 5, 2017; Accepted: May 22, 2017.

* Corresponding author, e-mail: shyuan@tari.gov.tw

¹ Assistant Research Fellows, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Professor, Department of Agronomy, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Associate Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

⁴ Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.