

資源節約型農藝作物生產的研究

I. 適合夏季單期作栽培的水稻品種(系)篩選初報¹

鄧執庸、鄭佳綺、廖君達、楊嘉凌、許志聖²

摘 要

臺灣水稻栽培模式有其歷史淵源與政策考量，在面對氣候變遷所造成的水資源不足及現今稻米供過於求的狀況，調整水稻生產模式以因應氣候變遷的影響並節約水資源的耗用有其必要性，而本試驗據此提出將生產模式由現行兩期作調整為每年 5 月種植至 10 月收穫的夏季單期作生產模式，並針對水稻品種(系)進行篩選評估。本試驗 100 個種原材料可劃分為 28 個粳稻、36 個秈稻及 36 個光敏感品種(系)，針對抽穗日數、株高、穗數及病蟲害發生狀況等評估後，發現抽穗日數以光敏感品種(系)最長，秈稻次之，粳稻最短，光敏感品種(系)之抽穗日數較能符合夏季單期作較長之生育日數；株高亦以光敏感品種(系)最高，秈稻次之，粳稻最低；穗數的分群差異則不明顯；病蟲害部分以光敏感品種(系)對瘤野螟與穗稻熱病有較好的抗性。最終依整體評估篩選出 8 個較具潛力的品種，分別為伊娜谷香糯米(Enaku aromatic glutinous rice)、馬來西亞品種(Malaysia variety)、阿里山香糯(Alishan aromatic glutinous rice)、IR 42、Swa-sub-1、Super Basmati、LLADD 及 Cuyamel-3820，具有適合臺灣夏季單期作栽培之潛力。

關鍵詞：水稻、夏季單期生產、光敏感品種(系)、育種

前 言

臺灣一年兩期稻作模式起始於 1572 年屏東萬丹為了增產而採用的「雙冬」早熟稻⁽¹¹⁾，明鄭、滿清時期在糧食需求的現實狀況下，政策上以公部門興建或獎勵私人的蓄水與開溝灌溉，兩期稻作的生產逐漸建立。日治時期基於日本人對粳稻的喜好，在磯永吉與末永仁等人的努力，建立臺灣以粳稻為生產主體的稻作生產體系⁽¹⁷⁾，配合嘉南大圳與八堡圳等灌溉體系的開發，一年兩期作的生產體系更加穩固⁽¹⁸⁾。二次大戰的動亂讓農田設施毀壞與人力耗損，嚴重影響了糧食的生產，國民政府由大陸撤退來臺的兩百萬軍民更加重糧食的需求，為了生產更多的糧食，農田的複作指數增加，兩期稻作的生產已成為常態。政府不但在稻米生產競賽與公糧收購等政策面獎勵生產，更致力在稻作的品種改良與栽培技術改進，稻作單位面積大幅增加，終於在 1980 年代之後，稻米反而供過於求。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 1002 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員、助理研究員、副研究員、研究員與前研究員。

臺灣一年兩期稻作的生產模式除了可提高農田的複作指數來增加稻作的產量外，也利用水稻不同生育期間的生長習性避開了臺灣 1-2 月的寒害、5-6 月的梅雨與 7-10 月的颱風危害，水稻的育種也因為連續兩期作的環境差異增進了品種對逆境的抗性⁽³⁾。雖然一年兩期作對稻作生產有很好的助益，但也耗費相當多的水資源。臺灣降水來源為 3-4 月的春雨鋒面、5-6 月的梅雨鋒面與 7-10 月的颱風⁽⁷⁾，通常第一期稻作的用水需仰賴前一年 7 月之後的降雨或颱風帶來埤、潭、湖泊或水庫等的蓄水，隨著人口的增加與機電工業的發展，民生與工業用水激增，若因降水不足導致總水量供給不及，勢必壓縮或停止了農業的供水，2014 年與 2020 年桃竹苗地區的停供灌溉都是因此而起。未來氣候變遷的影響及劇烈天氣變化所導致乾濕季差異將越趨明顯，如何有效的節約稻作生產用水成為水稻生產所必須面對的課題。

水稻生長期間的需水量遠大於其他作物，生產 1 kg 的稻米所需的水量高達 3,000-5,000 L⁽²³⁾，臺灣的統計顯示在本田自插秧至收穫需水量第一期作約 1,100 mm，第二期作約 980 mm⁽⁴⁾，長久下來將嚴重影響臺灣水資源的應用。若能將水稻的生產模式由一年兩期作的生產調整為單一個期作(夏季單期作)，在降水豐沛的 5-6 月梅雨期間進行插秧，並預期在颱風侵襲機率逐漸降低的 10 月間收穫，收穫後至隔年 4 月期間提供小麥等雜糧作物生產，不但能大幅度的減少種稻的水資源供應壓力，更能改善小麥等雜糧作物被限縮在冬裡作氣候不佳的環境下生產，也有降低水稻生產過剩壓力的效益。但此等栽培模式在臺灣一年兩期稻作體系建立以來並未採用，在品種的需求條件及現有國內外品種的適合性都需要進一步評估，因此本試驗以抽穗期為基準篩檢國內外共 100 個品種(系)，並配合病蟲害等性狀進行初步篩選，期望能初步獲得適合夏季單期作栽培的品種(系)。

材料與方法

一、參試品種(系)的抽穗日數調查

本試驗選擇 80 個國內外水稻種原，並參考 2014 年栽培面積較廣的品種，加入我國育成的 20 個品種(系)共計 100 個種原材料，試驗材料依其光敏感性、農藝特性及來源可劃分為 28 個粳稻(Japonica)、36 個秈稻(Indica)及 36 個光敏感品種(系)(photoperiod-sensitive variety (line))(表一)，光敏感性依據品種(系)歷史資料(於不同光週期環境下栽培之表現)並參考 Vergara 與 Chang 之分類³³，將在不同光週期環境下抽穗日數有明顯變化的品種(系)歸類為光敏感品種(系)。試驗於 2015 年 5 月 29 日插秧，夏季單期作生育期間之日照時數及日均溫如圖一，生育期間平均日長約為 13.1 小時，累積日照時數約為 2,566 小時，日照時數可見其於生育期間逐步下降，而生育期間平均氣溫約為 27.86°C，日均溫於 7 月達到高峰後逐步下降，而此次試驗亦未發現品種(系)有超過臨界光週期(critical photoperiod)而無法抽穗的狀況；試驗設計採簡方設計、單本植及兩重複，行株距為 30×20 cm，考量栽培期間的降水量所帶來的作物生長，試驗期間減少施肥(依作物生長狀況總計施用 86 kg-N/ha)與灌水。調查各品種(系)之抽穗日數，抽穗日數調查方法為記錄每小區 50%植株達抽穗之日期，再換算由插秧到抽穗期的日數為抽穗日數(days to heading, DTH)。

表一、參試品種(系)材料表

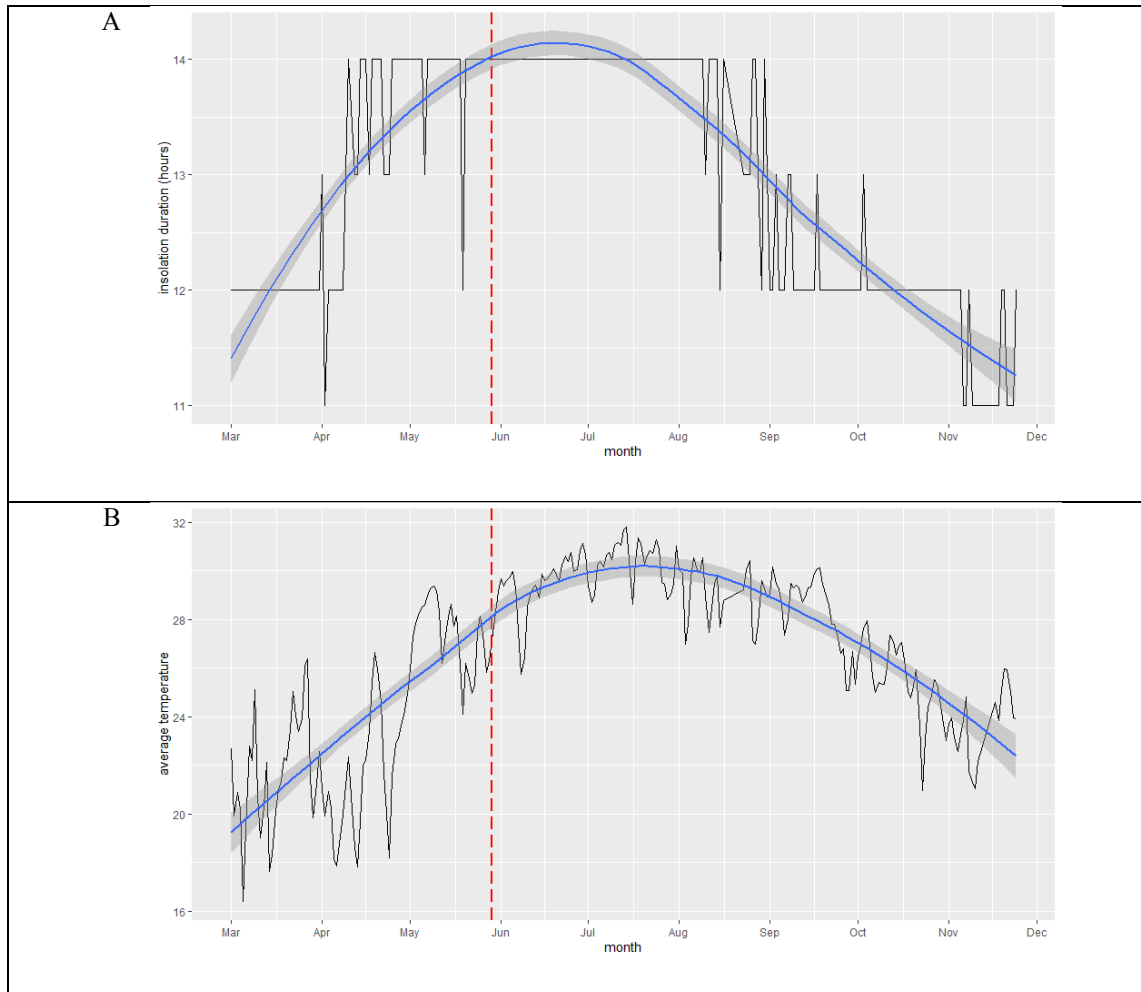
Table 1. Information of investigated varieties (lines)

No.	Variety(Line) ^y	Type ^w	Origin (area)	No.	Variety(Line)	Type	Origin (area)
1	San-pei	Indica	Taiwan	25	Tai-kang 2	Japonica	Taiwan
2	Pai-tu-yin	PSV	Taiwan	26	Tai-kang 9	Japonica	Taiwan
3	Wan-tzu-yuan-li	PSV	Taiwan	27	Tai-kang 16	Japonica	Taiwan
4	Ti-chueh-ko-tzu	Indica	Taiwan	28	Tai-kang 8	Japonica	Taiwan
5	Ta-ko-tzu	Indica	Taiwan	29	Taitung 30	Japonica	Taiwan
6	Hung-chueh-ching-liu	Indica	Taiwan	30	Tai-kang glutinous 3	Japonica	Taiwan
7	Niao-yao	Indica	Taiwan	31	Taitung 33	Japonica	Taiwan
8	Ching-ch'ung	Indica	Taiwan	32	Tainung 71	Japonica	Taiwan
9	Chung-so-ch'i	PSV	Taiwan	33	Taoyuan 3	Japonica	Taiwan
10	Man-tzu	PSV	Taiwan	34	Kaohsiung 145	Japonica	Taiwan
11	Pai-k'o-man-tzu	PSV	Taiwan	35	Taichung 194	Japonica	Taiwan
12	Fan-mai-hua	PSV	Taiwan	36	Taichung glutinous 196	Japonica	Taiwan
13	Tung-shan-pai-mi-chin-hou	PSV	Taiwan	37	Hoshiyutaka	Japonica	Japan
14	T'ai-pei-shuang-chiang	PSV	Taiwan	38	M 401	Japonica	USA
15	T'ai-chung-chi-chi-ao-kao-wan	PSV	Taiwan	39	Vietnam 237	Indica	Japan
16	Chu-pien	Indica	Taiwan	40	Mochidauara	Japonica	Japan
17	Taichung native 1	Indica	Taiwan	41	Chad K-196	Indica	Africa
18	Taichung sen 10	Indica	Taiwan	42	FKR 47	Indica	Africa
19	Taichung sen 17	Indica	Taiwan	43	Kwangfu aromatic glutinous rice	Indica	Taiwan
20	Taichung sen lutinous 2	Indica	Taiwan	44	FKR45	Indica	Africa
21	Tainan 11	Japonica	Taiwan	45	FKR43	Indica	Africa
22	Tai-kang 14	Japonica	Taiwan	46	Alishan aromatic glutinous rice	PSV	Taiwan
23	Taichung 192	Japonica	Taiwan	47	Enaku aromatic glutinous rice	PSV	Taiwan
24	Kaohsiung 139	Japonica	Taiwan	48	IR 42	PSV	Philippines
				49	Malaysia variety	PSV	Malaysia
				50	FKR 19	Indica	Africa

No.	Variety(Line)	Type	Origin (area)	No.	Variety(Line)	Type	Origin (area)
51	Me Hang	Indica	IRRI	76	Tulsimanari 6-4	PSV	India
52	TH	Indica	Unknown	77	Swa-sub-1	PSV	Philippines
53	K-17032	Indica	Thailand	78	PsBRc 20	Indica	Philippines
54	MGG	Indica	Caribbean	79	Super Basmati	PSV	India
55	Beta	Indica	Caribbean	80	Basmati 370	Japonica	India
56	Schella	Indica	Caribbean	81	Basmati 385	PSV	India
57	Doddabyranella	PSV	India	82	Basmati T3	Japonica	India
58	R.T.S. 24	PSV	Vietnam	83	Pakistan Basmati	Japonica	Pakistan
59	Binalasang	PSV	Philippines	84	Azucelna	Indica	Philippines
60	Corasisi	PSV	Philippines	85	LLADD	Indica	Philippines
61	MacanBinundoh	PSV	Philippines	86	Cuyamel-3820	Indica	Mexico
62	Olay AYAN	PSV	Unknown	87	Cisedane	Indica	Indonisa
63	Panesopec	PSV	Philippines	88	Ai-Zi-Dao	Indica	China
64	Badshabhag	PSV	Pakistan	89	Houei Deng	Indica	Laos
65	I Tam Lun	PSV	Vietnam	90	IR70196-33-1-B-B-B	Indica	Thailand
66	Ramilon	PSV	Philippines	91	Jinya-31	Indica	China
67	Raminad str. 3	PSV	Philippines	92	Q5	Indica	Vietnam
68	Pusa 44	Indica	Philippines	93	Khakomduol	PSV	Vietnam
69	KDML-105	PSV	Thailand	94	Chu-kang-yu 12591	Japonica	Taiwan
70	Milagroso	PSV	Philippines	95	Chu-kang-yu 12593	Japonica	Taiwan
71	Badshakhog	PSV	Pakistan	96	Chu-kang-yu 12772	Japonica	Taiwan
72	Prenifull	PSV	Pakistan	97	Sahel 201	Indica	Senegal
73	Badshabbag-Seented	PSV	China	98	Chu-kang-yu 12387	Japonica	Taiwan
74	Chinikanai	PSV	Pakistan	99	Chu-kang-yu 12397	Japonica	Taiwan
75	Tulsinaniar 14-2	PSV	India	100	Chu-kang-yu 12398	Japonica	Taiwan

^y The English name of Taiwan native varieties are followed by 'A monograph of rice varieties preserved by Taiwan Agricultural Research Institute'(1964).

^w PSV: Photoperiod-sensitive variety (line).



圖一、參試品種(系)在生育期間之(A)日照時數及(B)日均溫。紅虛線表插秧日期，藍色實線及灰色範圍表區域性加權迴歸(LOESS)預測數值及其信賴區間。

Fig. 1. (A) Insolation duration and (B) average temperature per day during the growth duration. Red dashed lines indicate sowing date and blue lines with grey zone indicate values and their confidence interval calculated by locally weighted scatterplot smoothing (LOESS).

二、參試品種(系)的農藝性狀調查

於植株黃熟期調查株高與穗數，調查方式以每小區調查 10 株，去除最高與最低值各 2 株，取 6 株植株進行分析。試驗原本規劃在收穫後進行產量構成要素調查，惟原始試驗設計以不影響遮光的露天與不搭防鳥網方式進行試驗，但早抽穗種原在 8 月抽穗後就引來麻雀等鳥類啄食，不得以搭上防鳥網才得以保住晚抽穗種原，惟產量構成要素調查因受鳥害導致穗部性狀不完全而無法進行調查分析，最終僅進行株高與穗數兩個性狀的分析。

三、參試品種(系)的病蟲害發生調查

參試品種(系)的病蟲害發生調查分別於 2015 年 7 月 10 日(抽穗前)及 8 月 25 日(抽穗後)進行。原先試驗規劃本應在不施藥下進行，惟在 7 月田間螟蟲危害嚴重，為避免試驗無法進行，8 月初施用 2.8%賽洛寧乳劑(稀釋 2,000 倍)與 50%撲滅松乳劑(稀釋 1,000 倍)進行蟲害防治。莖螟蟲危害情形於抽穗前調查每叢枯心數及分蘗數，並換算為枯心率，抽穗後調查每叢白穗數及總穗數，並換算為白穗率；瘤野螟調查抽穗前與抽穗後每叢捲葉數及葉片數，並換算為捲葉率；稻熱病調查抽穗前之葉稻熱病之葉片罹病面積率，穗稻熱病調查抽穗後之罹病穗數與總穗數，並換算為罹病穗率；白葉枯病調查抽穗前與抽穗後之葉片罹病面積率；紋枯病調查抽穗前與抽穗後之病斑罹病高度。

四、參試品種(系)的目測評估(visual score)調查

本項調查以 3 位育種人員依各試驗材料成熟期間在試驗田區以生育日數、株型、產量、倒伏性與整體評估等五項特性進行目測評估，評估等級以 1、3、5 與 7 分別代表佳(Better)、可(Good)、平(Ordinary)與劣(Poor)四等級，3 位育種人員以共識決方式進行每一小區調查評估。本試驗目的為初步篩選符合 5-6 月插秧，並在 10 月間收穫的品種(系)，因此生育日數的評估以越接近 10 月收穫的品種(系)最佳；株型的評估傾向以改良品種(improved variety)具有的半矮性株型為最佳；產量以目測產量越高者越佳；倒伏性以成熟期的植株抗倒伏與莖桿具強韌度為佳；整體評估則以生育日數為重點，再配合其他項目做出評分。

五、統計分析

上述試驗調查結果，以統計軟體 R 進行敘述統計及作圖，並利用變方分析(analysis of variance)比較變數(variable)與各因子(factor)是否有顯著效應，再針對顯著的變數利用 Tukey HSD test 法進行因子間多重比較，呈現各因子之差異。

結 果

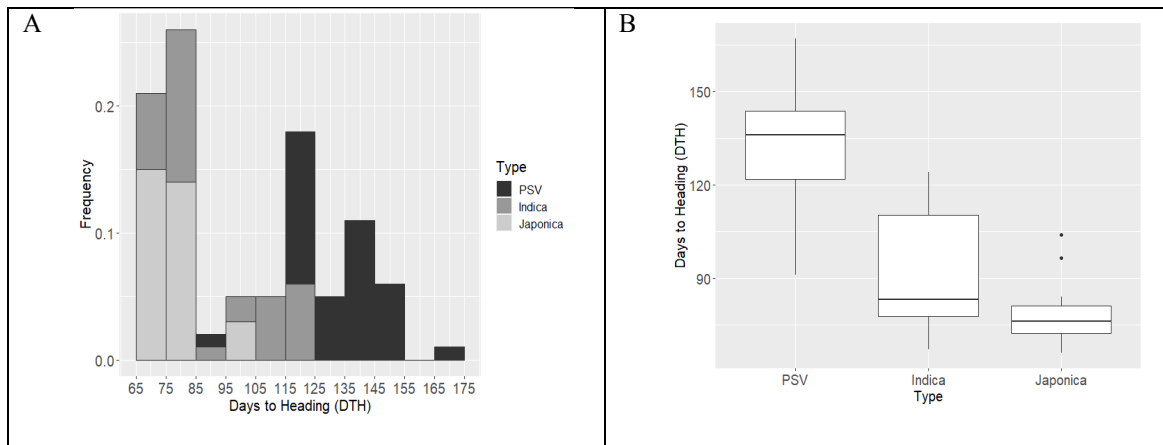
一、參試品種(系)的抽穗日數分析

(一)參試品種(系)的抽穗日數表現

參試品種(系)在夏季單期作的抽穗日數分布如圖二，依試驗設定在 5 月種植並在 10 月收穫之栽培期，適宜此模式之抽穗日數落在 115-125 天之間。在 100 個品種(系)中，僅 19 個品種(系)符合設定條件，包含 12 個光敏感品種(系)(編號 3、9、11、12、14、15、46、47、48、49、57 及 77)及 7 個秈稻(編號 1、5、7、16、68、85 及 86)，但未包含粳稻，抽穗日數少於 85 天的品種(系)共 47 個(介於 66-85 天)，近半數品種(系)都落在此區間，而國內育成品種(系)也都位在此區間；抽穗日數大於 125 天的品種(系)有 23 個(介於 125-149 天)，此部分的品種(系)都屬光敏感品種(系)。比較不同類型品種(系)的抽穗日數分布，可以發現光敏感品種(系)抽穗日數顯著高於秈稻，秈稻

又顯著高於稈稻(表二)，各類型品種(系)抽穗日數的變異以秈稻與光敏感品種(系)較大，而稈稻最小。

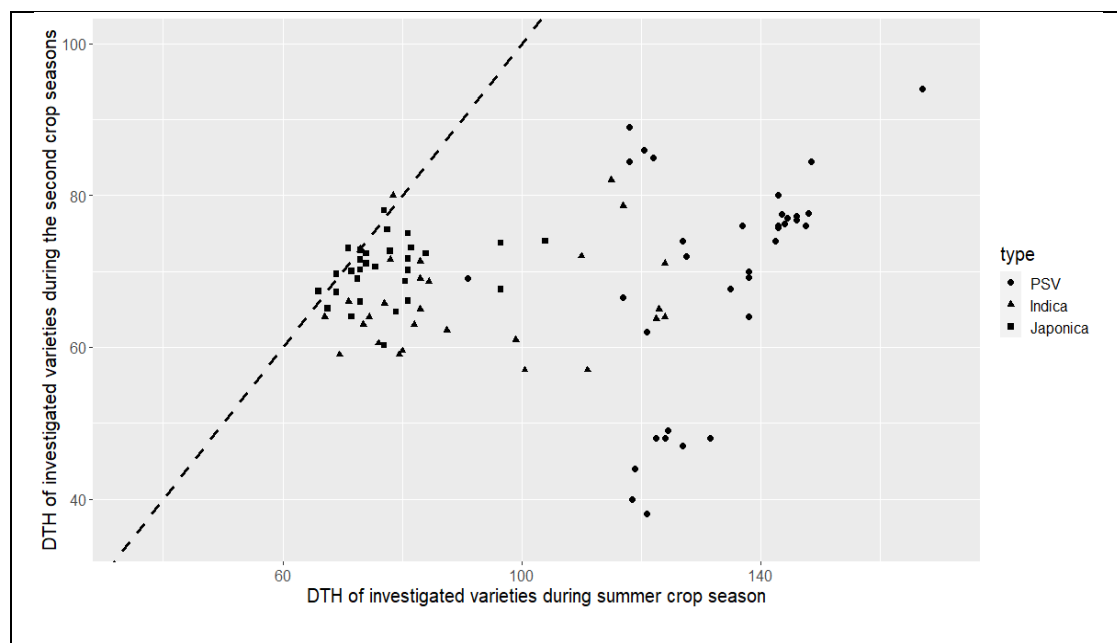
整體而言，在夏季單期作的栽培環境下，大多數品種(系)抽穗日數都過短，不符合目標設定的日數，而現行國內品種(系)亦沒有符合目標的品種(系)，沒辦法將現行國內品種(系)直接應用於夏季單期作生產栽培，顯示本試驗篩選適當品種(系)作為後續育種利用的必要性，需要篩選相關種原作為後續栽培的對照及雜交育種材料。



圖二、參試品種(系)在夏季單期作之抽穗日數分布。(A)直方圖 (B)盒鬚圖 顯示三類型品種(系)。
Fig. 2. Distribution of days to heading (DTH) of investigated varieties (lines) during summer crop season.
(A)Histogram (B) Boxplot shown in 3 types.

(二)參試品種(系)的抽穗日數與歷年二期作抽穗日數分析

將參試品種(系)於夏季單期作栽培之抽穗日數與第二期作栽培(second crop season)之歷史數據進行比較(圖三)，橫軸為夏季單期作之抽穗日數，縱軸為第二期作之歷史抽穗日數，虛線為兩期作抽穗日數相等線，大部分的稈稻都相當接近此線，顯示稈稻在夏季單期作環境的抽穗日數與第二期作並沒有太大差異，其表現是屬於比較鈍感的；秈稻在不同環境下的抽穗日數表現則較敏感，可見秈稻部分品種(系)遠離日數相等線，在夏季單期作之抽穗日數高於第二期作；而光敏感品種(系)在兩不同栽培環境下有最大的變化，其皆偏離日數相等線，表示在夏季單期作抽穗日數都高於第二期作，其表現是最為敏感的。



圖三、參試品種(系)在夏季單期作抽穗日數與二期作歷史數據比較。

Fig. 3. Comparison of DTH of investigated varieties (lines) between summer crop season and historical data from the second crop seasons.

表二、參試品種(系)各類型之性狀平均值

Table 2. Average value of traits between different types of investigated varieties (lines)

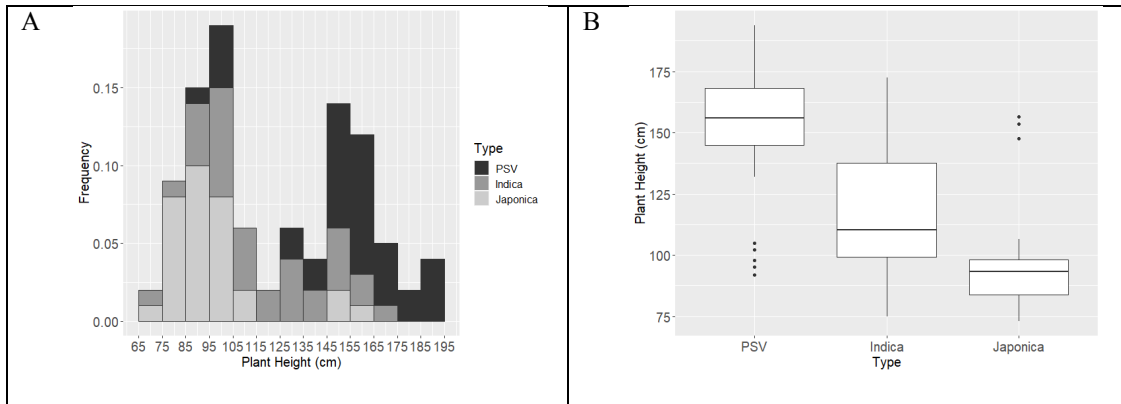
Type	Days to heading (days)	Plant height (cm)	Panicle number (no.)
PSV	133.21±14.37 a ^y	152.16±27.52 a	20.38±5.45 a
Japonica	77.30± 8.91 c	98.81±20.74 c	19.66±5.81 ab
Indica	90.89±18.74 b	114.51±28.17 b	18.79±5.71 b

^yMean followed by same letter indicates no significant difference in comparison in Tukey HSD test at $p=0.05$.

二、參試品種(系)的農藝性狀表現

(一)參試品種(系)的株高表現

參試品種(系)在夏季單期作的株高分布如圖四，品種(系)分布有極大的差異，株高最低的品種(系)僅73.1 cm(編號 17)、最高為 193.8 cm(編號 63)，株高亦可大略分為兩群，株高較低的族群多由稈稻構成，而株高較高的族群多由光敏感品種(系)構成；從盒鬚圖(圖四B)中亦可發現三類型品種(系)的株高以光敏感品種(系)高於秈稻，而秈稻又高於稈稻，其與變方分析及多重比較結果相呼應(表二)，三類型品種(系)間在株高有顯著差異，其中光敏感品種(系)之株高(平均152.16 cm)顯著高於秈稻(平均 114.51 cm)，而秈稻亦顯著高於稈稻(平均 98.81 cm)。



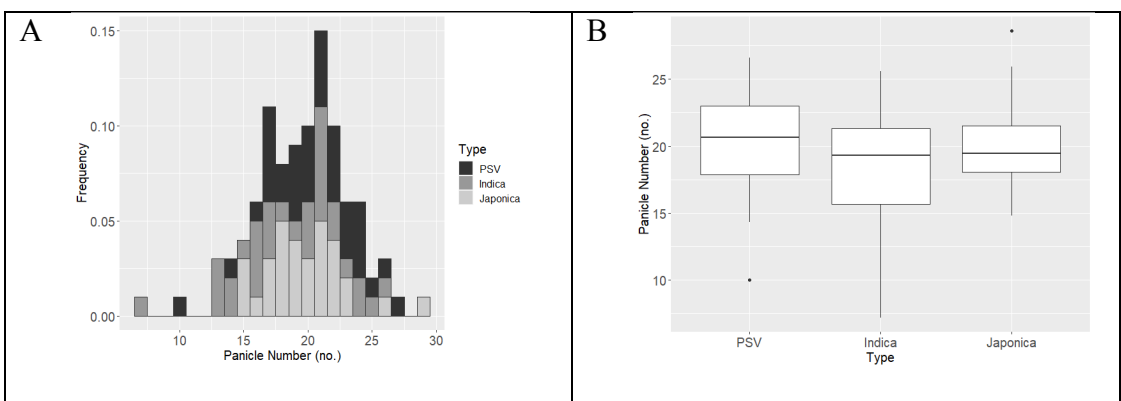
圖四、參試品種(系)在夏季單期作之株高分布。(A)直方圖 (B)盒鬚圖 顯示三類型品種(系)。

Fig. 4. Distribution of plant height of investigated varieties (lines) during summer crop season.

(A)Histogram (B) Boxplot shown in 3 types.

(二)參試品種(系)的穗數表現

參試品種(系)在夏季單期作的穗數分布如圖五所示，穗數整體大致呈常態分布(圖五A)，穗數多落在 15-25 枝，沒有明顯的分群，盒鬚圖(圖五B)可以看到三類型品種(系)在穗數的表現差異不大，與變方分析及多重比較結果相呼應(表二)，穗數以光敏感品種(系)(平均 20.38)顯著高於秈稻(平均18.79)，而稈稻穗數表現(平均19.66)則介於其間並與兩者皆無顯著差異。穗數表現在不同類型之間的差異較不明顯，三種類型品種(系)之穗數表現都相當接近，與抽穗日數及株高在不同類型間有明顯差異的結果不同。



圖五、參試品種(系)在夏季單期作之穗數分布。(A)直方圖 (B)盒鬚圖 顯示三類型品種(系)。

Fig. 5. Distribution of panicle number of investigated varieties (lines) during summer crop season.

(A)Histogram (B) Boxplot shown in 3 types.

三、參試品種(系)的病蟲害發生調查

參試品種(系)在抽穗前及抽穗後的病蟲害狀況調查如表三與表四。莖螟蟲在抽穗前造成的枯心率在三類型品種(系)間有顯著差異,以光敏感品種(系)(平均 25.83%)受害最嚴重,秈稻(平均 16.60%)次之,粳稻(平均 7.23%)最輕微;三種類型品系抽穗後的枯心率調查均未發現莖螟蟲危害;瘤野螟造成的捲葉率在抽穗前於各類型間均無顯著差異(介於 9-10%),在抽穗後則以秈稻與粳稻受害較嚴重,且兩者之間無顯著差異(平均分別為18.14%及 20.37%),光敏感品種(系)受瘤野螟危害(平均 8.33%)則顯著低於秈稻與粳稻。

葉稻熱病罹病程度在此次調查均相當輕微,各類型品系間亦無顯著差異;穗稻熱病在各類型品系間則有顯著差異,以粳稻(平均 43.43%)罹病最嚴重,秈稻(平均 16.64%)次之,光敏感品種(系)則最輕微、未發現有穗稻熱病之發生;白葉枯病在抽穗前於各種類型品系間有顯著差異,以光敏感品種(系)(平均 23.96%)最嚴重,秈稻(平均 16.11%)次之,粳稻(平均 2.68%)最輕微,抽穗後的白葉枯病罹病狀況普遍嚴重,各種類型品系間以粳稻(平均 37.31%)顯著高於光敏感品種(系)(平均 30.49%),而秈稻(平均 31.43%)則介於其間,並與兩者均無顯著差異。紋枯病罹病狀況在抽穗前與抽穗後於各類型品系間均無顯著差異,抽穗前病斑罹病高度大多落在12-14 cm 區間,抽穗後病斑罹病高度多落在 15-17 cm 區間(表三)。

整體而言,各類型品種(系)在抽穗後之枯心率(莖螟蟲危害)、抽穗前之捲葉率(瘤野螟危害)、葉稻熱病及紋枯病間並無顯著差異,而抽穗前之枯心率以粳稻最輕微,光敏感品種(系)最嚴重;穗稻熱病以光敏感品種(系)最輕微(無發現),粳稻最嚴重;抽穗前之白葉枯病罹病程度以粳稻最輕微,光敏感品種(系)最嚴重;抽穗後之白葉枯病罹病程度以光敏感品種(系)最輕微,粳稻最嚴重。結果顯示不同類型品種(系)對不同病蟲害之耐受性不同。

表三、參試品種(系)在抽穗前、後之莖螟蟲及瘤野螟危害調查

Table. 3. Mean of stem borer and leaf folder damage of investigated varieties (lines) before and after heading

Type	Stem borer		Leaf folder	
	Dead heart (%) (before heading)	White head (%) (after heading)	Damaged leaves (%) (before heading)	Damaged leaves (%) (after heading)
PSV	25.83±22.12 a ^y	0.00±0.00 a	9.93±11.01 a	8.33± 8.22 b
Japonica	7.23± 6.32 c	0.00±0.00 a	9.34±10.51 a	20.37±15.04 a
Indica	16.60±13.42 b	0.00±0.00 a	9.07± 9.74 a	18.14±15.06 a

^yMeans followed by same letter indicate no significant difference in comparison in Tukey HSD test at $p=0.05$.

表四、參試品種(系)在抽穗前、後之病害罹病狀況調查

Table. 4. Mean of major diseases infestation of investigated varieties (lines) before and after heading

Type	Rice leaf blast (before heading) (%)	Rice panicle blast (after heading) (%)	Bacterial blight (before heading) (%)	Bacterial blight (after heading) (%)	Sheath blight (before heading) (%)	Sheath blight (after heading) (%)
PSV	0.07±0.59 a ^y	0.00±0.00 c	23.96±19.75 a	30.49±13.33 b	13.94±4.67 a	15.69±3.38 a
Japonica	0.09±0.67 a	43.43±32.71 c	2.68± 5.56 c	37.31±16.16 a	12.68±5.03 a	17.35±6.41 a
Indica	0.14±0.83 a	16.64±22.98 b	16.11±17.08 b	31.43±16.79 ab	12.74±6.17 a	15.57±4.43 a

^y Means followed by same letter indicate no significant difference in comparison in Tukey HSD test at $p=0.05$.

四、參試品種(系)的目測評估

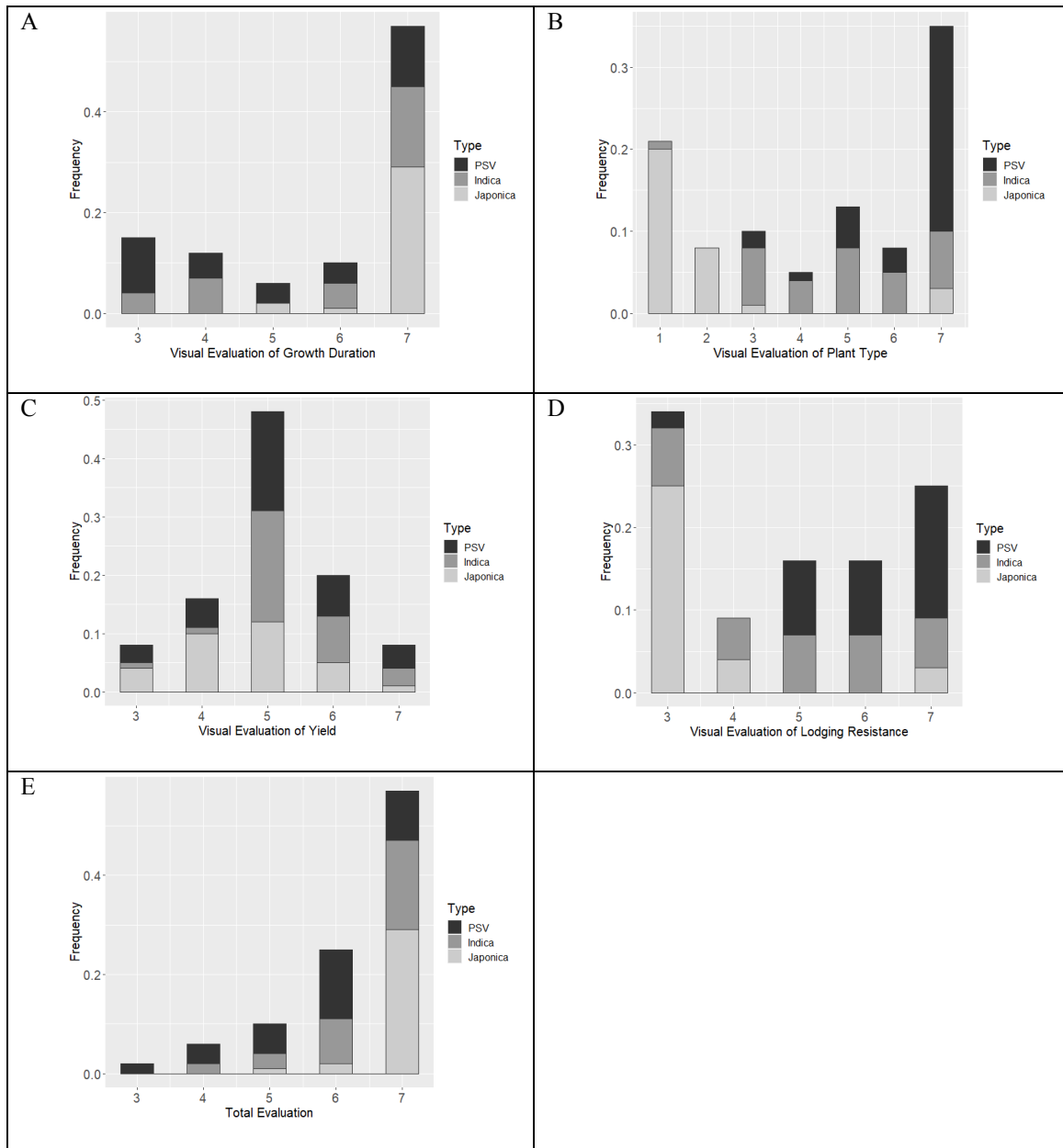
生育日數的目測評估部分，生育日數最佳達“可”的品種(系)共 15 個(圖六 A)，其中包含 4 個秈稻與 11 個光敏感品種(系)，而不同類型品種(系)之生育日數評估亦有顯著差異(表五)，以光敏感品種(系)最符合生育日數之育種目標，秈稻次之，而粳稻較不符合目標，此結果亦與抽穗日數表現相呼應，粳稻因抽穗日數最短，無法達到夏季單期作所需較長的生育日數。株型達“佳”的品種(系)共 21 個(圖六 B)，其中包含 20 個粳稻與 1 個秈稻，但並未包含光敏感品種(系)，而不同類型品種(系)之株型評估亦有顯著差異，以粳稻最佳，秈稻次之，而光敏感品種(系)最差(表五)。產量部分，不同類型品種(系)在產量的目測評估差異相對較小(表五、圖六 C)，以粳稻最佳，秈稻最差，而光敏感品種(系)介於其間；倒伏性部分，不同類型品種(系)倒伏性之目測評估有顯著差異(表五、圖六 D)，以粳稻最佳，秈稻次之，而光敏感品種(系)最差，其結果也與株型相呼應；整體評估部分，整體評估達“可”的品種(系)僅伊娜谷香糯米(編號 47)及馬來西亞品種(編號 49)皆屬光敏感品種(系)(圖六 E)，若以介於可與平之間的品種(系)也列入考量，則有阿里山香糯、IR 42、Swa-sub-1、Super Basmati、LLADD 及 Cuyamel-3820(編號 46、48、77、79、85、86)等 6 個品種列入，共計 8 個品種為整體目測評估較有潛力的材料，而不同類型品種(系)之整體評估亦有顯著差異，目測整體評估以生育日數所占較大的衡量比重，故光敏感品種(系)在整體評估顯著優於粳稻與秈稻，而粳稻與秈稻兩者則無顯著差異。

表五、參試品種(系)的目測評估

Table. 5. The visual evaluation of investigated varieties (lines)

Type	Growth Duration (scores)	Plant Type (scores)	Yield (scores)	Lodging Resistance (scores)	Total Evaluation (scores)
PSV	5.03±1.70 a ^y	6.33±1.17 c	5.11±1.06 ab	6.03±1.12 c	5.72±1.16 a
Japonica	6.82±0.55 c	2.00±1.85 a	4.64±1.03 a	3.54±1.26 a	6.86±0.45 b
Indica	5.83±1.54 b	4.47±1.96 b	5.28±0.85 b	4.81±1.47 b	6.42±0.87 b

^y Means followed by same letter indicate no significant difference in comparison in Tukey HSD test at $p=0.05$.



圖六、夏季單期作參試品種(系)在目測評估之直方圖。(A)生育日數、(B)株型、(C)產量、(D)倒伏性及(E)整體評估 顯示三類型品種(系)。

Fig. 6. Histogram of visual evaluation of investigated varieties (lines) during summer crop season. (A)Growth duration, (B)plant type, (C)yield, (D)lodging resistance, and (E)total evaluation shown in 3 types.

結 論

本試驗目的在篩選適合5-6月間插秧且預期在10月收穫的品種(系),由於期望生育日數高達130天以上,因此在試驗之前就已針對本場庫存500餘個種原之歷年生育日數調查資料進行汰選,選擇生育日數較長的品種(系)作為試驗材料,溫帶地區的品種(系)在臺灣種植由於日長敏感性因素而提早抽穗⁽²¹⁾,因此僅美國的M401與日本的Hoshiyutaka、Vietnam 237、Mochidauara等4個品種(系)入選為試驗材料。規劃此種夏季單期作的水稻生產需考量日長因素,因此也將第二期作才會抽穗的光敏感種原納入試驗材料。另外,為了避免臺灣品種的遺珠之憾,參考2014年各品種栽培面積,將較受農民歡迎而栽培的20個品種納入試驗材料,所以試驗材料結構包含有28個梗稻、36個秈稻及36個光敏感品種(系),總計100個國內外種原(表一)進行以抽穗期為主的初步篩選。

水稻為短日照植物,對日長的變化反應可區分為光敏感型(photoperiod-sensitive)與光不敏感型(photoperiod-nonsensitive)兩類,光敏感型品種在日長超過或不足臨界光週期時抽穗期會大幅縮短或延後,甚至不抽穗⁽³³⁾,因此在本試驗規劃夏季單期作栽培的長日環境,多數品種(系)的抽穗日數都短於目標設定的115-125日,尤其現行國內品種(系)抽穗日數都低於85天,無法作為本試驗規劃之栽培模式材料,也印證了臺灣為配合一年兩期作的栽培模式,長期以來在育種上汰除了對光週期較敏感的植株,育成的品種(系)都具有對光期較不敏感的基因型⁽⁹⁾。若將本試驗的抽穗日數與歷年調查的抽穗日數作圖比對(圖三),發現梗稻在夏季單期作的抽穗日數與歷年第二期作的抽穗日數沒有太大差異,都在抽穗日數相等的虛線附近;秈稻的抽穗日數則有較大變異,部分品種(系)遠離抽穗日數相等的虛線,出現夏季單期作之抽穗日數高於歷年第二期作抽穗日數的情形;而光敏感品種(系)在兩個不同栽培環境下的抽穗日數有最大的變化,所有品種(系)都偏離虛線,且在夏季單期作的抽穗日數都遠高於二期作。若以抽穗日數落在115-125天作為夏季單期作品種(系)的篩選條件,則有三杯(San-Pei)等19個品種(系)符合目標,但仍可再與其他性狀做後續評估。

原本試驗設計以不影響遮光的露天與不搭防鳥網進行,並規劃農藝性狀與產量的調查,但早抽穗種原在8月抽穗後就引來麻雀等鳥類啄食,為讓試驗得以進行,不得以搭上防鳥網以保住晚抽穗種原,但產量構成要素調查因受鳥害導致穗部性狀不完全而無法進行調查分析,最終僅進行株高與穗數兩個性狀的分析。由於試驗之前的材料篩檢僅針對抽穗日數進行,所以品種間株高與穗數的差異極大,株高最低的品種(系)僅73.1 cm(編號17),最高為193.8 cm(編號63),兩者相差120.7 cm,在生育後期植株高、葉片長但莖桿較軟的部分秈稻品種(系)常會遮住、甚至倒伏壓住其旁矮小品種(系),也是造成後來放棄進行其他農藝性狀與產量調查的原因之一。穗數最低的品種(系)僅7.2枝(編號84),最高為28.6枝(編號32),差異達21.4枝,試驗的行株距為30×20 cm,梗稻的莖桿直徑在這種行株距綽綽有餘,但部分秈稻品種(系)的莖桿目測直徑則高達1 cm以上,20 cm的株距在田間已是沒有株距的間隔,未來選育品種若具此類型的特徵,也要注意栽培行株距的配合。

規畫中夏季單期作的栽培時期,恰巧為第一期作穀粒充實期後至第二期作抽穗期與穀粒充實期

間，預期病蟲危害可能以蟲害較病害嚴重，此因蟲害密度在第一期作栽培下已有增長，第一期作結束後之蟲害將移至夏季單期作田間，病害則視第一期作病害發生的微氣候而定。誠如預期，至 7 月間螟蟲的危害已十分嚴重，為避免試驗毫無結果，在 8 月初施用蟲害防治藥劑。而三種類型品種(系)的生長特性也與病蟲害的嚴重程度有關，稈稻的穗稻熱病罹病程度較為嚴重，蓋因稈稻大都為半矮性的改良品種，在試驗品系株高都偏高的狀況下易處在相對濕度較高的微氣候中，使其較易罹病；螟蟲的危害似與莖桿的粗細有關⁽¹⁰⁾，本試驗雖無調查莖桿的粗細，但目測觀察光敏感品種(系)的莖桿普遍較粗，而大多改良品種的稈稻莖桿較細，推斷結果與抽穗前的螟蟲調查吻合(表三)。

本試驗為篩選適合夏季單期作生產的水稻品種(系)，除了前述的抽穗日數為主要標的外，其餘的農藝特性也應該列入考量，因此本試驗透過育種人員針對生育日數、株型、產量、倒伏性及整體評估等五項特性進行初步目測評估，並以評估等級 1、3、5 及 7，分別代表佳、可、平及劣等四等級，為避免育種人員的主觀意見過度影響評估，本試驗以 3 位育種人員在成熟期間以共識決方式進行每一小區調查評估。結果顯示：整體評估達“可”(級別 3)的品種(系)僅伊娜谷香糯米(Enaku aromatic glutinous rice)與馬來西亞品種(Malaysia variety)2 個光敏感品種(系)(圖六 E)，若以介於可與平中間的品種(系)也列入考量，則有阿里山香糯(Alishan aromatic glutinous rice)、IR 42、Swa-sub-1、Super Basmati、LLADD 及 Cuyamel-3820 等 6 個品種列入。試驗的原始規劃若選出的品種(系)為臺灣的改良品種可直接推廣，然而試驗結果顯示國內改良品種在生育日數已不合乎篩選目標，此應為臺灣品種(系)大都具有延長營養生長期的 *ehd1* 基因有關^(16,19)。選出的 8 個品種之中僅伊娜谷香糯米與阿里山香糯為臺灣的品種，然而因其糯性、穀粒有芒及莖桿成熟容易乾枯倒伏等特性，也成為無法直接推廣的因素，其餘 6 個品種皆為國外品種，都可以作為往後育種材料。

臺灣的用水配比以農業用水約 70% 佔大宗，工業用水 20%，民生用水 10%，而水稻田用水佔農業用水的三分之二⁽⁵⁾，若由作物經濟產量除以作物生產此產量所需的用水量，所獲得的水分利用效率(water-use efficiency, WUE)之數值作比較，水稻的 WUE 在 0.5-1.6 g/kg 之間，範圍極廣，若改以進水量為基準，則為 0.3-0.7 g/kg，但均較小麥的 0.8-1.6 g/kg 與玉米的 1.6-3.9 g/kg 為低⁽⁵⁾，這也是本試驗規劃夏季單期作節省水資源的重要因素。然而除了水資源的考量外，在一年兩個期作改變為夏季單期作下也有減緩國內稻米生產過剩的壓力。另外，由於夏季單期作的雨水豐沛與光照充足，氮肥的施用應可以減少，由本試驗僅施用 86 kg-N/ha 的水稻生育狀況不亞於兩個期作施用高氮肥的生育情形即可證明。在此狀況下，農民的生產成本可望降低，即使單期作的產量不如兩個期作加總的產量，若有後期雜糧生產的誘因，應有推廣的效益。再者，國際市場以中直鏈澱粉含量的秈稻品種為大宗⁽¹³⁾，但在臺灣一年兩期作的栽培模式下所產生的育種與栽培制度無法生產出中直鏈澱粉含量的稻米，此乃因米粒的直鏈澱粉含量與穀粒充實期的溫度呈現反比⁽³²⁾，在兩個期作都進行育種選拔且穀粒充實期的溫度差異下，已無法選育出中直鏈澱粉含量的品種，更遑論生產出國際市場需求的中直鏈澱粉含量稻米，但在夏季單期作環境下進行育種與生產，生產出中直鏈澱粉含量稻米已非障礙。

本試驗篩選出 8 個適合夏季單期作栽培的品種，然該等品種距離農民可以接受的推廣程度仍有距離，因此未來發展夏季單期作的工作應包含下列各項：1.以適合品種(系)進行夏季單期作的品種研發：考量夏季單期作的高溫、高光照及多病蟲害的特性，該等品種應綜合具有秈稻耐高溫與耐不良環境的特性，和稈稻成熟期強桿、細桿的特性及光敏感品種(系)在特定光週期下抽穗的特性，此定要透過各類型稻雜交育種方可達成。2.進行適合夏季單期作品種的產量試驗以篩選出適合夏季單期作栽培的品種(系)：試驗結果顯示國內品種(系)目前並無適合夏季單期作生產的品種(系)，國外品種(系)雖有 6 品種符合初步篩選，然而直接推廣似有市場競爭與植物品種權之爭議，所以選出 1-2 個適應性佳與產量高的品種(系)作為往後育種品系的對照品種(系)是個持續育種策略的可行方針。3.挑選出穗數差異的品種(系)進行株距試驗：本試驗以株距 20 cm 情形下，有些品種已無株間生長空間，未來若選育出適合夏季單期作的品種，在生產與推廣考量下，應先進行不同樣態的行株距試驗尋求最佳生產模式作為往後新品種推廣依據。

致 謝

本試驗部分種原材料由農試所種原庫、作物組卓瑋玄博士與李長沛博士、嘉義分所吳永培博士與陳隆澤先生提供，誠摯表達謝意。

參考文獻

1. 丁文彥、黃秋蘭、江瑞拱 2004 不同栽培密度及移植苗數對水稻臺東 30 號生育及產量之影響 臺東區農業改良場研究彙報 15: 1-8。
2. 呂坤泉、許志聖、楊嘉凌 2009 仁愛松林部落「伊娜谷香糯米」的純化與品種(系)改進 臺中區農業改良場研究彙報 105: 1-12。
3. 胡兆華 1993 稻米細胞遺傳與育種 浙江科學技術出版社 中國浙江。
4. 金城 1995 水稻需水量五年試驗報告 水利通訊 3: 71-81。
5. 姚銘輝、漆匡時 2003 水稻田水資源及水分利用效率之探討 農業氣象災害調查與防護技術 pp. 167-180 農業試驗所 臺灣霧峰。
6. 姚銘輝、鍾昀軒、徐永衡 2015 利用未來統計降尺度氣候資料評估臺灣水稻生產潛勢 作物、環境與生物資訊 12(3): 142-154
7. 馬家齊、魏郁婷、吳瑞賢 2016 因應氣候變遷調整稻作停灌決策時間對水庫用水管理的影響 農業工程學報 62: 27-39。
8. 國家災害防救科技中心/中央研究院環境變遷研究中心 2018 臺灣氣候的過去與未來。
9. 張瑪利、羅正宗、劉景平 2006 日長對水稻栽培品種抽穗及農藝性狀之影響 作物、環境與生物資訊 3: 147-158。

10. 陳啟吉、劉達修 1994 水稻莖桿特性與其對螟蟲之感受性關係研究 臺中區農業改良場研究彙報 43: 1-6。
11. 黃添財 1999 臺灣稻米生產概況及政策之演變 臺灣稻作發展史 p.19-42 臺灣省政府農林廳。
12. 楊志維、簡禎佑、林佩瑩、林孟輝 2011 播種量及栽植株距對水稻桃園 3 號農藝性狀與產量之影響 桃園區農業改良場研究彙報 70: 1-12。
13. 楊嘉凌、鄭佳綺、許志聖 2012 世界稻米產銷概況 台中區農業專訊 76: 4-8。
14. 臺灣省稻作改進會 1964 臺灣省農業試驗所保存稻種誌 臺灣。
15. 賴明信、楊純明、郭益全 1995 水稻與陸稻在水田栽培下期作間生長及產量之差異 中華農業研究 44(4): 379-390。
16. 簡祥庭、陳榮坤、侯藹玲、陳正昇、林彥蓉 2011 *Hd1*、*Hd6* 與 *Ehd1* 對水稻抽穗期之影響 作物、環境與生物資訊 8: 45-57。
17. 謝兆樞、劉建甫 2017 蓬萊米的故事 磯永吉學會 臺灣台北。
18. 謝兆樞 2020 早冬、晚冬 米人米事物語 p. 360-368 磯永吉學會 臺灣台北。
19. 顏維萱 2015 水稻抽穗期基因在臺灣自然日照環境下之效應 碩士論文 國立臺灣大學 台北市。
20. 蕭巧玲、楊純明、李裕娟 2009 水稻栽植密度對生長行為與穀粒產量之影響 作物、環境與生物資訊 6: 101-112。
21. 羅正宗、陳榮坤 2016 「偷天換日」-水稻育種新技術 台南區農業專訊 95: 1-5。
22. Atlin, G. N., J. E. Cairns and B. Das. 2017. Rapid breeding and varietal replacement are critical to adaptation of cropping systems in the developing world to climate change. *Global Food Security* 12: 31-37.
23. Guera, L. C., S. I. Bhuiyan, T. P. Tuong and R. Barker. 1998. Producing more with less water from irrigated systems. International Rice Research Institute Discussion Paper Series No. 29.
24. Hammer, G. L., G. McLean, E. Oosterom, S. Chapman, B. Zheng, A. Wu, A. Doherty and D. Jordan. 2020. Designing crops for adaptation to the drought and high-temperature risks anticipated in future climates. *Crop Science* 60: 605-621.
25. Han, Z., W. Hu, C. Tan and Y. Xing. 2017. QTLs for heading date and plant height under multiple environments in rice. *Genetica*, 145(1): 67-77.
26. Hori, K., K. Matsubara and M. Yano. 2016. Genetic control of flowering time in rice: integration of Mendelian genetics and genomics. *Theoretical and Applied Genetics* 129(12): 2241-2252.
27. Nonoue, Y., K. Hori, N. Ono, T. Shibaya, E. Ogiso-Tanaka, R. Mizobuchi, S. Fukuoka and M. Yano. 2019. Detection of heading date QTLs in advanced-backcross populations of an elite indica rice cultivar, IR64. *Breeding Science* 69(2): 352-358.

28. Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101.27: 9971-9975.
29. Raza, A., A. Razzaq, S. S. Mehmood, X. Zou, X. Zhang, Y. Lv and J. Xu. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34.
30. Sasaki, T. and M. Ashikari(Eds.). 2018. *Rice Genomics, Genetics and Breeding*. Springer.
31. Sarvestani, Z. T., H. Pirdashti, S.M. Sanavy and H. Balouchi. 2008. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 11.10: 1303-1309.
32. Tashira, T., and F. Wardlaw. 1991. The effect of high temperature on the accumulation of dry matter, carbon and nitrogen in the kernel of rice. *Functional Plant Biology* 18.3: 259-265.
33. Vergara, B. S. and T. T. Chang. 1985 *The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod*. 4th edition. International Rice Research Institute Press. Manila, Philippines.

Study on Resource-saving Agronomic Crops Production

I. Evaluation of Rice Varieties (lines) under Single Summer Crop Cultivation System in Taiwan¹

Chih-Yung Teng, Chia-Chi Cheng, Chung-Ta Liao, Jia-Ling Yang and Chi-Sheng Hseu²

ABSTRACT

Rice cultivation system in Taiwan has its historical origin and political consideration, but there's an urgent need to improve the system due to the impact of climate change and overproduction. To overcome these problems, this study proposed a single crop cultivation system which grows from May to October, and 100 rice varieties (lines) were evaluated under this system. The investigated rice varieties (lines) consisted of 28 Japonica, 36 Indica and 36 photoperiod-sensitive varieties (lines). The result shows that photoperiod-sensitive varieties (lines) have the longest days to heading which fit the cultivation system the most. Also, they have the highest plants compared to Indica and Japonica. Panicle number shows no obvious difference among various types of varieties (lines). As for pest and disease, photoperiod-sensitive varieties (lines) have better resistance to leaf folder and rice panicle blast. Finally, under the visual evaluation from breeders, 8 varieties including Enaku aromatic glutinous rice, Malaysia variety, Alishan aromatic glutinous rice, IR 42, Swa-sub-1, Super Basmati, LLADD and Cuyamel-3820 were selected with potential for further utilization under this cultivation system.

Key words: rice, single summer crop cultivation system, photoperiod-sensitive variety (line), breeding

¹ Contribution No.1002 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Researcher, Assistant Researcher, Associate Researcher, Researcher and chief of Agricultural Extension Section of Taichung DARES, COA and Former Researcher of Taichung DARES, COA.