

資源節約型農藝作物生產的研究 II. 適合夏季單期作栽培水稻的性狀表現¹

鄧執庸^{2*}、李誠紘²、吳以健²、楊嘉凌²、許志聖²

摘 要

為因應氣候變遷之臺灣水資源利用課題，選拔適合夏季單期作生產栽培(5-10月)的水稻品種，針對生育期符合夏季單期作的國內外品種進行產量、農藝及米質性狀的調查，篩選出適合夏季單期作栽培的對照品種，並可作為雜交親本材料以利品種改良。本研究以 36 個品種進行初級產量試驗，經評估調查後，進一步選出 15 個具潛力品種進入高級產量試驗，結果發現參試品種的株高較現行臺灣推廣品種高、產量變異大，且米質多屬高直鏈澱粉含量、中高糊化溫度及硬膠體性質，其中，產量最高的兩品種為 *Doddabyranella* 與 *Swarna-sub1*，兩品種稻穀公頃產量分別達 6,584 與 6,904 kg，皆屬穗數型品種，單株穗數可達 30 支以上，每穗粒數亦達 100 粒以上，千粒重較低、屬小粒型品種，米質特性屬於高直鏈澱粉含量、中高糊化溫度及硬膠體性質，可作為夏季單期作的對照品種。

關鍵字：水稻、夏季單期作、產量、農藝性狀、米質性狀

前 言

臺灣稻作栽培模式最早文字紀錄來自陳第《東番記》(1603)記載「…無水田，治畚種禾，山花開則耕…」的旱作耕種模式(黃，1999；謝與劉，2017)，隨著閩粵漢人移民來臺帶來秈稻稻種，也期望引入於華南原鄉「一歲兩熟」的兩期作水稻栽培，但囿於臺灣旱季少雨且當時水利設施尚未發展成熟，故有周鍾瑄《諸羅縣志》(1717)記載「內地穗皆兩熟…此地雖暖，春時雨澤稀，早種難播，故稻僅一稔」的單期作水稻栽培模式。1752 年於下淡水流域一帶港東(今潮州、萬巒地區)與港西(今屏東、九如地區)兩地成功栽培名為「雙冬」的早熟稻新品種，配合埤圳開設技術的精進，才逐步使臺灣由年僅一穫改變為兩穫(吳，1993；蔡，2009；謝，2020)，而此栽培模式也延續到日治時期。日人將臺灣稻栽培模式分為第一期作、第二期作與介於兩期作之間的中間作，同時進行秈稻稻種的大規模調查與盤點(蔡，2009)，並引進梗稻品種於一年兩穫的栽培模式中，透過幼苗插植法與育種改進將「蓬萊稻」根植於臺灣稻作栽培，時至今日成為臺灣主流的梗稻兩期作栽培模式

¹農業部臺中區農業改良場研究報告第 1090 號。

²農業部臺中區農業改良場助理研究員、助理研究員、副研究員、研究員兼科長、前研究員。

*通訊作者電子信箱 tengcy@tcdares.gov.tw

(謝與劉，2017)。

臺灣近年主要降雨季節集中在每年 5-6 月梅雨季節與 7-10 月颱風季節，約占全年降水量的 78%，豐水期與枯水期存在顯著差異，加上臺灣河川短促流急，每年逕流入海和蒸發散量高於總降雨量的 80%，可供利用水資源占比少，使得降雨量些微的改變皆直接或間接地影響臺灣面臨旱澇之災害風險(周，2021)，對農業用水量的一年兩穫稻作栽培模式更是造成嚴重衝擊，如 2021 年初西部與 2022 年下半年嘉南地區皆因降雨量驟減而引發旱象，並造成水稻大面積的停灌休耕(姚，2022；陳等人，2023)；研究亦顯示未來全球降雨型態將面臨豐者愈豐、枯者愈枯，旱澇更加分明的狀況，將導致更多極端降雨或極端乾旱事件的發生(翁等人，2022；Guhathakurta *et al.*, 2011)。行政院國家科學及技術委員會所轄國家災害防救中心出版的報告指出：臺灣未來降雨型態可能呈現乾濕季節越趨分明、極端降雨越趨頻繁現象，將增加水稻一期作乾旱的風險(許等人，2011；周等人，2018)；研究也預估臺灣一期作產量在未來升溫與二氧化碳(CO₂)濃度提高的狀況將減產 3.3-10%(Promchote *et al.*, 2022)。面對氣候變遷帶來的風險與影響，栽培期與對應栽培期品種的調整為可行的調適方式(Ansari *et al.*, 2021; Boonwichai *et al.*, 2019; Dharmarathna *et al.*, 2014; Hussain *et al.*, 2020; Shrestha *et al.*, 2016; Schneider *et al.*, 2020)。本場遂根據稻作生產現況與對未來臺灣氣候環境的預測，提出於 5 月插秧至 10 月收穫的「夏季單期作」栽培模式，於 2015 年始針對適合於該栽培模式的水稻品系材料進行初篩，尋找對日長敏感、生育日數長(140-150 天)且農藝性狀優良的品系(鄧等人，2021)。

此種「夏季單期作」的栽培模式設計於臺灣豐水期(5-10月)進行水稻栽培，生育日數須達 140-150 天，產量以兩期作總和的 60-70% 為目標，米質特性以進口替代與具出口導向價值(如泰國香米等中直鏈澱粉含量品種)為主，不但可以善加利用夏季的自然降雨，減少使用蓄積於水庫的珍貴水資源，更可於 11 月至隔年 4 月空出田區，提供雜糧較長的栽培期使用，甚而發展類似日本九州的「夏稻冬麥」生產模式。然根據鄧等人(2021)初步試驗結果顯示，國內推廣品種並不適合於夏季單期作生產，而所選出 8 個較具潛力的品種(系)雖能符合夏季單期作的生育日數，惟均為國外品種或較不適合慣行栽培的地方種。因此，夏季單期作的品種選育勢必成為後續技術研發的重點，而調查適合夏季單期作國內外品種(系)的各項產量、農藝及米質性狀，進一步篩選出適合夏季單期作栽培模式的對照品種，將成為夏季單期作水稻育種工作的基石。

材料與方法

一、適合夏季單期作水稻之初級產量試驗

(一)試驗材料：於鄧等人(2021)篩選之 8 個較具潛力的品種，加入自東南亞引入的生育日數較長的 20 個品種，及自緬甸引種對日長敏感的 8 個種原材料，共計 36 個品種(表一)。

(二)試驗地點：彰化縣大村鄉臺中區農業改良場試驗田。

(三)試驗期間：2016 年 6 月 1 日至 2016 年 11 月 18 日。

(四)試驗設計：採順序排列簡方設計、2 重複、4 行區、每小區 100 株、3-5 本植。

(五)栽培管理：基於前次試驗品種分蘗數過多，本次試驗擴大行株距為 30×30 cm，試驗期間總肥料施用量為 86 kg-N/ha、54 kg-P₂O₅/ha、36 kg-K₂O/ha，其餘栽培管理採慣行方式。

(六)調查項目：

1. 產量：於植株成熟後進行小區坪割，並換算為水分含量13%之稻穀產量(kg/ha)。
2. 農藝性狀：於生育期間調查抽穗期、成熟期、株高，並於植株成熟後每小區收割3株進行產量構成要素調查。

3. 米質性狀：

(1) 碾米品質：

A. 糙米率：稻穀乾燥後，稱取125 g稻穀，使用脫殼機(Satake Rice Machine, Satake Engineering Co., Tokyo, Japan)，先以1900 rpm 轉速除去外殼，將所得糙米稱重，求得糙米率。

B. 白米率：將糙米置於碾白米機(McGill No.2 Rice Miller, Seedburo Equipment Co., Chicago, USA)，加磅錘碾磨30秒後，去除磅錘再碾磨30秒，將所得精白米稱重，求得白米率。

C. 完整米率：使用完整米粒篩選機(Rice Sizing Device, Seedburo Equipment Co., Chicago, USA)分開完整米與碎米，將所得完整米稱重，求得完整米率。

(2) 米粒外觀：米粒大小以100粒糙米進行長度與寬度的人工測量，測量後依長度平均區分為特長(EL, >7.500 mm)、長粒(L, 6.610-7.500 mm)、中粒(M, 5.510-6.609 mm)及短粒(S, <5.510 mm)，形狀依長寬比分為細長形(S, >3)、中間形(I, 2.1-3.0)及粗圓形(B, <2.1)；白米外觀以目視測量，透明度與白垩質區分為6級(透明度以0級最透明、5級最不透明；白垩質以心、腹、背白總和計算，以0級比率最少、5級比率最高)，並以W_x表示為糯性品種。

(3) 烹調與食用品質：

A. 直鏈澱粉含量：稱取100 mg米粉末，依Juliano(1971)的方法進行樣品處理，再以自動分析儀(AAS-305D Astoria 2, USA)測定。

- B. 粗蛋白質含量：利用近紅外光分析儀測定(Perten Instruments Infra Analyzer DA7200)。
- C. 糊化溫度：利用鹼性擴散值推算，鹼性擴散值共分7個等級(Little *et al.*, 1958)，其中1-2屬高糊化溫度(H)，3屬中高糊化溫度(HI)，4-5屬中等糊化溫度(I)，6-7則屬低糊化溫度(L)。
- D. 凝膠展延性：根據Cagampang *et al.* (1973)之方法，分軟(S, > 60 mm)、中等(M, 41-60 mm)與硬(H, < 41 mm)三種膠體性質。

二、適合夏季單期作水稻之高級產量試驗

- (一)試驗材料：由初級產量試驗的 36 個品種中，篩選產量與農藝性狀表現較佳的 15 個品種為試驗材料(表一)。
- (二)試驗地點：彰化縣大村鄉臺中區農業改良場試驗田。
- (三)試驗期間：2017 年 5 月 19 日至 2017 年 10 月 25 日。
- (四)試驗設計：採隨機完全區集設計(Randomized Complete Block Design, RCBD)、3 重複、4 行區、每小區 100 株、3-5 本植。
- (五)栽培管理：行株距為 30×30 cm，試驗期間總肥料施用量為 86 kg-N/ha、54 kg-P₂O₅/ha、36 kg-K₂O/ha，其餘栽培管理採慣行之栽培管理方式。
- (六)調查項目：與初級產量試驗調查項目的做法相同。

表一、適合夏季單期作水稻之初級與高級產量試驗材料表

Table 1. Rice varieties of preliminary and advanced yield trial for single summer crop cultivation system

Variety ¹	Type ²	Origin	Preliminary	Advanced
Selected varieties from Teng <i>et al.</i> (2021)				
Alishan aromatic glutinous rice	PSV ²	Taiwan	V	V
Cuyamel-3820	Indica	Mexico	V	V
Enaku aromatic glutinous rice	PSV	Taiwan	V	V
IR 42	PSV	Philippines	V	V
LLADD	Indica	Philippines	V	V
Malaysia variety	PSV	Malaysia	V	V
Super Basmati	PSV	India	V	
Swarna-sub1	PSV	Philippines	V	V
20 selected varieties with long growth period from Southeast Asian countries				
Basmati 370	Japonica	India	V	
Ching-ch'ung	Indica	Taiwan	V	
Chu-pien	Indica	Taiwan	V	
Chung-so-ch'i	PSV	Taiwan	V	V
Doddabyranella	PSV	India	V	V
Jinya-31	Indica	China	V	
KDML-105	PSV	Thailand	V	
Khakomduol	PSV	Vietnam	V	
K-17032	Indica	Thailand	V	V
Man-tzu	PSV	Taiwan	V	
Milagroso	PSV	Philippines	V	
Niao-yao	Indica	Taiwan	V	
Pai-k'o-man-tzu	PSV	Taiwan	V	
Pai-tu-yin	PSV	Taiwan	V	
Premfull	PSV	Pakistan	V	
Ramilon	PSV	Philippines	V	
R.T.S. 24	PSV	Vietnam	V	
San-pei	Indica	Taiwan	V	V
Tung-shan-pai-mi-chin-hou	PSV	Taiwan	V	V
T'ai-chung-chi-chi-ao-kao-wan	PSV	Taiwan	V	

8 selected varieties from Myanmar with photoperiod-sensitivity				
DAR col.1	PSV	Myanmar	V	
DAR col.4	PSV	Myanmar	V	V
DAR col.5	PSV	Myanmar	V	
DAR col.6	PSV	Myanmar	V	
DAR seed farm col.6	PSV	Myanmar	V	
Pathein	PSV	Myanmar	V	
Start Bomet	PSV	Myanmar	V	V
Yangon-144-Naypyidaw-2	PSV	Myanmar	V	V

¹The English name of Taiwan native varieties are followed by 'A monograph of rice varieties preserved by Taiwan Agricultural Research Institute'(1964).

²PSV: Photoperiod-sensitive variety

三、統計分析

上述試驗調查結果，以統計軟體 R version 4.2.3 (R Core Team, 2023)進行敘述統計及作圖，並針對農藝性狀與產量利用變方分析(analysis of variance, ANOVA)比較品種間相關性狀是否有顯著差異，再針對具有顯著差異的性狀利用 Fisher 最小顯著差異性測驗(Fisher's protected least significant difference test, LSD test)進行品種間多重比較。

結 果

一、適合夏季單期作水稻之初級產量試驗

(一) 農藝性狀表現

初級產量試驗36個參試品種，除Basmati 370僅作可行性評估外，其餘品種均進行產量與農藝性狀調查(表二)，抽穗日數與生育日數分布如圖一(A)與(B)，抽穗日數74-147天，生育日數113-170天，其中，Basmati 370、DAR col.6、Jinya-31及Pathein等4個品種的生育日數低於130天，不符合夏季單期作的需求，而DAR Stedfarm col.6、KDML-105、Khakomduol、Milagroso、Pai-tu-yin、Premfull、Ramilon及Super Basmati等8個品種的生育日數高於160天，生育日數過長亦會影響後續與雜糧作物輪作的農時，較不適合作為夏季單期作栽培；參試品種的株高分布如圖一(C)，株高79.6-154.8 cm、平均為118.1 cm，株高大於110 cm的品種共有24個、約占68%，顯示多數參試品種之株高高於現行推廣品種(台梗9號約90-95 cm)；穗數分布如圖二(A)，穗數11.3-33.9支、平均為23.9支，穗數在25支以上者有18個品種、占50%，而穗數高達30支以上者有Chu-pien、Doddabyranella、IR 42、Malaysia variety、Pathein、R.T.S. 24及Swarna-sub1等7個品種；每穗粒數分布如圖二(B)，每穗粒數46.8-183.7粒、平均為95.6粒，粒數少於80粒的品種共有12個，粒數80-120

粒者共有17個，而粒數大於120粒者有6個品種；稔實率分布如圖二(C)，稔實率26.4-86.9%、平均為70.3%，多數參試品種稔實率60-90%(共有29個品種、約占81%)；千粒重分布如圖二(D)，千粒重10.95-32.93 g、平均為21.93 g，多數品種千粒重18-28 g(共有29個品種、約占81%)；稻穀公頃產量分布如圖一(D)，稻穀公頃產量679-5,450 kg、平均為3,147 kg，若以1,000 kg為級距，稻穀公頃產量2,001-3,000 kg者最多、共有14個品種，而稻穀公頃產量在5,000 kg以上者僅有Doddabyranella與Swarna-sub1。

針對穗數、每穗粒數、稔實率、千粒重及產量等性狀進行ANOVA，結果顯示前述性狀於品種間均具有顯著差異(表二)，而後利用LSD test進行多重比較結果列如表二之LSD_{0.05}。穗數於品種間差異達8.9支具有顯著差異，其中，以IR42的33.9支最多、Start Bomet的11.3支最少；每穗粒數於品種間差異達31.6粒具有顯著差異，其中，以Ramilon的183.7粒最多、Super Basmati的46.8粒最少；稔實率於品種間差異達15.3%具有顯著差異，其中，以T'ai-chung-chi-chi-ao-kao-wan的86.9%最高、Jinya-31的26.4%最低；千粒重於品種間差異達5.50 g具有顯著差異，其中，以Start Bomet的32.93 g最重、Premfull的10.95 g最輕；稻穀公頃產量於品種間差異達1,165 kg具有顯著差異，其中，以Doddabyranella的5,450 kg最高、Start Bomet的679 kg最低。

(二)米質性狀表現

36個參試品種之米質性狀調查列如表三。在碾米品質部分，參試品種糙米率分布如圖三(A)，糙米率68.2-80.0%、平均為77.3%，糙米率最低者為Enaku aromatic glutinouse rice，最高者為DAR col.1，多數參試品種之糙米率78.0-80.0%(共有20個品種、約占56%)；參試品種白米率分布如圖三(B)，白米率53.0-71.4%、平均為62.0%，白米率最低者為IR 42，最高者為Niao-yao，多數參試品種白米率58-66%(共有27個品種、占75%)；參試品種完整米率分布如圖三(C)，完整米率18.4-68.4%、平均為43.1%，完整米率最低者為Enaku aromatic glutinouse rice，最高者為Niao-yao，多數參試品種完整米率35-60%(共有26個品種、約占72%)。

在米粒外觀部分，參試品種米粒大小分布如圖四(A)，米粒最長可達EL級，惟多數參試品種歸類在S級(共有15個品種、約占42%)與M級(共有11個品種、約占31%)；參試品種米粒形狀分布如圖四(B)，米粒形狀僅Basmati 370為S級，多數參試品種為I級(共有19個品種、約占53%)，B級次之(共有16個品種、約占44%)；參試品種白米透明度分布如圖四(C)，除Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice屬糯米外，多數參試品種之透明度為不透明的5級(共有17個品種、約占47%)，4級次之(共有10個品種、約占28%)，而透明度較佳的3級最少(共有7個品種、約占19%)；參試品種白垩質分布如圖四(D)，除Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice屬糯米外，多數參試品種之白垩質屬無白垩質的0級(共有15個品種、約占42%)。

在烹調與食用品質部分，參試品種糊化溫度分布如圖五(A)，糊化溫度最高為3的HI級、最低為7的L級，多數參試品種之糊化溫度屬3HI級(共有22個品種、約占61%)，顯示多數參試品種之糊化溫度較高，而糊化溫度較低屬7L與6L者次之(分別有8個品種與4個品種)；參試品種直鏈澱粉含

量分布如圖五(B)，直鏈澱粉含量分布2.5-35.3%、平均為28.0%，直鏈澱粉含量最高者為DAR col.1，最低者為Alishan aromatic glutinous rice，多數參試品種之直鏈澱粉含量30-35%(共有23個品種、約占64%)。以Juliano(1982)對直鏈澱粉含量之分類，屬糯性品種者(<5%)有2個，分別是Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice；屬低直鏈澱粉含量者(12-20%)有3個品種，分別是KDML-105、Khakomduol及Start Bomet；屬中直鏈澱粉含量者(20-25%)僅Basmati 370；屬高直鏈澱粉含量者(>25%)有30個品種，可見多數參試品種之直鏈澱粉含量偏高(約占83%)；參試品種蛋白質含量分布如圖五(C)，蛋白質含量5.5-9.4%、平均為7.5%，蛋白質含量最高者為Alishan aromatic glutinous rice，最低者為Super Basmati，多數參試品種之蛋白質7.0-8.5%(共有26個品種、約占72%)；參試品種凝膠展延性分布如圖五(D)，膠體軟硬度分布如圖五(E)，凝膠展延性之長度26-100 mm，最高者為Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice，最低者為Premfull，根據Cagampang *et al.* (1973)之膠體軟硬度分類(<35 mm為硬膠體性質、36-49 mm為中等膠體性質、>50 mm為軟膠體性質)，多數參試品種屬硬膠體性質(共有18個品種、占50%)，軟膠體性質者次之(共有14個品種、約占39%)，中等膠體性質者最少(共有4個品種、約占11%)。

經初級產量試驗之篩選評估後，擇產量與農藝性狀表現優良的15個品種晉升高級產量試驗，持續針對農藝性狀、產量及米質性狀進行評估。

表二、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之農藝性狀與產量

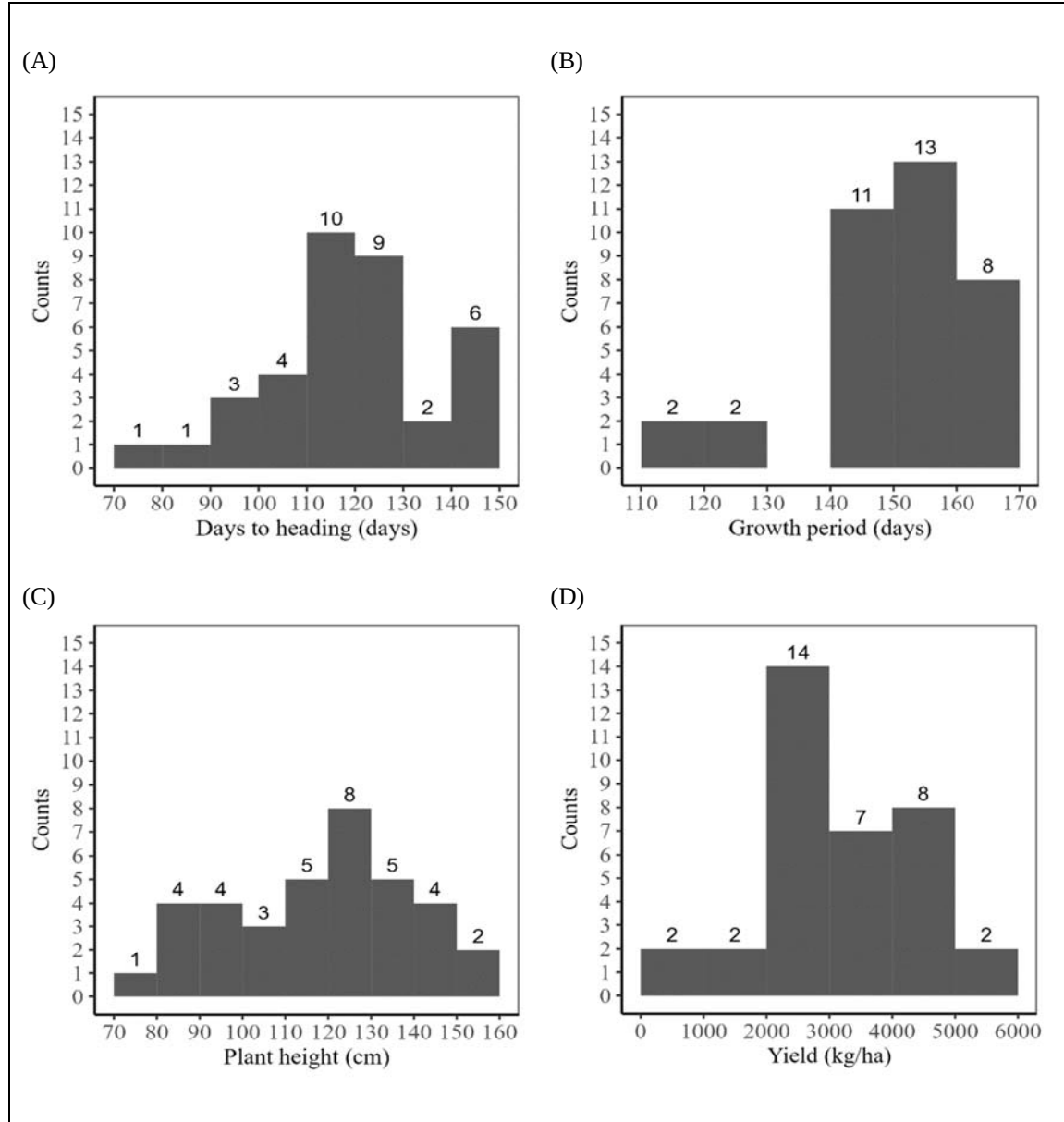
Table 2. Rice agronomic traits and yield of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system

Variety	Days to heading	Growth period	Plant height	Panicle number	Grain number	Fertility	Thousand-grain-weight	Yield
	(days)	(days)	(cm)	(no.)	(no.)	(%)	(g)	(kg/ha)
Alishan aromatic glutinous rice	110	141	135.7	16.0	67.5	71.9	27.00	1818
Basmati 370	90	117	150.3	NA	NA	NA	NA	NA
Ching-ch'ung	105	155	144.5	28.6	74.6	82.0	21.90	3118
Chung-so-ch'i	123	157	125.6	32.7	76.6	74.5	23.02	4517
Chu-pien	118	148	128.1	18.2	95.3	67.4	26.20	2528
Cuyamel-3820	111	141	95.1	26.0	65.8	77.3	23.32	2258
DAR col.1	130	159	108.9	23.3	79.8	83.6	26.53	4588
DAR col.4	120	155	93.8	22.1	95.5	56.1	24.62	2877
DAR col.5	95	151	103.2	25.5	166.8	61.0	12.42	2246
DAR col.6	74	113	79.6	16.3	108.3	57.5	26.09	1235
DAR seed farm col.6	145	170	129.6	14.8	88.6	57.1	27.84	2840
Doddabyranella	119	155	89.8	31.0	126.4	80.1	18.86	5450
Enaku aromatic glutinous rice	117	150	130.4	19.8	93.7	65.7	26.02	2589
IR 42	112	141	82.4	33.9	82.4	67.9	18.96	3767
Jinya-31	92	126	147.6	22.7	149.1	26.4	12.39	864
K-17032	106	141	93.5	29.6	87.0	73.6	24.88	4366
KDML-105	147	170	134.6	11.8	112.4	60.1	23.18	2306
Khakomduol	143	170	141.8	16.9	107.4	68.3	24.85	2421
LLADD	109	141	121.0	26.1	100.8	47.4	22.28	2489
Malaysia variety	115	148	89.7	32.7	74.4	66.8	21.86	3495
Man-tzu	129	155	127.2	22.1	80.6	86.2	20.46	4147
Milagroso	133	170	111.0	15.5	130.6	67.0	18.22	2648
Niao-yao	122	155	114.1	25.2	104.0	79.9	22.26	4047
Pai-k'o-man-tzu	126	155	124.1	26.6	74.7	84.1	22.63	4171
Pai-tu-yin	141	170	139.1	21.6	81.0	71.6	22.27	3501
Pathein	91	126	97.0	30.7	89.4	67.6	18.06	2530

Premfull	142	169	154.8	26.6	135.8	70.7	10.95	2385
R.T.S. 24	126	155	116.4	30.9	60.8	85.0	22.30	3957
Ramilon	142	170	144.9	18.0	183.7	83.0	13.70	3216
San-peí	122	157	126.8	23.9	105.2	77.3	20.78	4164
Start Bomet	112	155	126.2	11.3	51.1	52.2	32.93	679
Super Basmati	138	167	85.6	25.7	46.8	77.6	24.91	2186
Swarna-sub1	117	148	108.3	31.0	112.6	77.2	19.66	5420
T'ai-chung-chi-chi-ao-kao-wan	127	155	130.1	28.6	76.2	86.9	23.02	4818
Tung-shan-pai-mi-chin-hou	121	150	111.8	21.6	71.8	78.3	25.78	3729
Yangon-144-Naypyidaw-2	118	142	110.7	28.4	90.2	69.6	17.55	2775
Range (min)	74	113	79.6	11.3	46.8	26.4	10.95	679
(max)	147	170	154.8	33.9	183.7	86.9	32.93	5450
Mean	119	151	118.1	23.9	95.6	70.3	21.93	3147
Standard deviation	17	15	20.9	6.2	30.4	12.7	4.71	1180
F-test ¹				***	***	***	***	***
LSD _{0.05} ²				8.9	31.6	15.3	5.50	1165

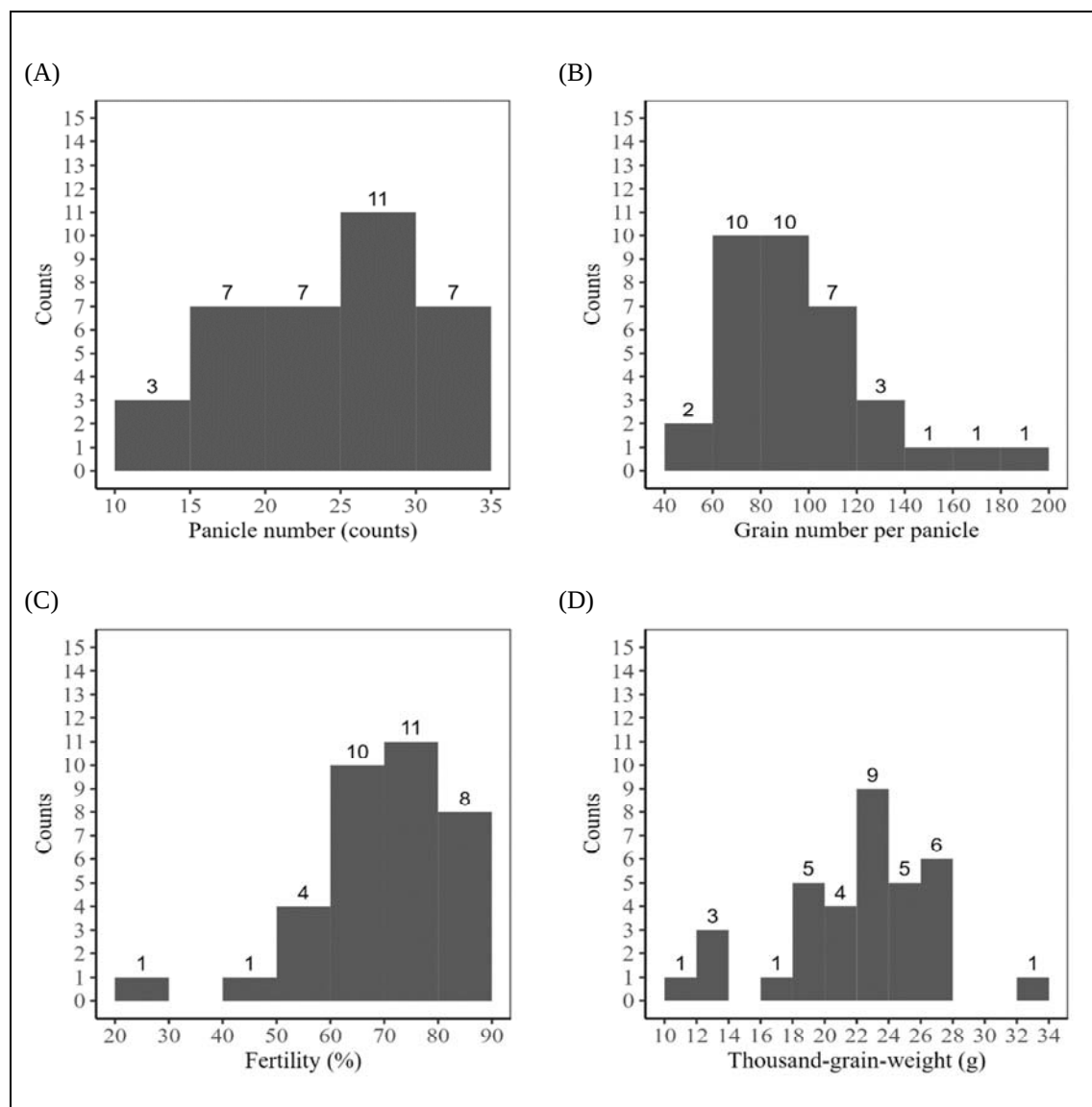
¹ F-test of ANOVA. ***, significant at 0.001 level.

² LSD_{0.05}: values of least significant difference for mean comparisons at 0.05 level.



圖一、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之產量與農藝性狀分布。(A)抽穗日數 (B)生育日數 (C)株高 (D)稻穀公頃產量。

Fig. 1. Distribution of rice yield and agronomic traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Days to heading. (B)Growth period. (C)Plant height. (D)Yield.



圖二、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之產量與農藝性狀分布。(A)穗數 (B)每穗粒數 (C)稔實率 (D)千粒重。

Fig. 2. Distribution of rice yield and agronomic traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Panicle number. (B)Grain number per panicle. (C)Fertility. (D)Thousand-grain-weight.

表三、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之米質性狀

Table 3. Rice quality traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system

Variety	Milling quality				Grain appearance				Cooking and eating quality			
	Water content (%)	Brown rice (%)	White rice (%)	Head rice (%)	Size ¹	Shape ²	Trans. ³	Chalk. ⁴	Gel. temp. ⁵	Amylose content (%)	Protein content (%)	Gel consistency ⁶ (mm)
Alishan aromatic glutinous rice	12.3	74.88	60.80	39.76	M	B	Wx	Wx	6L	2.5	9.4	100S
Basmati 370	11.6	74.16	58.72	25.28	L	S	5	3	3HI	21.9	7.5	42M
Ching-ch'ung	12.6	78.00	65.28	47.12	S	B	4	3	3HI	30.3	7.5	46M
Chung-so-ch'i	12.3	78.40	64.08	38.16	M	B	5	5	3HI	30.7	8.2	35H
Chu-pien	12.7	79.36	63.84	40.16	S	B	5	5	3HI	32.9	6.3	63S
Cuyamel-3820	11.1	69.44	57.20	47.20	L	I	3	0	7L	30.4	8.1	27H
DAR col.1	11.4	80.00	65.84	43.52	L	I	4	0	3HI	35.3	8.3	72S
DAR col.4	11.9	78.72	55.12	41.84	L	I	4	2	3HI	33.1	6.3	75S
DAR col.5	13.3	76.16	59.52	42.96	S	B	5	5	7L	25.3	8.2	28H
DAR col.6	11.8	96.00	61.84	35.36	M	I	5	4	7L	31.5	7.2	65S
DAR seed farm col.6	13.3	75.92	61.04	33.68	S	B	5	5	6L	26.8	7.7	35H
Doddabyranella	13.3	79.20	64.96	49.20	M	I	5	0	3HI	32.9	6.9	31H
Enaku aromatic glutinous rice	12.7	68.16	55.76	18.40	S	B	Wx	Wx	6L	3.4	8.0	100S
IR 42	12.4	78.48	53.04	37.84	M	I	4	0	7L	33.4	6.9	27H
Jinya-31	11.0	78.00	65.92	47.76	S	I	4	0	3HI	32.7	7.3	51S
K-17032	12.5	77.92	61.20	32.80	M	I	4	2	7L	32.3	8.2	30H
KDML-105	13.8	71.68	61.20	50.80	EL	I	3	0	7L	19.0	7.4	73S
Khakomduol	13.4	75.68	62.88	49.44	EL	I	3	0	7L	18.1	7.5	79S
LLADD	11.8	78.80	66.32	51.84	L	I	3	0	3HI	31.3	7.3	32H
Malaysia variety	13.9	79.84	58.08	36.96	L	I	3	0	7L	32.2	7.4	29H

Man-tzu	13.3	79.52	60.64	40.24	S	B	5	5	3HI	32.5	7.8	67S
Milagroso	13.5	79.84	65.20	46.16	S	B	4	1	3HI	27.8	6.4	65S
Niao-yao	12.5	78.96	71.36	68.40	S	B	5	4	3HI	30.6	6.5	35H
Pai-k'o-man-tzu	12.9	77.76	63.60	42.56	S	B	5	2	3HI	33.9	8.1	77S
Pai-tu-yin	13.3	78.16	62.48	36.16	S	B	5	5	3HI	33.6	7.9	91S
Pathein	10.6	78.80	56.00	47.12	M	I	5	0	3HI	30.3	8.3	31H
Premfull	13.2	78.24	69.92	54.88	S	B	4	0	3HI	25.8	7.7	26H
R.T.S. 24	13.0	78.96	65.36	52.00	M	I	3	0	3HI	31.8	6.3	32H
Ramilon	13.4	79.20	68.80	64.08	S	B	3	0	4I	27.1	7.1	28H
San-pei	12.4	79.44	59.76	48.32	S	B	5	4	3HI	31.3	6.4	31H
Start Bomet	12.7	77.36	59.84	38.56	EL	I	4	0	6L	14.7	7.1	91S
Super Basmati	12.8	72.32	59.68	47.28	L	I	5	4	4I	25.8	5.5	35H
Swarna-sub1	12.2	79.84	58.08	36.96	M	I	5	0	3HI	32.1	8.5	29H
T'ai-chung-chi-chi-ao-kao-wan	13.4	78.96	63.68	38.72	S	B	5	5	3HI	32.8	7.6	94S
Tung-shan-pai-mi-chin-hou	11.5	78.64	63.60	38.80	M	I	4	3	3HI	31.5	7.8	48M
Yangon-144-Naypyidaw-2	12.8	77.60	61.44	41.68	M	I	5	3	3HI	31.3	8.5	27H
Range (min)	10.6	68.2	53.0	18.4						2.5	5.5	
(max)	13.9	80.0	71.4	68.4						35.3	9.4	
Mean	12.6	77.3	62.0	43.1						28.0	7.5	
Standard deviation	0.8	2.9	4.1	9.4						7.8	0.8	

¹ Size: brown rice length, >7.500 mm (EL), 6.610-7.500 mm (L), 5.510-6.609 mm (M), <5.510 mm (S).

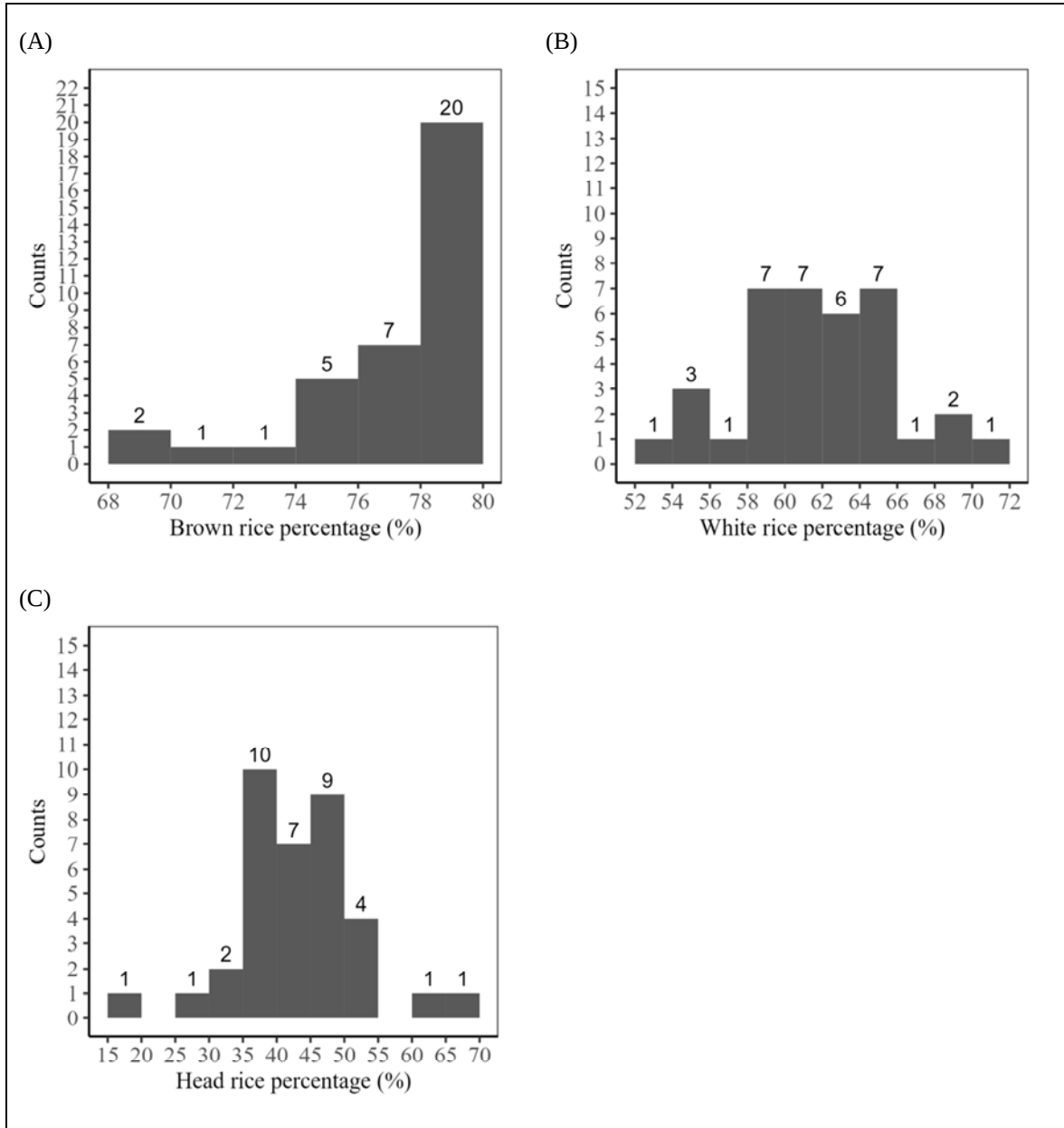
² Shape: according to the length/width ratio of brown rice, >3 (S), 2.1-3.0 (I), <2.1 (B).

³ Trans.: translucency, visual evaluation of the translucency of white rice, categorized into 6 levels (0-5) & glutinous rice (Wx).

⁴ Chalk.: chalkiness, visual evaluation of opaque area in white rice, categorized into 6 levels (0-5) & glutinous rice (Wx).

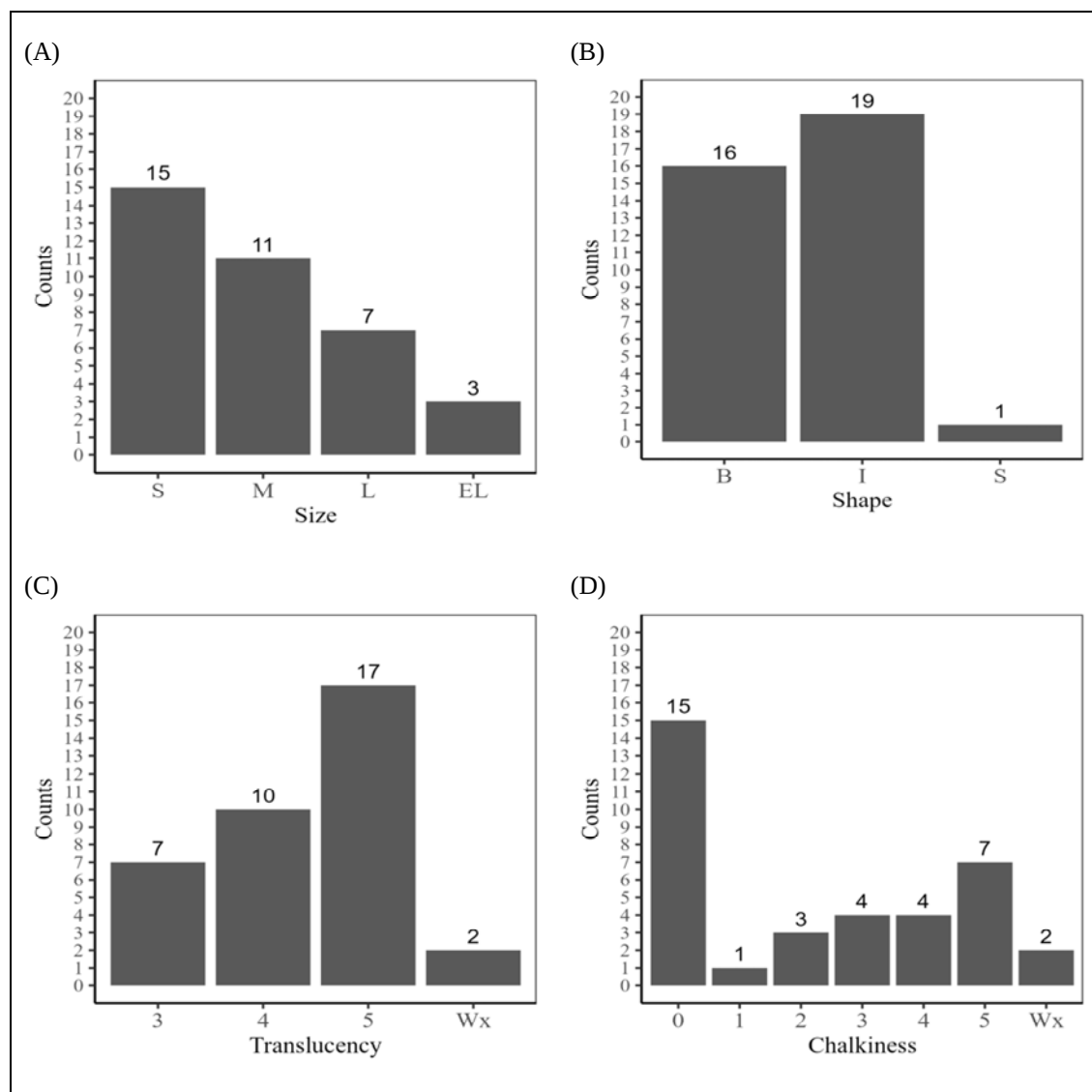
⁵ Gel. temp.: gelatinization temperature, a measure of grain appearance according to alkali digestion test, categorized into 7 levels (1-7), 1&2 (H), 3 (HI), 4&5 (I), 6&7 (L).

⁶ Gel consistency: according to Cagampang *et al.* (1972), gel lengths can be categorized into 3 groups, $\leq 35\text{mm}$ (H), 36-49mm (M), $\geq 50\text{mm}$ (S).



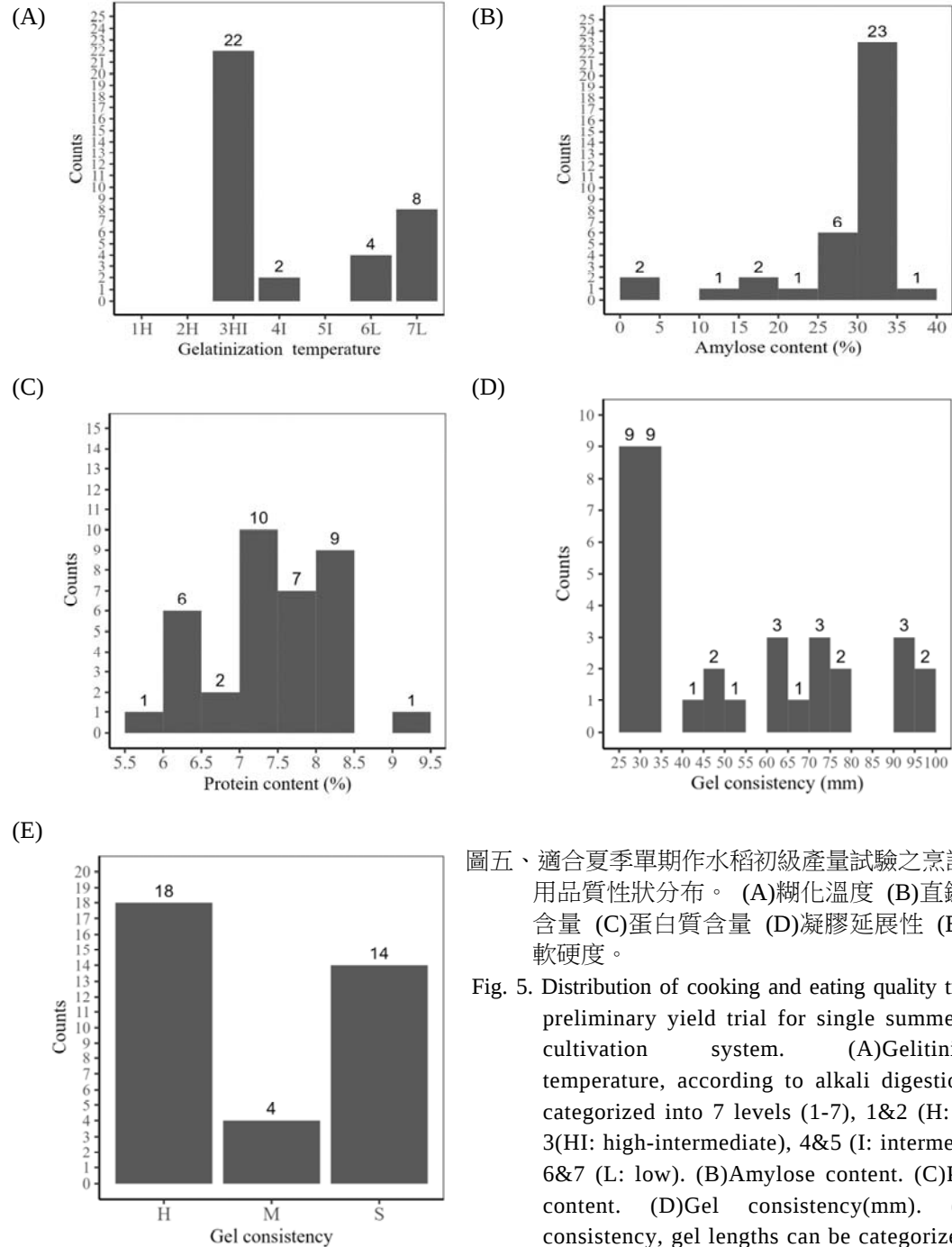
圖三、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之碾米品質性狀分布。(A)糙米率 (B)白米率 (C)完整米率。

Fig 3. Distribution of rice milling quality traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Brown rice percentage. (B)White rice percentage. (C)Head rice percentage.



圖四、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之米粒外觀性狀分布。(A)大小 (B)形狀 (C)透明度 (D)白垩質。

Fig. 4. Distribution of grain appearance traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system. (A) Grain size, brown rice length, EL: >7.500 mm, L: 6.610-7.500 mm, M: 5.510-6.609 mm, S: <5.510 mm. (B) Grain shape, length/width ratio of brown rice, S: >3, I: 2.1-3.0, B: <2.1 (C) Grain translucency, categorized into 6 levels (0-5) with 0 being frosted and 5 being the most transparent & glutinous rice (Wx). (D) Grain chalkiness, categorized into 6 levels (0-5) with 0 having no chalky area and 5 having up to 70% chalky area.



圖五、適合夏季單期作水稻初級產量試驗之烹調與食用品質性狀分布。(A)糊化溫度 (B)直鏈澱粉含量 (C)蛋白質含量 (D)凝膠延展性 (E)膠體軟硬度。

Fig. 5. Distribution of cooking and eating quality traits of preliminary yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Gelitinization temperature, according to alkali digestion test categorized into 7 levels (1-7), 1&2 (H: high), 3(HI: high-intermediate), 4&5 (I: intermediate), 6&7 (L: low). (B)Amylose content. (C)Protein content. (D)Gel consistency(mm). (E)Gel consistency, gel lengths can be categorized into 3 groups, $\leq 35\text{mm}$ (H: hard gel), $36-49\text{mm}$ (M: medium gel), $\geq 50\text{mm}$ (S: soft gel).

二、適合夏季單期作水稻品種之高級產量試驗

(一)農藝性狀表現

高級產量試驗15個參試品種之產量與農藝性狀表現如表四，抽穗日數與生育日數分布如圖六(A)與(B)，抽穗日數103-131天、平均為120天，生育日數146-159天、平均為153天，整體而言，高級產量試驗的參試品種均符合夏季單期作所需較長的生育日數。參試品種之株高分布如圖六(C)，株高98.0-165.1 cm、平均為126.7 cm，株高高於110 cm的品種共有9個(占60%)，而株高低於110 cm的品種有6個，包括Cuyamel-3820、Doddabyranella、IR 42、K-17032、Malaysia variety、Swarna-sub1；穗數分布如圖七(A)，穗數9.5-34.8支、平均為21.7支，穗數在25支以上者共有7個，包括Cuyamel-3820、Doddabyranella、IR 42、K-17032、Malaysia variety、Swarna-sub1及Yangon-144-Naypyidaw-2；每穗粒數分布如圖七(B)，每穗粒數68.3-144.3粒、平均為106.8粒，參試品種粒數分布以80-100粒者最多、共6個品種(占40%)，介於120-140粒者次之、共5個品種(約占33%)；稔實率分布如圖七(C)，稔實率66.1-91.2%、平均為70.3%，多數品種稔實率80-90%(共有8個品種、約占53%)；千粒重分布如圖七(D)，千粒重18.08-35.12 g、平均為24.75 g，多數品種千粒重20-28 g(共10個品種、約占67%)；稻穀公頃產量分布如圖六(D)與表四，稻穀公頃產量980-6,904 kg、平均為4,145 kg，若以1,000 kg為級距，稻穀公頃產量3,001-4,000 kg者最多、共有7個品種(約占47%)，而稻穀公頃產量在5,000 kg以上者僅有Doddabyranella、IR 42及Swarna-sub1。

針對穗數、每穗粒數、稔實率、千粒重及產量等性狀進行ANOVA，結果顯示前述性狀於品種間均具有顯著差異(表四)，而後進行多重比較結果列如表四之LSD_{0.05}，穗數於品種間差異達5.1支具有顯著差異，其中，以IR 42的34.8支最多、Enaku aromatic glutinous rice的9.5支最少；每穗粒數於品種間差異達17.2粒具有顯著差異，其中，以Doddabyranella的144.3粒最多、Start Bomet的68.3粒最少；稔實率於品種間差異達8.1%具有顯著差異，其中，以Yangon-144-Naypyidaw-2的91.2%最高、Cuyamel-3820的66.1%最低；千粒重於品種間差異達0.84 g具有顯著差異，其中，以Start Bomet的35.12 g最重、以Yangon-144-Naypyidaw-2的18.08 g最輕；稻穀公頃產量於品種間差異達732 kg具有顯著差異，其中，以Swarna-sub1的6,904 kg最高、Start Bomet的980 kg最低。

(二)米質性狀表現

15個參試品種之米質性狀資料如表五。在碾米品質部分，參試品種糙米率分布如圖八(A)，糙米率73.7-80.2%、平均為78.1%，糙米率最低者為Enaku aromatic glutinous rice，最高者為Doddabyranella，多數參試品種糙米率介於78.0-80.0%(共有9個品種、占60%)；參試品種白米率分布如圖八(B)，白米率59.3-70.5%、平均為65.3%，白米率最低者為Yangon-144-Naypyidaw-2，最高者為Alishan aromatic glutinous rice；參試品種完整米率分布如圖八(C)，完整米率19.0-64.5%、平均為51.0%，完整米率最低者為Enaku aromatic glutinous rice，最高者為Tung-shan-pai-mi-chin-hou。

在米粒外觀部分，參試品種米粒大小分布如圖九(A)，米粒最長可達EL級(Cuyamel-3820與Start Bomet)，惟多數參試品種仍歸類在M級(共有9個品種、占60%)；參試品種米粒形狀分布如圖九(B)，米粒形狀屬S級者共有5個品種，屬I級者共有7個品種，屬B級者共有3個品種；參試品種白米透明度分布如圖九(C)，除Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice屬糯米外，多數參試品種透明度為4級(共有7個品種、約占47%)，5級次之(共有5個品種、約占33%)，而透明度較佳的3級者最少(僅Cuyamel-3820)；參試品種白垩質分布如圖九(D)，Alishan aromatic glutinous rice與Enaku aromatic glutinous rice屬糯米，而白垩質在1以下的品種僅有IR 42、LLADD及Start Bomet。

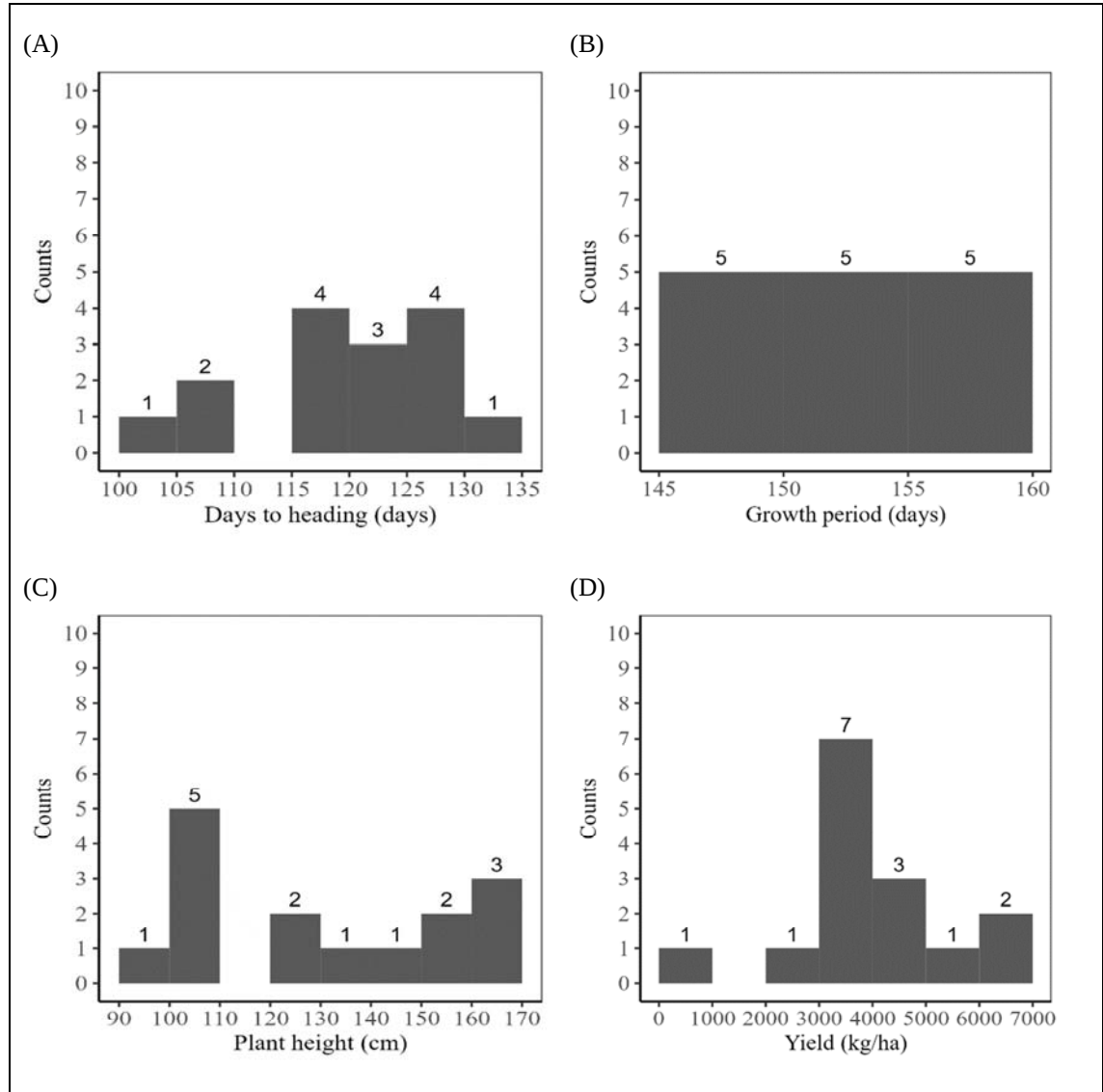
在烹調與食用品質部分，參試品種糊化溫度分布如圖十(A)，多數參試品種之糊化溫度屬3HI級(共有7個品種、約占47%)，而糊化溫度較低屬7L與6L者分別有4個與3個品種；參試品種直鏈澱粉含量分布如圖十(B)，直鏈澱粉含量1.6-35.8%、平均為27.5%，直鏈澱粉含量最高者為IR 42，最低者為Enaku aromatic glutinous rice，多數參試品種之直鏈澱粉含量30-35%(共有12個品種、占75%)。以Juliano(1992)對直鏈澱粉含量之分類，屬糯性品種者(<5%)有2個，分別是Alishan aromatic glutinous rice與 Enaku aromatic glutinous rice，屬低直鏈澱粉含量者(12-20%)有1個品種為Start Bomet，其餘12個品種均屬高直鏈澱粉含量者(>25%)；參試品種蛋白質含量分布如圖十(C)，蛋白質含量6.8-7.7%、平均為7.2%，蛋白質含量最高者為Start Bomet，最低者為Tung-shan-pai-mi-chin-hou，多數參試品種之蛋白質含量6.5-7.0%(共有7個品種、約占47%)；參試品種凝膠展延性分布如圖十(D)，其膠體軟硬度分布如圖十(E)，凝膠展延性之長度介於25-100 mm，最高者為Alishan aromatic glutinous rice，最低者為Cuyamel-3820與Doddabyranella，根據Cagampang *et al.* (1973)之膠體軟硬度分類(<35 mm為硬膠體性質、36-49 mm為中等膠體性質、>50 mm為軟膠體性質)，多數參試品種屬硬膠體性質(共有9個品種、占75%)，軟膠體性質者次之(共有5個品種、約占33%)，中等膠體性質者最少僅Tung-shan-pai-mi-chin-hou。

表四、適合夏季單期作水稻品種高級產量試驗之農藝性狀與產量

Table 4. Rice agronomic traits and yield of advanced yield trial for single summer crop cultivation system

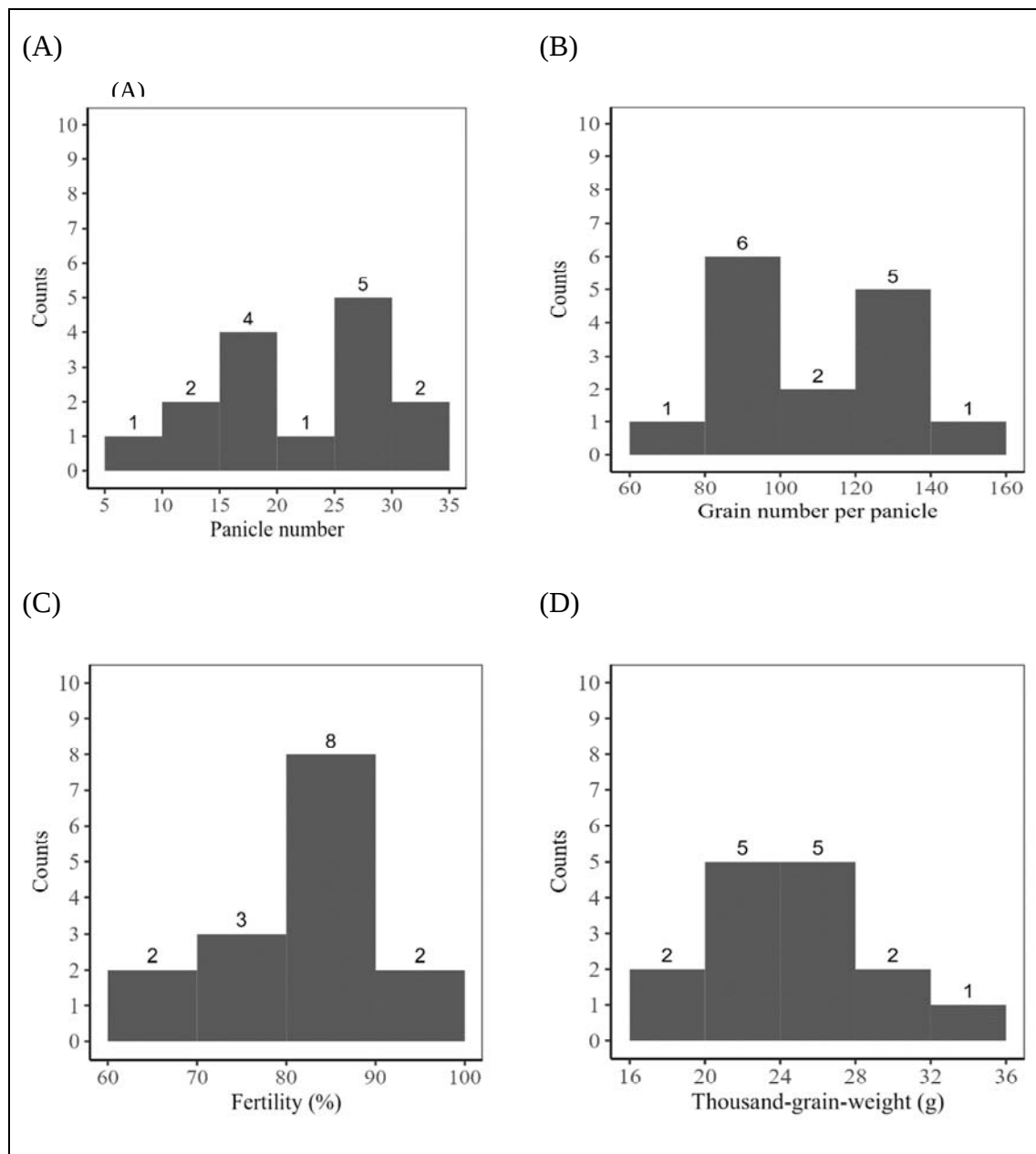
Variety	Days to heading	Growth period	Plant height	Panicle number	Grain number	Fertility	Thousand-grain-weight	Yield
	(days)	(days)	(cm)	(no.)	(no.)	(%)	(g)	(kg/ha)
Alishan aromatic glutinous rice	118	153	143.5	14.0	109.0	83.6	31.00	3361
Chung-so-ch'i	126	159	162.0	18.4	85.3	80.0	23.88	3980
Cuyamel-3820	110	146	105.1	25.5	88.7	66.1	25.65	3305
DAR col.4	126	153	124.2	19.6	103.0	69.9	26.17	3886
Doddabyranella	123	153	108.0	26.3	144.3	85.2	19.30	6584
Enaku aromatic glutinous rice	130	159	157.4	9.5	126.0	71.7	29.86	2050
IR 42	116	146	98.0	34.8	91.7	85.3	20.64	5079
K-17032	103	146	106.4	28.1	95.0	82.0	26.38	4864
LLADD	107	146	130.0	23.3	124.7	79.1	24.07	3937
Malaysia variety	117	153	102.5	26.3	95.0	88.8	23.47	4790
San-pei	131	159	165.1	15.3	132.3	82.2	21.00	3663
Start Bomet	124	159	151.0	10.9	68.3	72.5	35.12	980
Swarna-sub1	122	153	107.3	31.9	129.3	88.1	20.30	6904
Tung-shan-pai-mi-chin-hou	130	159	163.9	16.2	86.7	90.2	26.30	3922
Yangon-144-Naypyidaw-2	119	146	137.5	25.9	122.3	91.2	18.08	4869
Range (min)	103	146	98.0	9.5	68.3	66.1	18.08	980
(max)	131	159	165.1	34.8	144.3	91.2	35.12	6904
Mean	120	153	130.8	21.7	106.8	81.1	24.75	4145
Standard deviation	8	5	25.0	7.6	21.9	7.8	4.69	1513
F-test ¹				***	***	***	***	***
LSD _{0.05} ²				5.1	17.2	8.1	0.84	732

¹ F-test of ANOVA. ***, significant at 0.001 level.² LSD_{0.05}: values of least significant difference for mean comparisons at 0.05 level.



圖六、適合夏季單期作水稻品種高級產量試驗之產量與農藝性狀分布。(A)抽穗日數 (B)生育日數 (C)株高 (D)稻穀公頃產量。

Fig. 6. Distribution of rice yield and agronomic traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Days to heading. (B)Growth period. (C)Plant height. (D)Yield.



圖七、適合夏季單期作水稻品種高級產量試驗之產量與農藝性狀分布。(A)穗數 (B)每穗粒數 (C)稔實率 (D)千粒重。

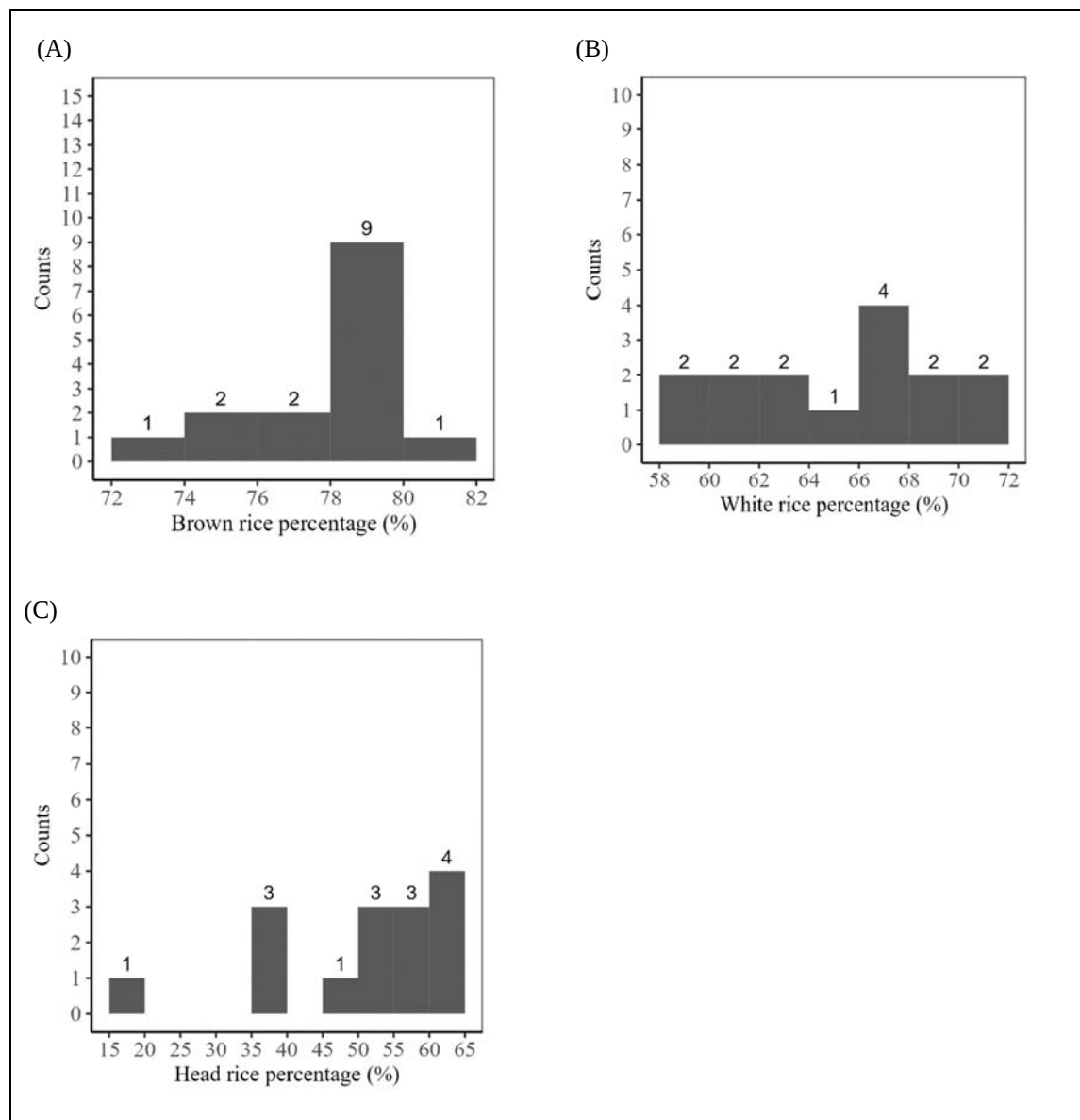
Fig. 7. Distribution of rice yield and agronomic traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Panicle number. (B)Grain number per panicle. (C)Fertility. (D)Thousand-grain-weight.

表五、適合夏季單期作水稻品種高級產量試驗之米質性狀

Table 5. Rice quality traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system

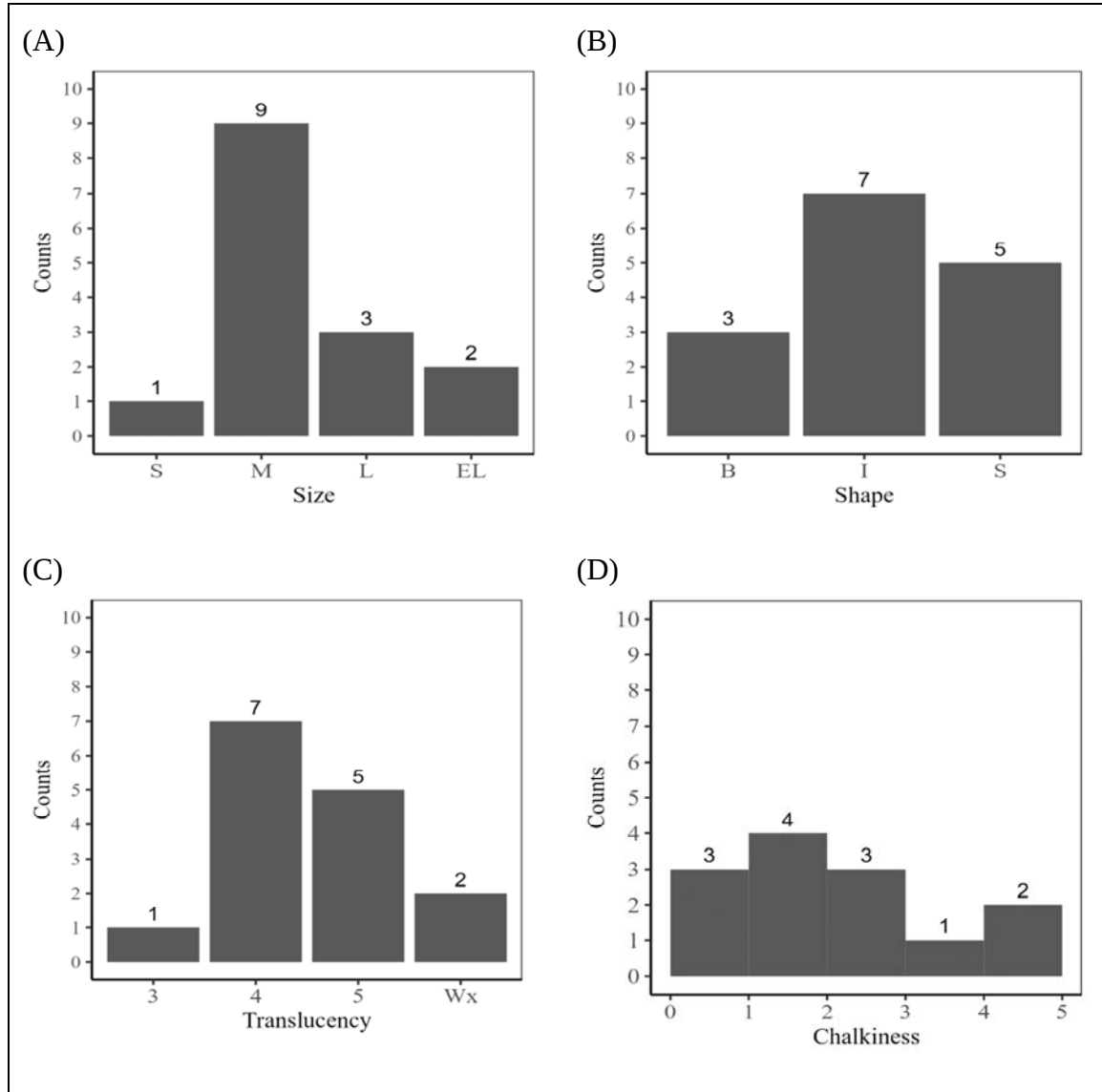
Variety	Milling quality				Grain appearance				Cooking and eating quality			
	Water content	Brown rice	White rice	Head rice	Size ¹	Shape ²	Trans. ³	Chalk. ⁴	Gel. temp. ⁵	Amylose content	Protein content	Gel consistency ⁶
	(%)	(%)	(%)	(%)			(level)	(level)	(level)	(%)	(%)	(mm)
Alishan aromatic glutinous rice	10.2	78.4	70.5	37.5	M	B	Wx	Wx	6L	2.2	7.4	100S
Chung-so-ch'i	13.1	77.5	67.8	60.6	M	B	5	5.0	3HI	32.7	6.9	99S
Cuyamel-3820	12.2	78.2	59.4	53.8	EL	S	3	1.6	7L	32.0	6.9	25H
DAR col.4	9.5	79.2	62.8	50.9	L	S	4	2.2	3HI	33.0	7.5	86S
Doddabyranella	14.3	80.2	67.0	62.8	M	I	5	2.2	3HI	31.4	7.0	25H
Enaku aromatic glutinous rice	12.9	73.7	61.6	19.0	M	B	Wx	Wx	6L	1.6	7.6	98S
IR 42	12.4	76.8	69.7	49.1	M	I	4	0.4	7L	35.8	7.4	28H
K-17032	11.8	75.9	67.8	38.5	M	I	4	2.6	7L	33.5	7.2	40H
LLADD	9.1	78.9	61.0	54.2	L	S	4	1.0	3HI	32.0	6.9	43M
Malaysia variety	13.7	79.7	62.3	59.2	L	S	4	2.0	7L	31.5	7.2	29H
San-pei	12.4	75.8	68.3	58.7	S	I	5	5.0	3HI	31.2	7.0	35H
Start Bomet	13.2	79.4	66.7	38.4	EL	S	5	0.9	6L	15.4	7.7	99S
Swarna-sub1	14.0	79.9	65.0	60.7	M	I	4	1.7	3HI	34.2	7.5	31H
Tung-shan-pai-mi-chin-hou	13.7	78.9	70.4	64.5	M	I	5	3.3	4I	33.2	6.8	47M
Yangon-144-Naypyidaw-2	12.2	78.9	59.3	56.8	M	I	4	2.0	3HI	32.8	7.0	28H
Range (min)	9.1	73.7	59.3	19.0	-	-	-	-	-	1.6	6.8	-
(max)	14.3	80.2	70.5	64.5	-	-	-	-	-	35.8	7.7	-
Mean	12.3	78.1	65.3	51.0	-	-	-	-	-	27.5	7.2	-
Standard deviation	1.6	1.8	3.9	12.6						11.4	0.3	

¹ Size: brown rice length, >7.500 mm (EL), 6.610-7.500 mm (L), 5.510-6.609 mm (M), <5.510 mm (S).² Shape: according to the length/width ratio of brown rice, >3 (S), 2.1-3.0 (I), <2.1 (B).³ Trans.: translucency, visual evaluation of the translucency of white rice, categorized into 6 levels (0-5) & glutinous rice (Wx).⁴ Chalk.: chalkiness, visual evaluation of opaque area in white rice, categorized into 6 levels (0-5) & glutinous rice (Wx).⁵ Gel. temp.: gelatinization temperature, a measure of grain appearance according to alkali digestion test, categorized into 7 levels (1-7), 1&2 (H), 3 (HI), 4&5 (I), 6&7 (L).⁶ Gel consistency: according to Cagampang *et al.* (1972), gel lengths can be categorized into 3 groups, ≤ 35 mm (H), 36-49mm (M), ≥ 50 mm (S).



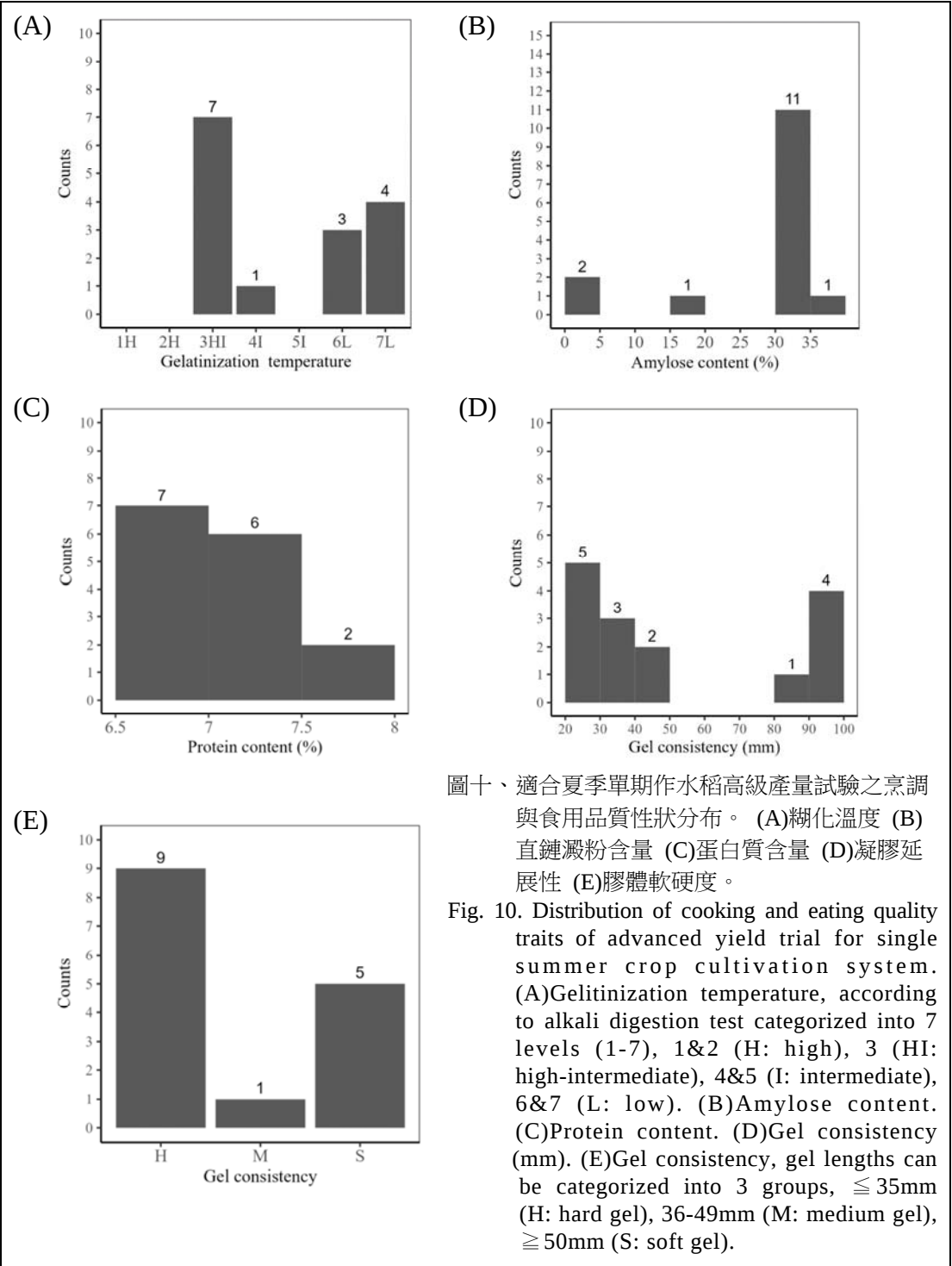
圖八、適合夏季單期作水稻高級產量試驗之碾米品質性狀分布。(A)糙米率 (B)白米率 (C)完整米率。

Fig. 8. Distribution of milling quality traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Brown rice percentage. (B)White rice percentage. (C)Head rice percentage.



圖九、適合夏季單期作水稻高級產量試驗之米粒外觀性狀分布。(A)大小 (B)形狀 (C)透明度 (D)白垩質。

Fig. 9. Distribution of grain appearance traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system. (A) Grain size, brown rice length, EL: >7.500 mm, L: 6.610-7.500 mm, M: 5.510-6.609 mm, S: <5.510 mm. (B) Grain shape, length/width ratio of brown rice, S: >3, I: 2.1-3.0, B: <2.1 (C) Grain translucency, categorized into 6 levels (0-5) with 0 being frosted and 5 being the most transparent & glutinous rice (Wx). (D) Grain chalkiness, categorized into 6 levels (0-5) with 0 having no chalky area and 5 having up to 70% chalky area.



圖十、適合夏季單期作水稻高級產量試驗之烹調與食用品質性狀分布。(A)糊化溫度 (B)直鏈澱粉含量 (C)蛋白質含量 (D)凝膠延展性 (E)膠體軟硬度。

Fig. 10. Distribution of cooking and eating quality traits of advanced yield trial for single summer crop cultivation system. (A)Gelitinization temperature, according to alkali digestion test categorized into 7 levels (1-7), 1&2 (H: high), 3 (HI: high-intermediate), 4&5 (I: intermediate), 6&7 (L: low). (B)Amylose content. (C)Protein content. (D)Gel consistency (mm). (E)Gel consistency, gel lengths can be categorized into 3 groups, ≤ 35 mm (H: hard gel), 36-49mm (M: medium gel), ≥ 50 mm (S: soft gel).

討 論

本試驗相同參試品種於初級與高級產量試驗的米質表現可屬穩定，此亦為夏季單期作栽培模式的優點，可避免臺灣兩期作因氣候條件不同而導致米質特性有差異的狀況，如二期作心腹背白較一期作低、直鏈性澱粉含量較一期作高等特性(宋與洪，1990)，收穫物的品質表現較穩定一致。由鄧等人(2021)研究得知國內推廣品種，不論是秈型還是粳型稻，均無法達到夏季單期作所設定140-150天的生育日數；本試驗初級產量試驗36個參試品種中，生育日數有4個品種低於130天，8個品種高於160天，此12個品種不符合夏季單期作所設定的栽培框架；高級產量試驗參試品種則皆符合夏季單期作所設定的生育日數，顯示透過性狀的逐步篩檢，可使獲選品種更接近夏季單期作所制定的框架目標，而透過生育日數拉長可使植株累積更多光合作用產物，並直接或間接地提升產量(Taylaran *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2021)，此與本試驗產量較高的品種Doddabyranella與Swarna-sub1具有顯著更高的分蘗數(穗數)相呼應。

在產量與農藝性狀部分，期望夏季單期作透過更長的生育期，至少可達到現行水稻兩期作栽培產量總和的60-70%，會設定此目標主要係考量僅靠單期作產量欲達成兩期作的總和實屬不易，而影響臺灣稻農栽培意願的主要因素為經濟考量，其中，產量就是稻農關注的一大重點(吳等人，2018；黃等人，2020；蔡等人，2015)，夏季單期作品種具高產特性即可增加臺灣稻農轉型的意願，若再加上輪作雜糧的低投入高收益優勢，夏季單期作與雜糧輪作的水旱輪作體系可望獲得比慣行兩期作水稻栽培更高的收益。以2018-2022年臺灣農業統計年報之水稻兩期作平均稻穀公頃產量總和13,636 kg作計算，達到其稻穀產量60%的目標產量須達8,181 kg。以初級產量試驗的結果來看，產量最高的兩品種Doddabyranella與Swarna-sub1產量分別為5,450與5,420 kg，僅達目標產量的66.3-66.1%。以高級產量試驗而言，產量最高的品種仍是Doddabyranella與Swarna-sub1，其產量分別為6,584與6,904 kg，分別達目標產量的80.5-84.4%。不論是初級產量還是高級產量試驗，兩者皆與目標產量有相當的落差，除需要育種上再加強改進外，亦可透過栽培方式的調整提升產量。

水稻產量係由單位面積穗數、一穗穎花數、稔實率及穀粒重量(千粒重)等四項產量構成要素組成，其與栽培密度、移植苗數、肥料施用量及品種皆有密切關係(丁等人，2004；曾，1985；鄭等人，2014)。本試驗夏季單期作的栽培管理採取減肥與擴大株距的栽培模式，考量主因是夏季單期作生育期較長，光合作用累積產物較為充足，且許多參試品種株高較高，減施肥料可避免植株過高而造成倒伏，而擴大株距則因部分品種分蘗數較多，依前次試驗株距(20 cm)已無生長空間(鄧等人，2021)。惟不同品種對肥料與栽培密度有不同的反應，仍需針對適栽品種進行更進一步的栽培試驗，才能掌握品種的最適生產條件以發揮其生產潛力。曾(1985)探討4個秈稻品種在不同氮肥量、行株距及移植苗數下的產量與農藝性狀表現，發現寬

行密植(行株距 28×16 cm)使單位面積穗數提升而顯著提升產量，而5本植苗也較3本植與單本植者顯著提升產量；蔡(1987)探討大粒型品種Pegonil與中粒型品種台農67號在不同栽培密度下的產量與生理性狀，發現對大粒型品種而言，密植栽培雖會造成單株穗數降低，但亦會提高單位面積穗數，進而使產量顯著提升；蕭等人(2009)則發現台農67號的葉面積指數(LAI)與葉面積持續時間(LAD)隨著栽培密度的升高而增加，直到栽培密度為每公頃 $1.8-2.2 \times 10^5$ 株時達到飽和高原，而LAD也與稻穀產量成正相關；楊等人(2011)與鄭等人(2014)則分別利用不同品種探討栽培密度與育苗箱播種量對水稻性狀的影響，惟兩組團隊皆發現不同栽培密度下的產量表現無顯著差異。以上試驗都顯示不同品種有所發揮最高產量的最適栽培條件，而上述試驗的參試品種皆未如本試驗產量最高品種Doddabyranella與Swarna-sub1的高分蘗能力(單株穗數大於30支)與較長的生育日數(大於140天)，因此後續針對夏季單期作適栽品種進行栽培試驗有其必要性，可透過栽培條件的改進以達成產量提升的目標。

臺灣在兩期稻作的栽培架構下，已有多篇研究探討不同因子造成第二期作低產的原因，包括：生育初期高溫導致分蘗數下降而影響有效穗數，生育初期土溫較高導致土壤呈還原狀態進而影響根系發育，生育後期日射量不足造成穎花數、稔實率及千粒重降低，營養生長期較短且呼吸作用旺盛導致光合物質累積不足等(張與吳，1986；陳等人，1996；侯與黃，1984)，而夏季單期作的設計恰可避開這些不利的氣象條件；首先，夏季單期作與旱作雜糧搭配可避免遭遇如二期作因前期作稻根殘株於高溫湛水環境下分解，造成土壤有毒物質與高還原狀態對根系的影響，使生育前期的根系發育較正常，又夏季單期作插秧時間安排於5月下旬，亦可避開酷暑7、8月的高水溫與高土溫導致的根系生育異常與分蘗數減少，而營養生長期的延長也使夏季單期作可於莖桿中蓄積更多的非構造化碳水化合物，有利於生育後期轉流到穗部以增加同化產物量(翁與陳，1984)，此與本試驗產量最高品種Doddabyranella與Swarna-sub1的高分蘗能力(單株穗數大於30支)相呼應，適栽品種的設計或可利用高分蘗數這項特點，累積更多非構造化碳水化合物，達成低投入高產量的目標。

在米質性狀部分，參試品種米粒外觀之穀粒大小與粒型為中粒以上(M、L、EL)與中間型(I)或長粒型(S)，此與品種來源多為熱帶國家的籼型稻與我國早期的在來稻有關，而夏季單期作於營養生長期之氣溫較高，對耐熱的籼型稻而言亦是較適宜的栽培環境。在烹調與食用品質部分，不論是初級還是高級產量試驗，參試品種之直鏈澱粉含量均以高直鏈澱粉含量品種為主，此也呼應多數品種有較高之糊化溫度(HI)與硬膠體性質(H)(宋等人，1991)，而產量最高的Doddabyranella與Swarna-sub1同樣屬高直鏈澱粉含量、中高糊化溫度及硬膠體性質品種。就米飯食味而言，口感表現較硬且不具黏性，不甚符合臺灣人喜好的口感，可見相關品種雖然具有高產的潛力，但米質特性仍有很大的改進空間；國際市場多以中直鏈澱粉含量(20-25%)的長粒型品種為大宗(楊等人，2012)，若要開展稻米外銷出口以緩解國內生產壓力，選育中直鏈澱粉含量長粒型品種為可採行的策略之一。本試驗的初級產量試驗中，僅Basmati 370符

合此條件，而DAR col.5、DAR seed farm col.6、Premfull及Super Basmati等4個品種之直鏈澱粉含量介於25-27%，仍屬接近中直鏈澱粉含量的品種；高級產量試驗的參試品種皆無中直鏈澱粉含量品種，顯示要選育出適合夏季單期作栽培的中直鏈澱粉含量品種，仍須透過雜交育種的方式進行品種改良。米質特性的改進是目前夏季單期作適栽品種研發中較為重要的一環，在目前所選適栽品種多為高直鏈澱粉含量的狀況下，可透過調控與直鏈澱粉含量有關的關鍵基因來達成目標，而Wx基因即是決定水稻直鏈澱粉含量高低的重要基因，參試品種中具高直鏈澱粉含量與硬膠體性質者可能帶有Wx^a等位基因(Zhang *et al.*, 2019)，可透過與帶有Wx^{ln}的中直鏈澱粉含量品種雜交(Zhou *et al.*, 2018)，利用分子標誌輔助育種技術增進相關性狀的選拔效率，以改進夏季單期作適栽品種的米質特性，使其更符合臺灣人對高食味米的需求，並有利於國際市場外銷。

本試驗係在國內品種沒有適合夏季單期作的水稻栽培模式下，尋找適合未來育種方向的對照品種，因此在初級產量試驗的36個參試品種，選擇農藝性狀與產量表現較優良的15個品種晉升高級產量試驗，而自高級產量試驗中，亦發現產量最高的兩品種Doddabyranella與Swarna-sub1具有穩定高產、株型佳、生長勢優良等特性，可作為符合夏季單期作栽培框架的對照品種。參試材料Doddabyranella在國際稻米研究所(International Rice Research Institute, IRRI)的國際水稻基因庫編號為IRGC 135882，屬籼型稻，來源於中國(Wang *et al.*, 2018)；Swarna-sub1為IRRI將耐淹水的Sub1基因利用分子標誌輔助回交育種的方法導入Swarna品種而育成(Neeraja *et al.*, 2007)，其導入片段為2.3-3.4Mb含Sub1基因的序列，其餘基因型皆與Swarna相同，而Swarna係1982年由Vasista與Mahsuri雜交選育出的籼稻品種，具有高直鏈澱粉含量與低升糖指數的特性(Rathinasabapathi *et al.*, 2015)，是印度主要的栽培品種，栽培面積達12%(楊等人，2012)。Doddabyranella與Swarna-sub1皆屬穗數型品種，株高與現行推廣品種相近，單株穗數達30支以上，而每穗粒數亦在100粒以上，均高於參試品種的平均，千粒重明顯較低、屬於穀粒較小的品種，而米質特性屬於高直鏈澱粉含量、中高糊化溫度及硬膠體性質，在綜合考量各項性狀條件下，此二品種可作為夏季單期作的對照品種，有利未來選育適合夏季單期作栽培的本土品種。

致 謝

本試驗部分種原材料由農試所種原庫、卓緯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，謹誠摯表達謝意。

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.宋勳、洪梅珠。1990。稻米理化性質之研究 II. 稻米理化性質在不同栽培季節間之變異。臺中區農業改良場研究彙報，27，15-28。
- 3.宋勳、洪梅珠、許愛娜。1991。臺灣稻米品質之研究。臺中區農業改良場特刊，24，1-102。
- 4.吳田泉。1993。臺灣農業史：先民開拓臺灣的歷程。自立晚報社文化出版部出版。
- 5.吳建銘、許軍駐、鄧執庸、楊宏瑛。2018。中部地區稻農生產經營現況與參與直接給付政策之研究。農業推廣文彙，63，171-179。
- 6.周鍾瑄。1717。諸羅縣志。臺灣銀行經濟研究室編印，臺灣文獻叢刊第 141 種，1962 年 12 月。
- 7.周佳、陳維婷、羅敏輝、李明安、許晃雄、洪志誠、鄭治華、盧孟明、洪致文、陳正達、鄭兆尊。2018。臺灣氣候的過去與未來《臺灣氣候變遷科學報告 2017-物理現象與機制》重點摘錄。國家科學及技術委員會，國家災害防救科技中心出版。
- 8.周嫦娥。2021。臺灣水資源利用效率初探。土木水利，48(4)，23-32。
- 9.侯清利、黃天成。1984。一、二期稻作土壤環境、根部活力與產量之分析比較。稻作區域性與期作性低產及增產措施之研究，臺灣省農業試驗所特刊第 16 號，45-57。
- 10.姚銘輝。2022。氣候變遷對農業生產的衝擊-解讀 IPCC 最新氣候評估報告(AR6)。農業試驗所技術服務季刊，130 期，25-29。
- 11.翁仁憲、陳清義。1984。臺灣水稻之光合特性與不同水稻品種在第一、二期作之物質生產及穀實生產性的比較。稻作區域性與期作性低產及增產措施之研究，臺灣省農業試驗所特刊第 16 號，153-164。
- 12.翁紫涵、陳宜和、林遠見。2022。巨觀時空尺度下的氣候水資源挑戰。台灣水利，70(1)，17-32。
- 13.陳烈夫、魏夢麗、鄭統隆、廖大經、陳正昌、曾東海、劉大江。1996。臺灣水稻產量的一些生理問題。稻作生產改進策略研討會專刊，59，79-88。
- 14.陳昭安、李明營、劉子明、許晃雄、羅資婷、陳永明、童裕翔、吳芊瑩、洪浩哲、鄭兆尊、林思穎。2023。2020-2021 極端乾旱事件與未來推估(2023 臺灣氣候變遷分析系列報告)。國家科學及技術委員會，國家災害防救科技中心出版。
- 15.許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明。2011。臺灣氣候變遷科學報告 2011。國家科學及技術委員會，臺灣氣候變遷科學報告工作小組出版。

- 16.張學琨、吳育郎。1986。台灣第二期作水稻低產原因及改進措施。四十年來台灣地區稻作生產改進專輯，55-64。
- 17.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，臺灣省政府農林廳出版，19-42。
- 18.黃景建、紀淑怡、簡立賢。2020。農民參與組織契作行為意圖之探討-以霧峰區農會益全香米契為例。農林學報，67(3)，195-206。
- 19.曾東海。1985。氮肥、行株跟與每橫苗數對水稻新品種（系）產量及農藝性狀之影響。中華農業研究，34(4)，410-421。
- 20.臺灣省農業試驗所。1964。臺灣省農業試驗所保存稻種誌。臺灣省稻作改進會。
- 21.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。
- 22.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。
- 23.蔡金川。1987。栽植密度對不同粒重水稻品種產量與生理性狀之影響。中華農業研究，36(1)，63-74。
- 24.蔡承豪。2009。天工開物-臺灣稻作技術變遷之研究。博士論文。國立臺灣師範大學歷史研究所。
- 25.蔡旻翰、陸怡蕙、方珍玲。2015。計畫行為或經濟考量？富里鄉稻農有機農法採用之經濟分析。農業經濟叢刊，21(1&2)，1-40。
- 26.鄭佳綺、楊嘉凌、許志聖。2014。栽植株距及育苗箱播種量對水稻米質與產量之影響。臺中區農業改良場特刊，123，37-49。
- 27.鄧執庸、鄭佳綺、廖君達、楊嘉凌、許志聖。2021。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。臺中區農業改良場研究彙報，150，13-30。
- 28.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。
- 29.謝兆樞、劉建甫。2017。臺灣粳米 400 年。蓬萊米的故事，35-70。國立臺灣大學磯永吉學會出版。
- 30.謝兆樞。2020。早冬、晚冬。米人米事物語，360-368。國立臺灣大學磯永吉學會出版。
- 31.Ansari, A., Lin, Y. P., Lur, H. S. 2021. Evaluating and adapting climate change impacts on rice production in Indonesia: a case study of the Keduang subwatershed, Central Java. *Environments*. 8(11), 117.
- 32.Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M. S., Weesakul, S., Datta, A. 2019. Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. *Science of the Total Environment*. 652, 189-201.

33. Cagampang, G. B., Perez, C. M., Juliano, B. O. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 24(12), 1589-1594.
34. Dharmarathna, W. R. S. S., Herath, S., Weerakoon, S. B. 2014. Changing the planting date as a climate change adaptation strategy for rice production in Kurunegala district, Sri Lanka. *Sustainability Science*. 9, 103-111.
35. Guhathakurta, P., Sreejith, O., Menon, P. 2011. Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Journal of Earth System Science*, 120(3), 359-373.
36. Hussain, S., Huang, J., Huang, J., Ahmad, S., Nanda, S., Anwar, S., Shakoar, A., Zhu, C., Zhu, L., Cao, X., Jin, Q., Zhang, J. 2020. Rice production under climate change: adaptations and mitigating strategies. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*. 659-686.
37. Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today*, 16(11), 334-340.
38. Juliano, B. O. 1992. Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. *Cereal Foods World*. 37, 772-779.
39. Little, R. R., Hilder, G. B., Dawson, E. H. 1958. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. *Cereal Chemistry* 35:111-126.
40. Li, R.H., Li, M.J., Ashraf, U., Liu, S.W., Zhang, J. 2019. Exploring the relationships between yield and yield-related traits for rice varieties released in China from 1978 to 2017. *Frontiers in Plant Science*. 10, 543.
41. Neeraja, C. N., Maghirang-Rodriguez, R., Pamplona, A., Heuer, S., Collard, B. C., Septiningsih, E. M., Vergara, G., Sanchez, D., Xu, K., A. M. Ismail, D. J. Mackill. 2007. A marker-assisted backcross approach for developing submergence-tolerant rice cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 115, 767-776.
42. Promchote, P., Wang, S. Y. S., Yoon, J. H., Johnson, P. G., Creech, E., Shen, Y., Yao, M. H. 2022. On the changing cool season affecting rice growth and yield in Taiwan. *Agronomy*. 12(11), 2625.
43. Rathinasabapathi, P., Purushothaman, N., VI, R., Parani, M. 2015. Whole genome sequencing and analysis of Swarna, a widely cultivated indica rice variety with low glycemic index. *Scientific Reports*. 5(1), 11303.
44. R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
45. Shrestha, S., Deb, P., Bui, T. T. T. 2016. Adaptation strategies for rice cultivation under climate change in Central Vietnam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 21, 15-37.

46. Schneider, P., Asch, F. 2020. Rice production and food security in Asian Mega deltas-A review on characteristics, vulnerabilities and agricultural adaptation options to cope with climate change. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 206(4), 491-503.
47. Taylaran, R. D., Ozawa, S., Miyamoto, N., Ookawa, T., Motobayashi, T., Hirasawa, T. 2009. Performance of a high-yielding modern rice cultivar Takanari and several old and new cultivars grown with and without chemical fertilizer in a submerged paddy field. *Plant Production Science*. 12(3), 365-380.
48. Wang, W., Mauleon, R., Hu, Z., Chebotarov, D., Tai, S., Wu, Z., Li, M., Zheng, T., Fuentes, R. R., Zhang, F., Mansueto, L., Copetti, D., Sanciangco, M., Palis, K. C., Xu, J., Sun, C., Fu, B., Zhang, H., Gao, Y., Zhao, X., Shen, F., Cui, X., Yu, H., Li, Z., Chen, M., Detras, J., Zhou, Y., Zhang, X., Zhao, Y., Kudrna, D., Wang, C., Li, R., Jia, B., Lu, J., He, X., Dong, Z., Xu, J., Li, Y., Wang, M., Shi, J., Li, J., Zhang, D., Lee, S., Hu, W., Poliakov, A., Dubchack, I., Ulat, V. J., Borja, F. N., Mendoza, J. R., Ali, J., Li, J., Gao, Q., Niu, Y., Yue, Z., B. Naredo, M. E., Talag, J., Wang, X., Li, J., Fang, X., Yin, Y., Glaszmann, J., Zhang, J., Li, J., Hamilton, R. S., A. Wing, R., Ruan, J., Zhang, G., Wei, C., Alexandrov, N., L. McNally, K., Li, Z., Leung, H. 2018. Genomic variation in 3,010 diverse accessions of Asian cultivated rice. *Nature*. 557(7703), 43-49.
49. Xu, L., Yuan, S., Wang, X., Yu, X., Peng, S. 2021. High yields of hybrid rice do not require more nitrogen fertilizer than inbred rice: A meta-analysis. *Food and Energy Security*. 10(2), 341-350.
50. Zhou, L., Chen, S., Yang, G., Zha, W., Cai, H., Li, S., Chen, Z., Liu, K., Xu, H., You, A. 2018. A perfect functional marker for the gene of intermediate amylose content *Wx-in* in rice (*Oryza sativa* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 18, 103-109.
51. Zhang, C., Zhu, J., Chen, S., Fan, X., Li, Q., Lu, Y., Wang, M., Yu, H., Yi, C., Tang, S., Gu, M., Liu, Q. 2019. *Wx^{lv}*, the ancestral allele of rice Waxy gene. *Molecular Plant*. 12(8), 1157-1166

Study on Resource-saving Agronomic Crops Production

II. Characteristics of Rice Varieties under Single Summer Crop Cultivation System in Taiwan¹

Chih-Yung Teng ^{2*}, Chen-Hong Li ², Yi-Chien Wu ²,

Jia-Ling Yang ² and Chi-Sheng Hseu ²

ABSTRACT

To address the challenges of water resource utilization in Taiwan under climate change, this study aimed to select rice varieties suitable for single summer crop cultivation system. Domestic and international rice varieties were evaluated, and the goal was to identify reference varieties suitable for single summer crop cultivation system, which could also serve as hybrid parental materials to facilitate varietal improvement. First, a preliminary yield trial was conducted on 36 varieties. Following an assessment of yield and agronomic traits, 15 potential varieties were selected for advanced yield trial. The results indicated that the tested varieties exhibited higher plant height compared with conventional recommended varieties and significant yield variation. Rice quality traits were characterized by high amylose content, medium-high gelatinization temperature, and hard gel consistency. The two highest-yielding varieties, *Doddabyranella* and *Swarna-sub1* could produce up to 6,584 and 6,904 kg/ha, respectively. Both varieties could produce over 30 panicles per plant, with plant height similar to conventional recommended varieties, and more than 100 grains per panicle. However, their thousand-grain weight was noticeably low, which meant they were small-grain varieties. Their rice quality traits showed high amylose content, medium-high gelatinization temperature, and hard gel consistency. Overall, *Doddabyranella* and *Swarna-sub1* could be selected as check varieties for single summer crop cultivation system.

Key words: rice, single summer crop cultivation system, yield, agronomic traits, rice quality traits

¹Contribution No.1090 from Taichung DARES, MOA.

²Assistant Researcher, Assistant Researcher, Associate Researcher, Researcher and Former Researcher of Taichung DARES, MOA.

*Corresponding author: tengcy@tcdares.gov.tw