

稻品種耐旱性及其農藝性狀之變異

林孟輝、古新梅¹、曾富生¹、吳詩都¹

摘 要

水稻 (*Oryza sativa* L.) 屬於淺根作物，對吸收深層土壤水分的能力有限，在缺乏土壤水分的環境非常敏感，而且乾旱逆境的耕作面積約佔全球的 50%。因此，本試驗為探討水稻耐旱性之遺傳行為，首先以葉片捲曲度之乾旱敏感指數來檢測現有栽培品種的耐旱變異及其對農藝性狀之影響。在乾旱逆境處理下，參試的 30 個品種間無論在農藝性狀（除一穗粒數外）及處理間均呈顯著性差異。當土壤水分張力達 20 kPa 時，分析各參試品種性狀之反應值 ($\frac{\text{Check} - \text{treatment}}{\text{Check}} \%$) 與正常灌溉間之相關時，發現並無顯著相關，而土壤水分張力達 50 kPa 時，分蘖數及產量的變異量呈顯著負相關，稈實率則呈顯著正相關，且在此處理下各品種之農藝性狀的表現經主成分分析結果可區分為三群：一群為對乾旱逆境較不敏感的印度型品種，一群為較敏感的早熟日本型品種，另一群則介於上述兩群間之中晚熟日本型品種。

關鍵詞：水稻、耐旱、農藝性狀。

前 言

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是全球三分之一人口的主要糧食作物，也是其主要熱量來源。但水稻生長環境的變異性非常大，依降雨狀況將水稻生長環境劃分五個區域 (Khush, 1984)，因此全球 14 億 800 萬公頃的水稻有一半生長於看天田中，但其產量估計只有全球的四分之一而已 (David, 1991)，這些區域的稻穀產量每年的變動非常大，其主要原因是受氣候的影響。因此選拔具耐旱性的水稻來適應水分逆境以提高產量，是育種學家努力的方向。同樣的，建立明確的耐旱選拔標準是育種工作的先決條件 (O'Toole and Chang, 1979; Blum, 1988; Ludlow and Muchow, 1990)。

有關稻品種在水分逆境下的表現或特性已有許多報告，如在生理方面有測定淨光合作用速率、葉片氣孔導度、葉片水分潛勢 (Dingkuhn et al., 1989a)、淨 CO₂ 同化作用、水分利用效率 (Dingkuhn et al., 1989b) 及滲透調節 (Lilley et al., 1996) 等來衡量其耐旱性的大小；亦有以不同濃度的氯酸鉀測定稻種子、發芽種子以及幼苗之抗毒性，以檢定其耐旱性 (蔡與湯, 1969)。

¹ 國立中興大學農藝學系

植株在水分逆境下經由許多生理上的反應而影響在田間性狀的表現，則可測定根系強度 (O'Toole and Soemartono, 1981)、根系分佈 (Ekanayake et al., 1985b) 及葉片捲曲 (O'Toole and Cruz, 1980) 等。Chang 等 (1972) 指出陸稻的根較粗且分佈深，而且有較高的地上部/地下部生質量之比值，大部分高產水稻卻是具有短而細，分佈較淺的根系。雖然深根系統在旱田狀態下能有效吸收土壤深層的水分，但無法顯示在水田狀態下抗旱的能力，因水田底部的硬盤會阻礙根系的穿刺能力 (Fukai and Cooper, 1995)。而 O'Toole and Cruz (1980) 認為稻品種在水分逆境下葉片水分潛勢會顯著降低及葉片氣孔阻力明顯增加，尤其是葉片背軸面的氣孔阻力比向軸面高出甚多，而形成葉片的捲曲，且葉片捲曲程度與水分潛勢呈直線相關，認為葉片捲曲度可作為在水分逆境下的選拔參考。

以往國內水稻育成之品種並沒有針對耐旱的特性作檢定，因此本試驗即以較易調查的葉片捲曲度來檢測國內的栽培品種的耐旱變異及其對農藝性狀之影響，以作為往後進行有關耐旱性的研究。

材料與方法

本試驗使用 30 個水稻品種為材料，其品種名稱、代號與類型詳如表 1。所有材料於 1999 年二期作於桃園區農業改良場網室進行。網室屋頂以 PE 透明塑膠布覆蓋，下雨時可降下 PE 透明塑膠布，周圍用 29 目細網。採育苗箱育苗，俟第三葉展開後 3 本移植於 90 cm × 70 cm × 45 cm 塑膠盆，內裝填紅色黏質壤土（水分飽合後土壤高 30 cm）。每盆種 3 個品種，每品種 3 叢。試驗採完全隨機設計，3 重複，播種後 30 天進行斷水，土壤水分張力 (Soil moisture tension) 處理包括 20、50 及 80 kPa，而後予以灌溉恢復生長。肥料施用量為 N : P₂O₄ : K₂O = 12 : 7.2 : 7.2 g m⁻²，分移植前、移植後第 10 天及移植後第 20 天施用。移植後第 30 天進行斷水處理，土壤水分以土壤水分張力計 (Irrometer company riverside, CALIF 製，18"，45 cm) 埋於土層 20 cm 下監測。對照部分以一般慣行法進行。水稻耐旱性以乾旱敏感指數 (Drought sensitivity index) 表示。其評估方法參照 IRRI (1996) 編印之「Standard Evaluation System for Rice」，屬 1 級者其葉片不受影響；屬 3 級者其葉片開始捲曲呈輕微 V 型；屬 5 級者其葉片捲曲呈較嚴重之 V 型；屬 7 級者其葉片捲曲呈 U 型；屬 9 級者其葉片邊緣捲曲互相接觸呈 O 型完全捲曲。植株成熟時調查各品種之農藝性狀，且調查所得資料採用 SAS (Statistical Analysis System) 之 General Linear Models Procedure 及 PRINCOMP Procedure 進行分析。各參試品種之性狀在不同土壤水分張力下與正常灌溉管理間的差異量之分析採

$$\text{Response (\%)} = \left(\frac{x_k - y_k}{x_k} \right) \times 100\%$$

y_k ：正常灌溉下第 k 個性狀測定值。

x_k ：在不同土壤水分張力下第 k 個性狀測定值。

表 1. 本試驗參試品種及代號

Table 1. Rice varieties tested in this experiment.

代號 Entry No.	品種 Variety name	類型 Type	代號 Entry No.	品種 Variety name	類型 Type
1	台梗 1 號 Taikeng 1	日本型 Japonica	16	台南 5 號 Tainan 5	日本型 Japonica
2	台梗 2 號 Taikeng 2	日本型 Japonica	17	高雄 142 號 Kaohsiung 142	日本型 Japonica
3	台梗 3 號 Taikeng 3	日本型 Japonica	18	台中 189 號 Taichung 189	日本型 Japonica
4	台梗 4 號 Taikeng 4	日本型 Japonica	19	新竹 64 號 Hsinchu 64	日本型 Japonica
5	台梗 5 號 Taikeng 5	日本型 Japonica	20	台農 67 號 Tainung 67	日本型 Japonica
6	台梗 6 號 Taikeng 6	日本型 Japonica	21	台農 70 號 Tainung 70	日本型 Japonica
7	台梗 7 號 Taikeng 7	日本型 Japonica	22	Kochihibiki	日本型 Japonica
8	台梗 8 號 Taikeng 8	日本型 Japonica	23	日本晴 Nipponbare	日本型 Japonica
9	台梗 9 號 Taikeng 9	日本型 Japonica	24	越光 Koshihikari	日本型 Japonica
10	台梗 10 號 Taikeng 10	日本型 Japonica	25	Akichikara	日本型 Japonica
11	台梗 11 號 Taikeng 11	日本型 Japonica	26	台中秈 10 號 TaichungSen 10	印度型 Indica
12	台梗 12 號 Taikeng 12	日本型 Japonica	27	桂朝 2 號 Guizhaoz 2	印度型 Indica
13	台梗 13 號 Taikeng 13	日本型 Japonica	28	密陽 23 號 Milyang 23	印度型 Indica
14	台梗 14 號 Taikeng 14	日本型 Japonica	29	IR 36	印度型 Indica
15	台梗 15 號 Taikeng 15	日本型 japonica	30	Lomello	印度型 Indica

結 果

一、水稻品種耐旱等級之變異

本試驗所有供試品種於 1999 年 3 月 1 日完成移植，移植後 30 天開始進行斷水處理，土壤水分達 20、50 及 80 kPa 各需 14、17 及 23 天。當土壤水分達到各等級時，調查各品種之葉片的捲曲程度，結果示於表 2。由表可知，30 個稻品種在土壤水分達 20 kPa 時，日本型品種葉片捲曲度在第 2-3 級，

表 2. 30 個參試品種之耐旱等級

Table 2. Drought sensitivity index of 30 rice varieties evaluated.

品種 Variety name	耐旱等級 ^z Drought sensitivity index	
	20 kPa	50 kPa
台稈 1 號 Taikeng 1	2.7	8.3
台稈 2 號 Taikeng 2	2.7	7.3
台稈 3 號 Taikeng 3	3.0	7.7
台稈 4 號 Taikeng 4	3.0	7.7
台稈 5 號 Taikeng 5	2.7	7.3
台稈 6 號 Taikeng 6	3.3	7.6
台稈 7 號 Taikeng 7	3.0	7.6
台稈 8 號 Taikeng 8	3.3	7.3
台稈 9 號 Taikeng 9	3.0	8.0
台稈 10 號 Taikeng 10	3.0	7.7
台稈 11 號 Taikeng 11	3.0	8.3
台稈 12 號 Taikeng 12	3.3	8.0
台稈 13 號 Taikeng 13	3.3	8.0
台稈 14 號 Taikeng 14	2.7	7.7
台稈 15 號 Taikeng 15	1.7	7.3
台南 5 號 Tainan 5	1.7	7.7
高雄 142 號 Kaohsiung 142	2.7	7.7
台中 189 號 Taichung 189	2.7	8.0
新竹 64 號 Hsinchu 64	3.3	7.3
台農 67 號 Tainung 67	1.7	7.7
台農 70 號 Tainung 70	3.0	8.0
Kochihibiki	3.7	8.0
Nipponbare	3.7	8.3
越光 Koshihikari	3.7	8.7
Akichikara	3.0	8.7
台中秈 10 號 TaichungSen 10	1.3	1.7
桂朝 2 號 Guizhao 2	1.0	1.7
密陽 23 號 Milyang 23	1.0	1.3
IR 36	1.0	1.3
Lomello	1.0	1.7

^z 20 kPa, 50 kPa: 土壤水分張力達 20 kPa 及 50 kPa。

20 kPa, 50 kPa: Soil moisture tension was drought to attain 20 kPa and 50 kPa, respectively.

而印度型品種全部皆屬第 2 級以下，但是恢復灌溉後，各水稻品種之葉片在 30 分鐘內全部展開；當土壤水分達 50 kPa 時，可明顯分成 2 群，耐旱群為葉片捲曲度在第 1-2 級的印度型（Taichung Sen 10、IR 36、Milyang 23、Guizhaoz 2、Lomello），敏感群在第 7-8 級的日本型品種，當恢復灌溉後印度型品種的葉片能迅速展開，而日本型品種雖亦展開，但葉尖則呈現凋萎狀態；土壤水分持續乾旱至 80 kPa 時所有水稻品種葉片皆呈嚴重的捲曲而枯萎。

二、不同土壤水分張力處理對水稻農藝性狀的影響

由於土壤水分張力達 80 kPa 時，植株已枯萎死亡，故無調查資料可供分析，因此土壤水分張力處理僅有 20 kPa (T₁)、50 kPa (T₂)及正常灌溉之對照區 (CK)。經變方分析結果列於表 3。由表可知，各品種間在不同土壤水分張力處理下，處理間除千粒重及一穗穎花數外，其他農藝性狀均呈顯著差異。

表 3. 在不同乾旱程度下 30 個參試品種之農藝性狀變方分析

Table 3. Analysis of variance for agronomic traits of 30 rice varieties under different drought levels.

變異項 Source of variation	自由度 df	均方 MS						
		株高 Plant height	分蘗 Panicle number	穗重 Panicle weight	稔實率 Fertility	千粒重 1000-grain weight	一穗粒數 Spikelet number	單株產量 Grain yield/plant
處理 Treatment(T)	2	7718.5**	81.9**	994.0**	112420.2**	61.9	24.8	38391050**
品種 Variety(V)	29	668.3**	45.7**	356.9**	324.1**	340.1**	1318.4**	584290.7**
處理×品種 T × V	58	19.5**	0.13	6.85	55.85**	0.13	0.02	18.77**
機差 Error	180	11.99	2.85	9.09	18.63	35.87	81.77	10862.6

***: 5%及 1%顯著水準。

***: Significant difference at 5% and 1% levels, respectively.

各參試品種在不同土壤水分張力處理下及正常灌溉時各農藝性狀之表現如表 4 所示。表中之 R₁ 及 R₂ 即代表反應 (Response) = (正常灌溉之變數 - 不同水分境況之變數) / 正常灌溉之變數 (%), 由此可比較各參試品種在處理與無處理時的差異。由表可看出，土壤水分張力達 20 kPa 時除分蘗數在早熟品種，如台梗 1 號 (No.1)、Kochihibiki (No.22)、Nipponbare (No.23)、Koshihikari (No.24) 及 Akichikara (No.25) 之反應在 15% 左右，即下降率較高外，其餘各性狀之反應大體均在 5% 以下，影響並不大。而土壤水分張力達 50 kPa 時，除株高、千粒重及一穗穎花數等三性狀之反應在各品種間差異並不大外，分蘗數、穗重、稔實率及產量的反應可明顯分成三群，即一群為早熟品種，如台梗 1 號 (No.1)、Kochihibiki (No.22)、Nipponbare (No.23)、Koshihikari (No.24) 及 Akichikara (No.25) 之反應在 30% 左右，即下降率較高；一群為印度型品種，如台中秈 10 號 (No.26)、Guizhaoz 2 (No.27)、Milyang 23 (No.28)、IR 36 (No.29) 及 Lomello (No.30) 之反應在 12% 左右，即下降率較低；其餘品種之反應在兩群之間。

進一步以反應值來探討各參試品種之性狀與正常灌溉是否有相關性，結果示於圖 1。由圖可看出，在土壤水分張力達 20 kPa 時，各品種之性狀的反應值與正常灌溉均無顯著相關性。當土壤水分張力達 50 kPa 時，各品種之分蘗數及產量的變異量呈顯著負相關，稔實率則呈顯著正相關，其餘性狀無顯著相關性（圖 2）。

表 4. 各參試品種在不同土壤水分張力處理及正常灌溉時農藝性狀與產量之表現
Table 4. The agronomic characters and yield of well-irrigation (check) and treatments of drought for 30 rice varieties.

代號 ^z Entry	株高			R ₁ ^x	R ₂ ^x	分蘗數			R ₁ ^x	R ₂ ^x
	Plant height					Panicle no.				
	CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y			CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y		
No.	cm			%		No.			%	
1	94.5	92.6	68.6	2.0	27.4	15.9	13.2	10.8	17.0	32.1
2	104.1	99.6	88.3	4.3	15.2	15.2	15.0	13.1	1.0	13.6
3	93.2	89.3	76.5	4.2	17.9	13.1	12.8	10.0	1.9	23.6
4	91.9	90.1	75.4	2.0	18.0	12.7	11.8	8.8	7.1	24.6
5	96.5	95.6	87.2	0.9	9.6	13.6	13.0	11.2	4.0	17.3
6	94.0	91.1	74.8	3.1	20.4	12.6	11.2	9.8	11.1	22.2
7	92.7	90.8	74.1	2.0	20.0	17.5	16.7	13.8	4.6	21.0
8	102.9	101.8	89.3	1.0	13.2	16.5	15.8	14.1	4.0	14.1
9	86.8	85.1	69.4	2.0	20.0	12.8	12.0	9.4	6.3	26.5
10	99.1	98.5	78.5	0.6	20.7	13.2	12.8	9.4	3.0	28.5
11	91.8	89.4	71.4	2.6	22.2	16.9	15.4	13.1	8.9	22.3
12	101.8	99.7	82.4	2.0	19.0	14.2	13.8	10.8	3.0	23.8
13	99.1	96.5	81.2	2.6	18.0	17.5	16.9	13.8	3.0	20.8
14	99.1	98.5	80.2	0.6	19.0	13.2	13.0	10.6	1.1	19.1
15	88.5	87.6	75.8	1.0	14.4	13.9	13.5	11.3	3.0	18.6
16	103.7	101.6	90.4	2.0	12.8	14.3	14.0	11.7	2.1	18.3
17	90.0	89.2	72.0	0.9	20.0	16.7	16.2	13.8	3.0	17.0
18	99.4	97.4	79.5	2.0	20.0	14.1	14.0	11.2	0.7	20.8
19	99.3	98.3	81.2	1.0	18.3	16.9	16.5	14.5	2.2	14.0
20	98.7	96.7	81.4	2.0	17.5	15.5	15.0	13.1	3.0	15.5
21	101.9	100.8	81.5	1.1	20.0	12.4	12.0	10.1	3.0	18.4
22	83.5	81.8	69.1	2.0	17.2	13.7	11.6	8.8	15.5	35.9
23	89.4	88.4	70.8	1.1	20.8	11.5	9.6	7.6	16.5	33.9
24	83.5	82.3	67.3	1.4	19.4	11.4	9.5	8.0	16.9	30.0
25	71.5	69.3	58.6	3.1	18.0	10.2	8.7	7.4	14.7	27.2
26	108.9	107.8	92.2	1.0	15.3	13.7	13.5	11.7	1.2	14.2
27	114.9	113.6	106.6	1.2	7.3	15.0	14.3	13.8	4.9	6.9
28	95.6	94.7	87.0	0.9	9.0	15.6	15.0	14.3	3.8	8.3
29	93.4	92.6	84.6	0.9	9.5	19.0	18.0	17.4	5.4	8.4
30	116.3	114.5	108.8	1.5	9.1	9.6	9.3	8.7	3.0	9.4
Mean	96.2	94.5	79.8			14.3	13.5	11.4		

續表 4

Continued table 4

代號 ^z	穗重			R ₁ ^x	R ₂ ^x	稔實率			R ₁ ^x	R ₂ ^x
Entry	Panicle weight					Fertility				
No.	對照 CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y			對照 CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y		
	----- g -----			----- % -----		----- % -----			----- % -----	
1	28.0	25.6	18.7	8.5	33.2	91.9	87.3	54.8	5.0	40.4
2	34.1	33.4	28.3	1.9	16.9	86.5	84.5	66.5	2.3	23.1
3	28.9	28.0	22.6	3.2	21.9	90.0	85.5	64.2	5.0	28.7
4	21.5	20.4	16.4	5.0	23.6	78.5	76.8	60.0	2.1	23.5
5	30.0	29.0	25.3	3.2	15.5	86.1	84.6	63.5	1.7	26.2
6	21.1	20.6	17.2	2.5	18.6	88.3	86.4	60.8	2.2	31.1
7	32.9	31.8	25.3	3.3	23.1	88.2	86.4	60.7	2.0	31.2
8	38.7	37.6	31.6	2.9	18.4	94.4	92.5	72.3	2.0	23.4
9	25.7	25.0	20.2	2.8	21.5	87.0	85.7	62.3	1.5	28.4
10	27.4	27.1	23.4	1.3	14.7	77.4	76.8	59.8	0.8	22.7
11	32.4	29.7	25.0	8.3	22.8	85.4	83.4	56.7	2.3	33.6
12	29.3	27.9	23.5	5.0	20.0	81.5	77.4	62.5	5.0	23.3
13	36.2	35.6	29.2	1.5	19.2	80.1	76.0	56.0	5.0	30.0
14	35.3	34.5	28.2	2.2	20.0	87.5	86.2	62.2	1.4	28.9
15	28.0	27.0	22.6	3.5	19.2	93.9	90.2	66.8	3.9	28.9
16	44.6	43.4	34.7	2.7	22.2	80.6	78.6	62.5	2.5	22.5
17	29.2	28.0	23.3	4.0	20.0	84.3	82.1	61.2	2.6	27.4
18	34.2	32.5	26.8	5.0	21.6	86.3	84.0	60.4	2.6	30.0
19	35.9	35.0	27.8	2.6	22.6	78.0	76.4	55.6	2.0	28.7
20	44.0	43.2	34.8	1.8	20.9	84.2	79.7	60.3	5.4	28.4
21	46.8	44.8	36.5	4.3	22.1	84.2	80.0	58.9	5.0	30.0
22	36.2	33.4	25.4	7.6	29.8	71.1	67.5	50.7	5.0	29.7
23	39.3	36.4	26.5	7.5	32.6	77.7	74.8	53.6	3.8	31.0
24	36.4	34.5	25.5	5.1	30.0	66.1	64.8	44.8	2.0	32.2
25	34.1	32.8	24.0	3.8	29.6	75.8	73.0	52.1	3.7	31.3
26	44.0	42.8	36.2	2.8	17.8	73.7	72.5	64.6	1.7	12.4
27	41.1	39.0	38.5	5.0	6.3	67.4	65.1	63.8	3.5	5.4
28	37.7	36.2	34.8	3.9	7.6	81.9	79.8	73.6	2.6	10.1
29	40.8	39.2	35.7	4.0	12.6	75.5	74.3	68.8	1.6	8.9
30	38.0	36.5	34.7	3.9	8.7	72.5	70.8	60.3	2.3	16.8
Mean	34.4	33.0	27.4			81.9	79.4	60.6		

續表 4

Continued table 4

代號 ^z	千粒重			R ₁ ^x	R ₂ ^x	一穗粒數			R ₁ ^x	R ₂ ^x
Entry	1000-grain weight					Spikelet No.				
No.	對照 CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y			對照 CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y		
	----- g -----			----- % -----		----- No. -----			----- % -----	
1	25.1	24.2	22.6	3.7	10.1	83.7	82.4	69.5	1.6	17.0
2	27.3	26.9	25.2	1.3	7.5	95.8	94.3	81.0	1.6	15.4
3	27.0	26.6	25.0	1.3	7.2	97.5	97.0	72.6	0.5	25.5
4	24.9	24.5	23.2	1.6	6.8	101.2	98.4	76.1	2.7	24.8
5	25.2	24.9	23.8	1.2	5.6	99.0	87.4	74.1	1.7	25.2
6	25.4	25.0	24.2	1.6	4.7	91.3	89.4	76.7	2.1	16.0
7	23.6	23.3	22.6	1.3	4.2	97.5	96.0	72.6	1.5	25.5
8	23.2	22.6	22.2	2.4	4.1	83.8	83.2	69.6	0.7	16.9
9	24.8	24.5	23.4	1.2	5.6	86.5	84.8	62.2	1.9	28.1
10	23.9	23.6	23.2	1.0	2.7	91.1	89.4	86.5	1.8	5.0
11	24.1	23.8	22.6	1.0	6.0	82.5	81.7	68.4	1.0	17.1
12	25.8	25.2	23.6	2.1	8.3	102.5	100.2	80.0	2.2	22.0
13	24.3	23.6	23.0	2.7	5.2	94.5	93.6	79.8	1.0	15.6
14	25.9	25.5	24.3	1.4	6.0	108.0	105.8	86.3	2.0	20.1
15	26.4	26.0	24.3	1.5	8.0	80.5	78.3	63.5	2.7	21.1
16	25.0	24.5	23.2	2.0	7.2	76.7	75.6	62.8	1.4	18.1
17	23.3	23.1	22.4	0.7	3.7	75.8	75.0	62.0	1.1	18.2
18	24.1	23.9	22.6	0.7	6.0	86.4	85.5	62.0	1.0	28.2
19	23.3	23.0	22.1	1.1	5.0	90.2	88.6	65.7	1.8	27.2
20	24.6	24.1	23.5	2.0	4.5	79.8	78.3	65.8	1.9	17.6
21	25.5	25.0	24.0	2.1	6.0	99.5	96.8	74.6	2.8	25.1
22	22.8	22.4	21.8	1.9	4.5	72.4	70.7	58.8	2.3	27.8
23	21.2	21.0	20.2	1.1	4.9	85.7	80.9	51.4	5.6	40.0
24	22.4	21.8	20.5	2.5	8.3	77.6	75.5	53.7	2.7	30.8
25	20.8	20.0	19.5	3.7	6.1	82.0	81.2	57.9	1.0	29.4
26	24.1	23.8	23.0	1.2	4.6	117.8	114.6	106.4	2.7	9.7
27	27.1	26.6	25.0	2.0	7.9	118.0	115.8	108.3	1.9	8.2
28	26.5	26.1	25.6	1.4	3.3	107.3	106.3	97.6	1.0	9.1
29	26.2	25.7	24.3	2.0	7.4	98.8	98.0	89.7	0.8	9.2
30	26.4	26.0	25.2	1.4	4.4	80.2	79.4	71.2	1.0	11.2
Mean	24.7	24.2	23.2			91.5	89.5	72.6		

續表 4

Continued table 4

代號 ^z Entry	單株產量 Grain yield			R ₁ ^x	R ₂ ^x
No.	對照 CK	T ₁ ^y	T ₂ ^y		
	g			%	
1	448.7	436.2	301.4	2.8	32.8
2	581.0	571.9	430.1	1.6	26.0
3	575.8	567.0	415.1	1.5	27.9
4	556.9	539.1	422.2	3.2	24.2
5	575.5	563.4	435.8	2.1	24.3
6	567.0	558.7	419.6	1.5	26.0
7	559.0	531.0	403.6	5.0	27.8
8	592.1	572.5	448.1	3.3	24.3
9	523.7	517.5	387.5	1.2	26.0
10	548.3	530.9	404.7	3.2	26.2
11	543.6	516.4	382.2	5.0	29.7
12	547.4	530.1	405.1	3.2	26.0
13	533.7	530.9	404.9	0.5	24.1
14	552.5	540.0	418.8	2.3	24.2
15	571.3	562.7	422.7	1.5	26.0
16	416.5	405.9	328.2	2.5	21.2
17	574.2	545.4	434.9	5.0	24.3
18	540.8	523.8	410.2	3.2	24.2
19	572.0	563.4	453.4	1.5	20.7
20	569.5	551.1	441.4	3.2	22.5
21	553.2	525.5	409.3	5.0	26.0
22	433.5	426.8	313.4	1.5	30.7
23	382.0	372.8	261.4	2.4	31.6
24	378.4	370.0	264.9	2.2	30.0
25	362.5	354.4	253.1	2.2	30.2
26	655.8	641.6	585.3	2.2	10.8
27	654.3	650.0	614.7	0.7	6.1
28	624.6	613.7	605.8	1.7	3.0
29	616.2	604.8	578.8	1.9	6.1
30	442.9	440.1	388.6	0.6	12.3
Mean	535.1	521.9	414.3		

^z 代號表示參考表 1。

Description of entry No. are the same as show in table 1.

^y T₁, T₂: 土壤水分張力達 20 kPa 及 50 kPa。

Soil moisture tension was drought to attain 20 kPa, 50 kPa, respectively.

^x R₁, R₂: 反應值 R₁: (CK-T₁)/CK, 反應值 R₂: (CK-T₂)/CK。

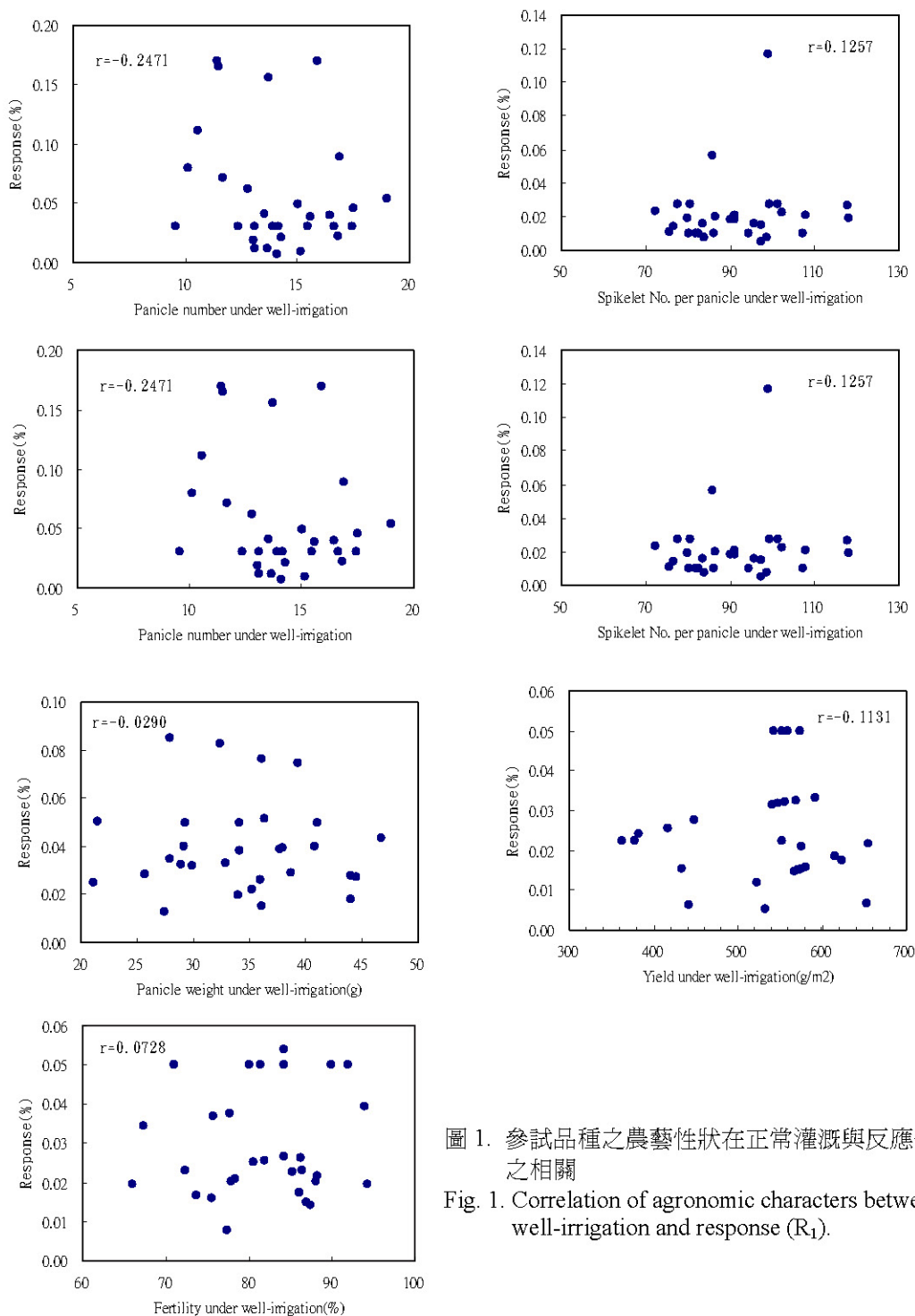


圖 1. 參試品種之農藝性狀在正常灌溉與反應值 R_1 之相關

Fig. 1. Correlation of agronomic characters between well-irrigation and response (R_1).

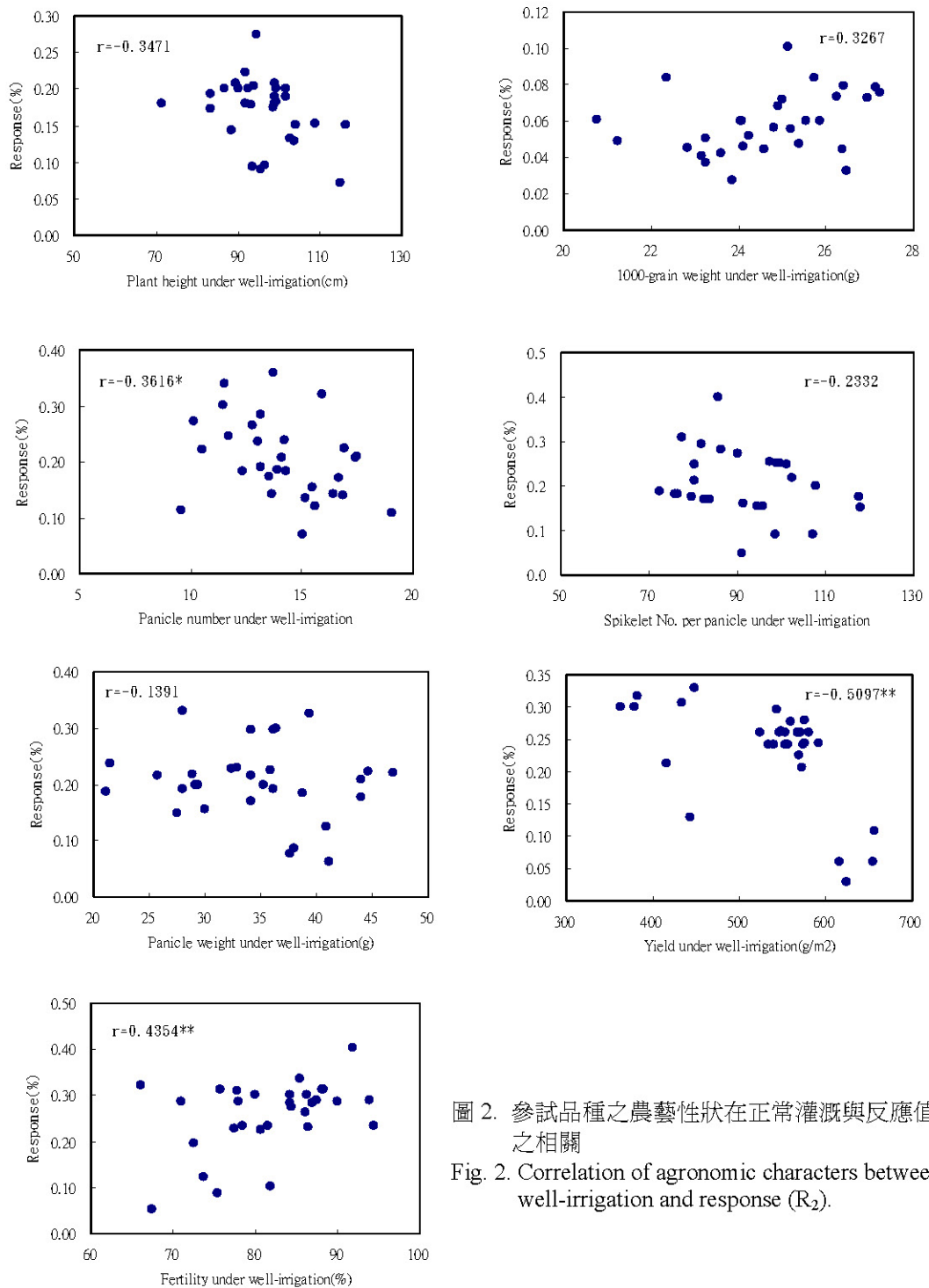


圖 2. 參試品種之農藝性狀在正常灌溉與反應值₂之相關

Fig. 2. Correlation of agronomic characters between well-irrigation and response (R_2).

利用各參試品種所調查的農藝性狀進行主成分分析，結果如表 5 所示。由表可知，在正常灌溉下，至第二成分之累積為 62.7%，可知供試品種的農藝性狀的變異近三分之二，可由一、二成分來說明供試品種農藝性狀的變異。第一主成分各性狀之特徵值各成分係數均為正值，其中以千粒重、一穗粒數及產量等 3 個性狀的正值較大，是產量性狀之變異。第二主成分之特徵值各性狀之成分係數以稔實率的正值為最高，其他性狀很小，第二成分可認為是全農藝性狀的變異。

將各參試品種以第一、二成分因子作散布圖，來探討各參試品種間的表現。由圖 3 可看出，台梗 2 號 (No.2)、台中秈 10 號 (No.26)、Guizhao 2 (No.27)、Milyang 23 (No.28)、IR 36 (No.29) 在第一主成分均有較大的正值，而 Kochihibiki (No.22)、Nipponbare (No.23)、Koshihikari (No.24) 及 Akichikara (No.25) 則均有較大的負值。其餘各品種位於兩者之間。

當土壤水分張力達 20 kPa 時，將各參試品種所調查的性狀反應值 (R_1) 進行主成分分析時，結果與對照區有類似的結果 (表 6)。

當土壤水分張力達 50 kPa 時，亦將各參試品種所調查的性狀反應值 (R_2) 進行主成分分析時，結果如表 7 所示，至第二主成分之特徵值佔總變方的 78.2%，第一、二成分已可說明供試品種之反應變異。由表可看出，第一主成分之各性狀之成分係數均為正值，其中以株高、分蘖數、稔實率及產量等 4 個性狀的正值較大。第二主成分各性狀之成分係數為以千粒重的正值為最高。

將各參試品種以第一、二成分因子為座標作散布圖，由圖 4 可看出，台中秈 10 號 (No.26)、Guizhao 2 (No.27)、Milyang 23 (No.28)、IR 36 (No.29) 及 Lomello (No.30) 在第一主成分均有較大的負值，而台梗 1 號 (No.1)、Kochihibiki (No.22)、Nipponbare (No.23)、Koshihikari (No.24) 及 Akichikara (No.25) 則均有較大的正值 (圖 4)。其餘各品種位於兩者之間。

表 5. 參試品種在正常灌溉下之主成分分析

Table 5. Principal component factors for 30 varieties under well-irrigation.

性狀 Characters	主成分 Principal component		
	I	II	III
株高 Plant height	0.4377	-0.3262	-0.0754
分蘖數 Panicle No.	0.2831	0.2389	0.7530
穗重 Panicle weight	0.0906	-0.6011	0.4692
稔實率 Fertility	0.1243	0.6448	0.07975
千粒重 1000-grain weight	0.4658	0.0892	-0.3512
一穗粒數 Spikelet No./panicle	0.4499	-0.1655	-0.2623
單株產量 Grain yield/plant	0.5339	0.1542	0.0916
特徵值 Eigen value	2.7904	1.6016	1.0382
累積變方 Cumulative variance	0.3986	0.6274	0.7758

表 6. 參試品種在反應值 R_1 下之主成分分析

Table 6. Principal component factors for 30 varieties under response (R_1).

性狀 Characters	主成分 Principal component		
	I	II	III
株高 Plant height	0.4193	-0.3247	-0.0786
分蘖數 Panicle No.	0.3608	0.1634	0.6859
穗重 Panicle weight	0.1277	-0.6232	0.4618
稔實率 Fertility	0.1251	0.6495	0.2325
千粒重 1000-grain weight	0.4441	0.1293	-0.3818
一穗粒數 Spikelet No./panicle	0.4371	-0.1364	-0.3311
單株產量 Grain yield/plant	0.5232	0.1485	0.0222
特徵值 Eigen value	3.0050	1.5898	0.9536
累積變方 Cumulative variance	0.4293	0.6564	0.7926

表 7. 參試品種在反應值 R_2 下之主成分分析

Table 7. Principal component factors for 30 varieties under response (R_2).

性狀 Characters	主成分 Principal component		
	I	II	III
株高 Plant height	0.3963	-0.2098	-0.3830
分蘖數 Panicle No.	0.4093	-0.0728	-0.0208
穗重 Panicle weight	0.4400	0.1052	0.1016
稔實率 Fertility	0.4350	-0.1022	-0.1473
千粒重 1000-grain weight	0.0990	0.9518	-0.2478
一穗粒數 Spikelet No./panicle	0.2951	0.1410	0.8638
單株產量 Grain yield/plant	0.4422	-0.0560	-0.1144
特徵值 Eigen value	4.4749	1.0006	0.7465
累積變方 Cumulative variance	0.6393	0.7822	0.8889

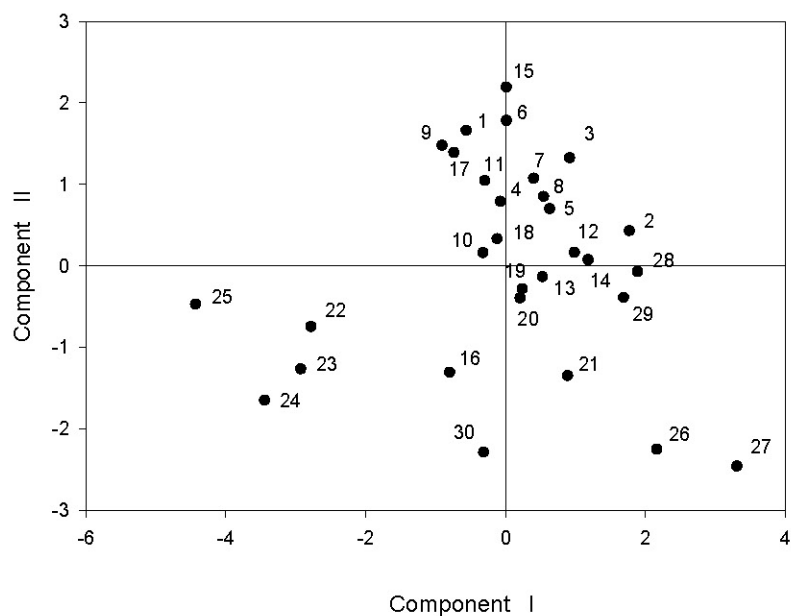


圖 3. 30 個參試品種在正常灌溉處理下第一、二成分因子散布圖 (各參試品種代號參考表 1)
Fig. 3. Scatter diagram of 30 rice varieties on the plane defined by the first and second component under well-irrigation. (Numbers in the figure indicate varieties, as Table 1.)

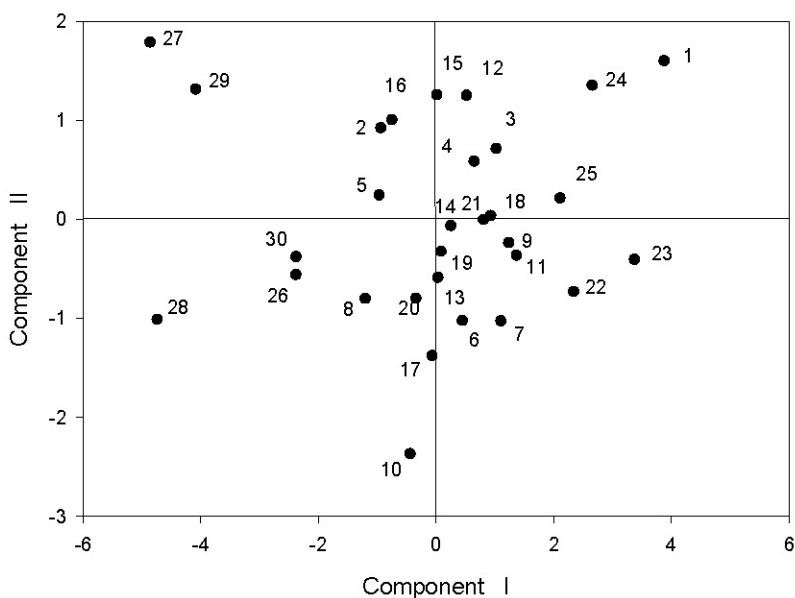


圖 4. 30 個參試品種在反應值₂ 時第一、二成分因子散布圖 (各參試品種代號參考表 1)
Fig. 4. Scatter diagram of 30 rice varieties on the plane defined by the first and second component under response (R_2) (Numbers in the figure indicate varieties, as Table 1.)

討 論

植物體在乾旱逆境下，許多生化作用會改變，如滲透物質的合成(Rudulier et al., 1984; Bohnet et al., 1995)、代謝物質的平衡、離子的吸收利用(Binzel et al., 1987)、離子的分佈、離子的隔離(Binzel et al., 1988; Adams et al., 1992)、細胞膜的修飾、訊息路徑、蛋白質的改變(Preston et al., 1992)、mRNA的穩定性及轉錄作用的控制(Espartero et al., 1994)等，這些改變主要維持及恢復合成代謝功能，使植物能繼續生長繁延。而上述生化作用的改變，常視植物的種類、組織部位及生長時期的不同而有不同的反應機制，且需某幾種反應機制互相協調作用，以提高對逆境的適應性。因此，作物抗旱性所牽涉的範圍極廣且複雜，雖有多位學者針對抗旱能力的評估方法進行研究(蔡與湯，1969; Dingkuhn et al., 1989b; Lilley et al., 1996)，並提出多項建議(O'Toole and Cruz, 1980)，然迄今仍難有一個準確而簡單之評估模式可遵循。

目前評估水稻耐旱性能力的方法，大部分皆採菲律賓國際稻米研究中心(IRRI)的調查方式，即在土壤水分缺乏下調查稻葉片捲曲度及恢復灌溉後的恢復能力。本試驗即採此方式來檢測水稻品種的耐旱等級及各品種農藝性狀的變異。

Glaszmann (1985) 將水稻依同功異構酶的多態性(Isozyme polymorphism)分成六個遺傳族群，印度型稻歸類於第一族群，大部分屬於植株高、葉長而寬、深根且耐旱；Aus 屬於第二族群，其植株型態和印度型稻相似，但具有較短的生育期；日本型稻則歸類於第四族群，大部分屬於植株半矮，高分蘗和適於水中栽培的。Dingkuhn 等(1989b)以 28 種不同遺傳型稻在種植後第 57–81 天間施以中度的水分逆境處理，結果大部分的 Aus 稻具有較低的葉片水分潛勢，日本型稻則具有較高的葉片水分潛勢，印度型居於中間。調查葉片捲曲程度及氣孔導度與葉片水分潛勢的關係，顯示較高葉片水分潛勢的栽培種，具有較高的葉片捲曲程度以及較低的氣孔導度，亦即日本型稻在水分逆境下，對葉片捲曲程度比印度型稻反應敏感。就本試驗 30 個參試品種的表現結果觀之，在土壤水分張力達 20 kPa 時，日本型品種葉片捲曲度在第 2–3 級，而印度型品種全部皆屬第 2 級以下，但是恢復灌溉後，各水稻品種之葉片在 30 分鐘之內全部展開；當土壤水分張力達 50 kPa 時，可明顯分成 2 群，耐旱群為葉片捲曲度在第 1–2 級的印度型(Taichung Sen 10, IR 36, Milyang 23, Guizhaoz 2, Lomello)，敏感群在第 7–8 級的日本型品種，當恢復灌溉後印度型品種的葉片能迅速展開，而日本型品種雖亦展開，但葉尖則呈現凋萎狀態；土壤水分張力持續乾旱至 80 kPa 時所有水稻品種葉片皆呈嚴重的捲曲而枯萎。由以上結果可看出臺灣及日本在有灌溉設施，或降雨頻繁無明顯乾旱季的栽培環境所育成之日本型稻對乾旱的忍受度較差。

比較各參試品種在處理與無處理時的差異，可從反應值看出(表 4)。土壤水分張力達 20 kPa 時，台梗 1 號(No.1)、Kochihibiki(No.22)、Nipponbare(No.23)、Koshihikari(No.24)及 Akichikara(No.25)等早熟品種在分蘗數性狀之反應值在 15% 左右，意即分蘗數的下降率較高，其餘各性狀之反應大體均在 5% 以下，影響並不大。其結果正如 Ichwantoari 等(1989)指出水稻在營養生長期，土壤水分供應不足，光合作用活性會降低，使水稻之葉面積及分蘗數減少，其中又以穗數型及早熟稻之反應更為敏感，因晚熟稻有較長的恢復時間。

土壤水分張力達 50 kPa 時，除株高、千粒重及一穗穎花數等三性狀之反應在各品種間差異並不大外，分蘗數、穗重、稈實率及產量的反應可明顯分成三群（表 4），即一群為早熟品種，如台梗 1 號（No.1）、Kochihibiki（No.22）、Nipponbare（No.23）、Koshihikari（No.24）及 Akichikara（No.25）之反應值在 30% 左右；耐旱群為印度型品種，如台中秈 10 號（No.26）、Guizhao 2（No.27）、Milyang 23（No.28）、IR 36（No.29）及 Lomello（No.30）之反應值在 12% 左右；其餘品種之反應在兩群之間。因日本型稻具有較高的葉片水分潛勢，故其氣孔對乾旱特別敏感，氣孔關閉雖然能減少水分損失，但也會降低葉片的同化能力（Henzell et al., 1975; Ludlow, 1980），主要是因 CO₂ 不易進入葉片，不僅影響 CO₂ 固定，而且促進光抑制作用的發生，即明反應所產生之能量無法在暗反應中消耗，而破壞葉綠體內光系統之電子傳遞鏈（Rhodes, 1993）；再者，氣孔關閉將使蒸散量降低，導致葉片溫度升高，而抑制 CO₂ 之固定及助長光呼吸，這些反應將降低光合作用有效幅射之截取，而使光合作用速率下降（Boyer, 1970; Hsiao, 1973; Silvius et al., 1977）。而印度型稻具有較高氣孔密度，葉片氣體通導度阻力降低，使光合作用不易受到高溫的抑制（O'Toole and Cruz, 1980），因此印度型稻對乾旱的忍受度較佳。

因在乾旱逆境下水稻之穗梗無法完全自劍葉葉身抽出，而產生許多不稈粒，最後導致產量下降（O'Toole and Namuco, 1983）。可由本試驗分析之各品種之分蘗數及產量在乾旱逆境下的變異量與無處理呈顯著負相關証實，但稈實率則呈顯著正相關，意即若品種之稈實率高時，似乎可彌補不稈粒的損失。

水稻的抗旱性或耐旱性因品種的不同而有顯著的差異。大體而言，印度型較日本型品種對乾旱逆境較能忍受，其中晚熟種又比早熟種高。由於台灣有良好的灌溉系統，因此並無針對水稻雜交後代進行耐旱性選拔，但近年來大氣環境的變遷，使得灌溉用水漸感不足，因此建立適合台灣環境的檢定方法或育成本土的耐旱水稻品種，將是未來的研究方向。

參考文獻

- 蔡文福、湯文通。1969。稻品種耐旱性之研究。中華農學會報新 65:6-13。
- Adams, P., J. C. Thomas, D. M. Vernon, H. J. Bohnert, and R. G. Jensen. 1992. Distinct cellular and organismic responses to salt stress. *Plant Cell Physiol.* 33:1215-1223.
- Binzel, M. L., P. M. Hasegawa, D. Rhodes, S. Handa, A. K. Handa, and R. A. Bressan. 1987. Solute accumulation in tobacco cell adapted to NaCl. *Plant Physiol.* 84:1408-1415.
- Binzel, M. L., F. D. Hess, R. A. Bressan, and P. M. Hasegawa. 1988. Intracellular compartmentalization of ions in salt adapted. *Plant Physiol.* 86:607-614.
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Stress Environments*. CRC Press Inc., Boca Raton.
- Bohnert, H. J., D. E. Nelson, and G. Jensen. 1995. Adaptations to environmental stresses. *The Plant Cell.* 7:1099-1111.
- Boyer, J. S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates of corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiol.* 46:233-235.
- Chang, T. T., G. C. Loresto, and O. Tagumpay. 1972. Agronomic and growth characteristics of upland and lowland rices. p.645-661. IRRI, Los Banos, Philippines.
- David, C. C. 1991. The world rice economy: Challenges ahead. p.1-18. In: *Rice Biotechnology* (ed. by Khush, G. S., and G. H. Toenniessen). CAB International and IRRI, Wallingford, UK.

- Dingkuhn, M., R. T. Cruz, J. C. O'Toole, and K. Doerffling. 1989a. Net photosynthesis, water use efficiency, leaf water potential and leaf rolling as affected by water deficit in tropical upland rice. *Aust. J. Agric. Res.* 40:1171–1181.
- Dingkuhn, M., S. K. De Datta, K. Dorffing, and C. Javellana. 1989b. Varietal differences in leaf water potential, leaf net CO₂ assimilation, conductivity and water use efficiency in upland rice. *Aust. J. Agric. Res.* 40:1183–1192.
- Ehanayake, I. J., J. C. O'Toole, and D. Garrity. 1985b. Inheritance of root characters and their relations to drought resistance in rice. *Crop Sci.* 25:927–933.
- Espartero, J., J. A. Pintor-Toro, and J. M. Pardo. 1994. Differential accumulation of *S*-adenosylmethionine synthetase transcripts in response to salt stress. *Plant Mol. Biol.* 25:217–227.
- Fukai S., and M. Cooper. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physio-morphological traits in rice. *Field Crops Res.* 40:67–86.
- Glaszmann, J. C. 1985. A varietal classification of Asian cultivated rice (*Oryza sativa* L.) based on isozyme polymorphism. p.83–90. In: *Rice genetics*. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Henzell, R. G., K. J. Mccree, C. H. M. Ven Bavel, and K. F. Sherte. 1975. Method for screening sorghum genotypes for stomatal sensitivity to water deficits, *Crop Sci.* 15:516–518.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519–570.
- Ichwantoari, T. O., Y. Takamura, and M. Tsuchiya. 1989. Growth response of rice (*Oryza sativa* L.) to drought. I. varietal difference in growth rate, nitrogen uptake and tillering habit at vegetative stage. *Jap. J. Crop Sci.* 58(4):740–747.
- IRRI. 1996. Drought sensitivity. In *Standard Evaluation System for Rice*. p.37–38. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Khush, G. S. 1984. Terminology for rice growing environments. In: *Terminology for Rice Growing Environments*. p.5–10. IRRI, Los Banos, Philippines.
- Lilley J. M., M. Ludlow, and S. McCouch. 1996. Locating QTL for osmotic adjustment and dehydration tolerance in rice. *J. Exp. Botany* 47:1427–1436.
- Ludlow, M. M. 1980. Adaptive significance of stomatal response to water stress. In: *Adaptation of Plant to Water and High temperature Stress* (ed. by Turner N. C. and P. J. Kramer). A Wiley-Interscience pub. New York.
- Ludlow, M. M., and R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of the traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.* 43:107–153.
- O'Toole, J. C., and T. T. Chang. 1979. Drought Resistance in Cereals-Rice: a Case Study. p.373–405. In: *Stress Physiology in Crop Plant* (ed. by Mussell, H. and R. Staple). John Wiley and Sons, Inc.
- O'Toole, J. C., and R. T. Cruz. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.* 65:428–432.
- O'Toole, J. C., and O. S. Namuco. 1983. Role of panicle exertion in water stress induced sterility. *Crop Sci.* 23:1093–1097.
- O'Toole, J. C., and Soemartono. 1981. Evaluation of a simple technique for characterizing rice root systems in relation to drought resistance. *Euphytica* 30:283–290.
- Preston, G M., T. P. carroll, W. B. Guggino, and P. Agre. 1992. Appearance of water channels in *Xenopus oocytes* expressing red cell CHIP28 protein. *Science* 256:385–387.
- Rhodes, D. 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 44: 357–384.
- Rudulier, D. L., A. R. Strom, A. M. Dandekar, L. T. Smith, and R. Valentine. 1984. Molecular biology of osmoregulation. *Science* 224:1064–1068.
- Silvius, J. E., R. R. Jonson, and D. B. Peters. 1977. Effect of water stress on carbon assimilation and distribution in soybean plants at different stages of development. *Crop Sci.* 17:713–716.

Drought Tolerance and Variability of Agronomic Characters in Rice (*Oryza sativa* L.)

Meng-Huei Lin, Hsin-Mei Ku¹, Fu-Sheng Thseng¹, and
Shu-Tu Wu¹

Summary

Rice (*Oryza sativa* L.) plant in general have a shallow root system and little water extracted from soil. That is particularly susceptible to soil water deficit, and drought affects its growth in about 50% of the production area in the world. Therefore, the goal of the present study mainly focus on genetic variability of drought tolerance in rice. This study were investigating the ability of rice varieties with drought tolerance associated with leaves rolled which as drought sensitivity index. The results showed that the agronomic characters except spikelet number per panicle in 30 rice varieties were significantly under treatment of drought. There 30 rice varieties could be classified as three clusters according to principal component analysis. The first cluster included Indica type rice varieties were found to be drought tolerance. The second cluster included Japonica type of early maturing rice varieties were susceptible to soil water deficit. The third cluster included Japonica type of late maturing rice varieties were in the middle.

Key words: rice, drought tolerance, agronomic characters.

¹ Department of Agronomy, National Chung Hsing University.