中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）47(2)：95～107（1998）

土壤缺水對水稻與陸稻期作間生產之影響

（一）生長與產量之差異[1]

賴明信　楊純明　郭益全[2]

摘要：本項試驗以本省陸稻品系2個，日本陸稻品種4個，菲律賓陸稻品種1個以及本省水稻推廣品種4個爲材料，分別於1995年第一、二期作栽種於臺灣省農業試驗所農場，以探討土壤缺水對稻穀產量及產量構成性狀之影響，並比較水、陸稻乾旱衝擊之差異。結果顯示，乾旱處理降低參試品種（系）之稻穀產量及株高，降低的幅度以水稻品種較嚴重。陸稻品種（系）因期作不同表現不同，第一期作減少幅度大於第二期作，其中臺農選1、2號及農林糯4號在兩期作處理間表現較穩定，即對水分多寡之反應較鈍感。臺農67號對缺水環境適應性高於其他水稻品種（系），因此在較佳之陸稻品種尚未選育出前，可作爲面臨栽培時期遭受乾旱威脅地區之選擇。在產量構成性狀上，乾旱處理明顯降低參試水稻品種之穗數與一穗粒數及陸稻品種（系）之稔實率及穗數。相同處理下稻穀容重第二期高於第一期作，而乾旱增加稻穀容重。試驗亦發現，缺水情況下參試之本省陸稻品系較日本陸稻品種表現爲佳，顯示本省陸稻品系對水分逆境的適應能力優於日本陸稻品種，利用爲育種親本成效較佳。

關鍵詞：水稻、陸稻、缺水、期作、生長、產量。

前　言

在以灌溉（irrigation）或雨灌（rainfed）爲主的土壤，當水源供應停止時（如乾旱的發生），若其上生長的作物所消耗的水分大於土壤中所能提供的水分，作物即處於缺水狀態而影響其生長的正常進行。各項缺水的徵狀亦陸續出現，作物將從出現生長的阻滯開始終至死亡[11]。臺灣地區雖屬海島型氣候，由於特殊的地理與地形條件及降雨量分佈的不均，水資源原本就非常有限。近年來又由於地球生態遭受嚴重破壞，全球氣候變化異常，水資源日感缺乏，加以工商業及民生用水的大量需求下，能分配於農業的百分比勢必愈來愈少。灌溉設施縱然完備，在水資源不足分配狀況，仍難發揮作物生產潛能。因此殊有必要因應未來情況擬定農作物生產可行策略，以維持糧食供應的不虞匱乏，並確保農民的權益。

水稻的栽培，需要足夠而且適量的水份，方能獲得最高產力。缺水對其產量與品質都會發生影響，尤其是發生在抽穗前20天至抽穗後10天期間，將嚴重減損稻穀產量[14]。Yang[19]更明確指出，當土壤水分潛勢下降至低於－0.25Mpa時即出現明顯的減產，特別是發生在生殖生長階段的缺水，減產幅度高於營養生長期缺水者。然而，並非所有水稻對缺水之反應強度皆一致，McCauley *et al.*[15]曾比較噴灌處理（sprinkler irrigation）與正常水田栽培時之產量差異，發現品種間相對產量差異達56—102％。

1. 臺灣省農業試驗所研究報告第1937號。
2. 本所農藝系助理、副研究員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

Westcott and Vines[18]亦發現噴灌處理產量較一般水田栽培減產，幅度從 16 %—32 % 不等，品種間差異甚大。由此顯示，水稻的水分利用效率及耐／抗旱能力品種間存在明顯差異，而且耐／抗旱能力強的品種，其產量受水分環境因子的影響相對較小。所以，加強作物水分利用效率及耐／抗旱能力是因應缺水可行的途徑，相關試驗研究亟待加強。

在全世界稻作耕地面積中，陸稻（upland rice）栽植占約 12 %[9]，這些栽培區的土壤水分絕大部份來自降水（precipitation），由於生長季節降水不固定，水源供給受限制，使其無法發揮應有生產潛能，產量表現不佳。Chang *et al.*[6]指出陸稻的種類不如水稻多，而且大部份品種具有分蘗性差、植株過高、容易倒伏及產量潛能不佳等缺點。然而，陸稻之外表形態及生理構造與水稻差異甚大，通常葉片具有較高的氣孔阻力[12]、較厚的角質層[20]與較容易捲曲[8]，根系較密且深[5,16]，品種間有很大的差異[13]，根莖比高[5,16]及葉片水分潛勢之調節力優於水稻，而品種間差異不顯著[7]等特性，使其抗／耐旱能力較佳。在缺水狀況下，陸稻一般比水稻具有較高的光合成速率與水分平衡[10]，葉綠素含量、蛋白質、RNA 及某些酵素活性維持較高[4]，葉片中之脯氨酸累積含量遠高於水稻品種[1]，而脯氨酸的累積能力似與作物之抗旱性有關[17]。臺灣地區有關陸稻之試驗研究報告鮮少，尤其是在地種之陸稻品種（系）的評估及瞭解更不清楚，造成育種策略擬定上之困難。

本研究目的乃藉人爲斷水處理造成乾旱衝擊，以瞭解在有限水源灌溉下，水、陸稻期作間植株生長、產量及稻穀容重所受之影響，並比較參試品種耐／抗旱程度及性狀相關之差異，期作爲未來遺傳育種及應用推廣之參考。

材料與方法

由設立於臺灣省農業試驗所國家作物種原中心中，經篩選並種植於水田中評估稻種，選出本省陸稻品系 2 個，引種之日本陸稻品種 4 個、菲律賓陸稻品種 1 個及本省水稻推廣品種 4 個（表 1）爲材料，於 1995 年第一、二期作分別栽種於臺灣省農業試驗所農場，參試材料第一期作經育苗四週後於 2 月 23 日移植本田，第二期作經三週育苗後於 7 月 31 日插植本田。試驗小區面積爲 7m×2m，種植 6 行，行株距 30cm×15cm，單本植。一期作插植一週後第一次補植，二週後第二次補植；二期作則於插植三天後第一次補植，一週後第二次補植，以確保本田初期不會有缺株現象發生。

表 1. 本試驗參試水、陸稻品種來源及抽穗期

Table 1. Source and heading day for rice varieties used in this study.

Variety	Source	Heading day	
Upland rice		cropping season	
		I	II
Tainung Se1.1	Taiwan	77	53
Tainung Se1.2	Taiwan	80	54
Ohhobatwase 123	Japan	77	56
Omachi	Japan	74	51
Kuroca	Japan	75	53
M1-48	Philippines	122	79
Nohrin-Mochi 4	Japan	76	50
Lowland rice			
Tainung 67	Taiwan	89	68
Taikeng 10	Taiwan	95	63
Taikcng 2	Taiwan	96	67
Taihung 189	Taiwan	95	75

田間管理依慣行方法施行，基肥爲臺肥 39 號（N：P_2O_5：K_2O ＝ 12：18：12）400kg.ha^{-1}，追肥爲硫銨（400kg.ha^{-1}）分別於分蘗盛期、孕穗期及穀粒充實期各施一次。病蟲害之防治方法，以 22.5 %陶斯松乳劑 （1.8L.ha^{-1}）、45 %一品松乳劑（1.0L.ha^{-1}）、25 %歐松乳劑（2.0L.ha^{-1}）及 25 %布芬淨粉劑（0.8kg.ha^{-1}）混合施用，稀釋 500 倍，一期作於移植後 56 天及 80 天，二期作則於 20 天及 40 天各噴灑一次；雜草防除乃於插植後及最後一次補植後各施用丁拉免速隆粒劑（30kg.ha^{-1}）一次。

田間採裂區設計，三重複，以乾旱處理有無爲主區，品種爲副區。試驗期間每 5 天之降雨累積量列於表 2。試驗材料於移植本田後 10 天，處理區即停止灌水，田間水分以類似看天田的方式管理，即使下雨，雨水立即排除不積留於田間，直至稻株外觀略呈萎凋現象時方灌水。生育期間每於田間土壤呈乾涸狀態前將阻力石膏式塊掩埋於土深 20 公分處，以土壤水分計（Model J—3,Kett Electric Laboratory, Tokyo, Japan）測其阻力值，經比對阻力—水分校正曲線，追蹤田間土壤水分潛勢。灌水後，隔天即將積水排乾。第一期作分別於移植後 66 天及 103 天，田間土壤水分潛勢造成植株發生萎凋狀況，此時監測之土壤水分潛勢分別爲－ 0.35 及－ 0.26MPa。第二期作由於雨量充沛，移植後 72 天乾旱處理區之植株方發生萎凋，監測得土壤含水量爲－ 0.35MPa。

表 2. 試驗期間之降雨分布

Table 2. Distribution of precipitation (mm) during the experimental periods in 1995.

cropping season	Days after transplanting																		
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
I	6.5[x]	16	1.5	0.5	39.5	18.5	0	0[z]	0	0[y]	0	0	0.5	68	22.5	0[z]	0	0.5[z]	88
II	49.5	0	2	0.5	0	13	0	1.5	0[z]	0	20[y]	0.5	0	0	0	0	0	0	0

[z]and[y] were the date of water-withholding and reirrigation, respectively.
[x]amount of precipitation was accumulated every 5 days.

當小區 50 %之族群抽穗時定爲該品種之抽穗期，待成熟，每小區取 6 株，調查株高、分蘗數、產量構成性狀及稻穀容重（一公升容量之重量）。另刈取 10m^2 面積植株之稻穀估算公頃產量，稱爲實測產量（measured yield），而由調查之產量構成性狀估算而得者稱之爲估計產量（estimated yield）。各項調查資料以 SAS 套裝軟體（SAS Institute Inc., USA）進行統計變方分析及 LSD 比測，比較品種、處理間產量及調查之農藝性狀之差異顯著性，以及產量與農藝性狀之相關係數。

結　果

一、調查性狀之變方分析

表 3 爲第一、二期作之產量、產量構成性狀、稻穀容重及生長性狀之變方分析表，由表顯示第一期作稻穀實測產量及估測產量在處理間及品種間皆呈極顯著差異，且品種與處理具極顯著之交感效應存在，表示不同品種之稻穀產量對乾旱處理之反應趨勢不相同。品種間產量構成性狀皆呈極顯著，而處理間唯稔實率及穗數呈顯著，其中穗數在品種及處理具有顯著交感效應。株高在品種間、處理間及品種與處理之交感效應均有極顯著性存在，穗長及有效穗數因品種不同而有差異，乾旱處理對兩者沒有顯著影響。稻穀容重在品種、處理間均具有極顯著性，而且品種及處理具極顯著交感效應。

第二期作之稻穀實測產量及估測產量在品種間、處理間及品種與處理之交感效應均呈極顯著；而產量構成性狀中，品種間差異均呈極顯著，在處理間其中唯稔實率呈極顯著，穗數、一穗粒數及千粒重在品種及處理間皆具有顯著或極顯著交感效應，顯示品種之產量構成性狀個別對乾旱之反應不同。

表 3. 第一、二期作產量、產量構成性狀及生長性狀之變方分析

Table 3. Analysis of variance on the yield, yield components and growth characteristics of rice varieties for two crops in 1995.

Source	DF	Mean Square									
		Measured yield	Estimated yield	Plant height	Panicle length	Percent grain—filling	Panicle number	Spikelets / panicle	1000—grain weight	Effective panicle	Volume weight
						Ist crop					
Treatment(T)	1	137,462,569.7**	81,579,022.2**	2,624.5**	55.1	136.6*	100.3*	693.2	7.5	0.0000	22,064.0*
Block / treatment	4	2,409,015.7	2,836,449.4	88.8	11.9	183.6	5.1	1,387.1	2.6	0.0033	1,046.3
Variety(V)	11	6,494,258.6**	7,170,762.0**	218.3**	55.0**	172.0**	11.1**	1,056.4**	77.7**	0.0101*	8,721.3**
T*V	11	2,250,536.6**	2,219,208.9	163.6**	26.4	52.7	4.5*	475.3	3.6	0.0012	803.6**
Error	44	463,382.1	1,693,397.8	29.1	16.7	31.6	2.2	364.0	2.1	0.0040	293.6
						2nd crop					
Treatment(T)	1	22,303,407.3**	7,567,152.2**	526.0	1.2	431.6**	29.3	884.1	3.9	0.0018	2,322.2
Block / treatment	4	182,443.8	3,350,054.2	236.7	1.2	18.5	7.4	258.1	1.5	0.0005	749.0
Variety(V)	11	3,191,057.9**	3,956,978.3**	244.9**	29.8**	406.5**	19.7**	4,284.3**	74.5**	0.0017*	5,993.6**
T*V	11	2,121,268.8**	1,153,043.9**	72.6**	1.9**	57.2	3.3*	292.4*	5.1**	0.0019	165.8
Error	44	282,255.7	357,433.3	14.7	0.7	29.0	1.5	118.3	1.1	0.0008	450.1

*and** are signifieant at 5 % and 1 % levels, respectively.

株高及穗長在品種及處理間具有極顯著之交感效應，有效穗數及稻穀容重在品種間呈顯著，處理間差異則不顯著。

二、第一期作相同處理下品種調查性狀之比較

各個參試品種在第一期作處理間之調查性狀平均值列於表 4，在稻穀產量方面，正常管理區中水稻品種均較陸稻品種爲高，陸稻品種中以 Kuroca 之產量最高；而在乾旱處理區，水稻品種以臺農 67 號之 6242kgha^{-1} 最高，臺中 189 號最低，陸稻品種（系）以台農選 2 號及農林糯 4 號（Nohrin Mochi 4）最高，其稻穀產量與台農 67 號差異不顯著。乾旱處理區所有參試品種（系）之稻穀產量皆較正常栽培區下降，水稻品種下降之幅度大於陸稻品種（系），陸稻品種（系）以台農選 1、2 號及農林糯 4 號受乾旱影響程度較小者，Ohhobatwase 123 及 Kuroca 受影響較大；水稻品種以臺中 189 號受影響最大，台粳 2 號及台粳 10 號次之。以產量構成性狀相乘積推估實際產量，在正常管理區中除陸稻品種台農選 1 號及 Omachi 較實際稻穀產量高外，其餘參試品種（系）均低估，而且水稻品種低估的情況較陸稻品種（系）爲嚴重；在乾旱處理區低估情形與正常栽培區之情況相同，唯估算值較爲接近。

在乾旱處理區之平均株高明顯矮於正常栽培區。在正常栽培區，陸稻品種（系）以 M1—48 之株高最高，其餘品種（系）株高差異不顯著；水稻品種中以台粳 10 號株高最高外，其餘品種亦差異不顯著。在乾旱處理區，陸稻品種（系）除 Kuroca 株高明顯較矮外，其餘品種（系）差異不顯著；水稻品種除臺中 189 號明顯較矮外，其餘品種差異亦不顯著。在正常栽培區中，陸稻品種（系）以台農選 1 號之穗長最長，農林糯 4 號最短，水稻品種以台粳 2 號最長，達 34.7cm；在乾旱處理區中陸稻品種以 M1—48 之穗長最長，農林糯 4 號最短，水稻品種以台粳 2 號最長。

稔實率在正常栽培區，陸稻品種（系）中以 Omachi 之稔實率最高，M1—48 最低，水稻品種以台粳 2 號最高，其餘差異不顯著；在乾旱處理區，陸稻品種（系）以 Ohhobatwase 123 維持在 80 %以上外，其餘品種（系）皆低於 80 %，水稻品種則差異不明顯。不論是水、陸稻品種（系），乾旱處理區之整體平均穗數明顯低於正常栽培區。在正常栽培區，陸稻品種（系）之穗數以 M1—48 最少，其餘品種（系）差異不顯著，參試水稻品種則差異皆不顯著；在乾旱處理下陸稻品種（系）以臺農選 2 號、Omachi 及農林糯 4 號最高，並明顯高於其他品種（系），水稻品種則差異不顯著。整體之平均一穗粒數在兩處理差異不顯著；在正常栽培區，陸（水）稻品種（系）差異皆不顯著；在乾旱處理區，陸稻品種（系）中以 M1—48 之一穗粒數最多，農林糯 4 號最少，水稻品種以台粳 10 號最多。

在正常栽培區，陸稻品種(系)以 Kuroca 之千粒重最重，M1—48 最低，水稻品種以台粳 2 號最重，台粳 10 號最輕；在乾旱處理區，陸稻品種(系)亦以Kuroca 最重，M1—48 最低，水稻品種則以台粳 2 號最重，台粳 10 號最輕。乾旱處理區整體之平均稻穀容重明顯重於正常栽培區，而在正常栽培下陸稻品種(系)之稻穀容重以M1—48 最重，明顯高於其餘品種(系)，水稻品種以臺中 189 最重；在乾旱處理下陸稻品種(系)仍以 M1—48 最高，同時明顯高於其他品種(系)，而水稻品種則以台農 67 號最高。

三、第二期作相同處理下品種之調查性狀比較

第二期作參試品種處理間各調查性狀之平均值列於表 5。在乾旱處理區，整體之平均稻穀產量明顯低於正常栽培區；在正常栽培區之陸稻品種（系），以台農選 1、2 號最高，M1—48 最低，水稻品種以台農 67 號最高。在乾旱處理區，陸稻品種（系）以台農選 2 號最高，農林糯 4 號次之，水稻品種亦以台農 67 號最高，台粳 2 號次之。乾旱處理對實際稻穀產量之影響幅度，陸稻品種（系）遠小於水稻品種，而且較第一期作爲微，其中以台農選 2 號、Omachi 及農林選糯 4 號受影響程度最小。以產量構成性狀乘積估測之產量，整體之平均值在正常栽培區明顯高於乾旱處理區。在正常栽培區，陸稻品種（系）以農林糯 4 號最高，但參試品種（系）間差異不顯著，水稻品種以台粳 2 號最高；在乾旱處理區，陸稻品種（系）以M1—48 最高，而且大幅高估，水稻品種以台農 67 號最高，亦高估。平均株高在兩栽培區，陸稻品種（系）均以 M1—48 最高，Kuroca 最低，水稻品種則差異不顯著。平均穗長

表 4. 第一期作調查農藝性狀之平均值

Table 4. The mean values of agronomic characteristics for rice varieties in the first crop of 1995.

Variety	Measured yield(kgha^{-1})		Estimated yield(kgha^{-1})		Plant height(cm)		Panicle length(cm)		Percent grain-filling (%)		Panicle number		Spikelets / panicle		1000-grain weight(g)		Volume weight(gL^{-1})	
Upland rice	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment
Tainung Se1.1	7,392.7(100)	5,635.5(76)[w]	7,945.0	4,888.1	118.1	116.2	28.3	22.4	86.5	75.9	12.5	8.9	104.5	108.2	31.8	30.3	433.1	510.1
Tainung Se1.2	6,939.7(100)	5,904.3(85)	5,901.0	5,338.5	119.5	119.5	19.5	21.3	82.4	77.1	11.5	10.4	87.9	113.1	30.7	26.8	445.0	493.1
Ohhobatwase 123	7,948.1(100)	4,972.1(63)	7,376.0	4,676.0	127.2	125.8	21.3	22.4	86.6	83.6	12.2	8.4	104.9	97.4	29.6	31.0	451.5	492.1
Omachi	7,737.5(100)	5,369.5(69)	8,292.0	4,829.3	120.6	117.9	19.8	20.7	87.9	74.7	13.1	10.8	106.0	87.8	30.7	30.7	413.0	473.1
Kuroca	8,272.8(100)	5,103.0(62)	6,959.0	5,241.2	121.0	110.9	20.5	20.5	82.0	78.9	11.6	8.8	103.5	104.1	32.0	32.4	487.3	532.1
M1-48	4,200.1(100)	2,877.2(69)	2,812.0	2,309.1	142.8	122.9	25.6	26.5	67.3	77.8	8.1	5.1	110.3	123.5	20.5	21.7	536.4	571.2
Nohrin-Mochi 4	7,716.4(100)	5,881.9(76)	5,619.0	4,532.7	117.0	114.3	18.9	18.5	81.3	78.7	12.1	11.2	81.2	82.2	30.5	28.6	452.8	448.4
Lowland rice																		
Tainung 67	9,019.6(100)	6,241.9(69)	7,078.0	5,415.0	123.8	108.2	21.8	20.4	87.7	87.4	12.0	10.8	120.9	104.1	25.0	24.3	508.2	559.9
Taikeng 10	9,034.8(100)	5,248.9(58)	7,477.0	5,163.7	136.2	111.3	21.1	20.0	89.5	88.1	12.7	8.6	130.1	135.4	23.0	23.1	494.4	514.2
Taikeng 2	9,226.9(100)	5,416.0(59)	8,600.0	4,118.0	128.3	105.8	34.7	21.3	93.2	88.7	12.7	9.3	119.2	90.0	27.5	25.4	529.1	539.3
Taichung 189	9,901.7(100)	4,485.5(45)	7,203.0	4,448.9	127.9	98.4	22.1	20.3	87.7	89.3	12.1	8.1	130.3	115.2	23.6	24.1	533.3	530.1
Mean(treatment)	7,944.6	5,194.2	6,842.0	4,632.8	125.7	113.7	23.1	21.3	84.7	81.8	11.9	9.1	109.0	105.5	27.7	27.1	477.9	514.9
L.S.D.[z]	828.4	1,136.9	3,162.3	1,816.7	9.5	10.3	9.3	2.1	15.3	8.2	2.3	2.3	29.9	36.6	2.1	4.1	33.0	35.9
L.S.D.[y]	1,710.6	1,024.1	2,004.1	1,864.9	9.3	10.0	11.6	1.1	5.2	5.8	2.8	3.6	41.6	33.2	1.2	1.3	12.7	27.4
L.S.D.[x]	1,267.6	1,024.9	2,560.2	1,776.6	8.4	9.8	9.6	1.9	11.7	6.6	2.3	2.6	31.2	33.4	1.6	3.0	26.3	31.5

[z] within upland rice
[y] within lowland rice
[x] within varieties
[w] is percentage respect to ck.
CK：normal;Treatment:soil water deficit.

表 5. 第二期作調查農藝性狀之平均值

Table 5. The mean values of agronomic characteristics for rice varieties in the second crop of 1995.

Variety	Measured yield(kgha^{-1})		Estimated yield(kgha^{-1})		Plant height(cm)		Panicle length(cm)		Percent grain-filling (%)		Panicle number		Spikelets / panicle		1000-grain weight(g)		Volume weight(gL^{-1})	
Upland rice	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment	CK	Treatment
Tainung Se1.1	4,685.3(100)	3,788.2(81)[w]	4,082.6	3,495.4	97.2	95.1	18.9	19.4	66.6	74.1	8.8	7.0	104.3	100.8	29.8	30.9	619.6	613.3
Tainung Se1.2	4,663.1(100)	4,416.3(95)	4,263.3	3,835.6	100.1	98.8	19.4	19.7	70.4	72.1	8.7	7.0	108.7	116.8	29.1	29.1	593.6	610.3
Ohhobatwase 123	4,006.6(100)	3,211.0(80)	4,440.2	3,771.7	100.4	99.5	19.1	19.6	82.1	79.7	9.1	7.3	96.3	96.8	28.2	29.5	577.0	583.2
Omachi	4,168.1(100)	4,099.0(98)	4,300.1	3,832.2	96.7	92.2	18.9	18.5	76.7	83.2	8.4	7.7	98.4	84.2	30.6	31.9	600.1	617.4
Kuroca	4,291.0(100)	3,723.4(87)	3,870.4	3,614.9	95.9	96.6	18.4	19.2	75.1	76.4	8.1	7.1	93.5	94.9	30.7	31.4	620.8	630.7
M1-48	3,734.3(100)	3,913.9(105)	3,860.0	4,989.2	111.7	105.8	24.8	23.0	69.8	91.5	7.3	8.2	159.4	147.6	21.6	20.7	601.7	623.8
Nohrin-Mochi 4	4,326.8(100)	4,148.3(96)	4,466.4	3,739.7	90.8	92.1	16.1	16.4	82.9	85.3	10.7	8.7	84.4	84.4	26.8	27.0	506.0	537.7
Lowland rice																		
Tainung 67	7,005.8(100)	4,460.2(64)	6,327.7	5,363.7	100.1	89.7	19.3	18.5	86.5	92.7	10.0	9.6	126.8	117.3	25.9	23.2	573.9	591.0
Taikeng 10	6,793.9(100)	3,619.3(53)	5,954.4	4,431.3	103.2	90.8	17.6	16.4	84.8	91.0	8.2	7.6	163.7	136.0	23.8	21.0	551.7	553.9
Taikeng 2	6,261.9(100)	4,080.0(65)	6,333.8	3,849.0	103.1	85.4	20.5	18.2	86.6	90.8	9.3	8.3	127.8	95.9	27.5	24.1	539.9	553.8
Taichung 189	6,480.7(100)	3,802.0(59)	5,190.5	4,200.4	106.6	91.5	19.5	19.0	93.1	91.8	7.8	7.7	125.7	113.5	25.7	23.5	572.4	577.4
Mean(treatment)	5,128.9	3,932.9	4,826.3	4,102.1	100.5	94.3	19.3	18.9	79.5	84.4	8.8	7.8	117.2	108.0	27.2	26.6	577.9	590.2
L.S.D.[z]	697.1	856.5	872.7	1,201.3	5.6	7.6	0.7	1.3	10.6	7.8	1.5	2.2	14.5	22.5	1.3	2.2	34.4	39.3
L.S.D.[y]	1,302.0	1,095.8	1,356.0	1,037.6	7.6	6.2	1.8	2.2	10.5	9.1	2.8	2.6	21.9	23.2	2.4	1.8	51.0	32.8
L.S.D.[x]	868.9	929.3	984.6	1,039.4	5.9	7.0	1.3	1.5	9.5	8.7	1.9	2.2	15.9	20.6	1.8	1.9	37.6	34.1

[z] within upland rice
[y] within lowland rice
[x] within varieties
[w] is percentage respect to ck.
CK : normal;Treatment:soil water deficit.

在正常栽培區，陸稻品種（系）以 M1—48 之穗長最長，並明顯高於其他品種（系），水稻品種以台粳 2 號最長，台粳 10 號最短。乾旱處理區之陸稻品種（系）亦以 M1—48 最長，農林糯 4 號最短，水稻品種（系）則以臺中 189 號最長，台粳 10 號最短。乾旱處理區整體之平均稔實率明顯高於正常栽培區。在正常栽培區，陸稻品種（系）之稔實率以農林糯 4 號及 Ohhobatwase 123 最高，M1—48 及台農選 1 號最低，水稻品種則以臺中 189 號最高；在乾旱處理區，陸稻品種（系）以 M1—48 最高，農林糯 4 號次之，水稻品種差異不顯著。平均穗數在正常栽培區陸稻品種（系）以農林糯 4 號之穗數最多，M1—48 最少，水稻品種則以台農 67 號最多，臺中 189 號最低。在乾旱處理區陸稻品種（系）間差異不顯著，水稻品種以台農 67 號最高。一穗粒數在正常栽培區，陸稻品種（系）M1—48 最多，並明顯高於其他品種（系），農林糯 4 號最少，水稻品種則台粳 10 號最多。在乾旱處理區，陸稻品種（系）亦以 M1—48 最多，台農選 2 號次之，水稻品種以台粳 10 號最多，台粳 2 號最少。平均千粒重在兩栽培區，陸稻品種（系）均以 Omachi 及 Kuroca 之千粒重最重，M1—48 最輕，水稻品種均以台粳 2 號最重，台粳 10 號最輕。平均稻穀容重在正常栽培區，陸稻品種（系）以 Kuroca 及台農選 1 號之稻穀容最重，農林糯 4 號最輕，水稻品種則差異不明顯；在乾旱處理下陸稻品種(系)以 Kuroca 及 M1—48 最重，農林糯 4 號最輕，水稻品種則以台農 67 號最重。

四、乾旱處理對調查性狀間相關係數之影響

乾旱處理對各性狀造成之影響幅度大小有差異，而性狀彼此間之關聯性亦產生變化，瞭解彼此互動的目的，希望能從中收集性狀受影響之變化趨勢，以作爲訂定育種策略之參考。表 6 爲第一期作不同生態型調查性狀之相關係數，就參試水稻品種而言，在正常栽培區，產量與調查性狀之相關係數均不顯著，唯株高與穗數、穗長與稻穀容重呈顯著正相關；在乾旱處理區，稔實率與一穗粒數及千粒重、一穗粒數與有效穗數呈顯著正相關，穗長與有效穗數呈極顯著正相關，穗數與穗長、一穗粒數及有效穗數呈顯著負相關。

就陸稻品種（系）而言，在正常栽培區，稻穀實測產量與估計產量、稔實率、穗數及千粒重等性狀呈極顯著正相關，與株高及稻穀容重呈極顯著負相關，株高與稻穀容重呈極顯著正相關，與穗數及千粒重呈極顯著負相關；稔實率與穗數、一穗粒數及千粒重等性狀呈顯著或極顯著正相關；一穗粒數與千粒重呈極顯著正相關，與稻穀容重呈極顯著負相關。在乾旱處理區，實測產量與估計產量及穗數、株高與穗長、穗長與稻穀容重、一穗粒數與稻穀容重呈顯著或極顯著正相關，而稻穀實測產量與穗長及稻穀容重、穗長與穗數及千粒重、穗數與一穗粒數及稻穀容重、一穗粒數與有效穗數呈顯著或極顯著負相關。

表 7 爲第二期作不同生態型調查性狀之相關係數。就水稻品種而言，在正常栽培區，實測產量與估計產量、株高、穗長、稔實率、一穗粒數、千粒重及有效穗數等性狀呈顯著或極顯著正相關，株高與穗長、稔實率、一穗粒數及千粒重等性狀、穗長與稔實率、一穗粒數及千粒重等性狀、稔實率與一穗粒數及千粒重、一穗粒數與有效穗數呈顯著或極顯著正相關，另實測產量與穗數、株高與穗數、穗長與穗數、稔實率與穗數、穗數與一穗粒數、千粒重及有效穗數等性狀呈顯著或極顯著負相關。在乾旱處理區，稔實率與一穗粒數及穗長、株高與穗長、稔實率及一穗粒數等性狀呈顯著或極顯著正相關，一穗粒數與千粒重呈顯著負相關。

就陸稻品種（系）而言，在正常栽培區，實測產量與有效穗數、穗數及有效穗數等性狀、株高與穗長及一穗粒數、穗長與一穗粒數、穗數與有效穗數、千粒重與有效穗數呈顯著或極顯著正相關；株高與穗數、千粒重及有效穗數等性狀、穗長與穗數、千粒重及有效穗數等性狀、稔實率與一穗粒數及稻穀容重、穗數與一穗粒數及稻穀容重、一穗粒數與千粒重及有效穗數呈顯著或極顯著負相關。在乾旱處理區，株高與穗長及一穗粒數、穗長與一穗粒數呈極顯著正相關，而穗長與千粒重、稔實率與千粒重、穗數與稻穀容重以及一穗粒數與千粒重等呈顯著或極顯著負相關。

表 6. 第一期作調查農藝性狀之相關係數表

Table 6. The correlation coefficients of agronomic characteristics in the first crop of 1995

Characters		Measured yield	Plant height	Panicle length	Percent grain—filling	Panicle number	Spikelets / panicle	1000—grain weight	Effective panicle
				Lowland rice					
Estimated yield	CK	0.35							
	Treatment	0.48							
Plant height	CK	0.21							
	Treatment	0.39							
Panicle length	CK	−0.03	0.08						
	Treatment	0.09	0.07						
Percent grain—filling	CK	0.24	0.06	0.48					
	Treatment	0.29	−0.26	0.26					
Panicle number	CK	0.31	0.60*	0.01	−0.17				
	Treatment	0.11	0.34	−0.52*	−0.44				
Spikelets / panicle	CK	0.06	0.05	−0.09	0.31	−0.53			
	Treatment	0.16	0.15	0.48	0.54*	−0.59*			
1000—grain weight	CK	−0.25	−0.46	0.39	0.44	−0.13	−0.28		
	Treatment	0.39	−0.28	−0.10	0.61*	−0.07	−0.22		
Effective panicle	CK	0.21	0.43	0.18	−0.20	0.76	−10.92	−0.19	
	Treatment	−0.38	0.05	0.64**	−0.03	−0.52*	0.58*	−0.61*	
Volume weight	CK	0.28	−0.11	0.55*	0.50	−0.16	0.32	0.18	0.04
	Treatment	0.21	−0.06	0.45	−0.05	−0.02	−0.12	0.07	0.26
				Upland rice					
Estimated yield	CK	0.62**							
	Treatment	0.60**							
Plant height	CK	−0.66**							
	Treatment	−0.12							
Panicle length	CK	−0.26	0.39						
	Treatment	−0.70**	0.50*						
Percent grain—filling	CK	0.55**	−0.71**	−0.29					
	Treatment	0.00	−0.15	−0.19					
Panicle number	CK	0.63**	−0.59**	−0.04	0.53*				
	Treatment	0.72**	−0.13	−0.64**	−0.29				
Spikelets / panicle	CK	−0.08	0.05	0.08	0.52**	0.42			
	Treatment	−0.32	0.12	0.35	0.42	−0.49*			
1000—grain weight	CK	0.82**	−0.85**	−0.22	0.61**	0.78**	−0.18		
	Treatment	0.50*	−0.41	−0.58**	0.16	0.33	−0.41		
Effective panicle	CK	0.08	−0.36	0.00	0.31	0.24	−0.10	0.21	
	Treatment	0.36	−0.19	−0.41	0.01	0.38	−0.43*	0.42	
Volume weight	CK	−0.55**	0.59**	0.18	−0.36	−0.81**	0.37	−0.69**	−0.11
	Treatment	−0.68**	0.07	0.63**	0.00	−0.72**	0.55**	−0.34	−0.20

*and** are significant at 5 % and 1 % levels, respectively.
CK:normal; Treatment: soil water deficit.

表 7. 第二期作調查農藝性狀之相關係數表

Table 7. The correlation coefficients of agronomic characteristics in the second crop of 1995

Characters		Measured yield	Plant height	Panicle length	Percent grain—filling	Panicle number	Spikelets / panicle	1000—grain weight	Effective panicle
				Lowland rice					
Estimated yield	CK	0.87**							
	Treatment	0.66							
Plant height	CK	0.79**							
	Treatment	−0.19							
Panicle length	CK	0.70**	0.76**						
	Treatment	0.22	0.64**						
Percent grain—filling	CK	0.74**	0.86**	0.85**					
	Treatment	0.34	0.63**	0.71**					
Panicle number	CK	−0.76**	−0.86**	−0.80**	−0.92**				
	Treatment	−0.18	−0.25	−0.42	−0.48				
Spikelets / panicle	CK	0.83**	0.83**	0.68**	0.75**	−0.88**			
	Treatment	0.15	0.78**	0.46	0.72**	−0.49			
1000—grain weight	CK	0.54*	0.64**	0.81**	0.76**	−0.69**	0.50		
	Treatment	−0.05	−0.21	0.30	−0.10	0.14	−0.62*		
Effective panicle	CK	0.55*	0.28	0.53*	0.37	−0.52*	0.51*	0.32	
	Treatment	0.23	−0.26	0.06	0.02	−0.06	−0.33	0.42	
Volume weight	CK	0.11	−0.19	−0.27	−0.19	0.30	−0.25	−0.33	−0.32
	Treatment	0.33	0.05	0.22	0.05	0.09	−0.03	0.23	0.42
				Upland rice					
Estimated yield	CK	0.37							
	Treatment	0.42							
Plant height	CK	−0.07							
	Treatment	0.21							
Panicle length	CK	−0.40	0.82**						
	Treatment	0.06	0.72**						
Percent grain—filling	CK	−0.06	−0.37	−0.42					
	Treatment	−0.17	−0.18	0.08					
Panicle number	CK	0.33	−0.46*	−0.72**	0.41				
	Treatment	0.41	0.51	0.08	−0.05				
Spikelets / panicle	CK	−0.31	0.79**	0.94**	−0.49*	−0.60**			
	Treatment	0.18	0.67**	0.83**	0.16	0.08			
1000—grain weight	CK	0.41	−0.55**	−0.66**	0.08	0.14	−0.76**		
	Treatment	0.00	−0.32	−0.49*	−0.62**	−0.18	−0.70**		
Effective panicle	CK	0.49*	−0.53*	−0.70**	0.27	0.47*	−0.67**	0.69**	
	Treatment	0.05	0.11	−0.18	−0.09	0.43	−0.23	0.12	
Volume weight	CK	0.22	0.40	0.40	−0.46*	−0.57**	0.30	0.24	−0.02
	Treatment	−0.13	−0.04	0.45*	0.00	−0.59**	0.33	0.03	−0.39

*and** are significant at 5 % and 1 % levels, respectively.
CK:normal; Treatment:soil water deficit.

討　論

本試驗在實際田區中進行，乾旱處理區於補植後 10 天，原則上即不再灌水，直至田間土壤乾旱致使植株外觀略呈萎凋狀態時再行灌水，維持濕水狀態過夜後排水。試驗調查之數據非但可提供作爲土壤缺水對水稻稻穀產量及產量構成性狀影響的參考，亦適用於比較陸稻及水稻受田間土壤含水量短缺衝擊之差異。

由試驗結果顯示，臺灣地區兩期作栽培制度下，水田栽培狀態參試品種（系）之稻穀產量明顯高於乾旱處理區，而水稻品種之稻穀產量表現又較陸稻品種（系）佳。但當水分供應短缺時，所有參試品種（系）之株高均降低，株高降低的幅度以參試水稻品種較嚴重，陸稻品種（系）除 M1—48 降低較大外，其他品種（系）降幅不大。同時，稻穀產量亦減少，稻穀產量損失幅度亦以參試水稻品種較大，陸稻品種（系）因期作不同表現有別，在第一期作稻穀減少的幅度大，而第二期作減少幅度較小。雖然參試陸稻品種在水田栽培下之產量潛能不若參試水稻品種，但其受水分缺少的影響較參試水稻品種小，其中台農選 1、2 號及農林糯 4 號在兩期作處理間表現較穩定，顯示其對水分多寡之反應較鈍感。農林糯 4 號爲日本引進之糯稻品種，具有地上與地下部生長皆旺盛、稻桿粗壯及生育期短等特性；台農選 1、2 號爲本省選拔之早熟性品系，株型佳但穀粒都有芒。雖然水稻品種處理間之變動幅度大，但其中之台農 67 號在乾旱處理區中之表現爲參試品種（系）中最高，顯示台農 67 號對栽培水分逆境擁有較強之適應性。雖然參試的水稻品種皆以台農 67 號爲親本所選育出之推廣品種，然僅在第一作水田栽培下之表現較台農 67 號爲佳，在乾旱處理區及第二期作均遜於台農 67 號，此解釋爲何台農 67 號至今仍爲本省栽培面積最廣的水稻品種。本文據此建議在較佳之陸稻品種尚未選育出來之前，在可能面臨栽培時期遭受乾旱威脅的地區，栽種台農 67 號較可確保收益。

以產量構成四性狀之乘積來推估稻穀單位面積產量是長期以來被研究人員所引用的方式。在第一期作，以產量構成性狀之乘積對實測稻穀產量進行估算，就參試水稻品種而言不可行，但對陸稻品種（系）可行，而且不因處理不同而有變化。在第二期作，唯正常栽培區之水稻品種能以產量構成性狀對實測產量表現進行估算，陸稻品種（系）及乾旱處理區均不可行，顯示以產量構成性狀對產量進行估算風險性值得注意。乾旱處理明顯的降低參試水稻品種之穗數及一穗粒數及陸稻品種（系）之稔實率及穗數（表 4、5），謝[3]指出單位面積穗數主要於最高分蘗期前決定，穗粒數主要決定於最高分蘗期至抽穗前，稔實率及千粒重主要於抽穗後決定；雖然本試驗並未就進入生殖生長前與後進行處理，但就數據顯示，最高分蘗期前之乾旱衝擊對稻穀產量之影響，不論水稻或陸稻皆然，從營養生長進入生殖生長期以後，水、陸稻兩生態型對乾旱敏感時期可能有差異。因此，在第二期作，就不同栽培地區遭受暫時性乾旱時期之不同，應該有相對的因應策略；就栽種制度而言，若於栽種初期面臨乾旱威脅的地區，可採行直播方式，以播種密度彌補穗數減少的缺點，對於減少乾旱造成之損失當有助益。

稻穀容重是決定稻穀等級首要的品質項目，而等級是決定價格高低的依據。所有參試品種（系）之稻穀容重在相同處理下第二期高於第一期作（表 4、5），而在乾旱處理區中之稻穀容重皆高於正常栽培區，但千粒重並不呈此趨勢，顯示稻穀容重之增加並非完全由穀粒充實度增加所致，可能是穀粒形狀產生微細改變造成，眞正原因有待進一步探討。在第一期作，陸稻品種（系）之稻穀容重均不如水稻品種，而在第二期作，除農林糯 4 號外，陸稻品種（系）均勝於水稻品種 (系)，其中又以 M1—48 最受矚目。農林糯 4 號於前篇文章[2]曾將其歸於水稻型，然而其生育旺盛，根系繁茂而粗，耐旱力又遠超乎水稻品種，應將其改歸屬於陸稻型；本省訂定之稻穀等級之容重，相同等級粳型稻均比秈型稻高約 $10gL^{-1}$，而 M1—48 之穀粒長如臺中秈 10 號，在兩期作之稻穀容重均較參試水稻品種高，雖然其具有產量低、千粒重輕等缺點，但若以其爲育種材料將高容積重的特性導入粳型稻中，也許可大幅提高粳型稻之稻穀容重。

參試日本陸稻品種在本省第一期作水田栽培下，稻穀產量之表現比較於本省參試陸稻品種（系）爲佳，然而在乾旱處理下本省之陸稻品種則較日本品種之表現爲佳，日本品種中唯農林糯 4 號之表現尙佳。同時乾旱處理導致所有參試品種（系）之稻穀生產均大幅減少，而減產的幅度在日本陸稻高於本省之陸稻品系，顯示本省之陸稻對水分逆境的適應能力強於日本之陸稻品種。參試之日本陸稻皆取自國家作物種原庫，這些品種引種進入臺灣已一段相當的時間，在本地繁殖之世代數亦不少，但或因馴化程度不夠，或因在本地皆採行水田式之繁殖方式，導致其抗／耐能力減低，頗值得深入探討。在第二期作水田栽培下本省之陸稻品種（系）之稻穀產量反而優於日本陸稻，但在乾旱處理下稻穀產量及減少幅度兩者差異不明顯。

本省之稻作品種改良從日據時代即有系統而且有規模的進行，因此對日本稻種原的使用及收集不遺餘力，然而由本試驗之資料顯示若欲選育適合本省栽種，且具有良好之耐（抗）旱性的品種，利用本省現有之陸稻種原爲育種親本，不但會獲得良好成效，亦可縮短於育種年限。

引用文獻

1. 朱德民、李成章。1979。水稻抗旱性之研究—(1)水稻脯氨酸之累積及其遺傳性。科學發展月刊 7：167—179.
2. 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 44：379—390.
3. 謝順景。1978。臺灣一、二期作稻產量構成要素及其他性狀表現之差異。49—59 頁。謝順景、劉大江編，臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研究會專集。行政院國家委員會出版。
4. Biswas, A. K. and M. A. Choudhuri. 1984. Effect of water stress at different developmental stages of field-grown rice. Biol. Plant 26:263-266.
5. Chang, T. T., G. C. Loresto and O. Tagumpay. 1974. Screening rice germplasm for drought resistance. SABRAOJ. 6:9-16.
6. Chang, T. T., G. C. Loresto, J. C. O' Toole and J. L. Armenta-Soto. 1982.Strategy and methodology of breeding rice for drought prone areas.pp.217-244. In: Drought resistance in crops with emphasis on rice. IRRI,Los Banos, Philippines.
7. Cutler, J. M., K. W. Shahan and P. L. Steponkus. 1980b.Influence of water deficits and osmotic adjustment on leaf elongation in rice. Crop Sci. 20:314-318
8. Dabney, S. M. And B. J. Hoff. 1989. Influence of water management on growth and yield of no-till planted rice. Crop Sci. 29: 746-752.
9. Ekanayake, I. J., P. L. Steponkus and S. K. De Datta. 1990. Sensitivity of pollination to water deficits at anthesis in upland rice. Crop Sci. 30:310-315
10. Fukoshima, M. T., K. Hinta and S. Tsunoda. 1985. Varietal comparison on the responses of photosynthetic rate and leaf water balance at different soil moisture tensions in rice. Japan J. Breed. 35:109-117.
11. Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24:519-570.
12. International Rice Research Institute. 1975. Annual report for 1975.Los Banos, Philippines. 384pp.
13. Mambani, B. and R. Lal. 1983. Response of upland rice varieties to drought stress. I. Relation between root system development and leaf water potential. Plant and Soil 73:59-72.
14. Matsushima, S. 1962. Some experiments on soil water plant relationship in rice. Minist. Agric. Coop. Fed. Malay. Kuala Lumpur Bull.112:1-35.
15. McCauley, G. N., L. R. Hossner and D. M. Nesmith. 1985. Sprinkler irrigation as an energ and water saving approach to rice production and management of rice land pests. Rep. Tr-134. Texas Water Resources Inst.,College Station, TX, USA.
16. Passooura, J. B. 1982. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. pp. 71-82. In:Drought Resistance In Crops with Emphasis on Rice. IRRI, Los Banos, Philipines.
17. Singh, T. N., D. Aspinall and L. G. Paleg. 1973. Stress metabolism. I.Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress.Aust. J. Biol. Sci. 26:451-456.
18. Westcott, M. P. and K. W. Vines. 1986. Acomparison of sprinkler and flood irrigation for rice. Agron. J.78:637 — 640.
19. Yang, C.M. 1994. Response of rice yield in relation to solar radiation and air temperature under soil water deficits. Chinese J. Agromet. 1:27-34.
20. Yoshida, S. and E. De Los Reyes. 1976. Leaf cuticular resistance of rice varieties. Soil Sci. Plant Nutr. 22:95-98.

Production of Lowland and Upland Rice to Soil Water Deficits in Different Crops I. Differences in Growth and Yield[1]

Ming-Hsing Lai, Chwen-Ming Yang and Yih-Chuan Kuo[2]

Summary

Drought, or soil water deficit, is known to affect the growth and yield of crop production including rice. With a special two crops system and an unique climatic condition, however, no research has been conducted to compare differences in growth behavior between lowland and upland rice to limited soil moisture in two crops in Taiwan. This study was carried out to evaluate growth and yield variations within and between two crops among lowland and upland genotypes of rice, selected from Plant Genetic Resources Center of Taiwan, to soil water deficits occurring during the lifespan. It was shown that plant height and grain yield were decreased by water deficits, and generally lowland genotypes were more sensitive than the uplands. In upland rice the decrement was greater in the first than in the second crop, with genotypes Tainung sel.1, Tainung sel.2, and Nohrin Mochi 4 had better yield performance in both crops. In lowland rice Tainung 67 was the best choice planting in drought-prone area. Water deficits were found to affect panicle number and grain number per panicle in lowland rice, while panicle number and percent grain-filling were reduced in upland rice. Grain volume weight was higher in the second than in the first crop at the same treatment but was increased by soil water deficits. Results show that upland genotypes from Taiwan grew and yielded better than those from Japan under water deficits, indicating a superior adaptability to local environment and more suitable for breeding purposes.

Key words : Lowland rice, Upland rice, Soil water deficit, Crop season, Growth, Yield.

1. Contribution No.1937 from Agricultural Research Institute.
2. Respectively,Research Assistant, Agronomist and Senior Planter, Department of Agronomy, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.