中華農業（Jour. agric. Res. China）32(4)：312～324（1983）

玉米測交與全互交分析[1]

呂宗佳[2]

摘要：本試驗使用7個熱帶型抗露菌病玉米自交系，進行全互交，並各自爲母本與3個分別代表熱帶沿海平原硬粒種、美國溫帶馬齒種及古巴硬粒種的優良自交系檢定親進行測交，以分析自交系組合力，探討高產玉米雜種組合模式，並探討產量與8個農藝性狀間的關係，以供選育高產親本與雜種組合的參考。

測交檢定結果，母本與父本的產量及8個農藝性狀的一般組合力均有極顯著的差異；母本與父本的交感效應，則除株高、穗位高、葉面積及收穫時子粒含水率外，差異均不顯著。大多數的熱帶型自交系與美國溫帶型馬齒種自交系檢定親 Hi 26 的雜種組合獲有較高的產量，顯示溫熱帶兩型種源間存有良好的雜種優勢模式可資利用。

全互交分析結果顯示，雜種的產量及8個農藝性狀之一般組合力亦均有極顯著的差異；但特定組合力僅限於子粒產量及開花期兩性狀。一般組合力均大於特定組合力。抗露菌病自交系 Narino 330 及 SR 52M 在子粒產量及其他農藝性狀上均有很高的一般組合力效應，爲可用於選育高產雜種玉米的優良自交系。

全互交結果亦顯示硬粒種與馬齒種間雜交存有較大的雜種優勢，而馬齒種與馬齒種則以不同來源也可獲有良好的組合。

子粒產量及8個農藝性狀間均有極顯著的正相關，表示雜種的產量與中晚熟性、較大株型、及較大子粒等性狀有密切關係。雜種親本中最早熟的自交系 PH9 ，即因其株形較小，雜種產量亦最低。

本省近年來由於國民生活水準普遍提高，肉類消費增加，促進畜牧事業的蓬勃發展，對飼料玉米需求與日俱增，目前均仰賴大量進口，數量已年達二百六十萬噸，幾佔總消耗額的96%。因此，增產玉米以提高自給率，早爲農政部門所重視。尤以國內稻米消費量逐年降低，以致生產過剩，政府正全力設法將部分稻田轉作玉米，藉以增加玉米生產，同時紓解稻米生產過剩的壓力。

稻田轉作玉米，必需栽培高產品種，農民才有利可圖而樂於接受。爲儘速育成中晚熟高產品種以替代目前的早熟低產品種臺南五號及十一號等，則必需利用外來優良高產種源，選育高產單交品種。

本試驗的目的在於評估引進的7個抗露菌病熱帶型玉米自交系，在育種上的利用價值。分別以全互交分析法分析其本身的組合力；並以測交法，探討此等熱帶型種源與其他主要玉米種源間的最適雜種組合模式。7個抗露菌病自交系除進行全互交外，並與3個分別代表熱帶海岸平原硬粒種（Antiqua-2D）、美國溫帶馬齒種（Hi26）與古巴硬粒種（Hi29）自交系進行測交。試驗結果將供選育高產雜交玉米的參考。

舉世各國雜種玉米發展，均以美國玉米發展史爲借鏡，使用育種材料亦大都來自美國。美國主要玉米產地集中於玉米帶（Corn Belt）各州。玉米帶種源（U. S. Corn Belt Germplasm）係起源

1.臺灣省農業試驗所 研究報告第 1129 號。

2.本所農藝系副研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

於原美國北方硬粒種（Northern Flint）及南方馬齒種（Southern Dent）之混交選拔[18,21]。1930年代，美國最重要兩個玉米族羣的育成，奠定了此後美國雜種玉米發展的基礎材料。此兩族羣即一屬於硬粒種的 Lancaster Surecrop ，及一屬於馬齒種的 Iowa Stiff Stalk Synthetic （簡稱BSSS）。絕大多數美國優良雜交品種的親本均分別出自此兩族羣分離出來的自交系[11]。此二族羣的利用價值已歷經四十餘年而不衰，其所建立的馬齒種與硬粒種間的雜種優勢模式（Dent×Flint Heterosis Pattern）亦廣爲玉米育種家所遵循。

臺灣地處亞熱帶，日照、溫度及病蟲害等環境條件與美國玉米帶等溫帶地區有別，玉米育種工作無法直接以美國玉米帶的種源爲材料。溯自1940年至1950年間，玉米育種家經有系統的收集、分類及檢定，結果發現拉丁美洲玉米種源約有300個小種複合羣（Racial Complexes）[3,13]。其後經 Wellhausen[19,20] 與許多玉米育種家分別在墨西哥及中南美洲首次系統化檢定出適合於熱帶及亞熱帶地區生長的優異小種複合羣，計有四個，它們分別爲：(1) Tuxpeno, (2) Cuban Flint (CF), (3) Coastal Tropical Flint (CTF)，及(4) ETO 。其中以 Tuxpeno 爲馬齒種， CF 爲硬粒種， CTF 爲半硬粒種（Semiflint）。CF 及 CTF 兩者合稱爲加勒比海區硬粒種（Caribbean Flint）。ETO 爲加勒比海區馬齒種及硬粒種的混合羣。此四種複合羣均具有很强的抗病性、適應性及高產潛力，彼此間的雜交組合復具有最高的雜種優勢。因此，拉丁美洲各主要玉米生產國，自過去20年來，均廣泛利用此四種小種複合羣爲玉米育種的材料，並建立了所謂加勒比海區硬粒種與馬齒種間的雜種優勢模式（Dent×Flint Caribbean Heterosis Pattern）供玉米育種家參考。美國近年來，鑑於使用玉米帶溫帶型種源過於頻繁，使遺傳變異日漸狹窄，亦倡導引入上述熱帶型優良種源，以改良其溫帶型種源[5]。

本省過去玉米育種工作由於過度强調早熟性，亦造成使用種源的狹隘化，目前仍僅限於使用來自美國玉米帶的自交系及一些來自菲律賓的抗露菌病早熟系統。此等種源，在本省氣候環境下，由於早熟，無法表現優異的雜種優勢。故雖自1960年起已推廣雙雜交品種臺南五號，雜種玉米始終仍無法發揮高產的潛力。

玉米的高產潛力，除與種源間的雜種優勢有密切關係外，雜交種性狀與產量間的相關性亦可供選種的參考。有些育種家亦强調肉眼選拔（Visual Selection）的重要性[1,4,15,16]。有關玉米性狀與產量間的關係研究，詳見於 El-Lakany and Russell[7], Geadleman and Peterson[9] 及 Kuhn and Stucker[14] 等人的報告中。

材料與方法

本試驗使用材料，計有下列10個自交系，茲將其系譜、起源、種源羣屬、及對露菌病的抗性等，列如下表：

No.	Inbreds	Pedigree	Origin	Racial Complexes	Disease Reaction
1	CM 103	Peru 330-#-#329C	Peru/India	CF	DMR
2	Narino 330	Narino 330-#-#-6	Columbia/India	CF	DMR
3	Tuxpeno	Tuxpeno Gpo. 48-Var. 168-1	Mexico	Dent	DMR
4	PH 9	Tiniguib Flint	Philippines	CTF	DMR
5	MIT 11	MIT	Philippines	CTF	DMR
6	SR 52M	SC	Rhodesia	Dent	DMR
7	INV 138	Tropical Composite×Philippines DMR2	Texas A&M, USA	ETO	DMR

(To be continued)

8	Antiqua-2D	Antiqua	Caribbean	CTF	DMS
9	Hi 26	CI·21E	USA	US Dent	DMS
10	Hi 29	CM 111 (India), Cuba 342-2-2-#	Peru/India	CF	DMS

本研究計分兩部分，第一部分以 No. 1至7七個自交系進行全互交，不考慮其反交，計有21個不同的雜交組合；第二部分則將前述7個抗露菌病自交系，以3個分別代表熱帶沿海平原硬粒種（Antiqua-2D）、美國溫帶馬齒種（Hi26）、及古巴硬粒種（Hi29）的自交系檢定親進行測交，亦獲得21個測交組合，兩部分合計42個雜交組合。茲爲便於後裔產量與其他農藝性狀可相互比較起見，乃合併舉行試驗，而分爲兩部分分析其結果。1982年秋在農試所試驗田採逢機完全區集設計，單行區，行長6m，行株距 80×21 cm，二重複進行試驗。

生育期間調查各項農藝性狀，包括開花期、吐絲期、株高、穗位高、葉面積、收穫時子粒含水率、脫粒率及百粒重等。成熟收穫計算產量並換算15.5%含水率公頃子粒產量。各項農藝性狀的調查方法爲（1）開花期係指由播種起至小區中50%植株達雄穗始花所需的日數；（2）吐絲期爲由播種起至小區中50%植株雌穗開始吐絲所需的日數；（3）株高爲逢機選取5株由地面至雄穗主軸頂端的平均高度，以公分表示；（4）穗位高爲逢機選取5株由地面至最上位雌穗基部的平均高度，以 cm 表示；（5）葉面積指由逢機選取5株植株頂端下數第八葉片的長度與最寬度的乘積，再乘以0.75及9.39所獲的 cm^2 數值的平均數；（6）收穫時子粒含水率係指小區鮮重與日晒後乾重的重量差值佔鮮重的百分比；（7）脫粒率爲每小區逢機5果穗脫粒後粒重佔乾果穗重的百分比；（8）百粒重爲5果穗脫粒後逢機取百粒種子的重量，以g表示；（9）子粒產量爲小區29株子粒重量調整爲公頃6萬株的重量，需依據子粒含水率、脫粒率換算爲15.5%含水率的公頃子粒產量，以 kg/ha 表示。

試驗結果的分析則（1）全互交組合力分析採用 Griffing 氏[10]方法4（Method 4），模式1（Model 1）估算各項農藝性狀的一般與特定組合力效應。此外，並計算各項性狀間與各性狀與產量間的外表型相關係數；（2）測交部分應用一般變方分析法分析之。

結　果

一、測交分析：

試驗結果，各自交系測交種的九個性狀平均數列於表2，變方分析結果列於表1。7個 DMR 自交系的測交檢定結果，9項農藝性狀在21個雜交組合間均有極顯著的差異。進一步分析，在受檢親7個自交系間，不論那一個性狀，均顯示有極顯著的差異；檢定親（Testers）之間則除穗位高之外，亦均有顯著差異。此種差異可代表受檢親（Inbreds tested）與檢定親的一般組合力差異。受檢自交系與檢定親間的交感作用僅在株高、穗位高、面葉積及子粒含水率等4性狀具有差異，餘均無交感效應存在。此種交感效應乃代表受檢親與檢定親間的特定組合力。

依表2，7個受檢的 DMR 自交系子粒產量，順序以 Narino 330, CM105, Tuxpeno, SR52M 及 INV 138 等爲高，惟彼此間差異並不顯著。產量則以自交系 PH9 顯著低劣。檢定親中則以 Hi26 的產量，顯著地較 Antiqua-2D 及 Hi29 爲高。依據產量之高低，凡高產雜種均有開花期、吐絲期較遲，植株、穗位較高及葉面積較大，以及脫粒率與百粒重較大等的趨向。

21個測交種的9項農藝性狀各以其與平均值的差異表示如表3，以顯示其較平均值爲高或低之程度。來自菲律賓的早熟自交系 PH9 及 MIT 11 兩者的所有測交種（F_1），9項農藝性狀大都均較其他測交種之平均值爲低，成爲不能發揮高產潛能的原因。測交種中 Narino 330×Hi26, INV 138×Hi26, Tuxpeno×Hi26 及 SR52M×Hi26 等的各項農藝性狀較大，子粒產量亦高。他如 CM105

表1.二十一個測交種產量及農藝性狀變方分析所得均方值

Table 1. Mean squares from the analysis of variance for yield and agronomic characters of the 21 testcross hybrids

Source	df	Days to tasseling	Days to silking	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area per plant (cm^2)	Moisture (%)	Shelling rate (%)	100-kernel weight (g)	Grain yield (kg/ha)
Block	1	12.595*	34.381**	1,548.214**	172.024*	2,481,516**	82.320**	0.028	0.000	3,714,883
Hybrid	20	15.067**	36.823**	579.107**	194.695**	924,247**	58.740**	16.466**	30.095**	8,740,025*
Female	(6)	38.167**	85.913**	850.02**	430.429**	1,503,455**	135.953**	32.818**	72.873**	18,853,031**
Male	(2)	22.595**	74.738**	2,118.500**	93.595	2,193,756**	62.889**	20.695*	58.167**	17,259,324*
F×M	(12)	2.262	5.960	187.083**	93.679*	421,558*	19.441**	7.585	4.028	2,263,639
Error	20	2.495	3.381	53.264	29.824	169,947	3.443	5.805	6.300	3,211,203

*, ** significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

表2.測交分析所獲受檢親與檢定親產量及各項農藝性狀的平均值

Table 2. Means of yield and agronomic characters of the tested inbreds averaged over testers and the testers averaged over tested inbreds in testcross analysis

	Inbreds	Days to tasseling	Days to silking	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area per plant (cm^2)	Moisture (%)	Shelling rate (%)	100-kernel weight (g)	Grain yield (kg/ha)
Inbreds tested	CM105	60.3 cd	66.3 b	193.3 b	95.5 c	6,315 ab	33.1 a	80.2 bc	30.3 b	9,763 ab
	Narino 330	62.7 ab	69.2 a	194.7 b	98.7 bc	6,421 ab	30.1 b	81.1 b	28.2 b	10,076 a
	Tuxpeno	63.7 a	71.3 a	194.7 b	103.3 ab	5,696 c	32.5 a	78.3 bc	28.2 b	9,748 ab
	PH9	56.2 e	60.5 d	175.3 c	84.5 d	5,178 d	20.5 d	77.8 c	22.5 c	5,171 c
	MIT11	59.3 d	63.3 c	185.3 b	92.3 c	5,985 bc	24.5 c	77.9 c	28.5 b	7,391 b
	SR52M	62.3 ab	69.3 a	209.2 a	109.0 a	6,673 a	32.6 a	84.3 a	33.7 a	9,447 ab
	INV138	61.3 bc	65.3 bc	203.0 a	105.8 a	6,196 abc	28.6 b	80.7 bc	31.3 a b	8,320 ab
Testers	Antiqua-2D	62.2 a	69.1 a	180.6 c	95.6 b	6,368 a	31.2 a	78.7 b	26.6 b	7,730 b
	Hi26	59.7 b	65.2 b	204.2 a	99.2 ab	6,212 a	28.1 b	81.0 a	30.5 a	9,821 a
	Hi29	60.6 b	65.7 b	198.3 b	100.6 a	5,618 b	27.2 b	80.4 ab	29.7 a	8,127 b

Means in same column followed by same letter were not significantly different at the 0.05 probability level.

表3.二十一個測交種產量與農藝性狀以離均差表示之數值

Table 3. The mean yield and agronomic characters of the 21 testcross hybrids expressed as deviation from population mean*

Testers	Xi	Inbreds tested						
		CM 105	Narino 330	Tuxpeno	PH 9	MIT 11	SR52M	INV138
Antiqua-2D	X 1	2.2	2.2	4.2	− 1.8	− 0.8	3.2	1.2
	X 2	4.5	4.5	9.5	− 3.5	− 2.5	7.5	0.5
	X 3	− 16.4	− 19.4	− 16.4	− 36.4	− 2.4	− 8.4	4.6
	X 4	− 7.5	− 12.5	3.5	− 22.5	2.5	8.5	9.5
	X 5	257.0	1,240.0	363.0	−1,185.0	252.0	625.0	565.0
	X 6	10.4	1.2	8.3	− 4.6	− 4.3	3.0	3.2
	X 7	− 0.3	2.8	− 4.7	− 2.9	− 4.2	1.3	− 1.3
	X 8	− 1.0	− 3.0	− 4.0	− 9.0	− 2.0	3.0	0.0
	X 9	625.0	691.0	765.0	−4,879.0	−2,175.0	− 529.0	− 297.0
Hi26	X 1	− 2.8	1.2	2.2	− 6.8	− 2.8	0.2	1.2
	X 2	− 2.5	2.5	4.5	− 8.5	− 3.5	0.5	− 0.5
	X 3	7.6	20.6	9.6	− 10.4	− 11.4	26.6	27.6
	X 4	− 6.5	11.5	3.5	− 8.5	− 12.5	12.5	6.5
	X 5	92.0	394.0	− 485.0	− 296.0	− 119.0	822.0	618.0
	X 6	− 2.1	0.6	2.7	− 7.1	− 4.1	5.0	0.0
	X 7	0.3	2.1	0.4	− 1.1	0.2	3.9	1.2
	X 8	2.0	3.0	0.0	− 4.0	1.0	5.0	4.0
	X 9	1,415.0	2,826.0	2,218.0	−1,879.0	− 357.0	1,939.0	2,673.0
Hi29	X 1	− 0.8	2.2	2.2	− 4.8	− 0.8	1.2	− 0.8
	X 2	− 1.5	2.5	1.5	− 5.5	− 3.5	1.5	− 2.5
	X 3	6.6	− 0.4	8.6	− 9.4	− 12.4	26.6	9.6
	X 4	5.5	1.5	8.5	− 10.5	− 7.5	11.5	6.5
	X 5	399.0	− 569.0	− 987.0	−1,184.0	− 376.0	376.0	− 793.0
	X 6	4.6	2.3	0.2	− 13.3	− 4.4	3.3	− 3.7
	X 7	0.7	− 1.7	− 0.8	− 2.8	− 2.4	2.9	2.2
	X 8	3.0	− 2.0	2.0	− 6.0	0.0	6.0	3.0
	X 9	1,574.0	1,033.0	584.0	−3,405.0	− 970.0	1,255.0	1,436.0

* $\bar{X}1$ (Days to tasseling) =60.8 days
$\bar{X}2$ (Days to silking) =66.5 days
$\bar{X}3$ (Plant height) =194.4 cm
$\bar{X}4$ (Ear height) =98.5 cm
$\bar{X}5$ (Leaf area/plant) =6,066 cm^2
$\bar{X}6$ (Moisture) =23.8%
$\bar{X}7$ (Shelling rate) =80%
$\bar{X}8$ (100-kernel weight) =29g
$\bar{X}9$ (Grain yield) =8,559 kg/ha

×Hi26, CM105×Hi29 及 SR52M×Hi29 等則具有較大的葉面積及百粒重； INV138×Hi29 則具有較大的植株，亦均有高產的潛力。就受檢的7個 DMR 自交系而言，以與檢定親 Hi26 的雜交組合產量爲高，顯示 Hi26 具有較佳的一般組合力。就7個自交系比較則以 Narino 330, CM105, Tuxpeno 及 SR52M 較佳。

二、全互交分析：

7個 DMR 自交系的全互交分析結果，示如表 4。9項農藝性狀在21個全互交 F_1 雜種間均有極顯著的差異；而一般組合力（GCA）亦均有極顯著的差異；特定組合力（SCA）則僅在開花期及子粒產量兩性狀有極顯著的差異。 GCA 均方與 SCA 均方的比值，分別爲開花期 3.22，吐絲期11.44，株高31.22，穗位高35.93，葉面積11.45，子粒含水率15.90，脫粒率 7.79，百粒重3.77及子粒產量8.53，顯示一般組合力均方成分遠較特定組合力均方成分爲大，亦即各項農藝性狀的累加性遺傳變方遠較非累加性變方爲大。故本試驗所用的各自交系之優劣，可以其一般組合力評估之。

表4.二十一個全互交雜種產量及農藝性狀變方分析所得均方值

Table 4. Mean squares from the analysis of variance for yield and agronomic characters of 21 diallel-cross hybrids

Source	df	Days to tasseling	Days to silking	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area per plant (cm^2)	Moisture (%)	Shelling rate (%)	100-kernel weight (g)	Grain yield (kg/ha)
Block	1	6.10	50.38**	337.17	4.67	422,403.43	18.40	20.51*	8.60	1,177,022.88
Hybrid	20	10.52**	18.75**	541.41**	386.49**	1,830,231.00**	68.92**	9.96*	24.13**	9,301,100.50**
GCA	(6)	20.32**	51.92**	1,679.19**	1,209.72*	5,020,571.30**	200.32**	25.55**	49.68**	24341,716.56**
SCA	(14)	6.32**	4.54	53.79	*33.67	450,085.24	12.60	3.28	13.18	2,855,122.00
GCA/SCA		3.22	11.44	31.22	35.93	11.15	15.90	7.79	3.77	8.53

*, ** Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

21個全互交F_1雜種的9項農藝性狀，各以其與平均值的差異表示如表5。正值表示高於平均值而負值則反是。子粒產量以 Narino 330×INV 138 爲最高，屬於 CF×ETO 之組合 ， 其餘依次爲 Narino 330×SR52M （屬CF×Dent), Narino 330×MIT11 （屬CF×CTF), Tuxpeno×SR52M（屬Tropical Dent×Tropical Dent), MIT 11×SR52M（屬CTF×Tropical Dent), CM 105×Narino 330（屬CF×CF）及 CM 105×MIT 11（屬CF×CTF）等。而菲律賓 CTF 種源的早熟種自交系 PH9 的產量及各項農藝性狀均較平均值爲低。

各自交系的產量潛力，參考表6所示一般組合力效應，顯示 PH9 各項農藝性狀的一般組合力效應均呈負值，其雜種產量潛力最低；次爲 Tuxpeno ，可能係由於葉面積及脫粒率以及百粒重均爲負值所影響； INV 138亦可能係由於葉面積及百粒重呈負值而減低其產量潛力。 CM 105 及 MIT11 兩者的雜種產量潛力亦不高，可能導因於多項農藝性狀一般組合力效應均呈負值。 F_1 雜種具有高產潛力的自交系 Narino 330 及 SR52M 兩者各項農藝性狀的一般組合力效應均呈正值，兩者比較，以 Narino 330 的成熟較早而植株較低，爲較理想之親本。

表5.二十一個全互交雜種產量及農藝性狀以離均差表示之數值

Table 5. The mean yield and agronomic characters of the 21 diallel-cross hybrids expressed as deviation from population mean*.

Inbreds	Xi	Inbreds					
		Narino 330	Tuxpeno	PH 9	MIT 11	SR 52M	INV 138
CM 105	X 1	0.8	2.8	— 4.2	— 0.2	1.8	— 2.2
	X 2	0.1	2.6	— 4.9	— 1.4	4.1	— 1.9
	X 3	— 13.6	— 6.6	— 41.6	— 0.6	— 1.1	2.4
	X 4	— 5.1	— 2.6	— 37.6	— 3.6	— 2.6	— 2.1
	X 5	325.0	— 554.0	—1,150.0	459.0	1,227.0	— 560.0
	X 6	7.7	7.5	— 11.2	— 1.9	4.5	4.4
	X 7	1.6	— 2.1	— 1.0	— 2.1	1.3	0.1
	X 8	2.6	— 1.4	— 2.9	2.6	— 2.4	0.6
	X 9	1,714.0	—1,062.0	—2,589.0	1,726.0	964.0	— 471.0
Narino 330	X 1		1.8	— 5.2	1.8	0.8	2.8
	X 2		2.6	— 3.9	— 1.9	2.6	0.1
	X 3		7.9	— 14.1	0.9	21.9	9.9
	X 4		11.4	— 10.6	6.4	14.4	11.9
	X 5		— 295.0	— 811.0	87.0	2,306.0	1,230.0
	X 6		5.3	— 4.2	— 3.3	5.7	0.7
	X 7		— 1.0	— 1.0	— 1.7	2.9	— 0.3
	X 8		— 0.9	— 4.9	0.6	4.6	0.6
	X 9		855.0	—2,594.0	2,134.0	2,805.0	3,581.0
Tuxpeno	X 1			0.8	0.8	0.8	— 0.2
	X 2			1.1	1.1	2.6	3.6
	X 3			— 22.6	4.4	22.9	16.9
	X 4			— 19.1	3.9	15.4	18.9
	X 5			—1,412.0	— 821.0	241.0	— 956.0
	X 6			— 3.8	3.4	5.0	4.2
	X 7			0.3	— 4.1	1.3	0.7
	X 8			— 3.4	— 0.4	5.6	— 2.4
	X 9			—2,475.0	— 885.0	2,061.0	—1,427.0
PH 9	X 1				— 4.2	0.8	— 2.2
	X 2				— 5.9	2.1	— 4.9
	X 3				— 15.6	— 4.6	— 12.1
	X 4				— 16.1	— 6.6	— 9.1
	X 5				—1,228.0	1,116.0	— 756.0
	X 6				— 7.7	— 7.9	— 10.6
	X 7				— 4.4	3.0	0.0
	X 8				— 6.4	4.6	— 4.4
	X 9				—4,603.0	252.0	—2,572.0
MIT 11	X 1					0.8	— 0.2
	X 2					— 0.4	— 1.9
	X 3					17.9	5.9
	X 4					13.9	5.4
	X 5					733.0	— 223.0
	X 6					— 1.4	— 1.2
	X 7					2.9	0.3
	X 8					3.6	— 0.4
	X 9					2,015.0	253.0

(To be continued)

SR52M	X 1	1.8
	X 2	3.6
	X 3	22.4
	X 4	13.4
	X 5	541.0
	X 6	3.8
	X 7	4.1
	X 8	4.6
	X 9	319.0

*$\bar{X}1$ (Days to tasseling) =62.2 days $\bar{X}2$ (Days to silking) =67.9 days $\bar{X}3$ (Plant height) =187.6cm
$\bar{X}4$ (Ear height) =96.1 cm $\bar{X}5$ (Leaf area/plant) =5,400 cm² $\bar{X}6$ (Moisture) =28.1%
$\bar{X}7$ (Shelling rate) =81% $\bar{X}8$ (100-kernel wt.) =30.4g $\bar{X}9$ (Grain yield) =8,683 kg/ha

表6.七個自交系全互交分析所獲產量及農藝性狀之一般組合力效應

Table 6. The GCA effects for yield and agronomic characters of the inbreds in diallel-cross analysis

Inbreds	Days to tasseling	Days to silking	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area per plant (cm²)	Moisture (%)	Shelling rate (%)	100-kernel weight (g)	Grain yield (kg/ha)
CM 105	— 0.23	— 0.23	— 12.27	— 10.71	— 50.56	2.26	— 0.49	— 0.19	56.33
Narino 330	0.57	— 0.03	2.53	5.69	568.44	2.43	0.06	0.51	1,699.03
Tuxpeno	1.37	2.77	4.53	5.59	— 759.26	4.34	— 1.02	— 0.59	— 586.47
PH 9	— 2.83	— 3.23	— 22.17	— 19.81	— 748.06	— 8.99	— 0.67	— 3.49	— 2,916.97
MIT 11	— 0.23	— 2.03	2.53	1.99	— 98.56	— 2.34	— 1.86	— 0.09	127.83
SR52M	1.37	2.97	15.83	9.59	1,232.84	1.99	3.04	4.11	1,683.23
INV138	— 0.03	— 0.23	9.03	7.69	— 144.86	0.30	0.95	— 0.29	— 62.97
S.E. $(\hat{g}_i-\hat{g}_j)$	0.78	1.11	6.68	6.13	312.75	1.72	1.17	1.68	238.96

就各雜交組合個別估計之特定組合力效應（表7）觀之，許多組合有極明顯的優異表現。開花期以 CM 105×Tuxpeno, Narino 330 ×INV 138, Tuxpeno×PH9 及 PH9×SR52M 等組合都有延遲的趨勢，而CM 105×IVN 138, Narino 330×PH9 及 Tuxpeno×SR52M 等則均有趨早的特性。吐絲期亦有 PH9×SR52M 延緩而 Tuxpeno×SR52M 趨早的特性。株高及穗位高之特定組合力效應無特殊之例 ； 而葉面積則以 Narino330×INV138 及 PH9×SR52M 有趨大的特性，反之 Narino 330×PH9 有變小的特性。收穫時子粒含水率有 CM 105×PH9 及 Narino 330×MIT 11 降低而 PH9×MIT 11 升高的特性。脫粒率的特定組合力效應則無特殊優異的組合。百粒重以 PH9×SR52M 變大而 CM 105 ×SR52M 有變小的特性。子粒產量的特定組合力效應，以 Narino 330×INV 138, CM 105×MIT 11, PH9×SR52M, Tuxpeno ×PH9 及 Tuxpeno×SR52M 有增產的特性，而 CM 105×Tuxpeno, CM 105×SR52M, Narino 330×PH9, Narino 330×SR52M, Tuxpeno×INV 138, PH9×MIT 11 及 SR52M×INV 138 ，則均有降低的特性。

表7.二十一個全互交雜種產量及農藝性狀的特定組合力效應

Table 7. The SCA effects for yield and agronomic characters of 21 diallel-cross hybrids

Inbreds	Xi	Inbreds					
		Narino 330	Tuxpeno	PH 9	MIT 11	SR52M	INV 138
CM 105	X 1	0.47	1.67	− 1.13	0.27	0.67	− 1.93
	X 2	0.40	0.10	− 1.40	0.90	1.40	− 1.40
	X 3	− 3.90	1.10	− 7.20	9.10	− 4.70	5.60
	X 4	− 0.07	2.53	− 7.07	5.13	− 1.47	0.93
	X 5	− 193.10	256.10	− 351.10	608.40	45.00	− 364.80
	X 6	3.05	0.94	− 4.33	− 1.78	0.29	1.88
	X 7	1.96	− 0.59	0.13	0.18	− 1.29	− 0.37
	X 8	2.27	− 0.63	0.77	2.87	− 6.33	1.07
	X 9	− 41.10	− 531.60	271.40	1,542.10	− 775.80	− 464.60
Narino 330	X 1		− 0.13	− 2.93	1.47	− 1.13	2.90
	X 2		− 0.10	− 0.60	0.20	− 0.30	0.40
	X 3		0.80	5.50	− 4.20	3.50	− 1.70
	X 4		0.13	3.53	− 1.27	− 0.87	− 1.47
	X 5		− 104.40	− 631.10	− 382.60	503.00	807.20
	X 6		− 1.48	2.45	− 3.35	1.32	− 1.99
	X 7		− 0.07	− 0.44	0.11	− 0.24	− 1.30
	X 8		− 0.83	− 1.93	0.17	− 0.03	0.37
	X 9		− 257.30	− 1,376.30	307.40	− 577.50	1,945.20
Tuxpeno	X 1			2.27	− 0.33	− 1.93	− 1.53
	X 2			1.60	0.40	− 3.19	1.10
	X 3			− 5.00	− 2.70	2.50	3.30
	X 4			− 4.87	− 3.67	0.23	5.63
	X 5			95.60	37.10	− 232.30	− 52.10
	X 6			0.89	1.44	− 1.34	− 0.45
	X 7			1.97	− 1.24	− 0.76	0.71
	X 8			0.67	0.27	2.06	− 1.53
	X 9			1,028.70	− 426.60	964.50	− 777.30
PH 9	X 1				− 1.13	2.27	0.67
	X 2				− 0.60	2.40	− 1.40
	X 3				4.00	1.70	1.00
	X 4				1.73	3.63	3.03
	X 5				118.40	631.00	137.20
	X 6				3.72	− 0.81	− 1.87
	X 7				− 1.93	0.58	− 0.30
	X 8				− 2.83	3.97	− 0.63
	X 9				− 1,817.10	1,486.00	407.70
MIT 11	X 1					− 0.33	0.07
	X 2					− 1.30	0.40
	X 3					− 0.50	− 5.70
	X 4					2.33	− 4.27
	X 5					− 401.50	20.20
	X 6					− 0.96	0.93
	X 7					1.67	1.22
	X 8					− 0.43	− 0.03
	X 9					204.20	190.40
SR52M	X 1						0.47
	X 2						0.90
	X 3						− 2.50
	X 4						− 3.87
	X 5						− 546.70
	X 6						1.50
	X 7						0.05
	X 8						0.77
	X 9						− 1,301.00

(To be continued)

$S.E.(\hat{S}_{ij}-\hat{S}_{ik})$	X 1	X 2	X 3	X 4	X 5	X 6	X 7	X 8	X 9	Limitations
	1.55	2.22	13.35	12.26	625.49	3.44	2.35	3.36	477.92	$i \neq j,\ k\ ;\ j \neq k$

X1=Days to tasseling X2=Days to silking X3=Plant height X4=Ear height X5=$\frac{\text{Leaf area}}{\text{per plant}}$
X6=Moisture % X7=Shelling rate X8=100-kernel weight X9=Grain yield (kg/ha)

依上述全互交組合力分析結果，以自交系 Narino 330 及 SR52M 爲具有最高之一般組合力效應；而雜交組合 Narino 330×INV 138 則具有子粒產量高而正值的特定組合力效應，爲本試驗中極佳高產親本及組合。

三、農藝性狀間的相關係數

測交與全互交兩組分析所獲各項農藝性狀間的相關係數均爲正值，詳如表 8 。子粒產量與開花期，吐絲期、株高、穗位高、葉面積、收穫時子粒含水率、脫粒率及百粒重等性狀間均有顯著的正相關。其中以株高、穗位高、葉面積、收穫時子粒含水率及百粒重 5 項性狀在兩組分析中與子粒產量均有極顯著的正相關。

除各性狀與產量間的相關外，8 個農藝性狀彼此間相關係數在測交與全互交兩組分析中，均達極顯著水準的尙有開花期對吐絲期及收穫時子粒含水率；及吐絲期對子粒含水率等，顯示較晚開花及吐絲者，子粒成熟期也較遲，因收穫時子粒含水率可表示其成熟之早遲[17]。此外有株高對穗位高及百粒重；及穗位高對百粒重，顯示植株高大者，往往有較重的子粒。脫粒率及百粒重也有極顯著的正相關，表示子粒重者脫粒率亦高。

表8. 測交及全互交雜種子粒產量及各項農藝性狀間的相關係數

Table 8. Correlation coefficients among grain yield and agronomic characters of the test- and diallel-cross hybrids

Character	Cross	Days to tasseling	Days to silking	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Leaf area per plant (cm^2)	Moisture (%)	Shelling rate (%)	100-kernel weight (g)
Days to silking	Test	.926**							
	Diallel	.765**							
Plant height	Test	.190	.033						
	Diallel	.417**	.375*						
Ear height	Test	.523*	.395	.811**					
	Diallel	.497**	.461**	.938**					
Leaf area per plant	Test	.422	.446*	.286	.372				
	Diallel	.419**	.334*	.529**	.489**				
Moisture	Test	.796**	.789**	.202	.469*	.576**			
	Diallel	.609**	.686**	.472**	.521**	.251			

(To be continued)

Shelling rate	Test	.171	.133	.623**	.423	.417	.271		
	Diallel	.264	.312*	.285	.201	.360*	.130		
100-kernel weight	Test	.312	.181	.834**	.752**	.450*	.380	.732**	
	Diallel	.407**	.327*	.540**	.475**	.544**	.300	.503**	
Grain yield (kg/ha)	Test	.541*	.500*	.639**	.564**	.592**	.648**	.454*	.637**
	Diallel	.619**	.391*	.598**	.612**	.741**	.429**	.404**	.718**

*, ** significant at the .05 and .01 probability levels, respectively.

討 論

本試驗使用10個玉米自交系，均爲外來優良種源 (Exotic germplasm) ，其中以 CM 105, Narino 330, Tuxpeno, PH9, MIT 11, SR52M 及 INV 138 等7個爲屬於熱帶型的 DMR (抗露菌病) 自交系；檢定親 Antiqua-2D, Hi26 及 Hi29 等3個爲 DMS (感露菌病) 自交系，但分別代表熱帶沿海平原硬粒種、美國溫帶馬齒種及古巴硬粒種等高產玉米種源。以3個檢定親測交檢定7個 DMR 自交系，爲求證熱帶及溫帶不同型種源間的特有雜種優勢模式 (Heterosis pattern) ；7個 DMR 自交系進行全互交組合力分析，則用於探討自交系本身的優劣。由於 DMR 有顯性[6]及部分顯性的因子作用[2]，故無論測交或全互交分析，所獲的高產雜種組合，均具有抗病性，有實際利用的價值。

本試驗結果顯示，所用的7個抗露菌病自交系，及3個代表不同型的檢定親自交系，分別以測交及全互交加以分析，雖然所用方法不同，但均顯示一般組合力較爲重要，與 Gardner[8] 的結論相同，即在不同種源間，GCA 均較 SCA 爲大。

在測交分析中，7個自交系產量的一般組合力（表2），以Narino 330, CM 105 與 Tuxpeno 較佳；SR52 M 與 INV 138 亦有良好表現，不過與 Antiqua-2D 的交配組合成績稍差（表3）；惟5個自交系彼此間的差異均不顯著。但在全互交分析中（表6），則自交系一般組合力效應的差異即顯著地分出，以 Narino 330 及 SR52M 爲最佳，CM 105 及 MIT 11 次之，其餘依次爲 INV 138, Tuxpeno 及 PH9 。故自交系產量一般組合力的檢定，在本試驗中，仍以全互交法的檢定效果較測交法爲優。一般而言，兩者的結果仍頗符合，其中尤以 Narino 330 與 SR52M 兩自交系的表現爲優異，可用作高產親本（自交系），生產高產單交之用。由此一結果顯示，並非一定由硬粒種與馬齒種什交，始能獲得高產單交種；即使同一類型的玉米，如果來源不同也可能獲得高產單交，如SR52M×Tuxpeno 是。

在測交中所用的三個檢定親，則 Hi26 與7個受檢親自交系的單交，其產量均極優異，具有高產潛力。顯示此一溫帶型馬齒種與熱帶型各種源間，不論硬粒種或馬齒種，均能產生極高的雜種優勢，與 Wellhausen[19,20] 的結果相符。本省將來對選育高產玉米，似應遵循此一方向。

產量與農藝性狀間的關係，不論測交或全互交的結果，均顯示高產與晚熟，即開花與吐絲期較晚，較高的植株及穗位，較大葉面積，以及百粒重及脫粒率等間有密切關係。Hanway[12] 曾指出玉米植株乾物重，因土壤肥力影響而增加時，各部位器官均以相同比例增加，因此欲獲高產玉米品種，必需考慮植株高度，葉面積、子粒重，而這些性狀復受成熟期早晚影響。Troyer 與 Hallauer[17] 曾表示，早熟而株型小者，都有低產趨向，故本省選育高產玉米時，祇要在不影響耕作制度的情況下，宜在農藝性狀方面，考慮較晚熟，植株較高，葉面積及子粒較大等特性。

Literature cited

1. Bauman, L. F. 1977. Improvement of established maize inbreds. Maydica 22 : 213-222.
2. Bockholt, A. J., R. A. Frederiksen 1972. Breeding corn for resistance to sorghum downy mildew (*Sclerospora Sorghi*, Kulk, Weston and Uppal). Agron. Abstr. 64 : 3.
3. Brown, W. L. 1960. Races of maize in the west Indies. Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Coun., No. 792.
4. Brown, W. L. 1967. Results of nonselective inbreeding in maize. Der Zuchter Genetics and Breeding Research 37 : 155-159.
5. Brown, W. L. 1975. Broader germplasm base in corn and sorghum. Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf. 30 : 81-89.
6. Chang, S. C., C. P. cheng 1968. Inheritance of resistance to *Sclerospora sacchari* Miyake in corn. Proc. Inter-Asian Corn Improvement Workshop 5 : 105-109.
7. El-Lakany, M. A., W. A. Russell 1971. Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. Crop Sci. 11 : 698-701.
8. Gardner, C. O. 1963. Estimates of genetic parameters in cross-fertilizing plants and their implications in plant breeding. US. NRC-NAS Pub. 982.
9. Geadelmann, J. L., R. H. Peterson 1976. Effects of yield components selection on the general combining ability of maize inbred lines. Crop Sci. 16 : 807-811.
10. Griffing, B. 1956, Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Australian Jour. Biol. Sci. 9 : 463-493.
11. Hallauer, A. R., D. Malithano 1976. Evaluation of maize varieties for their potential as breeding populations. Euphytica 25 : 117-127 ·
12. Hanway, J. J. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility. : I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. Agron. J. 54 : 145-148.
13. Hatheway, W. H. 1957. Races of maize in Cuba. Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Coun., No. 453.
14. Kuhn, W. E., R. E. Stucker 1976. Effect of increasing morphological yield component expression on corn single cross yields. Crop Sci. 16 : 270-274.
15. Osler, R. D., E. J. Wellhausen, G. Palacios 1958. Effect of visual selection during inbreeding upon combining ability in corn. Agron. J. 50 : 45-48.
16. Russell, W. A., A. H. Teich 1967. Selection in *Zea meys* L. by inbred line appearance and test cross performance in low and high plant densities. Iowa Agr. Home Econ. Exp. Sta. Res. Bull. 522 : 28p.
17. Troyer, A. F., A. R. Hallauer 1968. Analysis of a diallel set of early flint varieties of maize. Crop Sci. 8 : 581—584.
18. Wellhausen, E. J., L. M. Roberts, X. E. Hernandez, in collaboration with P. C. Mangelsdorf. 1952. Races of maize in Mexico. Cambridge, Mass. : The Bussey Institution, Harvard Univ. pp. 1-223.
19. Wellhausen, E. J. 1965. Exotic germplasm for improvement of Corn Belt maize. Proc, 20th Annu. Hybrid Corn Ind., Res. Conf., pp. 31-45.
20. Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. In Maize Breeding and Genetics, D. B. Walden, ed., pp. 59-84. Wiley, New York.
21. Zuber, M. S. 1975. Corn germplasm base in the United States : Is it narrowing, widening, or static ? Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf. 30 : 277-286.

Analysis of Testcross and Diallel Sets of DMR Maize Inbreds [1]

Tzong-chia Lee[2]

Summary

Seven DMR maize inbreds were analyzed in a diallel set, and also crossed as maternal parents to three elite inbred testers to estimate combining ability, heterosis pattern, and the correlation among yield and eight other traits for rapid use of high yield exotic germplasm.

Testrcoss analysis indicated that general combining ability was highly significant for yield and eight other traits in maternal and in paternal groups. Maternal × Paternal interaction was nonsignificant except for plant and ear heights, leaf area and grain moisture content at harvest. Most of the DMR inbreds tested had the best yielding in hybrid combinations with tester Hi26, representing a heterosis pattern of Tropical × Temperate germplasms.

Diallel-cross analysis indicated that general combining ability was also highly significant for yield and eight other traits among 7 inbreds, but specific combining ability was only for yield and days to tasseling. GCA was more significant than SCA in these diverse germplasms. DMR inbreds Narino 330 and SR52M had significantly high GCA effects in yield and other traits, and were the best inbreds for rapid development of high yielding hybrids.

Correlation coefficients among yield and eight other traits were all positive and highly significant, indicating that high yielding hybrids were always associated with medium to late maturity, taller plants, and greater kernel-sink capacity. The early maturing inbred PH9 was found to be the lowest in plant height and also in average grain yield performance.

1. Contribution No. 1129 from the Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, 431, R. O. C.