

硬質玉米新種原雜種優勢模式之研究

謝光照^{1,*} 陳裕儒²

摘要

謝光照、陳裕儒。2017。硬質玉米新種原雜種優勢模式之研究。台灣農業研究 66(1):15–25。

新種原雜種優勢模式群之評估試驗中，檢測的 2 個品種 'GX1F' 與 'GX1M' 分別與 9 個自交系檢定親雜交生產 18 個測交種，其籽粒產量的表現從 7,134–9,672 kg ha⁻¹，其中 Hi31 × GX1F、Hi31 × GX1M、888M × GX1F、888M × GX1M 及 UH13 × GX1F 5 個雜交組合為籽粒產量表現最優的雜種優勢模式組合，自交系檢定親 Hi31 及 888M 的一般與特定組合力優於其他自交系。試驗結果亦顯示，Hi31 與 'GX1M' 品種存在最高籽粒產量之雜種優勢群，乃培育 'GX1M' 品種的 S₅ 自交系，然後再使用 Hi31 作為檢定親，生產 25 個雜交種，並進行組合力評估及新品系比較試驗。25 個雜交種組合力的評估結果，顯示所有新雜交組合其產量的表現皆明顯高於對照種「台農 1 號」，最高產的 5 個新雜交組合籽粒乾重表現在 7.7–9.5 kg 9.6 m² 之間，其籽粒乾重較「台農 1 號」增產率介於 75–115%，其開花期及吐絲期與對照種「台農 1 號」相近，屬中早熟品種群，從播種至採收約 125–130 d，適合於秋作雲嘉南地區輪作之耕作制度所需。同時其脫粒率、穗徑、百粒重皆比對照種「台農 1 號」高。實際的田間驗證顯示，Hi31 與 'GX1M' 品種的分離自交系間存在籽粒產量之雜種優勢群。

關鍵詞：硬質玉米、熱帶型、溫帶型、雜種優勢。

前言

在不同種原間之雜種優勢模式中，如美國硬粒種 Lancaster Surecrop，與馬齒種的 Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS) 分離出來的自交系及其雜交組合具有最高之雜種優勢，為馬齒種與硬粒種間之雜種優勢模式 (Hallauer & Malithano 1976)。在墨西哥及中南美洲也發現適合熱帶及亞熱帶地區栽培的 4 個優良小種複合群，純熱帶型馬齒種的 Tuxpeno，純熱帶型硬粒種的 Cuban flint (CF)、半硬粒種的 Coastal tropical flint (CTF) 及混合種的 ETO；Tuxpeno 與其他 3 個複合群間之雜交組合表現極高之雜種優勢，建立了加勒比海硬粒種與馬齒種間的雜種優勢模式 (Wellhausen 1978)。

Kim & Ajala (1996a, 1996b) 亦以外來種

原與西非之玉米種原進行雜種優勢類群間之探討，希望能獲得適合當地之雜種優勢模式，以改良西非地區之玉米，結果顯示外來種原與西非地區種原間在產量有雜種優勢模式群存在。中國大陸玉米栽培品種之種質以溫帶型玉米為主要育種來源，遺傳基礎愈益窄化，在產量及抗病育種上遭遇瓶頸。近年來引進熱帶型與亞熱帶型種原，利用其豐富的遺傳變異性和特殊的抗逆境、抗病蟲害，加上熱帶型與溫帶型地理隔離長年交流少，且遺傳差異大等因素來擴大溫帶型玉米種質之遺傳基礎、適應性和增加抗病性，因此獲得更強之雜種優勢組合，具有明顯的溫帶型與熱帶型異型間雜種優勢模式 (Hu *et al.* 1999; Cheng *et al.* 2000; Li *et al.* 2001)。應用簡單重複 DNA 分子標誌 (simple sequence repeat; SSR) 可估算玉米族

投稿日期：2016 年 1 月 26 日；接受日期：2016 年 5 月 4 日。

* 通訊作者：x486045@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所作物組研究員。台灣 台中市。

² 農委會農業試驗所作物組助理研究員。台灣 台中市。

群間的遺傳距離 (modified Roger's distance) 與有效的進行雜種優勢群的分群 (Reif *et al.* 2003)，而利用外表性狀的歐氏距離 (Euclidean distance)，以非加權成對分析法 (unweighted pair-group method with arithmetic mean; UP-GMA) 進行集群分析 (cluster analysis) 也可將超甜玉米熱帶型與溫帶型的品種劃分 2 個不同的類群。大部分不同型間的雜交種其鮮果產量較優於同型間 (Liu & Shieh 2012)，可作為玉米產量雜交育種上雜種優勢模式群選擇之參考。

以馬齒種及硬粒種自交系進行雜種優勢及組合力之全互交分析，結果顯示硬粒種在籽粒產量、葉面積、營養生長量及株型大小等有較佳的一般組合力效應；而馬齒種呈現早熟、株型小及營養生長量較小，具有較佳之特定組合力效應 (Lee *et al.* 1986)。台灣飼料及青割玉米在不同粒型組合之籽粒產量及農藝性狀之表現，也發現異粒型間的組合 (馬齒種 × 硬粒種) 兼具有馬齒種與硬粒種的優點，如營養生長旺盛，葉片、株高及稈莖均大等特性 (Shieh & Thseng 1993)。本研究目的在於尋找適合台灣中南部玉米產區秋裡作栽培的中早熟 (從播種至採收期約 125–130 d) 玉米品種之新雜種優勢群，以 4 個溫帶型自交系及 5 個熱帶型自交系與中國大陸廣西省之種原探討是否存在優良的雜種優勢模式。

材料與方法

新引入品種種原雜種優勢模式群之評估試驗

所使用之材料溫帶型自交系 Hi31 (美國夏威夷大學，馬齒種)、TA1410 (美國夏威夷大學，77-4441，馬齒種)、UH 13 (美國夏威夷大學，77-4544，馬齒種)、Ind M (印度，馬齒種) 及熱帶型自交系 ICAL210 (哥倫比亞，硬粒種)、SW646 (泰國 Kasetsart 大學，抗露菌病種原 Suwan-1 DMR，硬粒種)、Ind F (印度，硬粒種)、TA2598 (印度，CM105，硬粒種)、888M (泰國 Charoen Seed 公司，品種 CP888 Super，硬粒種) 等 9 個為組合力較佳之自交

系，‘GX1F’ 與 ‘GX1M’ 為由中國大陸廣西省新引進的硬粒型高產且抗銹病品種，將 9 個自交系分別與 ‘GX1F’、‘GX1M’ 進行人工雜交授粉生產 18 個測交種，加上「台農 1 號」與「台農 351 號」為對照種，進行田間籽粒產量之組合力評估試驗。田間設計為完全逢機設計，5 重複，行株距為 0.80 m × 0.30 m，行長為 6 m。每公頃 3 要素肥料量為 N : P₂O₅ : K₂O = 180 : 90 : 60 kg，基肥以台肥 39 號複合肥料 (N : P₂O₅ : K₂O = 12 : 18 : 12) 每公頃施 500 kg，即基肥每公頃施氮素 60 kg，磷肥 90 kg 及鉀肥 60 kg。其餘之 140 kg 氮素以硫酸銨 (N = 21%) 於玉米齊膝期 (約 0.50–0.60 m) 當追肥施用，其他田管理按實際需要進行之。生育期間調查開花期、吐絲期、株高、穗位高、果穗乾重、籽粒乾重、脫粒率、穗長、穗徑、行數、每行粒數、百粒重、籽粒長度、播種至收穫之生長積溫與收穫時果穗水分含量。調查方法如下，開花期 (days to tassel)：指播種日起至小區中 50% 植株達雄穗始花所需日數。吐絲期 (days to silk)：指播種日起至小區中 50% 植株達雌穗開始吐絲所需日數。株高 (plant height)：於植株雄穗開花後，每小區逢機 10 株，由地面至雄穗頸節之平均高度，以 cm 表示。穗位高 (ear height)：於植株雌穗吐絲後，每小區逢機 10 株，由地面至最上位雌穗著生節位之平均高度，以 cm 表示。穗乾重 (ear dry weight)：生理成熟期之穗乾重，以 kg ha⁻¹ 表示。籽粒重 (kernel dry weight)：生理成熟期之籽粒乾重，以 kg ha⁻¹ 表示。脫粒率 (shelling percentage)：籽粒乾重占果穗乾重的百分比 (%)。穗長 (ear length)：上述生理成熟期之 10 個逢機乾果穗，量其整穗長度之平均值以 cm 表示。穗徑 (ear diameter)：上述生理成熟期之 10 個逢機乾果穗，量其果穗中間部位之平均值以 mm 表示。行數 (row number)：計數上述生理成熟期 10 個逢機果穗之行數。每行粒數 (kernel number per row)：計數上述生理成熟期 10 個逢機果穗之 1 行之籽粒數。百粒重 (100 kernel weight)：生理成熟期逢機選取 100 粒乾籽粒重，以 g 表示。籽粒長度 (kernel length)：生理成熟期之乾籽粒

逢機選取 10 粒測量籽粒長度，以 mm 表示。果穗水分含量 (ear water content) = (採收時果穗的重量 - 乾燥果穗重量) / 採收時果穗的重量，以 % 表示。播種至生理成熟期之生長積溫 (growing degree day to harvest)：由播種至籽粒生理成熟期每天平均氣溫減 10°C 後之生長累積溫度，°C-day 表示。將所獲得的數據進行變方分析與平均值比較 (LSD_{0.05})。

新雜種優勢模式群之田間驗證試驗

將 'GX1M' 品種進行自交系分離，選留培育至 S₅ 世代之自交系 25 個，與 Hi31 進行雜交種生產，然後進行雜交種田間組合力評估。田間設計為完全逢機設計，2 重複，每小區 2 行，行長 6 m，行株距為 0.80 m × 0.25 m。田區施肥方式、栽培管理、以及性狀調查內容，除了本試驗並未調查果穗水分含量與生長積溫外，皆與前述「新引入品種種原雜種優勢模式群之評估試驗」完全相同。所調查性狀之數據進行變方分析與平均值顯著性比較 (LSD_{0.05})。

結果

新引入品種種原雜種優勢模式群之評估試驗

2010 年秋作 18 個測交種與對照種「台農 351」、「台農 1 號」共 20 個基因型之所有農藝性狀之變方分析，結果顯示基因型間所有性狀皆達極顯著差異 (表 1)。平均值差異之比較 (表 2)，顯示參試材料之開花期介於 54–65 d，以對照種「台農 1 號」最早開花，而 888M × GX1F 及 888M × GX1M 二者則較晚開花，且二者間達顯著差異。參試材料吐絲期介於 55–67 d，以對照種「台農 1 號」最早吐絲，而 888M × GX1F 及 888M × GX1M 二者較晚吐絲，且二者間達顯著差異。參試材料之株高介於 207–245 cm，以 888M × GX1M 及 TA2598 × GX1F 表現較高，而 Ind F × GX1F 及 'TNG351' 株高較矮。參試材料之穗位高介於 87–135 cm，以 888M × GX1M 及 888M × GX1F 表現較高之穗位高，而 TA1410 × GX1M 及 'TNG351' 穗位高較低。乾果穗重參試材料之表現介於 19.55–29.10 kg 24m⁻²，以 Hi31 × GX1M 及

表 1. 2000 年秋作硬質玉米雜交種間農藝性狀變方分析之均方值。

Table 1. Mean squares from the analysis of variance for yield and agronomic traits of new hybrids in the fall cropping season of 2000.

Source	Df	Days to tassel	Days to silk	Plant height	Ear height	Dry ear weight	Kernel weight	Shelling percentage	Ear length	Ear diameter	Row number	Kernel number per row	100-kernel weight	Kernel length	Water content	Growing degree day to harvest
Rep.	4	0.21	0.02	67	7	0.43	0.17	13.3*	1.10	1.3	1.21	0.8	0.92	0.09	15.2	4.0
G.	19	22.69**	29.19**	554**	736**	2.00**	1.17**	34.3**	10.72**	27.0**	10.55**	62.6**	46.31**	2.15**	28.8**	2,662.0**
Error	76	2.27	1.31	104	108	0.35	0.19	5.1	0.73	7.3	1.4	4.8	1.92	0.10	9.4	0.1

** Significant at 1% probability level.

表 2. 2000 年秋作硬質玉米新雜交組合農藝性狀之平均值 (霧峰農試所)。
Table 2. Grain yield and agronomic traits of new hybrids in the fall cropping season of 2000 (TARI, Wufeng).

Cross	Days		Plant height (cm)	Ear height (cm)	Dry ear weight (kg 24m ⁻²)	Kernel weight (kg 24m ⁻²)	Shelling		Ear length (cm)	Ear diameter (mm)	Row number (No.)	Kernel number per row (No.)	100-kernel weight (g)	Kernel length (mm)	Water content (%)	Growing degree day to harvest (°C-day)
	Days to tasseling (day)	Days to silking (day)					Kernel percent age (%)	Kernel weight (kg 24m ⁻²)								
HI31 × GX1F	60	60	217	102	25.35	21.10	83.2	20.2	52.6	15.2	40	38.5	12.5	29.4	1,379	
ICAL210 × GX1F	59	60	222	104	21.55	17.50	81.2	19.0	48.4	12.8	41	37.0	11.8	28.0	1,379	
TA1410 × GX1F	58	59	222	98	22.20	18.30	82.4	18.6	53.4	15.2	39	37.2	12.6	32.0	1,379	
UH13 × GX1F	58	58	238	96	26.50	21.65	81.6	18.6	53.2	14.8	36	41.2	13.1	28.5	1,379	
Ind F × GX1F	59	60	215	98	21.10	16.45	77.9	19.2	47.0	12.8	34	33.8	11.1	32.8	1,379	
Ind M × GX1F	60	61	237	106	22.20	17.15	77.2	17.6	49.8	13.2	39	38.7	11.8	29.0	1,379	
SW646 × GX1F	59	60	236	109	22.00	18.60	84.5	18.4	50.0	15.2	35	37.0	11.4	29.1	1,379	
TA2598 × GX1F	58	60	240	121	23.15	19.15	82.7	17.6	53.2	16.0	39	36.3	12.6	29.2	1,379	
888M × GX1F	62	64	236	127	27.65	22.00	79.5	16.2	46.6	12.0	32	35.8	11.7	32.9	1,436	
HI31 × GX1M	58	60	222	99	29.10	23.25	79.8	21.6	51.6	16.0	43	44.5	13.5	29.6	1,379	
ICAL210 × GX1M	58	59	226	94	24.15	18.95	78.4	21.0	50.8	13.2	39	44.0	11.9	26.4	1,379	
TA1410 × GX1M	58	60	215	90	24.70	19.50	78.9	20.8	52.6	16.4	39	41.6	12.8	29.8	1,379	
UH13 × GX1M	57	60	225	88	19.55	16.25	83.1	21.8	52.2	14.4	40	42.4	12.8	30.2	1,379	
Ind F × GX1M	61	62	210	94	26.55	19.80	74.5	21.4	50.0	14.0	37	43.3	11.5	28.5	1,385	
Ind M × GX1M	61	63	212	101	26.15	20.15	77.0	21.4	51.0	14.4	46	39.9	11.8	28.7	1,399	
SW646 × GX1M	60	62	233	113	24.70	19.70	79.7	18.4	48.6	16.4	37	41.6	11.3	29.6	1,379	
TA2598 × GX1M	57	60	223	103	23.80	19.45	81.7	18.8	53.8	16.8	38	39.8	12.6	28.9	1,379	
888M × GX1M	65	67	245	135	26.00	20.75	79.8	19.6	49.2	12.8	37	40.7	11.5	33.0	1,436	
TNG1	54	55	223	98	21.70	17.85	82.2	19.4	47.8	14.8	39	39.6	12.9	22.0	1,312	
TNG351	57	59	207	87	21.80	17.70	81.1	20.0	53.8	17.2	46	35.4	12.6	28.9	1,370	
LSD _{0.05}	1	1	13	13	0.75	0.56	2.8	1.0	2.0	1.0	3	1.7	0.4	3.9	20	

Planting date: Sept. 30, 2010; Harvest date: March 1, 2011.

888M × GX1F 具有最高之乾果穗重，分別為 29.1 和 27.65 kg 24m⁻²。籽粒乾重參試材料之表現介於 17.15–23.25 kg 24m⁻²，以 Hi31 × GX1M 及 888M × GX1F 具有最高之乾籽粒重，分別為 23.25 和 22.0 kg 24m⁻²。參試材料之脫粒率介於 74.5–84.5%，以 SW646 × GX1F 具有最高之脫粒率。穗長之變異參試材料之表現介於 16.2–21.8 cm，以 Hi31 × GX1M 及 UH13 × GX1M 具有較長之穗長，分別為 21.6 cm 和 21.8 cm。穗徑之變異參試材料介於 46.6–53.8 mm，以 TA2598 × GX1M 及 'TNG351' 具有較粗之穗徑。參試材料之籽粒行數介於 12–17。參試材料之平均每行粒數介於 32–46，以 Ind M 及 'TNG351' 最多。參試材料之百粒重介於 33.8–44.5 g，以 Hi31 × GX1M 及 ICAL210 × GX1M 具有較重之百粒重。參試材料之籽粒深度介於 11.1–13.5 mm，以 UH13 × GX1F 及 Hi31 × GX1M 具有較深之籽粒，分別為 13.1 mm 及 13.5 mm。成熟期果穗之水分含量，參試材料之變異介於 22.2–33.0%，以 888M × GX1F 及 888M × GX1M 水分含量最高。參試材料之生長積溫介於 1,312–1,436 °C-day，以 888M × GX1M 及 888M × GX1F 生長至生理成熟時須具有較高之生長積溫，而「台農 1 號」之生長積溫最低。

18 個測交種籽粒產量的表現為 6,760–9,672 kg ha⁻¹，與對照種「台農 1 號」(7,452 kg

ha⁻¹) 比較 (表 3)，顯示幅度為 90.7–129.7%，籽粒產量表現較佳的組合有 Hi31 × GX1F 的 8,777 kg ha⁻¹ (增產 17.7%)、UH13 × GX1F 的 9,006 kg ha⁻¹ (增產 20.8%)、888M × GX1F 的 9,152 kg ha⁻¹ (增產 22.8%)、Hi31 × GX1M 的 9,672 kg ha⁻¹ (增產 29.7%)、888M × GX1M 的 8,632 kg ha⁻¹ (增產 15.8%) 等 5 個。由自交系與品種的雜交組合之平均值表現，可看出自交系檢定親中以 Hi31 及 888M 的一般與特定組合力相對於其他自交系則較高。就整個籽粒產量雜種優勢表現結果，顯示 Hi31 × GX1F、Hi31 × GX1M、888M × GX1F、888M × GX1M 及 UH13 × GX1F 等 5 個為籽粒產量表現較高的雜種優勢模式組合，可為籽粒產量育種應用材料。

Hi31 × GX1M 新雜種優勢模式群之田間組合力試驗

2012 秋作將 'GX1M' 品種自交分離培育至 S₅ 世代之自交系 25 個，再與 Hi31 進行雜交種生產。25 個雜交種組合力評估，顯示 25 個新的雜交組合其產量的表現明顯高於對照種「台農 1 號」(表 4)。參試雜交種之開花期介於 52–58 d，以 1M-4 × Hi31 最晚開花，而對照種「台農 1 號」及 1M-9 × Hi31、1M-18 × Hi31 較早開花，三者間無明顯差異。參試雜交種吐絲期介於 56–59 d，以 1M-4 × Hi31、

表 3. 2000 年秋作硬質玉米雜交組合籽粒產量。

Table 3. Grain yield of new hybrids in the fall cropping season of 2000.

Cross	GX1F (kg ha ⁻¹)	GX1F (%)	GX1M (kg ha ⁻¹)	GX1M (%)	Mean (kg ha ⁻¹)	Mean (%)
Hi31	8,777	117.7	9,672	129.7	9,449	126.7
ICAL210	7,280	97.6	7,882	105.7	7,581	101.7
Ind M	7,134	95.7	8,382	112.4	7,758	104.1
TA1410	7,612	102.1	8,112	108.8	7,862	105.5
UH 13	9,006	120.8	6,760	90.7	7,883	105.7
Ind F	6,843	91.8	8,236	110.5	7,539	101.1
TA2598	7,966	106.8	8,091	108.5	8,028	107.7
SW646	7,737	103.8	8,195	109.9	7,966	106.8
888 M	9,152	122.8	8,632	115.8	8,892	119.3
Mean	7,945	106.6	8,218	110.2	-	-
TNG 1	7,452	100.0	7,452	100.0	-	-

表 4. 2012 年秋季硬質玉米 GX1M 分離系與 Hi31 新雜交組台農藝性狀之平均值 (霧峰農試所)。
Table 4. Performances of GX1M × Hi31 new hybrids in the fall cropping season of 2012 (TARI, Wufeng).

Cross	Days to tasseling (day)	Day to silking (day)	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Dry ear weight (kg 9.6m ⁻²)	Kernel weight (kg 9.6m ⁻²)	Shelling percentage (%)	Ear length (cm)	Ear diameter (mm)	Row number (No.)	100-kernel weight (g)	Kernel length (mm)
IM-1 × Hi31	54	57	226	114	6.9	5.9	85.5	17.2	50	14.0	44.0	13.0
IM-2 × Hi31	57	58	217	105	6.9	6.1	88.4	18.0	48	15.2	41.0	12.7
IM-3 × Hi31	56	58	226	103	7.1	6.1	85.9	16.4	51	16.0	45.8	13.1
IM-4 × Hi31	58	59	229	104	7.0	6.1	87.1	18.0	51	16.4	43.2	13.3
IM-5 × Hi31	55	57	228	108	7.0	6.1	87.1	18.2	51	16.0	41.8	13.5
IM-6 × Hi31	56	58	239	115	7.8	6.7	85.8	16.4	47	15.2	37.4	13.6
IM-7 × Hi31	54	56	226	95	7.0	6.0	85.7	18.2	50	14.0	47.0	13.9
IM-8 × Hi31	55	58	226	99	7.9	7.0	88.6	17.8	51	15.2	43.0	13.2
IM-9 × Hi31	53	56	225	100	6.6	5.7	86.3	17.6	50	14.8	43.8	13.3
IM-10 × Hi31	55	56	232	110	8.8	7.8	88.6	17.2	51	15.6	45.6	14.3
IM-11 × Hi31	55	56	234	111	7.2	6.2	86.1	18.4	51	15.8	42.2	12.5
IM-12 × Hi31	56	58	225	105	7.2	6.4	88.8	17.8	50	15.2	43.8	13.4
IM-13 × Hi31	54	56	221	99	7.4	6.1	82.4	18.4	49	15.6	44.8	12.5
IM-15 × Hi31	56	59	222	100	11.0	9.5	86.3	16.6	49	15.6	45.8	12.5
IM-16 × Hi31	54	56	230	110	7.5	6.5	86.6	18.4	51	16.8	40.4	13.9
IM-17 × Hi31	57	59	226	111	6.6	5.7	86.3	19.0	48	16.0	47.8	13.4
IM-18 × Hi31	52	55	217	103	7.2	6.2	86.1	18.0	52	17.6	48.2	14.0
IM-19 × Hi31	56	59	213	98	7.4	6.3	85.1	15.0	49	15.2	44.6	13.9
IM-20 × Hi31	54	56	220	105	8.9	7.9	88.7	20.0	50	15.6	47.4	13.9
IM-21 × Hi31	55	58	212	105	7.7	6.7	87.0	18.4	48	15.6	38.6	13.3
IM-22 × Hi31	55	57	217	97	6.7	5.7	85.0	17.0	48	16.4	40.8	12.6
IM-23 × Hi31	55	57	240	105	7.4	6.3	85.1	16.4	46	14.8	42.4	12.3
IM-24 × Hi31	56	57	232	105	9.0	7.9	87.7	16.6	49	16.0	43.2	13.4
IM-25 × Hi31	55	59	224	104	8.9	7.7	86.5	18.2	51	16.8	48.2	12.9
IM-26 × Hi31	54	57	219	111	7.4	6.2	83.7	18.2	51	18.0	40.6	11.6
TNG1	53	56	215	103	5.3	4.4	83.8	15.9	46	16.0	40.4	12.3
LSD _{0.05}	2	2	15	12	0.8	0.7	2.5	1.2	2	1.2	2.5	1.2

Planting date: Sep. 19, 2012; Harvest date: Feb. 20, 2013.

1M-15 × Hi31、1M-17 × Hi31、1M-19 × Hi31 及 1M-25 × Hi31 最晚吐絲，皆為 59 d，而對照種「台農 1 號」、1M-7 × Hi31、1M-9 × Hi31、1M-10 × Hi31、1M-11 × Hi31、1M-13 × Hi31、1M-16 × Hi31、1M-18 × Hi31 及 1M-20 × Hi3 屬於較早吐絲的雜交組合。參試雜交種之株高介於 212–240 cm，以 1M-6 × Hi31 及 1M-23 × Hi31 株高較高，而 1M-19 × Hi31 及 1M-21 × Hi31 株高較矮。參試雜交種之穗位高介於 95–115 cm，以 1M-1 × Hi31 及 1M-6 × Hi31 表現較高之穗位高，而 1M-7 × Hi31 穗位高較低。乾果穗重參試雜交種之表現介於 6.6–11.0 kg 9.6m⁻²，以 1M-15 × Hi31 及 1M-10 × Hi31、1M-20 × Hi31、1M-24 × Hi31、1M-25 × Hi31 具有較高之乾果穗重。籽粒乾重參試雜交種之表現介於 5.7–9.5 kg 9.6m⁻²，以 1M-15 × Hi31 具有最高之乾籽粒重，其次為 1M-10 × Hi31、1M-20 × Hi31、1M-24 × Hi31、1M-25 × Hi31 分別為 7.8、7.9、7.9 和 7.7 kg 9.6m⁻²。參試雜交種之脫粒率介於 82.4–88.8%，以 1M-12 × Hi31 具有最高之脫粒率。穗長參試雜交種之表現介於 15.0–20.0 cm，以 1M-11 × Hi31、1M-13 × Hi31、1M-16 × Hi31、1M-17 × Hi31、1M-20 × Hi31 及 1M-21 × Hi31 具有較長之穗長。穗徑之變異參試雜交種介於 46–52 mm。參試雜交種之行數介於 14–18，以 1M-26 × Hi31 最多。參試雜交種之百粒重介於 37.4–48.2 g，以 1M-18 × Hi31 及 1M-25 × Hi31 具有較重之百粒重。參試雜交種之籽粒深度介於 11.6–14.3 mm，以 1M-10 × Hi31 及 1M-18 × Hi31 具有較深之籽粒。

乾果穗表現最高產的 5 個新雜交組合與對照種「台農 1 號」(5.3 kg 9.6m⁻²) 比較，其乾穗重表現在 8.8–11.0 kg 9.6m⁻² 之間，其果穗乾重較「台農 1 號」增產率介於 66–107.5%。籽粒乾重表現最高產的 5 個新雜交組合與對照種「台農 1 號」(4.4 kg 9.6m⁻²) 比較，其籽粒乾重表現在 7.7–9.5 kg 9.6m⁻² 之間，其籽粒乾重較「台農 1 號」增產率介於 75–115.9%；最高產的 5 個新雜交組合其脫粒率、穗徑、百粒重等皆比對照種「台農 1 號」高(表 5)。

表 5. 2012 年秋季硬質玉米 GX1M 分離系與 Hi31 較優雜交 5 個組合之農藝性狀之平均值 (霧峰農試所)。
Table 5. Performances of GX1M × Hi31 new hybrids in the fall cropping season of 2012 (TARI, Wufeng).

Cross	Dry ear weight (kg 9.6m ⁻²)	Dry ear weight (+%)	Kernel weight (kg 9.6m ⁻²)	Kernel weight (+%)	Shelling percentage (%)	Ear length (cm)	Ear diameter (mm)	Row number (No.)	100-kernel weight (g)	Kernel length (mm)
1M-10 × Hi31	8.8	66.0	7.8	77.2	88.6	17.2	51	15.6	45.6	14.3
1M-15 × Hi31	11.0	107.5	9.5	115.9	86.3	16.6	49	15.6	45.8	12.5
1M-20 × Hi31	8.9	67.9	7.9	79.5	88.7	20.0	50	15.6	47.4	13.9
1M-24 × Hi31	9.0	69.8	7.9	79.5	87.7	16.6	49	16.0	43.2	13.4
1M-25 × Hi31	8.9	67.9	7.7	75.0	86.5	18.2	51	16.8	48.2	12.9
TNG1	5.3	-	4.4	-	83.8	15.9	46	16.0	40.4	12.3
LSD _{0.05}	0.8	-	0.67	-	2.5	1.2	2	1.2	2.5	1.2

Planting date: Sept. 19, 2012; Harvest date: Feb. 20, 2013.

‘GX1M’ 品種自交分離自交系與 Hi31 較優新雜品系產量比較試驗

2013 春作將 ‘GX1M’ 品種自交分離之自交系與 Hi31 進行雜交種組合力評估試驗所選取籽粒最高產的 4 個新雜交組合加上對照種 (「台農 1 號」及「台南 24 號」) 於雲林崙背試區進行新品系比較試驗, 結果顯示在開花期的表現, 1M-10 × Hi31、1M-15 × Hi31、1M-20 × Hi31 表現與「台農 1 號」、及「台南 24 號」相近皆為 61 d, 而 1M-24 × Hi31 則晚 3 d 開花。吐絲期的表現, 1M-10 × Hi31、1M-15 × Hi31、1M-20 × Hi31 表現與「台農 1 號」、及「台南 24 號」相近皆為 63 d, 而 1M-24 × Hi31 則晚 2 d 吐絲。4 個新雜交組合之株高在 231–246 cm, 與對照種「台農 1 號」(235 cm) 及「台南 24 號」(241 cm) 無明顯差異。穗位高的表現 4 個新雜交組合在 115–125 cm, 與對照種「台農 1 號」(130 cm) 及「台南 24 號」(106 cm) 無明顯差異。4 個新雜交組合其籽粒產量介於 5,762–8,273 kg ha⁻¹, 其中 1M-10 × Hi31 (8,273 kg ha⁻¹) 與 1M-15 × Hi31 (8,111 kg ha⁻¹) 較對照種「台農 1 號」(6,981 kg ha⁻¹) 增產率分別為 18.5% 及 16.1%; 且亦較對照種「台南 24 號」(6,418 kg ha⁻¹) 增產率分別為 28.9% 及 26.3% (表 6)。1M-20 × Hi31 表現與對照種相近, 而 1M-24 × Hi31 表現較對照種低產。4 個新雜交組合其脫粒率在 84.8–87.4%, 表現較對照種「台南 24 號」高, 但與「台農 1 號」無明顯差異。4 個新雜交組合其穗長表現在 21.2–23.6 cm, 與對照種無明顯差異。百粒重的表現, 4 個新雜交組合與「台農 1 號」相近, 但較「台南 24 號」小。籽粒行數 4 個新雜交組合表現在 14.8–16.8 間, 較台南 24 號行數 (12.4) 多。田間銹病自然發病等級, 4 個新雜交組合與「台南 24 號」均為 1 級 (無病斑), 而「台農 1 號」為 4 級, 顯然此 4 個新組合對銹病為害有明顯抗性。

討論

以往台灣玉米栽培與品種選育之種質以溫帶型玉米為主, 且大部由美國引入, 遺傳基礎

表 6. 2013 春作硬質玉米新品系比較試驗農藝性狀之平均值 (崙背試區)。

Cross	Days to tasseling (day)	Day to silking (day)	Plant height (cm)	Ear height (cm)	Kernel weight (kg ha ⁻¹)	Shelling percentage (%)	Ear length (cm)	Ear diameter (mm)	Row number (No.)	100-kernel weight (g)	Rust (1–5)
1M-10 × Hi31	61	63	245	116	8,273	86.6	21.8	43	16.8	28.2	1
1M-15 × Hi31	61	63	246	125	8,111	85.3	22.2	43	15.2	28.4	1
1M-20 × Hi31	61	63	238	115	7,257	87.4	23.6	47	16.0	27.8	1
1M-24 × Hi31	64	65	231	115	5,762	84.8	21.2	47	14.8	28.2	1
TN24	61	63	241	106	6,418	80.5	22.6	48	12.4	32.8	1
TNG1	61	63	235	130	6,981	86.1	22.0	45	14.0	28.6	4
LSD _{0.05}	2	2	25	18	930	2.1	2.5	2	1.6	2.0	1

Planting date: March 18, 2013; Harvest date: June 30, 2013.

愈益窄化，故在產量及抗銹病育種上遭遇瓶頸，近年乃由中南半島泰國及大陸廣西省等地區引進熱帶型與亞熱帶型種源，利用其豐富的遺傳變異性和特殊的抗逆境、抗病蟲害，且遺傳差異大等因素來擴大台灣玉米種質之遺傳基礎、適應性和增加抗病性。目前台灣雲嘉南地區，秋裡作栽培的品種以明豐種苗行由國外引入的「明豐新3號」為大宗，此品種為晚熟種具有豐產特性，於9月中下旬播種，須至隔年4月底方能採收，生長期過長影響春作栽種水稻之輪作制度甚鉅，因此農民急須有中早熟、抗銹病且高產之玉米新品種能於3月收穫，春作則可接著栽種水稻來增加農民收益。

硬質玉米硬粒種在籽粒產量、葉面積、營養生長量及株型等有較佳的一般組合力效應；而馬齒種呈現早熟、株型小及營養生長量較小，但具有較佳之特定組合力效應 (Lee *et al.* 1986)。另硬質 (飼料) 及青割玉米在不同粒型組合之籽粒產量及農藝性狀之表現，也呈現異粒型間的組合 (馬齒種 × 硬粒種) 兼具有馬齒種與硬粒種的優點，如營養生長旺盛，葉片、株高及桿莖均大等特性 (Shieh & Thseng 1993)。本研究以4個溫帶型自交系及5個熱帶型自交系與新引入中國大陸廣西省之2個玉米種原為材料，探討是否存在籽粒產量表現較優之雜種優勢模式群，結果發現溫帶型馬齒種與熱帶型硬粒種不同型間具雜種優勢，同時亦存在屬熱帶型與熱帶型的雜種優勢模式組合，18個測交種籽粒產量的表現為7,134–9,672 kg ha⁻¹，就籽粒產量雜種優勢表現結果，顯示有5個組合具有較高的雜種優勢表現，其中 Hi31 × GX1F、Hi31 × GX1M 與 UH13 × GX1F 等3個組合屬溫帶型馬齒種與熱帶型硬粒種不同型間之雜種優勢模式群，同時具有中早熟特性，適合雲嘉南地區秋裡作栽培硬質玉米之耕作模式，可為中早熟硬質玉米籽粒產量育種應用材料。本研究與 Hu *et al.* (1999)、Cheng *et al.* (2000)、Li *et al.* (2001)、Sun *et al.* (2007) 等研究顯示不同地區的溫帶型與熱帶型異型種原間具有優良的雜種優勢存在之結果相近。而 888M × GX1F、888M × GX1M 等2個屬於熱帶型與熱帶型中晚熟品種之雜種優

勢模式組合，亦可為中晚熟型之籽粒產量育種應用之優良雜種優勢模式群。

玉米雜種優勢類群的劃分及雜種優勢模式的建立，一般是依育種目的，將大量自交系親本材料進行雜交種生產，再通過組合力檢定和雜種優勢實際表現來選留高產的雜交種，或是根據育種家的經驗，先經過分析親本材料的地理及種原間之親緣關係，將玉米種質合理劃分為適合不同地區或季節的雜種優勢群，並建立起相應的雜種優勢模式，如此則可大大減少盲目性的雜交工作量，並明顯提高育種效率。本研究結果得知 Hi31 與 'GX1M' 品種間存在最高籽粒產量之雜種優勢表現，同時具有中早熟特性，適合雲嘉南地區秋裡作栽培硬質玉米之耕作模式，乃將 'GX1M' 品種優先進行自交培育自交系，然後自交系再與 Hi31 進行雜交種生產，組合力評估及新品系比較試驗。在秋作栽培季節，25個新雜交種組合力評估試驗，顯示新的雜交組合其產量的表現明顯高於對照種「台農1號」，最高產的5個新雜交組合其籽粒乾重表現在7.7–9.5 kg 9.6m⁻²之間，其籽粒乾重較「台農1號」增產率介於75–115% (表5)。同時其脫粒率、穗徑、百粒重等皆比對照種「台農1號」高。實際的田間驗證顯示 Hi31 與 'GX1M' 品種的分離自交系間存在籽粒產量之高雜種優勢。在春作栽培環境，選取籽粒產量最高產的4個新雜交組合加上中早熟型的對照種「台農1號」及「台南24號」進行新品系比較試驗，結果4個新雜交組合其籽粒產量介於5,762–8,273 kg ha⁻¹，其中 1M-10 × Hi31 (8,273 kg ha⁻¹) 與 1M-15 × Hi31 (8,111 kg ha⁻¹) 較對照種「台農1號」(6,981 kg ha⁻¹) 增產率分別為18.5%及16.1%；且亦較對照種「台南24號」(6,418 kg ha⁻¹) 增產率分別為28.9%及26.3%，同時在自然田間下對銹病有很強的抗病性。此研究顯示先進行種原間雜種優勢表現優劣之評估試驗後，再針對有高籽粒產量之雜種優勢群的材料進行自交系選育，並按照高產雜優模式配組雜交組合，可大大減少盲目性與人力的付出，在硬質 (飼料) 玉米雜交育種方面對籽粒產量的增加與效率的提升非常有用。

引用文獻

- Cheng, Y. H., L. M. Wang, and J. R. Dai. 2000. Potential of germplasm improvement using tropical, subtropical inbred lines for Chinese temperate germplasm of maize. *J. China Agric. Univ.* 5(1):50–57. (in Chinese with English abstract)
- Hallauer, A. R. and D. Malithano. 1976. Evaluation of maize varieties for their potential as breeding population. *Euphytica* 25:117–127.
- Hu, X. A., F. G. Wu, L. M. Wei, and B. Zhao. 1999. Research and utilization for tropical and subtropical corn germplasms. *J. Abroad Agric. Grains Crop* 19(3):4–9. (in Chinese with English abstract)
- Kim, S. K. and S. O. Ajala. 1996a. Combining ability of tropic maize germplasm in West Africa I. Open-pollinated varieties. *Maydica* 41:127–134.
- Kim, S. K. and S. O. Ajala. 1996b. Combining ability of tropic maize germplasm in West Africa II. Tropical vs temperate \times tropical origins. *Maydica* 41:135–141.
- Lee, T. C., G. J. Shieh, C. L. Ho, and J. R. Juang. 1986. Analysis of diallel sets of dent and flint maize inbreds for combining ability and heterosis. *J. Agric. Res. China* 35:145–164. (in Chinese with English abstract)
- Li, X. H., S. Z. Xu, and J. S. Li. 2001. Combining ability on ten tropical and subtropical maize populations. *J. Maize Sci.* 9(1):1–5. (in Chinese with English abstract)
- Liu, S. K. and G. J. Shieh. 2012. Relation between genetic distance and yield in different varieties of super sweet corn. *J. Taiwan Agric. Res.* 61:22–31. (in Chinese with English abstract)
- Reif, J. C., A. E. Melchinger, X. C. Xia, M. L. Warburton, D. A. Hoisington, S. K. Vasal, G. Srinivasan, M. Bohn, and M. Frisch. 2003. Genetic distance based on simple sequence repeats and heterosis in tropical maize populations. *Crop Sci.* 43:1275–1282.
- Shieh, G. J. and F. S. Thseng. 1993. Effect of crop season on combining ability performance of grain yield and agronomic traits with respect to combination between different kernel type in maize. *J. Agric. Res. China* 42:356–369. (in Chinese with English abstract)
- Sun, C. T., H. M. Chen, J. Tan, C. X. Xu, X. Z. Li, B. I. Huang, and X. M. Fan. 2007. Studies on combining ability of agronomic characteristics between temperate and tropical maize inbred lines. *J. Maize Sci.* 15(3):36–41. (in Chinese with English abstract)
- Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in triopics. p.59–84. *in: Maize Breeding and Genetics.* (Walden, D. B., ed). Wiley. New York. 794 pp.

Studies on Heterotic Patterns of Horneous Endosperm Corn in Taiwan

Guang-Jauh Shieh^{1,*} and Yu-Ru Chen²

Abstract

Shieh, G. J. and Y. R. Chen. 2017. Studies on heterotic patterns of horneous endosperm corn in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 66(1):15–25.

The assessment trials of new maize germplasm heterotic groups were included 18 crosses between 9 inbred testers and the two targeting varieties, 'GX1F' and 'GX1M'. The kernel yield of these 18 testcross hybrids were from 6,760 to 9,672 kg ha⁻¹, and the top 5 crosses with high kernel yield were Hi31 × GX1F, Hi31 × GX1M, 888M × GX1F, 888M × GX1M, and UH13 × GX1F. The inbred testers, Hi31 and 888M, had better common and special combining abilities. Because the cross of Hi31 and 'GX1M' showed the best kernel yield, 25 hybrids from the crosses between the Hi31 tester and the S₃ progenies of the 'GX1M' variety were developed for the combination assessment and yield trials. The combination assessment trials of 25 hybrids showed that the yields of all hybrids were significantly higher than the control variety 'TNG No. 1'. The dry kernel yield of the five highest new combinations were from 7.7 to 9.5 kg 9.6m⁻², which were increased as 75% to 115% of the dry kernel yield of the 'TNG No. 1'. In addition, the shelling percentage, ear diameter, and 100-kernel weight of these five hybrids were also better than those of the control variety 'TNG No. 1'. The trials demonstrated that Hi31 had heterotic relationship to the inbred strains derived from the 'GX1M'.

Key words: Horneous endosperm corn, Tropical, Temperate, Heterotic pattern.

Received: January 26, 2016; Accepted: May 4, 2016.

* Corresponding author, e-mail: x486045@tari.gov.tw

¹ Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Assistant Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.