

玉米幼苗耐銨性與耐性組合力分析¹

謝光照^{2,4} 曹文隆² 楊金興² 盧煌勝³

摘 要

謝光照、曹文隆、楊金興、盧煌勝。2004。玉米幼苗耐銨性與耐性組合力分析。中華農業研究 53:79-86。

以 6 個玉米自交系及其相互雜交(正交)所獲得的 15 個 F₁ 單交種為材料，在 4 種銨離子[NH₄⁺] (5、25、50、100m)濃度下，於溫室砂耕中進行試驗。經 16 天的處理後，所獲得之數據經變方分析結果顯示銨離子濃度間、基因型間與銨離子濃度×基因型之交感作用對幼苗地上部乾物重、根部乾物重與整株總乾物重均有極顯著之影響。不論幼苗地上部乾物重、根部乾物重與整株總乾物重均隨著銨濃度增加而呈現遞減現象，即銨濃度高於適當生長濃度時，玉米即受到抑制及阻礙正常生長。在四種銨濃度下，自交系的生長量均較 F₁ 單交種來得低，但不同的基因型間其乾物重的表現有明顯差異存在。由 Griffing 之組合力分析，顯示幼苗地上部乾物重、根部乾物重和整株總乾物重，在四種銨濃度下，均受一般組合力(GCA)和特殊組合力(SCA)等遺傳效應共同影響。在高銨濃度下(50mM 以上)其 GCA/SCA 均方值比值呈現大於低銨濃度(5-25mM)。所使用自交系中以 Va26、H95、A661 等幼苗期具有較佳之耐銨性；而 F₁ 單交種中以 Va26×H95、Va26×ICAL210、H95×Hi31、A661×TA85-17、TA85-17×Hi31 表現最佳之耐銨性。

關鍵詞：銨[NH₄⁺]、玉米、耐性、組合力。

前 言

玉米對於 NH₄⁺-N 及 NO₃⁻-N 均能加以吸收利用。Bennett 等學者(1964)以 NO₃⁻-N 及 NH₄⁺-N 當作氮肥進行養液砂耕栽培玉米，經生長 5 週後，顯示在 112ppm 濃度下，以 NO₃⁻-N 處理者其生長情形優於 NH₄⁺-N 處理者。而生長在 NH₄⁺-N 者其根部呈現不健康之暗褐色。Cramer & Lewis(1993)的試驗亦指出玉米以 NH₄⁺-N 當作氮肥者比 NO₃⁻-N 當作氮肥者，其根系伸展較緩慢；而高濃度的 NH₃ 會對玉米產生毒害作用(Blackmer & Sanchez 1988)。Xu 等學者(1992)指出玉米自交系在 10~40mM NH₄⁺-N 濃度下進行試驗，結果顯示幼苗乾物質生長量隨銨濃度增加而下降之現象，而玉米忍受 NH₄⁺-N 濃度為 10mM NH₄⁺。

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2190 號。接受日期：93 年 4 月 24 日。
2. 本所農藝組副研究員、助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
3. 本所前農藝系研究員兼主任，現任苗栗區農業改良場場長。臺灣省 苗栗縣。
4. 通訊作者，電子郵件：x486045@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23302806。

目前的證據顯示 NH_4^+ -N 肥用於作物的生產比 NO_3^- -N 具有較高的利用效率(Schrader *et al.* 1972)，但現有的玉米雜交種在高 NH_4^+ -N 肥下栽培其產量的表現未必最佳；主要係因目前的育種計畫及選種皆在 NO_3^- -N 佔優勢的環境下進行，不利於對 NH_4^+ -N 具有高利用效率性狀與基因型的選留。因此要育成在 NH_4^+ -N 環境下具有高產量的雜交種，首先須對玉米的遺傳質於種子發芽期及幼苗期進行鑑別其耐銨性程度，以作為耐銨性遺傳研究及育種選拔之參考。

材料與方法

本試驗於溫室中，以玉米自交系 Va26、H95、A661、TA85-17、Hi31 和 ICAL210 及其相互雜交(正交)的 15 個 F_1 單交種為材料，細砂為栽培介質，每基因型每重複一盆。每盆播 5 粒種子，於發芽後選留較整齊一致的 3 株為樣品。四種銨濃度(5、25、50、100mM)處理，重複四次。每天每盆(高 17.5×直徑 12.8cm)澆 500ml 經修改過的 Hoagland 營養液，其成份除銨離子濃度分別為 5、25、50、100mM(NH_4^+) $_2\text{SO}_4$ 外，其餘成份均相同(2.5 mM K_2SO_4 、4.0 mM Mg SO_4 、1.0 mM KH_2PO_4 、1.1 mM $\text{Ca Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、23 μM H_3BO_3 、46 μM MnSO_4 、15 μM Zn SO_4 、16 μM $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、0.8 μM $\text{Na}_2 \text{MoO}_4$ 和 100 μM Fe-EDTA)(Handa *et al.* 1984)。以 KOH 調整其 pH 值至 6.5。經澆灌 16 天後，再進行洗根系，並將地上部與根部分開，置於 70°C 之溫度進行烘 24hr 後，分別稱其地上部及根部之乾物重。

各基因於不同銨濃度處理後，所得之乾物質生長量數據，依裂區設計，銨濃度為主區，基因型為副區，四重複，進行變方分析、平均值顯著性比較與 Griffing's 方法 2，模式 I (Griffing 1956)進行組合力分析。

結 果

21 個玉米基因型的 2 葉齡幼苗在不同銨濃度下栽培 16 天後，其乾物重數據經變方分析(省略)之結果，可看出不同銨離子濃度間、基因型間與銨濃度×基因型間之交感作用等對地上部乾物重、根部乾物重和整株總乾物重等性狀均達顯著差異，表示不同銨離子濃度間其乾物重的表現有明顯的影響；不同基因型間也表現出明顯的差異；而且在不同銨濃度下各基因型間的表現並不一致。

由不同銨濃度下地上部、根部和整株總乾物重的平均值比較(表 1)，顯示不論是自交系的平均值、 F_1 單交種的平均值或所有基因型的總平均值均呈現隨著銨濃度之增加而遞減，其地上部乾物重由 5 mM 的 5.66 降至 100 mM 的 0.722g/3 plants；而根部乾物重則由 1.538 降至 0.290 g/3 plants；而整株乾物重亦呈現由 7.154 降至 0.966 g/3 plants，其整株總乾物重的下降率由 100%降為 13.92%，顯示較高的銨濃度對玉米的生長有抑制作用。一般而言，不論是地上部乾物重、根部乾物重或整株總乾物重的表現均以 F_1 單交種較自交系來得優，即可看出 F_1 單交種比自交系具有較高的耐銨性。

自交系地上部乾物重的表現，在 5~10mM 銨濃度時，以 Va26、H95 及 A661 三者較重，而 TA85-17、Hi31 及 ICAL210 則較輕。根部乾物重的表現，在 5mM NH_4^+ -N 時，以 H95 及 Va26 較大，最小者為 Hi31；25mM 時，亦以 H95 及 Va26 較大，最小者為 Hi31；在較高銨濃度(50~100mM)時，Va26、H95 及 A661 三者仍然具有較大的根部乾物重。整株總乾物重的表現，不論在何種銨離子濃度下，均以 Va26、H95 及 A661 三者具有較大的數值。綜合比較顯示六個自交系中，以 Va26、H95、A661 三者具有較佳的乾物重生長量。

F_1 單交種地上部乾物重的表現，在 5mM 銨濃度時，以 H95×TA85-17 最大(7.543g/3 plants)，其次為 A661×TA85-17(7.000g/3 plants)，最小者為 Va26×A661(4.985 g/3 plants)。在 25mM 銨濃度時，

表 1. 不同鉍濃度對玉米自交系與雜交組合幼苗乾物重表現之影響

Table 1. Effect of various concentrations of ammonium on maize dry weight of different inbred lines and cross combinations

Genotype	Shoot dry weight (g/3 plants) ^z				Root dry weight (g/3 plants)				Total dry weight (g/3 plants)			
	5 ^y	25	50	100	5	25	50	100	5	25	50	100
Va26	4.478	3.120	1.318	0.768	1.803	0.905	0.470	0.385	6.280	4.025	1.788	1.153
H95	5.318	4.078	1.350	0.723	2.098	1.103	0.388	0.358	7.395	5.180	1.738	1.075
A661	5.290	3.638	0.998	0.660	1.008	0.868	0.370	0.340	6.298	4.505	1.368	1.000
TA85-17	4.053	2.715	0.708	0.383	1.293	0.903	0.405	0.190	5.345	3.618	1.113	0.573
Hi31	2.548	1.500	0.890	0.115	0.450	0.220	0.140	0.070	2.998	1.720	1.030	0.185
ICAL210	4.013	2.680	1.018	0.365	1.430	0.790	0.258	0.095	5.443	3.470	1.276	0.460
Inbred mean	4.283	2.955	1.047	0.502	1.347	0.798	0.339	0.240	5.626	3.753	1.386	0.741
Va26×H95	5.655	3.508	2.270	1.055	1.445	0.755	0.490	0.348	7.100	4.263	1.508	1.403
Va26×A661	4.985	3.033	1.448	0.783	1.418	0.803	0.468	0.323	5.703	3.835	1.916	1.105
Va26×TA85-17	6.633	5.348	2.910	0.950	1.573	1.218	0.583	0.323	8.205	6.798	3.493	1.273
Va26×Hi31	5.823	3.818	1.158	0.540	1.798	0.875	0.423	0.245	7.620	4.693	1.581	0.785
Va26×ICAL210	6.370	4.388	2.493	0.918	1.365	0.823	0.608	0.355	7.735	5.243	3.101	1.272
H95×A661	6.530	3.760	1.343	0.640	1.920	0.988	0.470	0.288	8.450	4.680	1.813	0.928
H95×TA85-17	7.543	4.513	2.538	0.813	2.248	1.138	0.743	0.315	9.790	5.650	3.281	1.128
H95×Hi31	6.656	5.015	2.563	0.883	1.808	1.238	0.758	0.333	8.478	6.253	3.348	1.215
H95×ICAL210	6.263	3.925	2.175	0.688	1.695	0.870	0.770	0.415	7.963	4.795	2.945	1.102
A661×TA85-17	7.000	3.525	2.257	0.975	1.333	0.788	0.693	0.345	8.333	4.313	2.950	1.395
A661×Hi31	5.860	3.115	1.225	0.632	1.195	0.505	0.373	0.308	7.055	3.620	1.598	0.940
A661×ICAL210	5.648	2.780	1.565	0.723	1.050	0.493	0.488	0.345	6.698	3.273	2.053	1.068
TA85-17×Hi31	5.658	3.375	1.792	0.895	1.445	0.773	0.605	0.348	6.853	4.148	2.397	1.243
TA85-17×ICAL210	6.503	3.893	1.935	0.692	1.893	0.788	0.405	0.198	8.395	4.680	2.340	0.890
Hi31×ICAL210	6.050	4.325	2.178	0.542	2.033	1.163	0.513	0.172	8.095	5.488	3.231	0.715
F ₁ mean	6.212	3.888	1.990	0.782	1.615	0.888	0.559	0.311	7.765	4.782	2.504	1.097
Total mean	5.660	3.622	1.706	0.722	1.538	0.872	0.556	0.290	7.154	4.499	2.262	0.996
Percentage (%)	100.0	63.99	30.14	12.75	100.0	57.94	36.15	19.26	100.0	62.89	31.62	13.92
LSD _{0.05} (b)	0.307	0.170	0.133	0.050	0.133	0.078	0.051	0.035	0.400	0.211	0.151	0.073
LSD _{0.05} (a)	-----	0.159	-----	-----	-----	0.086	-----	-----	-----	0.192	-----	-----

^z Means of four duplications.^y Concentration of NH₄⁺ (mM).

以 Va26×TA85-17 最大(5.348g/3 plants)，其次為 H95×Hi31(5.015g/3 plants)，最小者為 A661×ICAL210(2.780 g/3 plants)。在 50mM 鉍濃度時，其變異介於 2.910~1.158g/3 plants 之間，以 Va26×TA85-17 最大，最小者為 Va26×Hi31。在 100mM 鉍濃度時，其變異介於 1.005~0.540g/3 plants 之間，以 Va26×H95 最大，最小者為 Va26×Hi31。根部乾物重的表現，在 5mM 鉍濃度時，其變異介於 2.248~1.050g/3 plants 之間，以 H95×TA85-17 最大，最小者為 A661×ICAL210。在 25mM 鉍濃度時，其變異介於 1.238~0.493g/3 plants 之間，以 H9 ×Hi31 最大，最小者為 A661×ICAL210。在 50mM 鉍濃度下，其變異介於 0.770~0.373g/3 plants 之間，以 H95×ICAL210 最大，最小者為 A661×Hi31。在 100mM 鉍濃度時，其變異介於 0.415~0.172g/3 plants 之間，以 H95 ×ICAL210 最大，最小者為 Hi31×ICAL210。整株總乾物重的表現，在 5mM 鉍濃度時，其變異介於 9.790~5.703g/3 plants 之間，以 H95×TA85-17 最大，最小者為 Va26×A661。在 25mM 鉍濃度時，其變異介於 6.798~3.273g/3 plants 之間，以 Va26×TA85-17 最大，最小者為 A661×ICAL210。在 50mM 鉍濃度時，其變異介於

3.493~1.508g/3 plants 之間，以 Va26×TA85-17 最大，最小者為 Va26×H95。在 100mM 銨濃度下，其變異介於 1.403~0.715g/3 plants 之間，以 Va26×H95 最大，最小者為 Hi31×ICAL210。F₁ 單交種耐銨性的表現，以耐×不耐型及耐×耐型的雜交組合其耐性較優，例如 Va26×H95、Va26×TA85-17、H95×TA85-17、H95×Hi31。

利用 Griffing 方法 2 模式 I 進行組合力變方分析之均方值示如表 2，由表中可看出不論是地上部乾物重、根部乾物重或是整株總乾物重在四種 NH₄⁺濃度下，其一般組合力均方(GCA)及特殊組合力均方(SCA)均達極顯著差異，表示一般組合力與特殊組合力二者共同影響其外表型值之表現。其 GCA/SCA 均方比值，在地上部乾物重、根部乾物重與整株總乾物重的表現，呈現隨 NH₄⁺離子濃度增加而增大之趨勢。即在較低 NH₄⁺濃度下(5~25mM)比較高的 NH₄⁺濃度下，具有較小的 GCA/SCA 均方比值。表示在較高 NH₄⁺濃度下，一般組合力均方的遺傳效應表現比重呈現相對的增大。

表 2. 不同銨濃度下玉米乾物重組合力變方分析之均方值

Table 2. Mean squares of maize dry weight for combining ability analysis, based on Griffing's mode 1, method 2, at four ammonium concentrations

Source	DF	Shoot dry weight				Root dry weight				Total dry weight			
		5 ^z	25	50	100	5	25	50	100	5	25	50	100
G.C.A	5	0.99***	0.63**	0.80**	0.07**	0.18**	0.09**	0.10**	0.02**	2.14**	1.19**	1.36**	0.16**
S.C.A.	15	1.46**	0.80**	0.71**	0.04**	0.15**	0.06**	0.05**	0.01**	2.21**	1.24**	1.06**	0.08**
Error	60	0.05	0.02	0.01	0.001	0.01	0.001	0.001	0.001	0.08	0.02	0.01	0.002
GCA/SCA		0.67	0.79	1.12	1.72	1.20	1.48	1.93	2.02	0.97	0.96	1.28	2.13

^z Concentration of NH₄⁺ (mM).

^y *** Significant at 0.01 probability level.

六個自交系在四種銨濃度下，其一般組合力效應值列於表 3，由整株總乾物重的表現可看出在較低銨濃度下(5mM)，自交系 Va26 呈現負效應，但隨著銨濃度的增大，其一般組合力效應值轉為正值；H95 不論在何種銨濃度下均表現正的一般組合力效應值，表示 H95 具有增強耐銨性的基因存在。而 Hi31 及 ICAL210 在大部份銨濃度情況下均呈現負值，表示具有降低耐銨性的效應存在。而 A661 及 TA85-17 則介於中間。

表 3. 不同銨濃度下玉米自交系一般組合力效應值

Table 3. General combining ability of dry weight of maize inbred lines estimated in diallel crosses at four ammonium concentrations

Inbred line	Shoot dry weight (g/3 plants) ^z				Root dry weight (g/3 plants)				Total dry weight (g/3 plants)			
	5 ^y	25	50	100	5	25	50	100	5	25	50	100
Va26	-0.150	0.123	0.107	0.108	-0.003	0.060	-0.029	0.041	-0.144	0.183	0.077	0.147
H95	0.457	0.441	0.233	0.076	0.347	0.136	0.086	0.048	0.811	0.573	0.318	0.120
A661	0.122	-0.233	-0.327	0.020	-0.288	-0.098	-0.101	0.032	-0.155	-0.336	-0.427	0.058
TA85-17	0.227	0.092	0.287	0.022	0.068	0.076	0.047	-0.016	0.274	0.176	0.336	0.013
Hi31	-0.560	-0.338	-0.466	-0.149	-0.169	-0.138	-0.058	-0.061	-0.748	-0.472	-0.525	-0.213
ICAL210	-0.096	-0.085	0.166	-0.078	0.045	-0.035	0.055	-0.044	-0.038	-0.125	0.220	-0.125
SE(Gi-Gj)	0.111	0.061	0.048	0.018	0.048	0.028	0.018	0.013	0.144	0.076	0.054	0.026

^z Means of four duplications.

^y Concentration of NH₄⁺ (mM).

四種銨濃度下，玉米 F₁ 單交種特殊組合力之效應值列於表 4。地上部乾物重的表現，在 5mM 銨濃度時，Va26×H95、Va26×A661 及 A661×ICAL210 表現負的 SCA 效應值，而 H95×TA85-17、H95×Hi31 及 Hi31×ICAL210 三者則表現出最大的正 SCA 效應值。在 25mM 銨濃度時，Va26×H95、Va26×A661 及 A661×ICAL210 三者表現出負的 SCA 效應值，而 Va26×TA85-17、H95×Hi31 及 Hi31×ICAL210 呈現較大的正效應值。在 50mM 銨濃度下，Va26×A661、Va26×Hi31 及 H95×A661 等表現負的 SCA 效應值，而 Va26×TA85-17、H95×Hi31 及 A661×TA85-17 呈現較大的正效應值。在 100mM 銨濃度時，Va26×Hi31、H95×A661 呈現負的 SCA 效應值，而 Va26×H95、Va26×ICAL210、H95×Hi31、A661×TA85-17 及 TA85-17×Hi31 則呈現較大且正的 SCA 效應值。

表 4. 不同銨濃度下玉米 F₁ 單交種特殊組合力效應值

Table 4. Specific combining ability of dry weight of maize hybrids estimated in diallel crosses at four ammonium concentrations

F ₁ cross	Shoot dry weight (g/3 plants) ^z				Root dry weight (g/3 plants)				Total dry weight (g/3 plants)			
	5 ^y	25	50	100	5	25	50	100	5	25	50	100
Va26xH95	-0.312	-0.677	0.250	0.169	-0.403	-0.313	0.012	-0.032	-0.721	-0.982	0.264	0.141
Va26xA661	-0.647	-0.479	-0.311	-0.047	-0.496	-0.305	-0.222	-0.041	-1.152	-0.500	-0.536	-0.096
Va26xTA85-17	0.895	1.512	0.837	0.118	0.004	0.410	-0.056	0.006	0.922	1.950	0.779	0.117
Va26xHi31	0.872	0.411	-0.163	-0.121	0.466	0.082	-0.111	-0.026	1.358	0.493	-0.273	-0.145
Va26xICAL210	0.956	0.728	0.540	0.185	-0.181	0.026	0.161	0.068	0.764	0.696	0.702	0.255
H95xA661	0.290	-0.069	-0.242	-0.158	0.356	0.078	-0.135	-0.082	0.640	-0.045	-0.379	-0.246
H95xTA85-17	1.198	0.358	0.339	0.012	0.328	0.054	0.089	-0.007	1.551	0.413	0.425	-0.001
H95xHi31	1.098	1.291	1.146	0.253	0.125	0.368	0.336	0.055	1.259	1.663	1.484	0.313
H95xICAL210	0.241	-0.052	0.097	-0.013	-0.202	-0.102	0.108	0.122	0.035	-0.141	0.206	0.113
A661xTA85-17	0.990	0.044	1.219	0.231	0.048	-0.061	0.326	0.038	1.061	-0.016	1.563	0.328
A661xHi31	0.637	0.064	0.039	0.060	0.147	-0.129	0.029	0.046	0.804	-0.060	0.066	0.099
A661xICAL210	-0.039	-0.523	0.148	0.078	-0.212	-0.245	-0.102	0.067	-0.262	-0.755	0.046	0.139
TA85-17xHi31	0.330	-0.000	0.292	0.320	0.042	-0.036	-0.022	0.134	0.173	-0.044	0.269	0.447
TA85-17xICAL210	0.711	0.264	0.403	0.046	0.275	-0.124	0.082	-0.033	1.006	0.141	0.483	0.007
Hi31 xICAL210	1.045	1.126	0.799	0.067	0.652	0.465	0.295	-0.012	1.727	1.596	1.094	0.057
E (Sij-Sik)	0.294	0.162	0.127	0.048	0.127	0.075	0.048	0.033	0.383	0.201	0.144	0.069
SE (Sij-Skl)	0.272	0.150	0.118	0.044	0.117	0.069	0.044	0.031	0.354	0.187	0.133	0.064

^z Means of four duplications.

^y Concentration of NH₄⁺ (mM).

根部乾物重的表現，在 5mM 銨濃度下，Va26×H95、Va26×A661 表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×Hi31、H95×A661、H95×TA85-17 及 Hi31×ICAL210 則表現正且較大之 SCA 效應值。在 25mM 銨濃度下，Va26×H95、Va26×A661 及 A661×ICAL210 表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×TA85-17、H95×Hi31 及 Hi31×ICAL210 三個表現正且較大之 SCA 效應值。在 50mM 銨濃度下，Va26×A661、H95×A661、Va26×Hi31 及 A661×ICAL210 等表現較大的負 SCA 效應值，而 H95×Hi31、A661×TA85-17 及 Hi31×ICAL210 三者表現正且較大之 SCA 效應值。在 100mM 銨濃度下，Va26×A661、H95×A661 及 TA85-17×ICAL210 表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×ICAL210、H95×Hi31、H95×ICAL210、A661×Hi31、A661×ICAL210 及 TA85-17×Hi31 則表現正且較大之 SCA 效應值。

整株總乾物重的特殊組合力效應值，在 5mM 鉍濃度下，Va26×H95、Va26×A661、A661×ICAL210 三者表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×Hi31、H95×TA85-17、H95×Hi31、A661×TA85-17、TA85-17×ICAL210 及 Hi31×ICAL210 等則表現正且較大之 SCA 效應值。在 25mM 鉍濃度下，Va26×H95、Va26×A661 及 A661×ICAL210 三者表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×TA85-17、H95×Hi31 及 Hi31×ICAL210 三個組合則表現正且較大之 SCA 效應值。在 50mM 鉍濃度下，Va26×A661、Va26×Hi31 及 H95×A661 三個組合表現較大的負 SCA 效應值，而 H95×Hi31、A661×TA85-17 及 Hi31×ICAL210 三個組合表現正且較大之 SCA 效應值。在 100mM 鉍濃度下，Va26×A661、Va26×Hi31 及 H95×A661 等三個組合表現較大的負 SCA 效應值，而 Va26×Hi31、H95×Hi31、A661×TA85-17 及 TA85-17×Hi31 等四個組合則表現正且較大之 SCA 效應值。

討 論

前人研究顯示當鉍濃度由 0 漸增加至 100mM 時，玉米種子的發芽率，3 日發芽勢和發芽係數會隨鉍濃度的增加而下降，尤其在鉍濃度(50~100mM)時更加明顯；由遺傳分析發現在不同鉍濃度下，不同的玉米基因型其發芽性狀的表現有明顯的耐性差異存在，發芽性狀的表現均受一般組合力(GCA)、特殊組合力(SCA)及正反交效應(RE)所共同影響，而其影響力的比重呈現 GCA>RE>SCA 之趨勢(謝等 2003a)。一般組合力主要受累加性基因所作用，而特定組合力則受顯性基因或非等位基因間之相互作用所影響(Sprague & Tatum 1942)。GCA 與 SCA 均方的大小可用於決定基因的作用型式；當 GCA 均方所佔的比例較大時，表示此等性狀由累加性基因所控制的比例佔較大部份。而 SCA 均方所佔的比例較大時，表示顯性基因或非等位基因間之相互作用所控制佔較大比例；正反交效應顯著存在時，表示母本細胞質的不同亦有明顯的影響力(Rojas & Sprague 1952)。

玉米幼苗對 NH_4^+ -N 濃度的容忍極限為 10 mM(Xu *et al.* 1992)，因此當玉米不同基因型生長在 10~40 mM 濃度內，其幼苗之地上部乾物重、根部乾物重及整株總乾物重之表現，大部份基因型呈現隨著 NH_4^+ -N 濃度的增高，其乾物質的生長量呈現下降之趨勢(Wu *et al.* 1998)。而後續相關的研究亦獲知玉米種子順利發芽後，在高鉍濃度下(50~100 mM) 幼苗期的耐鉍性，不同基因型間亦有顯著的差異(謝等 2003b)；而玉米幼苗乾物重與鉍同化酵素活性間之相關研究亦顯示 GS(glutamine synthetase)、GOGAT(glutamate synthase)和 GDH(glutamate dehydrogenase)活性與乾物重間無相關性存在，即表示無法由單一酵素活性的大小來篩選或推測耐鉍性的強弱，由已知訊息顯示幼苗期耐鉍性強弱的表現受著複雜的基因系統共同控制(Wu *et al.* 1998；謝等 2003c)。

本研究為探討玉米幼苗耐鉍性之遺傳作用型式，以 6 個玉米自交系及其相互雜交(正交)所獲得的 15 個 F_1 單交種為材料，在 4 種鉍離子濃度下(5、25、50、100mM)於溫室中的砂耕栽培試驗，結果顯示玉米幼苗之地上部乾物重、根部乾物重和整株總乾物重均隨著鉍濃度之增加而呈現遞減現象；而不同的鉍濃度下，自交系的乾物質生長量較 F_1 單交種來得低；不同的基因型間其乾物重的表現有顯著的差異存在。在高濃度鉍下(50~100mM)，自交系中以 Va26、H95、A661 等三種具有較佳之耐鉍性；而單交種中以 Va26×H95、Va26×ICAL210、H95×Hi31、A661×TA85-17 及 TA85-17×Hi31 等表現較佳之耐鉍性。由 Griffing 組合力分析顯示幼苗之地上部乾物重、根部乾物重和整株總乾物重，在 5~100mM 鉍濃度下均受一般組合力(GCA)和特殊組合力(SCA)等遺傳效應共同影響；隨著鉍濃度的增加，其 GCA/SCA 均方比值呈現增大趨勢，表示在高鉍濃度下其耐性的增強與 GCA 基因的表現比重增加有密切關係。因此在高鉍濃度下，可經由輪迴選種增加有利於增強耐鉍性的 GCA(累加性)及 SCA 基因數量，則預期可選獲耐鉍性較強之基因型。

引用文獻

- 謝光照、曹文隆、楊金興、盧煌勝。2003a。玉米種子發芽之耐鉍性及耐性組合力分析。中華農業研究 52:119-129。
- 謝光照、曹文隆、何千里、楊金興、盧煌勝。2003b。玉米不同株齡幼苗與耐鉍之相關性。中華農業研究 52:130-135。
- 謝光照、曹文隆、吳慧茹、盧煌勝。2003c。玉米幼苗乾物重與鉍同化酵素活性間之相關。中華農業研究 52:236-245。
- Bennett, W. F., J. Pesek, and J. J. Hanway. 1964. Effect of nitrate and ammonium on growth of corn in nutrient solution sand culture. *Agron. J.* 56:342-345.
- Blackmer, A. M. and C. A. Sanchez. 1988. Response of corn to nitrogen-15 labeled anhydrous ammonia with and without nitrapyrin in Iowa. *Agron. J.* 80:95-102.
- Cramer, M. D. and O. A. M. Lewis. 1993. The influence of NO_3^- and NH_4^+ nutrition on the gas exchange characteristic of the roots of wheat (*Triticum aestivum*) and maize (*Zea mays*) plant. *Ann. Bot.* 72:37-46.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Handa, S., H. L. Warren, D. M. Huber, and C. Y. Tsai. 1984. Nitrogen nutrition and seedling development of normal and opaque-2 maize genotypes. *Can. J. Plant Sci.* 64:885-894.
- Rojas, B. A. and G. F. Sprague. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials: III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. *Agron. J.* 44:462-466.
- Schrader, L. E., D. Domska, P. E. Jung, Jr., and L. A. Peterson. 1972. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 64:690-695.
- Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General and specific combining ability in single crosses of corn. *J. Amm. Soc. Agron.* 34:923-932.
- Wu, H. R., G. J. Shieh, H. S. Lu, and C. Y. Tsai. 1998. Genotypic variations of maize seedlings in utilizing ammonium nutrition. *Taiwania* 43(4):261-272.
- Xu, Q. F., C. L. Tsai, and C. Y. Tsai. 1992. Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen nutrition on growth and nitrogen uptake of maize. *J. Plant Nutr.* 15:23-33.

Analysis of Ammonium Tolerance and Combining Ability of Maize (*Zea mays* L.) Seedling¹

Guang-Jauh Shieh^{2,4}, Wen-Long Tsaur², King-Hsing Yang²
and Hung-Sung Lu³

Summary

Shieh, G. J., W. L. Tsaur, K. H. Yang, and H. S. Lu. 2004. Analysis of ammonium tolerance and combining ability of maize (*Zea mays* L.) seedling. *J. Agric. Res. China* 53:79-86.

Fifteen F₁ cross combinations and their parental inbred lines of maize (*Zea mays* L.) were analyzed in this study. Four replicates, 3 plants of each genotypes, were tested at the concentrations (5, 25, 50, 100 mM) of ammonium (NH₄⁺) to evaluate the tolerance of maize inbreds and hybrids to ammonium-nitrogen (NH₄⁺-N) maize seedlings were grown in sand culture and supplemented with different concentrations of ammonium in green house, seedlings were harvested at 16 days after application of ammonium-nitrogen (NH₄⁺-N) to determine the shoot, root and total dry mass. Analysis of variance indicated that shoot, root and total dry weight were highly affected by ammonium ion, genotype, and interaction of ammonium x genotype. The shoot dry weight, root dry weight and total dry weight were decreased while the ammonium concentration increased. The F₁ seedling showed more dry weight than the inbred line at various ammonium concentrations. In this trial, the degree of tolerance for ammonium showed variation in inbred lines and their F₁ cross combinations. Based on Griffing's analysis, the result indicated that the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) showed significant effect on shoot dry weight, root dry weight and total dry weight at various ammonium concentration. The GCA/SCA ratio of dry weight in high NH₄⁺ concentrations (50~100mM) were larger than low NH₄⁺ concentration (5-25mM). In this trial, the genotype Va26, H95, A661, Va26×H95, Va26×ICAL210, H95×Hi31, A661×TA85-17, TA85-17×Hi31 showed better ammonium tolerance when grown in higher ammonium concentrations.

Key words: Ammonium (NH₄⁺), Maize, Tolerance, Combining ability.

-
1. Contribution No.2190 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: April 24, 2004.
 2. Respectively, Associate Agronomist, Assistant Agronomist, Assistant Agronomist, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Former Senior Agronomist, Department of Agronomy, ARI. Currently, Director of Miaoli DAIS, Miaoli, Taiwan, ROC.
 4. Corresponding author, e-mail: x486045@wufeng.tari.gov.tw ; Fax: (04)23302806.