

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO DE VARIEDADES DE ARROZ TOLERANTES E SENSÍVEIS À TOXIDEZ DE ALUMÍNIO¹

Reinaldo de Paula Ferreira²
Carlos Sigueyuki Sedyama³
Cosme Damião Cruz⁴
Marcelo Nascimento de Oliveira⁵

1. INTRODUÇÃO

A toxidez de alumínio é importante fator limitante do crescimento dos cereais nos cerrados do Brasil (5). Em geral, ela não ocorre em solos de pH acima de 5,5 (12), mas é comum em pH abaixo desse valor, em que a solubilidade de alumínio aumenta acentuadamente, representando mais de 50% da CTC do solo (4).

O excesso de alumínio inibe a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas, regula a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares e interfere na absorção, no transporte e no uso de vários elementos, principalmente fósforo e cálcio (7).

¹Aceito para publicação em 02.12.1996.

²EMBRAPA/CNPAP, Cx. Postal 179, 74001-970 Goiânia, GO, Brasil.

³Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG, Brasil.

⁴Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG, Brasil.

⁵Bolsista do CNPq, Cx. Postal 179, 74001-970, Goiânia, GO, Brasil.

O crescimento limitado das raízes de plantas sensíveis à toxidez de alumínio restringe a absorção de água e nutrientes, tornando-as menos produtivas e mais susceptíveis à seca (11). A opção que tem sido considerada mais promissora para contornar esse problema é a exploração do potencial genético dos cultivares, pois sabe-se que espécies e variedades diferem amplamente na tolerância ao excesso de alumínio (8).

O objetivo deste trabalho é avaliar, através de um cruzamento dialélico entre variedades de arroz, os efeitos da capacidade geral e específica de combinação quanto à tolerância à toxidez de alumínio, dos caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste experimento foram avaliados três progenitores tolerantes (Guarani, Guaporé e IAC 25) e três sensíveis (CNA 5600, CNA 5615 e IAC 899) à toxidez de alumínio e seus respectivos F_{1s} em um sistema de cruzamento dialélico, desconsiderando os recíprocos. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com três repetições, utilizando-se 13 plantas por tratamento.

Inicialmente, as sementes desses materiais, após serem tratadas com Vitavax e Thiram, foram colocadas para germinar em rolos de papel especial para germinação, umedecidas com água destilada, permanecendo no germinador durante 70 horas, à temperatura de 25°C e umidade relativa de 100%, até a radícula alcançar, aproximadamente, 3 cm.

Posteriormente, plântulas uniformes, após medir-se o comprimento inicial da raiz, foram transferidas para caixas plásticas com as seguintes dimensões: 37 cm de comprimento, 30 cm de largura e 14 cm de altura. Cada caixa continha 15 litros de solução nutritiva (Quadro 1), cuja composição química é uma modificação daquela proposta por FURLANI e HANNA (9). Utilizou-se a concentração de 20 ppm de alumínio, por ser este nível considerado crítico para estudos genéticos em arroz, por apresentar a melhor discriminação entre os materiais avaliados, conforme evidenciado por FERREIRA (6).

Para a sustentação das plântulas no recipiente com solução nutritiva, foram empregadas chapas de acrílico perfuradas. Em cada perfuração, acomodou-se uma plântula, cuja radícula alcançou a solução nutritiva através daquela perfuração.

Durante o período de crescimento, que se prolongou por 10 dias, após a transferência das plântulas para as caixas, corrigiu-se diariamente o pH da solução nutritiva para 4,0, com adição de HCl, ou NaOH 0,5 M. Nesse período, a temperatura diurna na câmara de crescimento foi de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e a noturna, de $24 \pm 1^\circ\text{C}$, enquanto a umidade relativa diurna foi pró-

QUADRO 1 - Composição das soluções estoques e da solução nutritiva usadas para cultivar plantas de arroz em estudos de estresse de alumínio

N°	Solução-Estoque		Esto- que/Solução (mL/L)	Concentração Final Solução Nutritiva	
	Componente	Concentração (g/L)		ppm	
1	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	142,4	0,28	Ca	30,0
2	KH ₂ PO ₄	17,6	0,05	K	18,0
3	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	270,0	0,66	Mg	3,8
	NH ₄ NO ₃	33,8		NO ₃	32,0
4	FeSO ₄ ·7H ₂ O	24,9	0,33	NH ₄ ⁺	4,0
	Na ₂ EDTA	29,6		P	0,2
5	KCl	18,6	0,46	B	0,11
	KNO ₃	24,6		Fe	1,65
	K ₂ SO ₄	44,0		Mn	0,21
6	MnCl ₂ ·4H ₂ O	2,34	0,33	Mo	0,03
	H ₃ BO ₃	2,04		Zn	0,10
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,20		Cu	0,01
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1,41		Al	20,0
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,26			
7	AlCl ₃ ·6H ₂ O	89,48	2,00		

xima de 80% e a noturna, de 100%. O fotoperíodo foi de 12 horas, com uma densidade de fluxo de fótons de 800 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{segundo}$ na altura da copa da planta, fornecidos por lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

Após o período de 10 dias, as plântulas foram medidas e o sistema radicular e a parte aérea foram colocados, separadamente, em sacos de papel e submetidos à secagem em estufa, com ventilação forçada, a 75°C, durante 48 horas.

Por ocasião da tomada de dados, foram avaliados os caracteres comprimento da raiz, matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta.

Foram realizados estudos da capacidade geral e específica de combinação, utilizando-se o método 2 de GRIFFING (10), em um modelo que inclui os pais e seus F_{1s} .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 2, encontra-se a análise de variância dos caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta, obtidos nos seis progenitores e suas combinações híbridas, avaliados no dialelo balanceado de meia-tabela, na concentração de 20 ppm de alumínio. Observou-se que, em todos os caracteres estudados, houve variabilidade genética entre os tratamentos, evidenciada pela significância dos quadrados médios.

As somas de quadrados de tratamentos foram desdobradas em somas de quadrados associadas aos efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação (Quadro 3). Verifica-se que todos os caracteres tiveram significância dos quadrados médios da capacidade geral e específica de combinação. Excetuando peso da matéria seca da parte aérea e total, os quadrados médios da capacidade geral de combinação foram maiores que os da capacidade específica. Embora as magnitudes dos quadrados médios não indiquem a importância relativa dos componentes de variação genética, os valores de F, significativos para capacidade geral e específica de combinação mostram a existência da variabilidade devida à ação aditiva e não-aditiva dos genes, respectivamente. CUTRIM (2), avaliando um cruzamento dialélico entre variedades de arroz, observou que os efeitos da capacidade específica de combinação foram mais importantes que os efeitos da capacidade geral de combinação para os caracteres comprimento máximo da raiz, peso

QUADRO 2 - Análise de variância dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP) do dialelo balanceado de meia-tabela, na concentração de 20 ppm de alumínio

FV	GL	Quadrado Médio				
		CR	PSRx10 ⁻³	PSPAx10 ⁻³	PSTx10 ⁻³	AP
Bloco	2	1,5602	0,0081	0,3701	0,4467	0,6168
Tratamento	20	12,1147**	0,3475**	6,0395**	9,0630**	48,0588**
Resíduo	40	0,1320	0,0081	0,0638	0,0818	1,4390
Média		4,06	0,03	0,15	0,18	20,59
CV(%)		8,95	9,06	5,15	4,85	5,83

**F significativo a 1% de probabilidade.

da matéria seca da raiz e da parte aérea e altura da planta. Esta discrepância de resultados pode ser atribuída, entre outros fatores, às diferenças entre as concentrações de alumínio e materiais genéticos utilizados nos dois trabalhos.

No Quadro 3, encontram-se também as estimativas dos componentes quadráticos referentes à capacidade geral e específica de combinação. Constata-se que houve predominância dos efeitos quadráticos associados à capacidade geral de combinação para o caráter comprimento da raiz, o que reflete a maior importância do efeito genético aditivo no controle desta característica. Para os caracteres peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total, os componentes quadráticos associados à capacidade específica de combinação foram superiores e, para altura da planta, ambos os componentes, aditivo e não-aditivo, foram importantes.

A heterose, em relação à média dos pais, em percentagem, dos caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta é apresentada no Quadro 4. Dos híbridos obtidos, o que apresentou maior heterose para o caráter comprimento da raiz foi IAC 25 x IAC 899, no valor de 47,91%. Entretanto, heterose negativa também foi obtida para este caráter, com o valor máximo chegando a -26,83% para o cruzamento Guarani x Guaporé. Para os caracteres peso da matéria seca

QUADRO 3 - Quadrados médios da capacidade combinatória geral (CGC) e específica (CEC) dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e Total (PST) e altura da planta (AP), segundo a metodologia de GRIFFING (10), na concentração de 20 ppm de alumínio

FV	GL	Quadrados Médios				
		CR	PSRx10 ⁻³	PSPAx10 ⁻³	PSTx10 ⁻³	AP
Tratamento	20	12,1147**	0,3475**	6,0395**	9,0630**	48,0588**
CGC	5	37,8154**	0,5276**	4,9575**	8,2349**	137,2330**
CEC	15	3,5477**	0,2876**	6,3990**	9,3383**	18,3344**
Resíduo	40	0,1320	0,0081	0,0638	0,0818	1,4390
σ_g		1,5701	0,00002	0,0002	0,0003	5,6581
σ_s		1,1386	0,00009	0,0021	0,0031	5,6318

$$\sigma_g = \frac{\sum g_i^2}{p-1}$$

$$\sigma_s = \frac{2}{p(p-1)} \sum_{i < j} s_{ij}^2$$

** F significativo a 1% de probabilidade.

QUADRO 4 – Estimativa da heterose em relação à média dos pais, em percentagem, dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP), segundo a metodologia de GRIFFING (10), na concentração de 20 ppm de alumínio

Cruzamento	Caráter				
	CR	PSR	PSPA	PST	AP
CNA 5600 x CNA 5615	-0,01	-49,76	-40,74	-42,23	-10,45
CNA 5600 x Guarani	35,90	-26,90	-25,96	-26,13	8,27
CNA 5600 x Guaporé	40,84	-26,18	-34,30	-32,91	-2,01
CNA 5600 x IAC 25	31,55	-18,60	-23,73	-22,86	3,37
CNA 5600 x IAC 899	-14,70	-54,84	-46,33	-47,54	-24,05
CNA 5615 x Guarani	41,96	-25,93	-27,37	-27,11	6,80
CNA 5615 x Guaporé	43,84	-28,24	-30,15	-29,82	4,69
CNA 5615 x IAC 25	30,23	-35,35	-37,35	-37,01	-11,91
CNA 5615 x IAC 899	0,01	-41,65	-35,36	-36,28	-19,30
Guarani x Guaporé	-26,83	-51,83	-50,08	-50,40	-20,16
Guarani x IAC 25	-9,71	-47,74	-43,33	-44,12	-15,22
Guarani x IAC 899	41,07	-26,83	-33,69	-32,60	4,59
Guaporé x IAC 25	-18,89	-46,09	-48,90	-48,40	-20,41
Guaporé x IAC 899	37,93	-40,26	-44,48	-43,82	-11,79
IAC 25 x IAC 899	47,91	-26,19	-27,30	-27,13	0,26

QUADRO 5 - Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de seis cultivares/linhagens de arroz, desvio-padrão [$DP(\hat{g}_i)$] e desvio-padrão da diferença dos efeitos de dois progenitores [$DP(\hat{g}_i - \hat{g}_j)$] dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP), segundo a metodologia de GRIFFING (10), na concentração de 20 ppm de alumínio

Progenitores	Caracteres				
	CR	PSR	PSPA	PST	AP
CNA 5600	-1,0583	-0,0035	-0,0132	-0,0167	-1,9750
CNA 5615	-1,1916	-0,0041	-0,0195	-0,0236	-3,1917
Guarani	1,3375	0,0037	0,0061	0,0098	2,2625
Guaporé	0,8875	0,0041	0,0095	0,0136	0,0750
IAC 25	1,1875	0,0049	0,0186	0,0235	3,0541
IAC 899	-1,1625	-0,0052	-0,0016	-0,0067	-0,2250
$DP(\hat{g}_i)$	0,0677	0,0005	0,0015	0,0017	0,2235
$DP(\hat{g}_i - \hat{g}_j)$	0,1049	0,0008	0,0023	0,0026	0,3463

da raiz, da parte aérea e total, todos os cruzamentos apresentaram heterose negativa. Para o caráter altura da planta, a heterose variou de -24,05 a 8,27%.

No Quadro 5, encontram-se as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) de cada progenitor, bem como o desvio-padrão dessas estimativas.

No caso do comprimento da raiz, que é o principal caráter determinante da tolerância à toxidez de alumínio (σ), vê-se que os progenitores com maior efeito positivo da capacidade geral de combinação foram, pela ordem, Guarani, IAC 25 e Guaporé. Houve considerável variabilidade nas estimativas de \hat{g}_i , com amplitude de variação de 24,11 vezes o desvio-padrão de $\hat{g}_i - \hat{g}_j$. Estes três progenitores também tiveram efeitos positivos da capacidade geral de combinação para os caracteres peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta, indicando, assim, que dentre os seis progenitores estudados, estes três devem ser os selecionados para programa de cruzamento visando obter progênies tolerantes à toxidez de alumínio.

No Quadro 6, encontram-se as estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação dos caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta.

Combinações híbridas superiores foram obtidas cruzando o cultivar Guarani com os progenitores CNA 5615 e IAC 899. Estas combinações destacaram-se, principalmente, em relação aos caracteres peso da matéria seca da raiz, comprimento da raiz e altura da planta. Nestes dois últimos caracteres, também se destacou a combinação híbrida Guarani x CNA 5600.

Em relação ao caráter altura da planta, combinações híbridas superiores foram obtidas envolvendo o progenitor Guaporé com os progenitores CNA 5600 e CNA 5615. Já em relação ao caráter comprimento da raiz, além destas duas combinações, destacou-se também o cruzamento Guaporé x IAC 899.

A combinação híbrida IAC 25 x CNA 5600 apresentou estimativas positivas da capacidade específica de combinação para todos os caracteres estudados. Em relação ao caráter comprimento da raiz, também se destacaram os cruzamentos IAC 25 x IAC 899 e IAC 25 x CNA 5615 e, para o caráter altura da planta, mostrou-se promissor o cruzamento IAC 25 x IAC 899.

Verifica-se que as combinações híbridas mais heteróticas envolveram dois grupos de progenitores. O grupo I, de alta capacidade geral de combinação e, conseqüentemente, com alta freqüência de alelos favoráveis,

QUADRO 6 - Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP), segundo a metodologia de GRIFFING (10), na concentração de 20 ppm de alumínio

Progenitores	Caracteres				
	CR	PSR	PSPA	PST	AP
CNA 5600 x CNA 5600	-0,6405	0,0076	0,0400	0,0476	0,1928
CNA 5600 x CNA 5615	-0,6738	-0,0078	-0,0267	-0,0345	-1,2905
CNA 5600 x Guarani	0,9637	-0,0009	-0,0020	-0,0029	2,0220
CNA 5600 x Guaporé	1,1137	-0,0001	-0,0131	-0,0131	0,8095
CNA 5600 x IAC 25	0,7470	0,0022	0,0011	0,0033	1,8304
CNA 5600 x IAC 899	-0,8696	-0,0087	-0,0393	-0,0480	-3,7572
CNA 5615 x CNA 5615	-0,7071	0,0084	0,0382	0,0467	0,5262
CNA 5615 x Guarani	1,0970	0,0001	-0,0037	-0,0037	1,8054
CNA 5615 x Guaporé	1,1137	-0,0004	-0,0031	-0,0035	2,2595
CNA 5615 x IAC 25	0,6137	-0,0046	-0,0259	-0,0304	-1,3529
CNA 5615 x IAC 899	-0,7363	-0,0041	-0,0170	-0,0211	-2,4737
Guarani x Guarani	-0,2321	0,0132	0,0583	0,0716	0,3512
Guarani x Guaporé	-1,7821	-0,0135	-0,0514	-0,0649	-3,5946
Guarani x IAC 25	-0,8488	-0,0122	-0,0436	-0,0558	-2,9738
Guarani x IAC 899	1,0345	0,0001	-0,0159	-0,0158	2,0387
Guaporé x Guaporé	-0,0322	0,0150	0,0782	0,0932	2,2262
Guaporé x IAC 25	-1,2654	-0,0112	-0,0535	-0,0646	-3,1863
Guaporé x IAC 899	0,8845	-0,0050	-0,0353	-0,0404	-0,7405
IAC 25 x IAC 25	-0,2321	0,0128	0,0629	0,0757	1,9345
IAC 25 x IAC 899	1,2178	-0,0001	-0,0039	-0,0040	1,8137
IAC 899 x IAC 899	-0,7655	0,0089	0,0557	0,0647	1,5595
DP (\hat{S}_{ij})	0,1535	0,0012	0,0034	0,0038	0,5069
DP (\hat{S}_{ii})	0,1859	0,0014	0,0041	0,0046	0,6139
DP ($\hat{S}_{ij} - \hat{S}_{ik}$)	0,2775	0,0022	0,0061	0,0069	0,9162

veis, é constituído pelos progenitores Guarani, Guaporé e IAC 25, e o grupo II, composto pelos progenitores CNA 5600, CNA 5615 e IAC 899, que tiveram maior complementação gênica com os progenitores do grupo I.

O parâmetro s_{ii} refere-se ao efeito da capacidade de combinação de uma variedade com ela própria e, de acordo com DELBONI (3) e demonstração realizada por CRUZ e VENCOSKY (1), pode-se concluir que o parâmetro s_{ii} é de fundamental importância para indicar a direção dos desvios de dominância do caráter.

Pelo Quadro 6, constata-se que os valores de s_{ii} para o caráter comprimento da raiz foram todos negativos, evidenciando, assim, a ocorrência de dominância unidirecional, com o F_1 atuando em direção ao caráter de maior grandeza. Este fato foi também evidenciado pelas estimativas da

estimativas apresentadas, pode-se concluir que os progenitores mais divergentes, em relação à média dos progenitores avaliados no dialelo, foram IAC 899, CNA 5615 e CNA 5600.

Verifica-se, ainda, que os caracteres peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta apresentaram valores positivos de s_{ii} , mostrando, portanto, que estes caracteres apresentam dominância unidirecional com F_1 atuando em direção ao caráter de menor grandeza. Este fato foi também evidenciado pelas estimativas da heterose, que, em sua maioria, foi negativa para estes caracteres (Quadro 4). Pela magnitude das estimativas apresentadas, observa-se que, para os caracteres peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total, os progenitores mais divergentes, em relação à média dos progenitores avaliados no dialelo, foram Guaporé, IAC 25 e Guarani e, para o caráter altura da planta, foram Guaporé, IAC 25 e IAC 899 (Quadro 6).

4. RESUMO

Objetivando estudar a capacidade de combinação de variedades de arroz, foram avaliados três progenitores tolerantes (Guarani, Guaporé e IAC 25) e três sensíveis (CNA 5600, CNA 5615 e IAC 899) à toxidez de alumínio e seus respectivos cruzamentos F_1 s em um sistema de cruzamento dialélico de meia-tabela, na concentração de 20 ppm de alumínio em solução nutritiva. Os resultados encontrados evidenciaram que, para o caráter comprimento da raiz, principal indicador da tolerância à toxidez de alumínio em arroz, foram mais importantes os efeitos da capacidade geral de combinação, evidenciando maior variabilidade genética aditiva. Os progenitores Guarani, IAC 25 e Guaporé apresentaram os maiores efeitos positivos da capacidade geral de combinação para todos os caracteres estudados.

5. SUMMARY

(EVALUATION OF THE COMBINING ABILITY OF RICE VARIETIES POSSESSING TOLERANCE OR SENSITIVITY TO ALUMINUM TOXICITY)

Aiming at studying the combining ability of rice varieties, three progenitors known to be tolerant to aluminum toxicity (Guarani, Guaporé and IAC 25) and other three known to be sensitive (CNA 5600, CNA 5615 and IAC 899), along with their respective F_1 s crosses obtained in a half-table dialelic crossing system, were evaluated in nutrient solution at an aluminum concentration of 20 ppm. The results indicated that, for root length, which is the main indicator of tolerance to aluminum toxicity in

rice, the effects of the general combining ability were the most important, showing the occurrence of a higher additive genetic variability. Guarani, IAC 25 and Guaporé exhibited the greatest positive effects of the general combining ability for all studied traits.

6. LITERATURA CITADA

1. CRUZ, C.D. & VENKOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *R. Bras. Genet.*, 12: 425-438, 1989.
2. CUTRIM, V.A. *Herança da tolerância à toxidez causada pelo alumínio em arroz (Oryza sativa L.)*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1979. 67 p. (Tese M.S.).
3. DELBONI, J.S. *Análise de cruzamentos dialélicos entre variedades de milho braqui-tico-2*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1987. 99 p. (Tese M.S.).
4. EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34: 893-896, 1970.
5. FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 14: 141-147, 1979.
6. FERREIRA, R.P. *Análises biométricas da tolerância do arroz (Oryza sativa L.) à toxidez de alumínio*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1995. 123p. (Tese D.S.).
7. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
8. FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29: 511-566, 1978.
9. FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 8: 205-208, 1984.
10. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Austr. J. Biol. Sci.*, 9: 463-493, 1956.
11. LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33:95-98, 1969.
12. McCART, G.D. & KAMPRATH, E.J. Supplying Ca and Mg for cotton on sandy, low cation exchange capacity soil. *Agron. J.*, 57:404-408, 1965.