

INFLUÊNCIA DE FERRO NO CRESCIMENTO E NA ABSORÇÃO DE P, K, Ca E Mg PELA PLANTA DE ARROZ EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

NAND KUMAR FAGERIA², MOREL PEREIRA BARBOSA FILHO³ e
JOSÉ RUY PORTO DE CARVALHO⁴

RESUMO - Plantas de arroz (*Oryza sativa* L. - cultivar IAC 435) foram cultivadas em solução nutritiva para avaliar os efeitos de concentração variáveis de ferro sobre o crescimento e absorção de P, K, Ca, Mg e Fe. A concentração mínima de ferro para o ótimo crescimento foi 2,5 ppm. A toxidez de ferro ocorreu em concentrações acima de 80 ppm. Os níveis críticos tóxicos de ferro na parte aérea, aos 20 e 40 dias de crescimento das plantas, foram 680 e 850 ppm, respectivamente. Com aumento na concentração de ferro, ocorreu um aumento do seu teor na parte aérea, mas a absorção total somente cresceu até aos 40 ppm e depois decresceu. A absorção de P, K, Ca e Mg diminuiu com o aumento da concentração de ferro em solução nutritiva.

Termos para indexação: toxidez de ferro, absorção de nutrientes, crescimento.

INFLUENCE OF IRON ON GROWTH AND ABSORPTION OF P, K, Ca AND Mg BY RICE PLANT IN NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT - Rice plants (*Oryza sativa* L. - cultivar IAC 435) were grown in nutrient solution to evaluate the effect of varying iron concentration on growth and uptake of P, K, Ca, Mg and Fe. Lowest concentration of Fe for optimum growth was 2.5 ppm. Iron toxicity occurred at 80 ppm. Critical toxic level of Fe in the tops of 20 and 40 days old plants were 680 and 850 ppm, respectively. With increasing concentrations of Fe, the content of Fe (ppm) in the tops increased, but total uptake increased up to 60 ppm only, and then decreased. Uptake of P, K, Ca and Mg decreased with increasing concentration of iron in nutrient solution.

Index terms: Fe toxicity, nutrient uptake, growth.

INTRODUÇÃO

É bem conhecido que tanto a deficiência como o excesso de micronutrientes causam uma depressão no rendimento e algumas vezes provocam um sério prejuízo às plantas.

O ferro é um nutriente essencial que, a baixas concentrações, promove o desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, o excesso de ferro solúvel retarda o crescimento. Em casos severos, as folhas apresentam-se com bronzeamento⁵ ou em algumas variedades, um amarelecimento ou descoloração laranja que se expande da extremidade superior das folhas mais velhas para a base, advindo depois o secamento e a morte das folhas (Ponnamperuma et al. 1955). As raízes são escassas, grossas, e, freqüentemente, de coloração bruno-escura. Os sintomas podem aparecer em qualquer estágio de

crescimento, mas comumente aparecem por ocasião do máximo perfilhamento e no início da floração. Baixos rendimentos provocados pela toxidez de ferro são associados com uma alta percentagem de grãos vazios (Breemen & Mooarmann 1977).

Plantas de arroz submetidas à toxidez de ferro mostram bronzeamento se o ferro solúvel no solo ultrapassar 300-500 ppm (Ponnamperuma et al. 1955 e Tanaka et al. 1966). Sob condições de baixa fertilidade - especificamente, deficiência de P e K -, ou na presença de inibidores respiratórios, como H₂S, baixas concentrações de Fe²⁺, como 30 ppm, podem ser também tóxicas.

A toxidez de ferro é um distúrbio nutricional que vem ocorrendo na Índia, Srilanka, Malásia, Indonésia, Filipinas, Senegal, Libéria, Nigéria e Colômbia (Panabokke 1975, Sahu 1968 e Virmani 1976). No Brasil, esta toxidez já foi constatada nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Pará. Com o incentivo que o Governo e, conseqüentemente, o Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão pretende dar ao cultivo de arroz

¹ Aceito para publicação em 5 de maio de 1980.

² Eng.º Agr.º, Ph.D., Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP) - EMBRAPA, Caixa Postal 179, CEP 74.000 - Goiânia, GO.

³ Eng.º Agr.º, M.Sc., CNPAP - EMBRAPA.

⁴ Estatístico, M.Sc., CNPAP - EMBRAPA.

⁵ Manchas de coloração púrpura ou bruno avermelhado.

irrigado, faz-se necessário entender quais as principais razões de toxidez de ferro e buscar a solução para o problema.

O objetivo principal deste estudo é determinar a relação entre concentrações de ferro e absorção de macronutrientes. Outro objetivo é o de estabelecer o nível crítico tóxico na planta para estudar este problema em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para estudar os efeitos de ferro no crescimento e absorção de macronutrientes pela planta de arroz, sementes da cultivar IAC-435 foram germinadas em areia pura, utilizando-se bandejas de plástico de 30 x 45 x 8 cm. Doze dias após a semeadura, quatro plântulas foram colocadas em discos, suportadas por algodão. Estes discos foram então transferidos para vasos de plástico contendo 7,5 litros de solução nutritiva como concentrações variáveis de 0; 2,5; 10; 20; 40; 80 e 160 ppm na forma de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

A solução nutritiva foi trocada uma vez por semana e o pH ajustado a $5 \pm 0,2$ inicialmente, e, a cada dois dias, com NaOH 0,1N ou HCl 0,1N. A solução nutritiva teve a seguinte composição (Fageria & Zimmermann 1979): 40 ppm de N como NH_4NO_3 ; 10 ppm de P como $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 40 ppm de K como K_2SO_4 ; 40 ppm de Ca como CaCl_2 ; 40 ppm de Mg como $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,5 ppm de Mn como $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,05 ppm de Mo como $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$; 0,2 ppm de B como H_3BO_3 ; 0,01 ppm de Zn como $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 ppm de Cu como $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Depois de 20, 40 e 60 dias de crescimento em solução nutritiva, mediu-se a altura da planta. A parte aérea e as raízes foram colhidas separadamente, colocadas para secar em estufa a 70-80°C e pesadas. O material usado para análise foi preparado em moinho equipado com peneira de 20 mesh; 0,5 g do material seco sofreu uma digestão com a mistura de três ácidos: $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ na proporção de 10:1:4, obedecendo o processo descrito por Jackson (1958). O P foi determinado colorimetricamente, e o K, Ca, Mg e Fe, pela espectrofotometria de absorção atômica, modelo Perkin Elmer 306 (Yoshida et al. 1976).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as injúrias foram caracterizadas pelos sintomas visuais de toxidez e pela medida de peso seco da parte aérea e raízes, pela altura das plantas e pela absorção de P, K, Ca, Mg e Fe.

Os resultados encontrados para as diferentes concentrações de ferro e crescimento da planta são apresentados na Tabela 1.

No nível de até 40 ppm de ferro, houve um aumento na altura da planta, aos 20 dias de idade, ao passo que, no nível de até 20 ppm, o aumento se verificou aos 40 e 60 dias de idade. Estatisticamente, houve diferença significativa entre a altura de plantas nas concentrações compreendidas entre 2,5 e 40 ppm de ferro, em qualquer época de coleta das plantas. A toxidez de ferro iniciou a partir de 80 ppm, reduzindo significativamente a altura das plantas a concentrações de 80 e 160 ppm, quando comparadas com outras concentrações.

Resultados semelhantes foram obtidos com respeito ao peso seco da parte aérea e peso seco de raiz (Tabela 1). A mínima concentração de ferro na solução nutritiva para um crescimento ótimo da planta foi de 2,5 ppm e a toxidez iniciou-se a partir de 80 ppm. Níveis tóxicos de ferro em solução nutritiva podem variar de 20 a mais de 500 ppm (Ishizuka 1961, Takana et al. 1966). Este amplo intervalo pode ser atribuído a diferenças em: critério usado para estudar toxidez; cultivares; formas de aplicação do nutriente; concentrações de outros nutrientes e seus "status" na planta, sensibilidade da planta aos fatores ambientais, tais como temperatura e radiação solar (Breemen & Moormann 1977).

Neste estudo foram usados dois critérios para definir os níveis tóxicos: crescimento da planta e teor de ferro nas plantas. O crescimento das plantas foi reduzido significativamente em concentrações maiores que 80 ppm de ferro. O sintoma de bronzeamento apareceu em concentrações de 160 ppm de ferro. Ponnampuruma (1958) e Mulleriyawa (1966) relataram sintomas de bronzeamento em experimentos de vasos, em solos de Srilanka, com teor de 30-80 ppm; Okuda & Takahashi (1965) e Tanaka et al. (1966) relataram este mesmo sintoma em concentrações de 100-500 ppm em solução nutritiva e de 300-400 ppm em solos bem supridos com nutrientes (International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas 1972).

Resultados relacionando concentrações de ferro, teor de ferro (ppm) na parte aérea e absorção (mg/12 plantas) são apresentados nas Fig. 1 e 2.

O teor de ferro na parte aérea da planta aumentou com o aumento na concentração de ferro em todos os três estádios de crescimento observados,

TABELA 1. Influência de Fe na altura, peso seco da parte aérea e raiz.

Conc. Fe (ppm)	Altura da planta (cm)			Peso seco da parte aérea (g/12 plantas)			Peso seco da raiz (g/12 plantas)		
	20	40	60	20	40	60	20	40	60
0,0	28	62	61	2,02	0,81	33,27	0,39	1,38	7,69
2,5	46	71	97	5,28	17,03	82,88	1,10	2,62	14,30
5,0	52	72	108	6,26	20,52	70,67	1,50	3,24	12,63
10,0	50	74	111	5,88	19,33	75,74	1,20	2,43	12,86
20,0	44	82	112	4,24	20,38	68,29	0,99	3,62	14,22
40,0	46	81	110	5,30	21,62	70,83	1,33	4,64	14,88
80,0	38	68	83	2,47	11,09	38,77	0,87	2,17	9,65
160,0	18	20	36	0,52	0,72	2,03	0,15	0,26	1,41
C.V. (%)	7,35	6,99	11,73	16,58	17,28	16,42	12,69	18,82	19,49

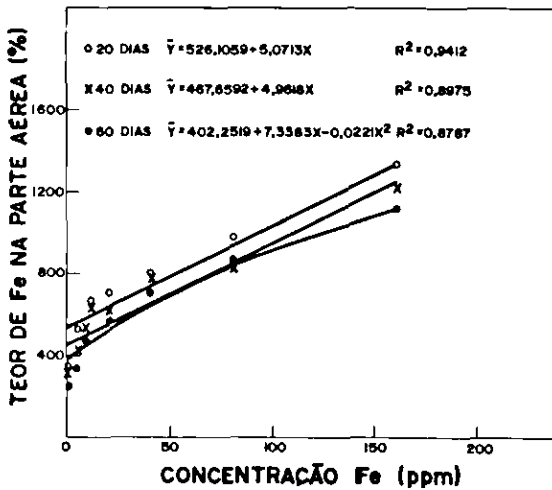


FIG. 1. Teor de ferro na parte aérea em função de sua concentração na solução nutritiva.

mas a absorção total aumentou somente até o nível de 60 ppm e depois decresceu, independentemente da idade da planta. A redução do crescimento nas concentrações altas confirma a hipótese de que a taxa de máximo crescimento de uma determinada espécie, sob determinada condição ambiental, pode ser atingida, e aumentos ainda maiores de absorção de nutrientes podem resultar em acumulação de elementos em concentrações maiores do que necessário para o crescimento máximo. Tal acumulação pode não ter efeito sobre a taxa de crescimento (consumo de luxo) ou pode

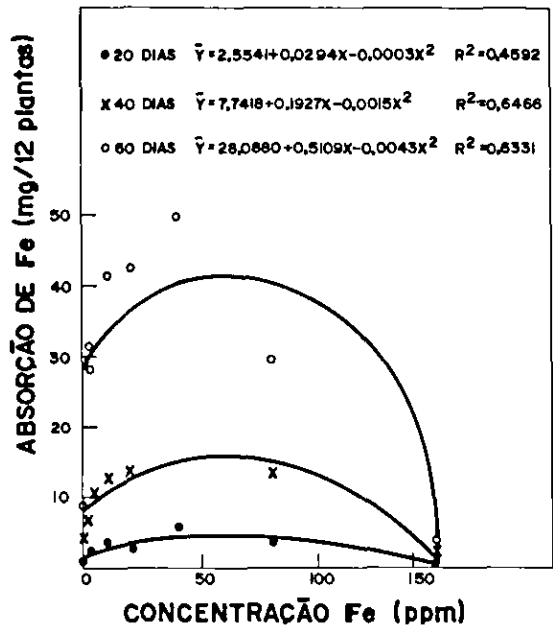


FIG. 2. Absorção de ferro pela planta de arroz em função de sua concentração na solução nutritiva.

causar redução no desenvolvimento da planta (Fageria 1976).

Com base no teor de ferro e na produção de matéria seca, medidos aos 20 e 40 dias de crescimento da planta, foi possível obter uma relação que indica a condição de toxidez de ferro (Fig. 3). Os níveis críticos superiores da absorção de ferro foram avaliados com auxílio da curva, o que pos-

sibilitou definir o limite de toxidez para a planta de arroz. O limite crítico superior foi tomado como 90% da produção máxima de matéria seca, obtida pela interrupção da linha reta (Fig. 3), descrita por Fageria (1976). Os níveis tóxicos de ferro aos 20 e 40 dias de crescimento foram 680 e 850 ppm, respectivamente. Ocorreu uma redução significativa do crescimento quando o teor de ferro no tecido foi maior do que o nível tóxico ou nível crítico superior. Estes resultados sugerem uma resistência à toxidez de ferro com aumento da idade da planta.

Os efeitos da adição de ferro sobre a absorção de P, K, Ca e Mg pela parte aérea são apresentados nas Fig. 4, 5, 6 e 7. A absorção destes nutrientes decresceu com o aumento da concentração de ferro. Segundo Howeler (1973), isto ocorre porque o excesso de ferro no meio de crescimento pode bloquear a absorção de nutrientes através da camada de óxido férrico que se forma no sistema radicular. Deficiências de K, Ca e Mg induzidas na solução nutritiva ou do solo aumenta a absorção de ferro, com conseqüente aumento na toxidez. Teores baixos de K e P aparentemente agravam a toxidez de ferro, em virtude do decréscimo da capacidade de oxidação das raízes (Trolldenier 1977). Todavia, a oxidação que ocorre nas raízes causa precipitação de parte do ferro ferroso, o que é importante para deprimir a absorção de Fe^{++} presente em altas concentrações na zona radicular

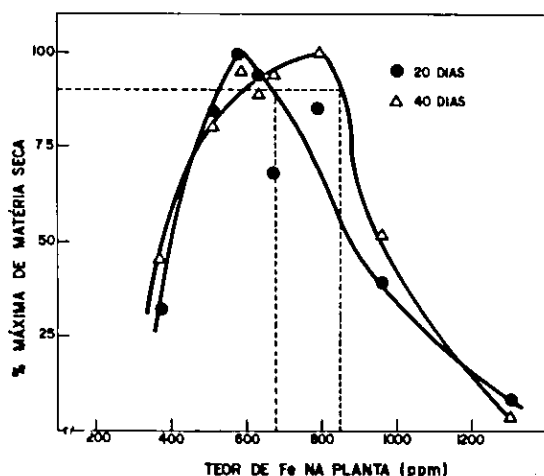


FIG. 3. Relação entre produção de matéria seca e teor de ferro na planta.

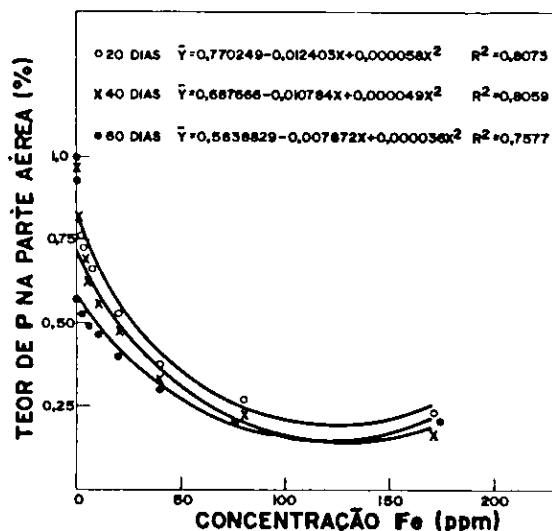


FIG. 4. Efeito de concentração de ferro sobre o teor de fósforo na parte aérea.

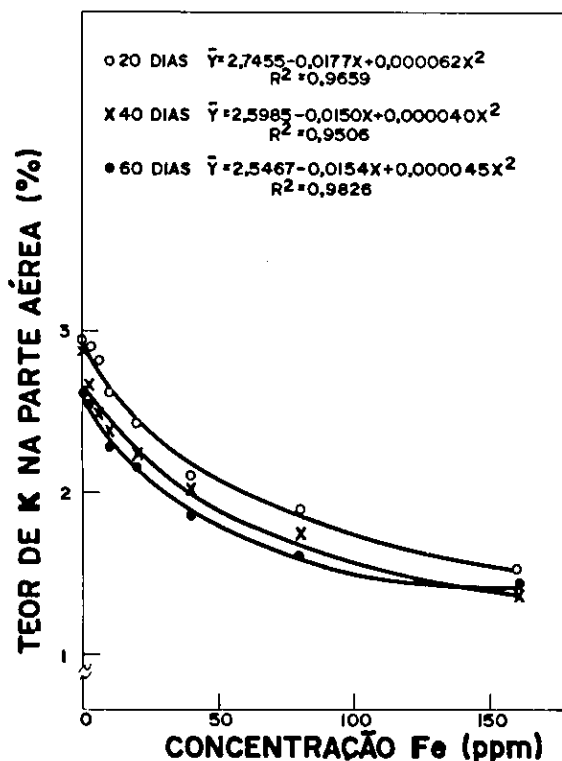


FIG. 5. Efeito de concentrações de ferro sobre o teor de potássio na parte aérea.

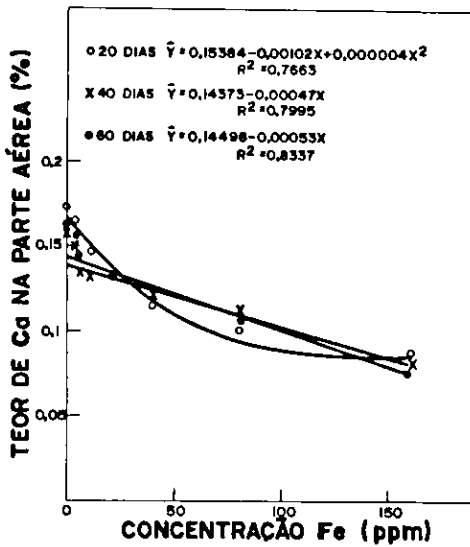


FIG. 6. Efeito de concentrações de ferro sobre o teor de cálcio na parte aérea.

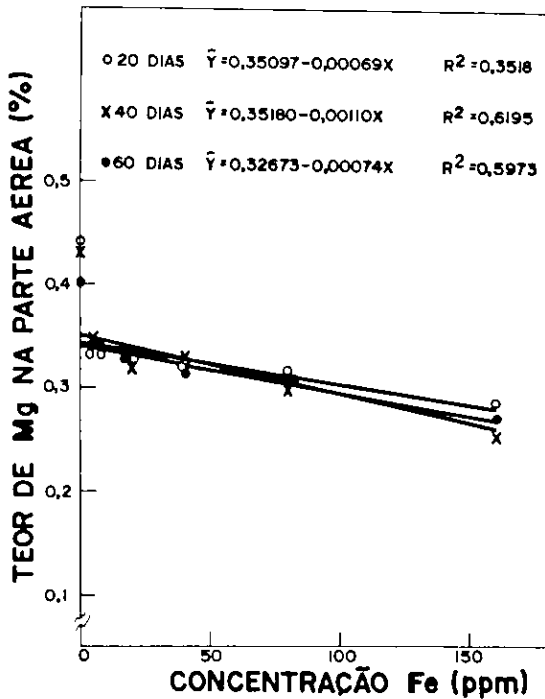


FIG. 7. Efeito de concentrações de ferro sobre o teor de magnésio na parte aérea.

(Tadano 1975). Se ocorrer um aumento na concentração de ferro ferroso na superfície das raízes, devido a inibidores da respiração ou danos mecânicos, a absorção de ferro e a severidade de toxidez aumenta grandemente (Takijima 1965, Tanaka et al. 1968, Tadano 1975). Naturalmente, a ocorrência de inibidores da respiração em arroz inundado, com H₂S e certos produtos orgânicos em decomposição, podem ser importantes neste processo.

CONCLUSÕES

1. A concentração mínima para o máximo crescimento de arroz foi de 2,5 ppm.
2. A produção de matéria seca e o crescimento do arroz foram reduzidos quando a concentração de ferro em solução nutritiva foi maior do que 80 ppm.
3. Os níveis críticos de toxidez de ferro, na parte aérea do arroz, aos 20 e 40 dias de crescimento, foram 680 e 850 ppm, respectivamente.
4. A tolerância do arroz à toxidez aumentou com a idade da planta.
5. A absorção de P, K, Ca e Mg decresceu com o aumento na concentração de ferro no meio de crescimento, indicando que a toxidez de ferro está associada com outras desordens nutricionais.
6. Altos níveis de ferro inibiram a formação de novas raízes ativas, e a camada de óxido férrico que se forma nas raízes reduziu ainda mais a capacidade de absorção de nutrientes.
7. Os sintomas de bronzeamento das folhas ocorreram em concentrações acima de 80 ppm.

REFERÊNCIAS

BREEMEN, N.V. & MOORMANN, F.R. Iron toxic soils. s.n.t. Paper presented at the symposium "Soils and Rice" at the International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines, September 20-23, 1977.

FAGERIA, N.K. Effect of P, Ca, and Mg concentrations in solution culture on growth and uptake of these ions by rice. *Agron. J.*, 68:726-32, 1976.

FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 14:141-7, 1979.

HOWELER, R.H. Iron induced orangng disease of rice in relation to Physico-Chemical changes in a flooded oxisol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 37:898-903, 1973.

- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Los Baños, Filipinas. *Annual report for 1971*. Los Baños, Philippines, 1972. 238p.
- ISHIZUKA, Y. Effect of iron, manganese and copper level of solution on yields and chemical composition of plant. *J. Sci. Soil Manure, Japan*, 32:97-100, 1961.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1958.
- MULLERIYAWA, R.P. *Some factors influencing bronzing, a physiological disease of rice in Ceylon*. Los Baños, Thesis. Univ. Philippines, 1966. 86p. Tese Mestrado.
- OKUDA, A. & TAKAHASHI, E. The role of silicon. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE, Baltimore, Maryland, Johns Hopkins, 1965. *Proceedings* . . . p.123-46.
- PANABOKKE, C.R. *Problem rice soils of Shri Lanka*. s.n.t. Paper presented at the IRRRI Rice Research conference, Los Baños, Philippines, April 21-24, 1975.
- PONNAMPERUMA, F.N. Lime as a remedy for a Physiological disease of rice associated with excess iron. *Int. Rice Comm. Newsl.*, 7:10-3, 1958.
- PONNAMPERUMA, F.N.; BRADFIELD, R. & PEECH, M. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature*, 175:265, 1955.
- SAHU, B.M. Bronzing disease of rice in orissa as influenced by soil types and manuring and its control. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 16:41-54, 1968.
- TADANO, T. Devices of rice roots to tolerate high iron concentration in growth media. *JARQ*, 9:34-9, 1975.
- TAKIJIMA, Y. Studies on the mechanism of root damage of rice plants in the peat paddy fields (Part 2). Status of roots in the rhizosphere and the occurrence of root damage. *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 11:204-11, 1965.
- TANAKA, A.; LOE, R. & NAVASERO, S.A. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Pl. Nutr.*, 12:158-64, 1966.
- TANAKA, A.; MULLERIYAWA, R.P. & YASU, T. Possibility of hydrogen sulfide induced iron toxicity of the rice plant. *Soil Sci. Pl.*, 14:1-6, 1968.
- TROLLDENIER, G. Mineral nutrition and reduction processes in the rhizosphere of rice. *Pl. Soil*, 47: 193-202, 1977.
- VIRMANI, S.S. *Breeding rice for tolerance to iron toxicity*. s.n.t. Paper presented at the WARDA varietal improvement Seminar, Bonake, Ivory Coast, September, 13-7, 1976.
- YOSHIDA, S.; FORNO, D.A.; COCK, J.H. & GOMES, K.A. *Laboratory manual for physiological studies of rice*. Philippines, The International Rice Research Institute, 1976. p.27-34.