

EFEITOS DA INUNDAÇÃO DO SOLO. II. INFLUÊNCIA SOBRE A ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E O CRESCIMENTO DO ARROZ (*Oriza sativa*)¹

JOSÉ FRANCISCO VALENTE MORAES²

SINOPSE. Com a finalidade de estudar o efeito da inundação do solo sobre a absorção e o crescimento do arroz, foi instalado um experimento em casa de vegetação. O experimento estava constituído de 16 tratamentos (quatro solos e quatro níveis de fósforo, correspondentes a 0, 40, 80 e 120 kg de P_2O_5 /ha), em três repetições.

Imediatamente depois da semeadura, os vasos foram inundados com uma lâmina de água de 3 cm sobre a superfície do solo, tendo-se permitido o desenvolvimento de quatro plantas de arroz (*Oriza sativa* L. var. Sinaloa A 68) por unidade experimental. Ao final do experimento, colheram-se as partes aéreas das plantas, considerando-se o seu peso seco como índice do crescimento. A produção de matéria seca foi muito pequena em todos os solos e níveis de fósforo empregados.

A análise química quantitativa do fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês das folhas e caules do arroz permitiu verificar que o pequeno crescimento das plantas foi causado por múltiplas deficiências nutricionais. Entre estas, estavam envolvidas, principalmente, a do fósforo, do potássio, do cálcio e do magnésio.

Foi verificado que as deficiências detectadas não foram devidas à escassez dos nutrientes nos solos e, sim, às alterações nos processos de absorção. Estas alterações foram atribuídas à redução do solo, assim como à presença de ácidos orgânicos e outros produtos resultantes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, na zona radicular.

INTRODUÇÃO

Os solos submetidos à inundação têm sido objeto de extensas investigações, no que se refere às suas características físicas e químicas. Entretanto, a problemática que estes solos apresentam na dinâmica nutricional do arroz não foi totalmente esclarecida.

A inundação dos solos causa alterações no intercâmbio gasoso atmosfera-solo. Como consequência, os produtos resultantes das condições de oxi-redução do solo, assim como os ácidos orgânicos e demais produtos intermediários da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, tendem a acumular-se na capa reduzida do solo. Estas substâncias, ao atingirem determinadas concentrações, afetam a absorção dos nutrientes e causam alterações na fisiologia e desenvolvimento das plantas.

A concentração de Fe^{2+} e de Mn^{2+} nos solos inundados aumenta com o tempo de inundação, atinge um máximo, para logo diminuir até um ponto em que permanece constante (Ponnamperuma 1964). O transcurso da decomposição da matéria orgânica é alterado, do mesmo modo, desde a produção de CO_2 até a formação de ácidos orgânicos e metano.

A diferença mais importante entre a decomposição aeróbia e anaeróbia da matéria orgânica é a natureza dos produtos finais. Enquanto nos solos areados observam-se principalmente o CO_2 , os nitratos, os sulfatos, assim como diferentes resíduos resistentes à decomposi-

ção, os produtos resultantes da decomposição anaeróbia são, principalmente, o CO_2 , o metano, os mercaptanos, o ácido sulfídrico, assim como vários produtos resistentes à degradação (Takai *et al.* 1956, Yamane 1958, Motomura 1962). A primeira fase da decomposição da matéria orgânica do solo, em condições de inundação, é a produção de CO_2 e ácidos orgânicos. Esta fase é seguida por uma diminuição na produção de CO_2 e por um aumento na quantidade de CH_4 produzida.

A presença de ácidos orgânicos, produtos intermediários da decomposição da matéria orgânica, nos solos inundados tem sido reportada por diversos investigadores (Ponnamperuma *et al.* 1963, Takijima 1964, Tanaka & Navasero 1967, Yamane & Sato 1967).

Como no caso do ferro e do manganês solúveis, a concentração dos produtos resultantes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica aumenta com o tempo de inundação, alcança um máximo e logo diminui a um nível que se mantém estável até o fim da inundação (Ponnamperuma 1964, Ponnamperuma *et al.* 1969).

Alguns produtos derivados da decomposição da matéria orgânica competem com as raízes pelo oxigênio e outros podem ser tóxicos (Ponnamperuma 1964).

A redução microbiológica dos sulfatos a S-sulfuroso causa a produção de ácido sulfídrico, o qual, ao alcançar concentrações altas, causa problemas nutricionais nas plantas (Mitsui 1964).

As causas imediatas das enfermidades fisiológicas nos solos inundados têm sido reportadas por diversos investigadores como: a redução no intercâmbio gasoso entre o solo e o meio exterior (Ponnamperuma 1964, Tanaka *et al.* 1966), a presença de produtos da redução do solo como o H_2S (Mitsui 1960, 1964, Yamane & Sato 1967), a produção de quantidades excessivas de

¹ Aceito para publicação em 4 set. 1972.

Parte da tese para a obtenção do grau de M.Sc. do Colégio de Pós-Graduados da Escola Nacional de Agricultura do México.

² Eng.º Agrônomo, M.Sc., do Setor de Solos do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul (IPEAS) Caixa Postal E, Pelotas, Rio Grande do Sul.

Fe-ferroso (Yamada 1959, Ota & Yamada 1960, Takahashi 1960, Baba *et al.* 1964) e a produção de ácidos orgânicos (Takijima 1964, Tanaka & Navasero 1967, Yamane & Sato 1967). Todas estas condições afetam o funcionamento normal das raízes causando uma inibição nos processos de absorção de água e nutrientes.

Segundo Mitsui (1960), Baba *et al.* (1964) e Yamasaki (1964), os nutrientes cuja absorção é inibida pela presença dos produtos da redução, nos solos inundados, são principalmente o potássio, o fósforo, o cálcio, o magnésio, o manganês e o silício.

O acúmulo dos produtos da redução nos solos inundados é grandemente influenciado pela temperatura do solo. Ponnampertuma *et al.* (1969) encontraram que as temperaturas baixas (abaixo de 20°C) retardam a redução do solo, mas não evitam que a liberação dos produtos reduzidos seja mais intensa do que a temperaturas mais elevadas.

Por outro lado, tem sido verificado que um atraso nas modificações do pH dos solos inundados, assim como as baixas temperaturas, são fatores limitantes da transformação bacteriana dos ácidos orgânicos a CO_2 e metano, o que causa o aumento da concentração destes compostos, principalmente os ácidos acético e butírico (Yamada 1959, Baba *et al.* 1964, Takijima 1964, 1965, Takijima & Kanaganayagan 1970).

O presente trabalho é a continuação do estudo das modificações que ocorrem nos solos em consequência da inundação, e o objetivo é estudar a influência dos produtos gerados nos solos inundados, sobre a absorção dos nutrientes e o crescimento do arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em laboratório e casa de vegetação, na Escola Nacional de Agricultura do México.

Empregaram-se quatro solos do México cujas características físicas e químicas determinadas no laboratório de química de solos, foram apresentadas na primeira parte deste trabalho (Moraes 1973).

A seleção dos solos teve base em trabalho realizado por Ortiz Villanueva e Sanchez (1965). A procedência das amostras dos solos e sua correspondência com o trabalho de Ortiz Villanueva e Sanchez (1965) foi a seguinte:

N.º da amostra	Procedência
11	Campo Hogamacho, Veracruz;
13	Ejido Mesillas, Veracruz;
16	La Granja, Veracruz;
29	Piedras Negras, Morelos.

Para facilitar, os solos serão identificados por sua textura e nome, como segue: argila Hogamacho, argila Mesillas, franco La Granja e argila Piedras Negras.

De acordo com o objetivo do trabalho, foi conduzido um experimento em vasos, em casa de vegetação, com 16 tratamentos (quatro solos e quatro níveis de fósforo, correspondentes a 0, 40, 80 e 120 kg de P_2O_5 /ha), com três repetições.

A cada um dos vasos, contendo 3 kg de solo, se aplicou a respectiva dose de fósforo, na forma de KH_2PO_4 , a qual foi misturada homogeneamente com o solo. Todo o experimento recebeu uma adubação básica com nitrogênio e potássio equivalente a 100 kg de N e 100 kg de K_2O /ha, na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente. Os teores de matéria orgânica foram, respectivamente, 3,01, 2,74, 2,07 e 1,74 para os solos argila Hogamacho, argila Mesillas, franco La Granja e argila Piedras Negras.

Nos vasos semeou-se arroz (*Oriza sativa* L. variedade Sinaloa A 68), deixando-se crescer apenas quatro plantas em cada um. Imediatamente depois do plantio, o solo foi inundado, mantendo-se uma lâmina de água de 3 cm sobre a sua superfície até o fim do experimento. A reposição da água era feita diariamente.

O experimento foi planejado para 60 dias. Entretanto, houve necessidade de prolongá-lo até os 84 dias, devido ao atraso observado na germinação das sementes, causado pelas baixas temperaturas registradas na primeira fase do estudo.

Aos 84 dias colheram-se as partes aéreas das plantas, registrando-se o rendimento em gramas de matéria seca produzida.

Análises

As partes aéreas das plantas, depois de secadas e moídas, foram analisadas para a determinação quantitativa do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês. Para estas determinações foram digeridos 100 mg de material vegetal com 20 ml de uma solução de H_2SO_4 , HNO_3 e HClO_4 , na proporção 10:1:4.

O fósforo foi determinado pelo método do azul de molibdênio, no espectrofotômetro Coleman Jr., modelo 6 A, e o potássio, no espectrofotômetro de chama Coleman Jr., modelo 21. O nitrogênio foi analisado pelo método do microkjeldahl. O cálcio, magnésio, ferro e manganês foram quantificados no espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer N. 139.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento

Aos 84 dias de iniciado o experimento, cortaram-se as partes aéreas das plantas, tomando-se o peso seco como índice do seu crescimento.

O crescimento das plantas foi muito limitado, em todos os tratamentos que constituíram o experimento (Quadro 1).

QUADRO 1. Produção de matéria seca em g/vaso (média de 3 repetições)

Solos	Doses de F_2O_5 (kg/ha)			
	0	40	80	120
Franco La Granja	2,52	2,41	2,40	2,40
Argila Mesillas	0,63	0,78	0,79	0,81
Argila Hogamacho	0,63	0,63	1,03	1,21
Argila Piedras Negras	2,51	3,24	2,48	3,31

As plantas cultivadas nos solos argila Hogamacho e argila Mesillas apresentaram produções de matéria seca semelhantes, entre 0,63 e 1,21 g/vaso, enquanto que os solos franco La Granja e argila Piedras Negras tiveram produções maiores, compreendidas entre 2,40 e 3,31 g/vaso, todos como média de três repetições.

Durante o crescimento das plantas, observou-se que estas apresentavam sintomas de deficiências nutricionais muito marcados, em todos os tratamentos empregados. A intensidade dos sintomas, quase homogênea dentro dos quatro tratamentos de um mesmo solo, não era igual nos diferentes solos.

As plantas cultivadas nos solos argila Hogamacho e argila Mesillas mostraram perfilhamento reduzido, folhas pequenas de cor verde escura, características da deficiência de fósforo em arroz. Foram observadas, também, manchas cloróticas que se iniciavam nas pontas e margens das folhas. Esta clorose progredia rapidamente até a morte da folha, tendo-se associado inicialmente com a deficiência de potássio. A presença de pontos cloróticos, em toda a superfície foliar, levantou a suspeita de que, além do fósforo e do potássio, outros nutrientes, em deficiência, causavam o reduzido crescimento das plantas.

As plantas do solo franco La Granja mostravam os mesmos sintomas. Entretanto, a deficiência de fósforo era menos marcante que a observada nos solos anteriores. Por outro lado, nas plantas do solo argila Piedras Negras não se registraram sintomas de deficiência de fósforo. No entanto, a presença de manchas cloróticas, nas folhas inferiores, foi notória.

As raízes das plantas cultivadas nos diferentes solos apresentaram também crescimento deficiente. As dos solos argila Hogamacho e argila Mesillas cresceram muito pouco e mostravam cor de ferrugem, denotando a deposição de Fe-férrico na sua superfície. Nos solos

franco La Granja e argila Piedras Negras, as raízes eram mais desenvolvidas. No solo franco La Granja a deposição de Fe-férrico na superfície das raízes era menos intensa, enquanto que as plantas do solo argila Piedras Negras tinham suas raízes isentas de deposições férricas.

Durante o período experimental detectou-se a presença de H_2S , em todos os solos estudados, pelo cheiro característico que este gás possui. A presença de H_2S foi mais intensa no solo argila Piedras Negras, e principalmente no percolado, indicando que o escape deste gás, e de outros como o CO_2 , foi limitado. Além disso, nos vasos que continham o solo argila Piedras Negras não foi observado o desprendimento de gases, em forma de borbulhas, como ocorreu nos demais solos. Em virtude disso, admitiu-se que houve um acúmulo de gases na capa reduzida do solo. O desprendimento de gases em forma de borbulhas, nos solos argila Hogamacho, argila Mesillas e franco La Granja permitiu concluir que a formação de H_2S , junto com outras substâncias voláteis, foi um fenômeno tangível.

As condições em que se desenvolveu o experimento foram muito propícias à produção e acúmulo de substâncias reduzidas, devido às baixas temperaturas registradas nos primeiros 35 dias de estudo. De acordo com Ponnampertuma *et al.* (1969), as baixas temperaturas são responsáveis pela pequena velocidade de transformação dos ácidos orgânicos a CO_2 e metano. Por conseguinte, estes produtos tendem a acumular-se na capa reduzida dos solos inundados.

Análise do tecido vegetal

Os resultados obtidos da determinação quantitativa do nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês nas partes aéreas das plantas de arroz são mostrados no Quadro 2.

QUADRO 2. Concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês na matéria seca do tecido vegetal (média de 3 repetições)

Tratamentos		N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Solos	Doses de P_2O_5 (kg/ha)							
Franco La Granja	0	3,06	0,14	3,65	0,12	0,044	222	803
	40	3,77	0,18	3,06	0,10	0,044	184	766
	80	3,88	0,20	3,82	0,15	0,049	326	780
	120	3,88	0,19	3,67	0,13	0,054	164	873
Argila Mesillas	0	3,74	0,05	2,17	0,12	0,042	238	750
	40	3,67	0,06	2,74	0,15	0,044	257	830
	80	3,78	0,07	2,60	0,14	0,044	186	858
	120	3,82	0,07	2,85	0,14	0,042	186	710
Argila Hogamacho	0	3,92	0,05	2,37	0,13	0,035	230	793
	40	3,73	0,05	2,30	0,13	0,041	169	686
	80	3,73	0,06	2,73	0,16	0,043	179	630
	120	4,03	0,06	2,63	0,12	0,033	160	746
Argila Piedras Negras	0	3,69	0,22	4,30	0,19	0,044	144	373
	40	3,45	0,26	4,52	0,14	0,033	144	363
	80	3,51	0,26	4,13	0,14	0,040	178	433
	120	3,53	0,33	4,13	0,16	0,050	149	358

Fósforo. As concentrações de fósforo encontradas no tecido vegetal, para o caso dos solos franco La Granja, argila Mesillas e argila Hogamacho (Quadro 2), foram inferiores aos limites críticos de deficiência reportados por Yshizuka (1964), Angladette (1964) e Tajikima e Kanaganayagan (1970). Segundo estes autores, 0,20% é o nível mínimo a partir do qual são marcados os sintomas de deficiência deste nutriente.

Considerando-se que as quantidades de fósforo, tanto em solução como o extraído pela resina de intercâmbio, aniônico, Amberlita IRA-400, aumentaram com o tempo de inundação (Moraes 1973), acredita-se que a deficiência deste nutriente nas plantas não foi devida à falta de P no solo.

Ota e Yamada (1962) observaram que, quando muito ferro é absorvido, este elemento se combina com o fósforo a nível radicular e a translocação deste último é inibida.

Ponnamperuma (1964), por outro lado, reporta que a oxidação do ferro, na rizosfera do arroz, causa a precipitação do fósforo, na forma de $Fe PO_4$, e que, portanto, o aproveitamento da maior disponibilidade do fósforo, causada pela redução do solo, pode ser notavelmente reduzido e a absorção do P virtualmente nulificada.

Pode-se considerar que isto foi corroborado no presente estudo. Em todos os solos se detectou a liberação do fósforo (Moraes 1973), entretanto, somente as plantas do solo argila Piedras Negras, que continham mais de 0,20% de fósforo, não apresentavam precipitações férricas nas suas raízes.

Portanto, pode-se acreditar que a deficiência de fósforo, determinada nas plantas cultivadas nos solos argila Hogamacho, argila Mesillas e franco La Granja, foi causada pela inibição da absorção deste nutriente pelas raízes.

Nitrogênio. As quantidades de nitrogênio encontradas nas plantas de arroz foram, em todos os casos, superiores a 3,5% do peso seco (Quadro 2).

Estes valores indicam que não houve deficiência deste nutriente no tecido vegetal e que, portanto, não se pode atribuir ao N o pequeno desenvolvimento das plantas. A não deficiência de nitrogênio, nas plantas cultivadas nos diferentes solos, está em concordância com o reportado por Mitsui (1960), Baba *et al.* (1964) e Ota e Yamada (1962). Segundo estes investigadores, a absorção do nitrogênio é a menos afetada pelas condições de oxi-redução do solo.

Potássio. De acordo com Mitsui (1960, 1964) e Baba *et al.* (1964), o potássio é um dos nutrientes cuja absorção é mais intensamente inibida quando no solo inundado ocorre o acúmulo de CO_2 ou a presença de produtos da redução.

A análise tissular, para potássio, nos indica que a concentração deste nutriente variou entre 2,17 e 4,52% da matéria seca (Quadro 2). Estas concentrações podem ser consideradas suficientes para o desenvolvimento normal das plantas, podendo-se admitir que a absorção do potássio não foi afetada. Entretanto, a análise dos solos (Moraes 1973) nos mostra que justamente os solos argila Hogamacho e argila Mesillas, cujas plantas apresentaram as menores concentrações de potássio, eram os que continham as maiores quantidades deste nutriente em forma assimilável, o que leva a supor que a absorção do potássio foi inibida nos solos mencionados.

Por outro lado, Takijima e Kanaganayagan (1970) observaram plantas de arroz com 2,42% de potássio que apresentavam os sintomas característicos das doenças fisiológicas por deficiência deste nutriente. O reportado por estes investigadores concorda com os dados obtidos no presente estudo.

Cálcio. As análises de solos apresentaram quantidades de cálcio assimilável da ordem de 7.500, 4.500, 4.500 e 19.500 kg/ha, para os solos franco La Granja, argila Mesillas, argila Hogamacho e argila Piedras Negras, respectivamente. Por outro lado, Mitsui (1960), Ponnamperuma (1964) e Mikkelsen e Patrick Jr. (1968) reportam que a inundação causa a mobilização dos cátions intercambiáveis para a solução do solo.

Estas observações conduziram à suposição de que nos solos estudados existia suficiente cálcio para a nutrição adequada das plantas de arroz. Entretanto, as quantidades deste nutriente determinadas no tecido vegetal (Quadro 2) foram muito inferiores às reportadas por Yshizuka (1964), cujos valores estão compreendidos entre 0,31 e 0,43%, bem como aos valores críticos de 0,16 e 0,34% reportados por Chapman (1966). Do mesmo modo, Yoshida *et al.* (1969) citaram 0,15% como nível crítico de deficiência; todos eles para o cultivo do arroz.

Acredita-se, portanto, que a deficiência de cálcio nas plantas de arroz foi causada por alterações nos processos de absorção e não por deficiência deste nutriente no solo.

Magnésio. Em relação ao magnésio, Yoshida *et al.* (1969) reportam que os sintomas de deficiência são aparentes quando as quantidades deste nutriente, nos talos e folhas do arroz, são da ordem de 0,10%, em relação ao peso seco. Yshizuka (1964), por outro lado, reporta quantidades de magnésio entre 0,83 e 1,17% da matéria seca.

Como se pode observar, as concentrações de magnésio (Quadro 2) medidas nas plantas de arroz foram, em todos os casos, inferiores a 0,054% da matéria seca.

As baixas concentrações de magnésio presentes no tecido vegetal foram devidas, sem dúvida, à limitada absorção do mesmo, uma vez que havia suficiente nutriente no solo para o desenvolvimento normal das plantas.

Ferro. Os resultados da determinação quantitativa do ferro nas plantas de arroz são mostrados no Quadro 2. Os valores encontrados foram maiores que os limites críticos de deficiência citados por Chapman (1966) e Yoshida *et al.* (1969). Entretanto, estes valores estiveram muito próximos e, em alguns casos, foram maiores que os níveis críticos de toxidez reportados por diversos investigadores (Ponnamperuma *et al.* 1955, Ota & Yamada 1962, Tanaka *et al.* 1966, Yoshida *et al.* 1969), não se devendo desprezar um possível efeito de toxidez de ferro, principalmente nas plantas dos solos franco La Granja, argila Hogamacho e argila Mesillas.

Manganês. A extrema variação da concentração de manganês, observada em plantas de arroz que se desenvolvem normalmente, permite supor que o abastecimento nutricional com Mn não representa um problema de importância nos solos arrozeiros.

Segundo Tanaka e Navasero (1967) e Yoshida *et al.* (1969), os níveis críticos para este nutriente, a partir dos quais se observam sintomas de deficiência ou toxicidade, são 20 e 2.500 ppm, respectivamente.

A análise química das plantas de arroz deste experimento mostrou que as quantidades de Mn no tecido vegetal estiveram muito longe dos limites assinalados. Esta observação não permite que se atribua ao manganês a limitada produção de matéria seca obtida.

CONCLUSÕES

As produções de matéria seca das plantas de arroz cultivadas nos quatro solos estudados foram muito pequenas, independentemente do nível de fósforo empregado.

Os resultados das análises permitem concluir que os baixos rendimentos de matéria seca foram causados por múltipla deficiência nutricional.

De acordo com as análises dos solos, a deficiência nutricional foi causada pela inibição da absorção, uma vez que se podia considerar suficiente a quantidade dos nutrientes para o normal desenvolvimento das plantas.

A alteração nos processos de absorção não foi a mesma, nos diferentes solos. Nos solos ácidos, com maiores teores de matéria orgânica e ferro, a absorção dos nutrientes foi restringida mais intensamente. Nestes solos a absorção do fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram as mais afetadas, enquanto que no solo calcário, pobre em ferro e matéria orgânica, foi alterada, principalmente, a absorção do cálcio e magnésio.

As causas da pequena absorção dos nutrientes se atribuem à produção e acúmulo de ácidos orgânicos e H_2S na capa reduzida do solo, bem como ao excesso de Fe-ferroso, nos solos ácidos. Estes fatores, agentes indutores da deficiência nutricional em solos inundados, tiveram suas ações aumentadas pelas baixas temperaturas registradas no início do experimento.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação Rockefeller pela concessão de uma bolsa de estudos na Escola Nacional de Agricultura, do México; ao Dr. Ricardo García Lagos, conselheiro principal, e aos Drs. Enrique Ortega Torres e Salvador Alcalde Blanco, pelos conselhos dados, críticas e sugestões que fizeram em toda as fases do trabalho; ao Governo Brasileiro e ao Diretor do IPEAS, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

REFERÊNCIAS

Angladette, A. 1964. Nutritional status as indicated by plant analysis. p. 355-372. In *The Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Baba, I., Inada, K. & Takijima, K. 1964. The mineral nutrition and the occurrence of physiological diseases. p. 173-195. In *Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Chapman, H.D. 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. University of California. Division of Agricultural Sciences.

Mikkelsen, D.S. & Patrick Jr., W.H. 1968. Fertilizer use on rice. p. 403-432. In Nelson, L.B. *et al.* (ed.) *Changing patterns in fertilizer use*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, USA.

Mitsui, S. 1960. Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice. 4th ed. Yokendo Ltda. Tokyo.

Mitsui, S. 1964. Dynamic aspects of nutrient uptake. p. 53-62. In *The Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Moraes, J.F.V. 1973. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade de fósforo do solo. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 8:103-108.

Motomura, S. 1962. The effect of organic matter on the formation of ferrous iron in soil. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 8:177-185.

Ortiz Villanueva, B. & Sanchez, A.R. 1965. Las fracciones del fósforo en algunos suelos de México. *Memórias del II Congr. de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*. 2:61-130.

Ota, Y. & Yamada, N. 1960. Physiological effect of iron on rice plants. I. Effect of iron in relation to soil reduction. *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan* 28:367-370.

Ota, Y. & Yamada, N. 1962. Physiological study on bronzing of rice plant in Ceylon. Preliminary report. *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan* 31:90-97.

Ponnamperuma, F.N. 1964. Dynamic aspects of flooded soils. p. 295-328. In *The Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Ponnamperuma, F.N., Bradfield, R. & Peech, M. 1955. Physiological disease of rice attributable to iron toxicity. *Nature* 175:265.

Ponnamperuma, F.N., Macrae, I.C., Bugai, Z.E., Castro, R.V., Castro, T.S., Loy, T., Martinez, E.G., Reyes, E.P. & Tianco, A.C. 1963. Soil Chemistry. *Int. Rice Res. Inst. Annu. Rep.*, p. 61-68.

Ponnamperuma, F.N., Broadbent, F., Castro, R.V., Garcia, J.I., Guevarra, E.R., Lantin, R.S., Realuyo, M.R., Reyes, O. & Samaniego, S.G. 1969. Soil Chemistry. *Int. Rice Res. Inst. Annu. Rep.*, p. 131-143.

Takahashi, J. 1960. Review of investigations on physiological diseases of rice. (Part I). *I.R.C. Newsletter* 9:1-6.

Takai, Y., Koyama, T. & Kamura, T. 1956. Microbial metabolism in reduction process of paddy soils. (Part I). *Soil and Plant Food* 2:63-66.

Takijima, Y. 1964. Studies on organic acids in paddy field soils with reference to their inhibitory effects on the growth of rice plants. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 10:22-29.

Takijima, Y. 1965. Studies on the mechanism of root damage of rice plants in the peat paddy soils. (Part II). *Soil Sci. Pl. Nutr.* 11:20-27.

Takijima, Y. & Kanaganayagan, M. 1970. Nutrient deficiency and physiological disease of lowland rice in Ceylon. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 16:17-23.

Tanaka, A. & Navasero, S.A. 1967. Carbon dioxide and organic acids in relation to the growth of rice. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 13:25-30.

Tanaka, A., Loe, R. & Navasero, S.A. 1966. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 12:158-164.

Yamada, N. 1959. Some aspects of the physiology of bronzing. *I.R.C. Newsletter* 8:11-15.

Yamane, I. 1958. Metabolism in muck paddy soil. 2. Determination of gases evolved from paddy field estimation of decomposable organic matter. *Soil Pl. Food* 4:25-31.

Yamane, I. & Sato, K. 1967. Effect of temperature on the decomposition of organic substances in flooded soils. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 13:94-100.

Yamasaki, T. 1964. The role of microelements. p. 107-122. In *Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

Yoshida, S., Vergara, B.S., Kurashima, K., Navasero, S.S., Avelino, E.A., Castañeda, L.G., Parao, F.T., Pérez, P., Ramirez, C. & Visperas, R. 1969. Plant physiology. *Int. Rice Res. Inst. Annu. Rep.*, p. 145-172.

Yshizuka, Y. 1964. Nutrient uptake at different stages of growth. p. 199-217. In *Intern. Rice Res. Inst. (ed.) The mineral nutrition of the rice plant*. The Johns Hopkins Press, Baltimore.

ABSTRACT.- Moraes, J.F.V. [*Effects of soils flooding. II. Influence on nutrient uptake and growth of rice (Oriza sativa).*]. Efeitos da inundação do solo. II. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz (*Oriza sativa*). *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia* (1973) 8, 103-108 [Pt, en] IPEAS, Caixa Postal E, Pelotas, RS, Brazil.

The objective of this work was to study the influence of waterlogging on nutrient uptake and growth of rice. The experiment was composed of 16 treatments (4 soils and 4 levels of phosphorus, corresponding to 0, 40, 80 and 120 kg/ha), with 3 replications.

Immediately after sowing, the soils were flooded. Four rice plants (*Oriza sativa* L. var. Sinaloa A 68) were grown in each pot. After 84 days the above ground portions of the plants were harvested. The dry matter weight was used as the yield index.

Growth was extremely limited in all treatments. The quantitative chemical analysis of P, N, K, Ca, Mg, Fe and Mn in the stems and leaves indicated that the poor growth was caused by multiple nutritional deficiencies. Among these, deficiencies of phosphorus, potassium, calcium and magnesium were involved.

The detected deficiencies were not caused by lack of nutrients in the soils but by alterations in the absorption process. These alterations were caused by soil reduction, and the accompanying presence of organic acids and other products of anaerobic decomposition in the root zone.