

INTERAÇÃO ENTRE FÓSFORO E FERRO E SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA E SISTEMA RADICULAR EM CULTIVARES DE ARROZ

Anderson C. R. Marques¹; Miriam S. Tavares²; Fernando T. Nicoloso³; Camila P. Tarouco⁴; Letícia F. Ferigolo⁵; Flávio R. Thewes⁶

Palavras-chave: Toxidez, estresse oxidativo, placa férrica.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é cultivado e consumido em todos os continentes, se destacando pela produção e área de cultivo representativa, desempenhando papel estratégico econômico e social, pois é considerado uma das principais fontes de energia utilizadas na alimentação humana (CONAB, 2013).

No sul do Brasil, o arroz é produzido principalmente no sistema de cultivo irrigado por inundação, sob tal manejo, a baixa taxa difusão de O₂ na lâmina de água determina a formação de camadas distintas quanto a disponibilidade de O₂ no solo. Há uma camada superficial oxidada de alguns milímetros e, abaixo desta, é formado um ambiente com pouco ou nenhum O₂, em tais situações pode ocorrer à solubilização de grandes quantidades de ferro (Fe) (Ponnamperuma, 1972).

A redução na concentração de O₂ no solo com o alagamento desencadeia uma série de processos bioquímicos na planta, os quais podem estimular a formação de aerênquimas. Em resposta a um fluxo difusivo da atmosfera, o O₂ passa pela parte aérea até chegar à raiz, devido à demanda criada pela atividade respiratória da raiz e pela perda radial de O₂. Entretanto, o O₂ transportado até a raiz pode, em parte, se difundir para o solo em virtude do gradiente de O₂ criado entre o solo e o interior da raiz (Holzschuh et al., 2010).

Durante os processos de redução química que ocorrem no solo, o Fe oxidado (Fe³⁺) passa para a forma reduzida (Fe²⁺), aumentando a sua solubilidade e, por conseguinte, a sua disponibilidade para a planta (Ponnamperuma, 1972). Por outro lado, a liberação de O₂ das raízes para a rizosfera possibilita a oxidação do Fe, gerando novamente a transformação para a forma Fe³⁺. Essa oxidação resulta na acumulação de Fe na superfície e nas células da epiderme da raiz na forma de oxihidróxidos de Fe pouco cristalinizados, comumente denominada de placa férrica (Chen et al., 2006).

O excesso de Fe disponível no solo promove redução na aquisição de nutrientes como o fósforo (P). Desta forma, grandes quantidades de Fe precipitado nas raízes na forma de placa férrica podem ter efeito sobre a absorção de nutrientes essenciais, possivelmente causando distúrbios nutricionais nas plantas.

Neste contexto, existem mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos para explicar diferenças genotípicas quanto à eficiência e uso do P. Dentre estes, se tem as modificações das características morfofisiológicas do sistema radicular que aumentam a eficiência dos mecanismos de aquisição, absorção e modificam quimicamente a interface solo-raiz.

No entanto, mesmo com a introdução de cultivares modernas com alta capacidade produtiva pelos programas de melhoramento, pouca atenção tem sido dada a busca por características morfo-radulares que estejam associadas a maior capacidade de absorção de nutrientes. Adicionalmente, apesar da existência de trabalhos avaliando o efeito isolado

¹ Doutorando em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, acrmарques@hotmail.com.br.

² Doutoranda em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

³ Dr. Professor de Fisiologia e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Santa Maria

⁴ Dra. em Fitossanidade, Universidade Federal de Santa Maria.

⁵ Mestranda em Agrobiologia, Universidade Federal de Santa Maria.

⁶ Aluno de graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

de Fe e P, são poucas as informações sobre os mecanismos resultantes da interação entre esses nutrientes. O objetivo do trabalho é avaliar o efeito da toxidez por Fe no crescimento de cultivares de arroz, e determinar quais as cultivares que apresentariam a melhor resposta ao aumento na disponibilidade de P em interação com Fe para o crescimento radicular e da parte aérea.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano de 2015, em casa de vegetação climatizada com temperatura máxima de +/- 25 °C, localizada no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. As cultivares de arroz foram selecionadas de acordo com as respostas a toxidez por Fe, sendo essas: IRGA 425 e IRGA 424 (tolerantes), BR IRGA 409 (sensível), IAS 12-9 FORMOSA (não apresenta classificação quanto à resposta a toxidez por Fe).

Inicialmente as sementes foram umedecidas em água destilada permanecendo a 25°C, no escuro, durante 24 horas. As sementes pré-germinadas foram transferidas para vasos plásticos revestidos com papel filtro e parcialmente fechados, sendo irrigadas com água destilada por sete dias. Após este período as plântulas de arroz foram transferidas para o cultivo hidropônico com solução nutritiva para aclimação, em vasos com capacidade de 1,2 litros, sendo colocadas 3 plântulas por vaso.

A solução nutritiva usada foi a desenvolvida pelo IRRRI (Yoshida et al., 1976) para a cultura do arroz. Utilizou-se como fonte de Ferro EDTA-FeSO₄, as concentrações de Fe foram: 2 mg L⁻¹ Fe (Controle) e 200 mg L⁻¹ (alta quantidade de Fe). As concentrações de P foram: 2,5 mg L⁻¹ P (Controle) e 25 mg L⁻¹ (alta quantidade de P), tendo como fonte NaH₂PO₄.2H₂O. Durante o período de crescimento e desenvolvimento, que se prolongou por 15 dias, corrigiu-se diariamente o pH da solução nutritiva para 5,0, com adição de HCl ou NaOH 0,5 M. As plantas foram aclimatizadas por 5 dias em solução completa, após esse período de aclimação se aplicou os tratamentos e as plantas foram cultivadas por mais 10 dias. Após esse período se determinou: comprimento das raízes; número de ramificações e área foliar utilizando o software WinRhizo Pro 2013, acoplado a um scanner EPSON Expression 11000 equipado com luz adicional (TPU), com definição de 600 dpi para raízes e 200 dpi para área foliar, ainda foram determinados alturas de plantas e número de folhas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. As variáveis foram analisadas utilizando modelo trifatorial, Dose de P x Dose de Fe x Cultivar, quando as interações não foram significativas a discussão foi feita em função das médias dos fatores. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o comprimento radicular das cultivares, se observou que todas apresentaram melhores resultados quando expostas a baixa disponibilidade de Fe, tanto em baixa e alta dose de P, se comparadas as altas doses de Fe. Se considerarmos os tratamentos baixo-P/alto-Fe e alto-P/alto-Fe foram observadas reduções de 70,86 e 61,91%, 67,90 e 77,05%, 68,37 e 69,25%, 53,56 e 71,58%, para as cultivares IRGA 425, IRGA 424, BR IRGA 409 e IAS 12-9 Formosa, respectivamente. Também se observou redução do número de ramificações para as cultivares IRGA 425, IRGA 424, BR IRGA 409 e IAS 12-9 Formosa, quando submetidas aos tratamentos baixo-P/alto-Fe e alto-P/alto-Fe, com reduções de 76,00 e 63,59%, 77,68 e 80,79%, 77,51 e 75,93%, 61,72 e 74,70%, respectivamente.

Considerando a cultivar IRGA 425 em baixa disponibilidade de Fe, baixo-P/baixo-Fe e alto-P/baixo-Fe, verificou-se reduções no comprimento radicular 16,45% e número de ramificações 20,40%. Em contrapartida, a cultivar IRGA 424 apresentou um aumento no comprimento radicular 24,03% e número de ramificações 21,05%.

Quando se aumentou as doses de ferro não ocorreu diferenças significativas em relação

ao comprimento radicular entre as cultivares IRGA 425, IRGA 424 e IAS 12-9 FORMOSA, com (134,8, 142,1 e 101,5 cm), respectivamente. Contudo os menores comprimentos foram obtidos pela BR IRGA 409 com 84,4 cm.

Tabela 1: Comprimento radicular (cm) e ramificações das cultivares IRGA 425, IRGA 424 , BR IRGA 409 e Formosa, submetidas a diferentes doses de fósforo e ferro.

Dose de P (mg L ⁻¹)	Doses de Fe (mg L ⁻¹)							
	IRGA 425		IRGA 424		BR IRGA 409		IAS 12-9 Formosa	
	Comprimento radicular (cm)							
	2	200	2	200	2	200	2	200
2,5	462,6 ^{Aaa}	134,8 ^{Abc}	442,7 ^{Baa}	142,1 ^{Abc}	266,9 ^{Aab}	84,4 ^{Abc}	218,6 ^{Aab}	101,5 ^{Abc}
25	386,5 ^{Baβa}	147,2 ^{Abc}	549,1 ^{Aaa}	126,0 ^{Abc}	322,0 ^{Aaβa}	99,0 ^{Abc}	274,9 ^{Aaβ}	79,4 ^{Abc}
Ramificações								
2,5	1.842,0 ^{Aaa}	442,0 ^{Abc}	1.747,5 ^{Baa}	390,0 ^{Abc}	1.012,0 ^{Aaβ}	227,5 ^{Abc}	789,0 ^{Aaβ}	302,0 ^{Abc}
25	1.466,2 ^{Baβ}	533,7 ^{Abc}	2.115,5 ^{Aaa}	406,2 ^{Abc}	1.263,2 ^{Aaβ}	304,0 ^{Abc}	871,7 ^{Aaγ}	220,5 ^{Abc}

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, letras gregas compararam cultivares em cada tratamento.

Comparando as cultivares quando expostas as condições alto-P/baixo-Fe, percebe-se a cultivar tolerante IRGA 424 apresentou maior comprimento e número de ramificações com (549,1 cm e 2.115,5 planta⁻¹), enquanto que os menores resultados foram obtidos pela IAS 12-9 Formosa (274,9 cm e 871,7 planta⁻¹), respectivamente.

Os resultados encontrados corroboram com os resultados encontrados por Zheng et al., (2010), onde verificaram que a deficiência de P na fase jovem resultou em um aumento significativo no comprimento de raiz. Contudo os mesmos verificaram que em condições deficientes de P, a absorção de Fe foi promovido de forma significativa, uma vez que a concentração na parte área e raiz das cultivares de arroz foram 2,1 e 1,8 vezes maior que aquelas cultivadas na presença de Fe e P.

Se observa que quando a cultivar BR IRGA 409 foi submetida a doses elevadas de Fe combinada com a menor de P, a cultivar apresentou uma redução no comprimento radicular em relação as cultivares tolerantes, entretanto ao aumentar as doses de P, a mesma apresentou comportamento semelhante as demais cultivares, possivelmente ocorreu um aumento na absorção de P e, conseqüentemente favoreceu crescimento radicular.

Tabela 2: Altura de plantas (cm) das cultivares IRGA 425, IRGA 424 , BR IRGA 409 e Formosa, submetidas a diferentes doses de fósforo e ferro.

Dose de Fe (mg L ⁻¹)	IRGA 425	IRGA 424	BR IRGA 409	IAS 12-9 Formosa
2	18,6aB	19,1aB	23,4aA	18,2aB
200	16,6aA	16,0bA	17,9bA	16,7aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para a altura da parte aérea (Tabela 2), verificou-se que as cultivares IRGA 425 e IAS 12-9 Formosa não apresentara diferenças significativas nas condições de baixo-Fe, alto-Fe, em contrapartida as cultivares IRGA 424 e 409 apresentaram valores reduzidos nas condições de alto-Fe, ocorrendo reduções de 16,26 e 23,52%, respectivamente.

Comparando as cultivares entre si nas condições citadas acima, percebe-se que em Fe (controle) a cultivar BR IRGA 409 apresentou maior estatura (23,4 cm), quando comparada as demais cultivares. Em relação as condições alto-Fe as cultivares não apresentaram diferenças significativas. A presença de alto-Fe reduziu a número de folhas e a área foliar de todas as cultivares (6,80 e 26,66%), respectivamente (Tabela 3). Analisando as cultivares percebe-se que IAS12-9 Formosa apresentou menor número de folhas (2,6

planta⁻¹) e área foliar (5,8 cm²).

Tabela 3: Número de folhas e área foliar das cultivares IRGA 425, IRGA 424, BR IRGA 409 e IAS 12-9 Formosa, submetida a diferentes doses de fósforo e ferro.

Número de folhas		Área Foliar (cm ²)	
Dose de Fe (mg L ⁻¹)		Dose de Fe (mg L ⁻¹)	
2	2,9a	2	10,5A
200	2,7b	200	7,7B
Cultivares		Cultivares	
IAS 12-9Formosa	2,6b	IAS 12-9 Formosa	5,8C
424	2,9ab	424	10,2B
425	2,8ab	425	11,3A
409	3,0a	409	9,1A

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÃO

A cultivar sensível BR IRGA 409 aumentou o comprimento radicular com o incremento nas doses de P em condições de toxidez Fe.

Em baixa disponibilidade e Fe e P as cultivares tolerantes, IRGA 424 e 425, apresentaram melhores adaptações morfo-radulares.

As cultivares IRGA 424, IRGA 425 e BR IRGA 409 apresentaram a melhor área foliar e maior número de folhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, F. R. et al. Response of rice (*Oryza sativa*) with root surface iron plaque under aluminum stress. **Annals of Botany**. v. 98, p. 389-395, 2006.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento**, agosto 2013, Brasília: Conab, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_10_16_05_53_boletim_portugues_setembro_2013.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2015.

HOLZSCHUH, M. J. et al. Avaliação da porosidade e placa férrica de raízes de arroz cultivado em hipoxia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p. 1763-1769, 2010.

PONNAMPERUMA F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v. 24, p. 29-96, 1972.

YOSHIDA, S. et al. **Laboratory manual for physiological studies of rice**. Philippines: IRRI; 1976. 83 p.

ZHENG, L. et al. Identification of a novel iron regulated basic helix-loop-helix protein involved in Fe homeostasis in *Oryza sativa*. **BMC Plant Biology**. v. 10, p. 1-9, 2010.