

BASES FISIOLÓGICAS PARA A SELEÇÃO DE CULTIVARES DE ARROZ TOLERANTES À TOXIDEZ POR FERRO

Caroline Müller¹; Marco Antonio Oliva²; Laise Rosado de Souza³; Daniel Teixeira Pinheiro⁴; Andréa Miyasaka de Almeida⁵

Palavras-chave: *Oryza sativa*, ferro, fotossíntese, tolerância

INTRODUÇÃO

O excesso de ferro nas plantas de arroz promove amarelecimento e necrose foliar, desequilíbrio catiônico, ocasionando desordem nutricional. Esses sintomas são decorrentes da toxidez direta e indireta, e podem reduzir a produtividade das cultivares (DOBERMANN e FAIRHURST, 2000).

O excesso de ferro na parte aérea tem sido responsabilizado por induzir alterações nos mecanismos fisiológicos (BRIAT *et al.*, 2007). Dentre essas alterações, o Fe pode potencializar o estresse oxidativo (FANG *et al.*, 2001) ocasionando desestruturação de complexos protéicos fotossintetizantes (LUPÍNKOVÁ e KOMENDA, 2004) e redução na assimilação líquida de carbono (MISHRA e DUBEY, 2005; DHIR *et al.*, 2008). Nessas condições, ocorre acúmulo de excesso de energia, o qual pode ser dissipado por processos celulares alternativos, como a fotorrespiração (ORT e BAKER, 2002), o ciclo água-água (CRUZ *et al.*, 2004) ou o fluxo cíclico de elétrons (JOLIOT e JOLIOT, 2006). O transporte cíclico de elétrons promove o aumento do gradiente de prótons no tilacóide, o qual favorece a dissipação não fotoquímica (NPQ) e a oxidação parcial do P₇₀₀ (GOLDING e JOHNSON, 2003). O NPQ permite a dissipação térmica de energia, importante para prevenir a superexcitação do fotossistema II (MAXWELL e JOHNSON, 2000).

A caracterização de diferentes mecanismos de tolerância aos efeitos tóxicos do ferro em plantas de arroz é muito importante para a seleção de cultivares tolerantes para o melhoramento de plantas de arroz (SOUZA *et al.*, 2004). Ainda pouco sabemos sobre os efeitos da toxidade de ferro no cultivo do arroz irrigado no Brasil, onde este problema se agrava, e ainda não conhecemos os mecanismos de tolerância presentes em nossas cultivares. A fotossíntese, principal processo fisiológico, diretamente relacionado à produtividade, permite auxiliar na seleção de plantas fisiologicamente mais tolerantes. O cultivo de plantas tolerantes tem sido o principal recurso para garantir a produtividade em ambientes com excesso de ferro (AUDEBERT e FOFANA, 2009). Desta forma, este trabalho objetivou avaliar os efeitos tóxicos do ferro em diferentes cultivares de *Oryza sativa* e realizar a seleção de cultivares possivelmente tolerantes ao ferro, a partir da avaliação das trocas gasosas.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivares ou linhagens BRS Atalanta, Canastra, CMG 1167, CMG 1174, BRSMG Conaí, BRSMG Curinga, IRGA 419, BRS Ourominas, BRS Pepita, BRSMG Relâmpago e BRSMG Seleta foram germinadas em câmara de crescimento e cultivadas em solução nutritiva de Hoagland sem aeração (pH 4,0, força total) em casa-de-vegetação. Após aproximadamente trinta dias, as plantas, no estágio V5 de desenvolvimento fenológico (COUNCE *et al.*, 2000), foram tratadas com

¹ Bióloga, Dra. em Fisiologia Vegetal, Depto de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Av PH Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-000, Viçosa-MG, Brasil, caroline.muller@terra.com.br.

² Biólogo, Prof. Titular, Universidade Federal de Viçosa, moliva@ufv.br.

³ Eng. Agrônoma, Mestranda em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, laiserosado@yahoo.com.br.

⁴ Graduando em Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, danielhp05@hotmail.com.

⁵ Bióloga, Prof. Assistente, Universidad Nacional Andrés Bello, Santiago, Chile, amiya.almeida@gmail.com.

sulfato ferroso (FeSO_4) em concentrações fisiológicas (0,019 mM) ou excessivas de ferro (7 mM) com ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (p/p). Cada tratamento foi constituído por quatro repetições, sendo o pH ajustado diariamente a 4,0 e a solução renovada a cada 4 dias.

As medições de trocas gasosas foram realizadas, após sete dias de exposição ao excesso de ferro, em folhas completamente expandidas. A taxa de assimilação fotossintética líquida (A), condutância estomática (g_s) e a razão entre concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) foram determinadas por um analisador de gás por infravermelho (IRGA; LI-6400xt, LI-COR Biosciences Inc., USA). As medições foram realizadas em casa de vegetação, utilizando radiação fotossinteticamente ativa constante ($1000 \mu\text{mol.fótons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), concentração atmosférica de CO_2 (C_a), temperatura e umidade ambientes.

O delineamento experimental constituiu-se de blocos ao acaso. Os dados de trocas gasosas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Scott-Knott 5% de probabilidade, pelo programa SAEG v 9.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As taxas de assimilação líquida do CO_2 variaram entre os cultivares avaliados, com reduções expressivas, ao se elevar a concentração de Fe na solução, nos cultivares BRS Atalanta (77 %), CMG 1174 (73 %), BRS Pepita (48 %), CMG 1167 (43 %) e IRGA 419 (42 %), em relação aos respectivos controles (Fig. 1A). Esses efeitos fitotóxicos podem ter sido decorrente o excesso de ferro nas folhas, o qual pode não ser eficientemente compartimentalizado no apoplasto e vacúolos (BRIAT e LOBRÉAUX, 1997) ou em moléculas de ferritina (MAJERUS *et al.*, 2009; BRIAT *et al.*, 2010).

A queda fotossintética foi acompanhada pela redução na condutância estomática (g_s), em até 89 % no cultivar BRS Atalanta, seguidos pelos cultivares CMG 1174 (83 %), BRS Pepita (62 %) e BRSMG Conaí, CMG 1167 e IRGA 419 com redução de 53%, em relação aos controles (Fig. 1B). A razão C_i/C_a , no entanto, foi afetada em menor proporção nas plantas de arroz cultivadas sob excesso de ferro, com reduções significativas apenas nos cultivar BRS Atalanta (22 %), CMG 1174 (15 %) e Conaí, BRSMG Seleta e BRSMG Relâmpago, com 13 % de redução em relação aos respectivos controles (Fig. 1C). Desta forma, a redução na g_s não foi o principal fator limitante da fotossíntese nas plantas de arroz. A redução na fotossíntese com manutenção nos níveis de C_i , nas plantas cultivadas em sulfato ferroso, indica alterações na etapa bioquímica da fotossíntese. A redução na atividade da carboxilase da rubisco tem sido descrita sob estresse severo de Fe (TAYLOR *et al.*, 1982), possivelmente pela degradação da subunidade maior da Rubisco por espécies reativas de oxigênio (DESIMONE *et al.*, 1996).

CONCLUSÕES

Os cultivares de arroz BRS Atalanta, CMG 1167 e CMG 1174 apresentaram-se altamente sensíveis à toxidez por ferro, com reduções mais expressivas nas taxas fotossintéticas.

Os cultivares Canastra, BRSMG Conaí e BRSMG Curinga, apesar da pré indicação para cultivo em sistema de sequeiro, demonstram maior capacidade fisiológica de tolerar o excesso de ferro, entre os cultivares avaliados em condições de casa-de-vegetação, em cultivo sob hipoxia.

Os parâmetros de trocas gasosas possuem alta sensibilidade para detectar a toxicidade do ferro. Trabalhos em casa-de-vegetação são importantes para uma pré-seleção de possíveis cultivares tolerantes, os quais precisam ser posteriormente confirmados em campo.

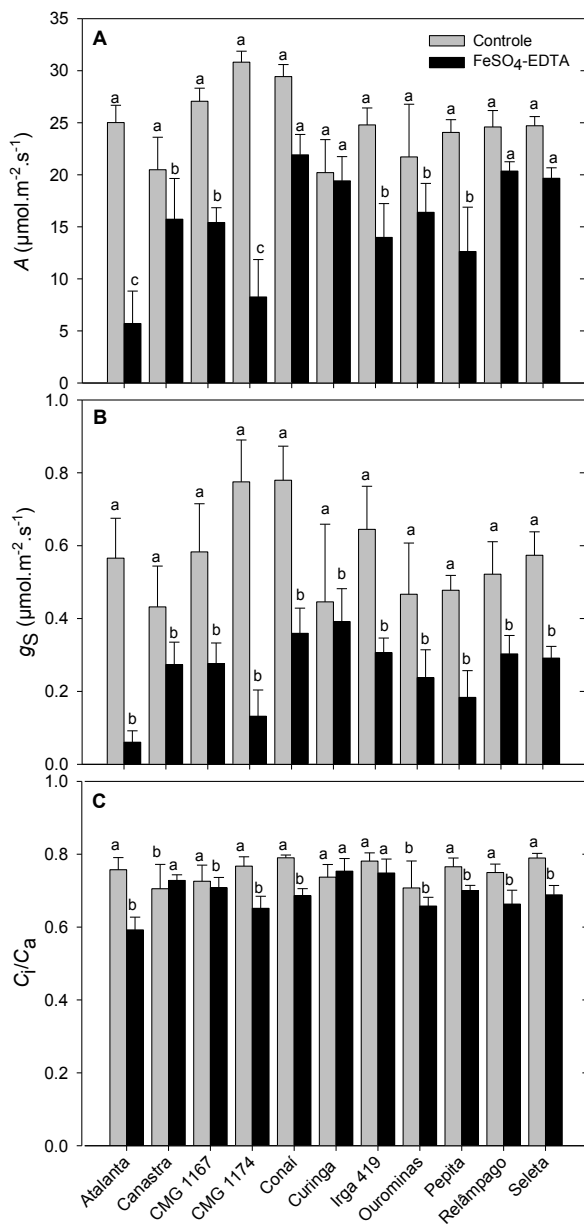


Figura 1. Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A; A); condutância estomática (g_s ; B) e razão C_i/C_a (C) em cultivares de arroz cultivados sob $\text{FeSO}_4\text{-EDTA}$ (7 mM), por sete dias, em solução nutritiva. Barras representam médias $\pm$ EP, $n=4$. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

AGRADECIMENTOS

CNPq, CAPES/PROCAD e FAPEMIG pela concessão de bolsa de estudo e financiamento de projeto. EMBRAPA Clima Temperado, EPAMIG e EPAGRI pelas sementes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Audebert, A.; Fofana, M. (2009) Rice Yield Gap due to Iron Toxicity in West Africa. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v. 195, p. 66-76.
- Briat, J.-F.; Curie, C.; Gaumard, F. (2007) Iron utilization and metabolism in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 10, p. 276-282.
- Briat, J.-F.; Duc, C.; Ravet, K.; Gaymard, F. (2010) Ferritins and iron storage in plants. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1800, p. 806-814.
- Briat, J.-F.; Lobréaux, S. (1997) Iron Transport and storage in plants. **Trends in Plant**, v. 2, n.5, p. 187-193.
- Counce, P.; Keisling, T.C.; Mitchell, A.J. (2000) A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science** 40: 436-443
- Cruz, J.A.; Avenson, T.J.; Kanazawa, A.; Takizawa, K.; Edwards, G.E.; Kramer, D.M. (2004) Plasticity in light reactions of photosynthesis for energy production and photoprotection. **Journal of Experimental Botany** 56 (411): 395-406
- Desimone, M.; Henke, A.; Wagner, E. (1996) Oxidative stress induces partial degradation of the large subunit of Ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase in isolated chloroplasts of barley. **Plant Physiology**, v. 111, p. 789-796.
- Dhir, B.; Sharmila, P.; Saradhi, P.P. (2008) Photosynthetic performance of *Salvinia natans* exposed to chromium and zinc rich wastewater. **Brazilian Journal of Plant Physiology** 20(1): 61-70
- Dobermann, A.; Fairhurst, T. (2000) Toxicidad de hierro en arroz. In: Dobermann, A.; Fairhurst, T. (Eds.). **Rice: nutrient disorders & nutrient management**. Potash and Phosphate Institute and International Rice Research Institute. p. 1-4.
- Fang, W.; Wang, J.; Lin, C.; Kao, C. (2001) Iron induction of lipid peroxidation and effects on antioxidative enzyme activities in rice leaves. **Plant Growth Regulation** 35: 75-80
- Golding, A.J.; Johnson, G.N. (2003) Down-regulation of linear and activation of cyclic electron transport during drought. **Planta** 218: 107-114
- Joliot, P.; Joliot, A. (2006) Cyclic electron flow in C3 plants. **Biochimica et Biophysica Acta** 1757: 362-368
- Lupínková, L.; Komenda, J. (2004) Oxidative modifications of the photosystem II D1 protein by reactive oxygen species: from isolated protein to cyanobacterial cells. **Photochemistry and Photobiology**, v. 79, n. 2, p.152-162.
- Majerus, V.; Bertin, P.; Lutts, S. (2009) Absciscic acid and oxidative stress implications in overall ferritin synthesis by African rice (*Oryza glaberrima* Steud.) seedlings exposed to short term iron toxicity. **Plant Soil**, v. 324, p. 253-265.
- Maxwell, K.; Johnson, G.N. (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany** 51 (345): 659-668
- Mishra, S.; Dubey, R.S. (2005) **Heavy metal toxicity induced alterations in photosynthetic metabolism in plants**. Cap 45 p. 832-850. In: Pessarakli. M. (Ed.) Handbook of Photosynthesis. 2 Ed. 862 p.
- Ort, D.R.; Baker, N.R. (2002) A photoprotective role for O₂ as an alternative electron sink in photosynthesis? **Current Opinion in Plant Biology** 5:193-198
- Sousa, R.O.; Gomes, A.S.; Vahl, L.C. (2004) **Toxidez por ferro em arroz irrigado**. In: Gomes, A.S.; Magalhães Jr. (eds.) Arroz Irrigado no Sul do Brasil: Empraba Informação Tecnológica. p. 305-337.
- Taylor, S.E.; Terry, N.; Huston, R.P. (1982) Limiting Factors in Photosynthesis. III. Effects of iron nutrition on the activities of three regulatory enzymes of photosynthetic carbon metabolism. **Plant Physiology**, v. 70, p. 1541-1543.