

EFEITO DE ARSÊNIO NOS TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES DE GRÃOS DE ARROZ

Júlia Gomes Farias¹; Pedro Arthur de Albuquerque Nunes²; Gabriel Schaich³; Nicéia Spanholi Calgaroto⁴; Darlene Sausen⁵; Leonardo Cocco Garlet⁶; Sibila Trojahn Nunes⁷; Fabiane Goldschmidt Antes⁸; Valderi Luiz Dressler⁹; Fernando Teixeira Nicoloso¹⁰

Palavras-chave: arsenito, arroz irrigado, metal pesado, nutrição mineral, *Oryza sativa*,

INTRODUÇÃO

Milhões de pessoas em todo o mundo estão expostas ao arsênio (As) devido as emissões oriundas da mineração, atividades industriais, uso de pesticidas ou por poços d'água contaminados. Pesquisa realizada no Brasil revelou sinais de contaminação por arsênio no solo e na água no Quadrilátero Ferrífero, que abrange as cidades de Ouro Preto, Santa Bárbara, Nova Lima e outras cidades históricas, em Minas Gerais (BORBA et al., 2009). Este elemento quando presente em rochas ou no solo é facilmente dissolvido nas águas subterrâneas, o que ocasiona elevados níveis de As, embora estas concentrações variem consideravelmente. O Sudeste Asiático está entre as regiões mais severamente afetadas (BERG et al., 2007; CHAKRABORTI et al., 2004), e em Bangladesh cerca de metade dos 10 milhões de poços instalados para irrigação da cultura do arroz tem concentrações acima do tolerável, levando a contaminação do solo e exposição adicional através dos alimentos. Adicionalmente o arroz é a base alimentar humana de muitas regiões do mundo como Bangladesh, Centro-Oeste de Bengala, China, Taiwan e Tailândia, onde são encontrados altos níveis de As no solo e água (ABEDIN et al., 2002). A cultura do arroz em solos contaminados na China apresenta altos níveis de arsênio em grãos (XIE e HUANG, 1998). Em Bangladesh, nas áreas mais afetadas com relação à contaminação (ABEDIN et al., 2002), o consumo de arroz corresponde a 73% da ingestão calórica diária (del NINNO e DOROSH, 2001). A exposição do arroz ao As através da irrigação é um problema sério que pode levar à acumulação tóxica e também interferir na concentração de nutrientes minerais em grãos (DWIVEDI et al., 2010). O presente estudo teve por objetivo avaliar o impacto da presença de As no substrato sobre a qualidade nutricional de grãos oriundos do colmo principal e dos filhotes de diferentes cultivares de arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de cinco cultivares de arroz, utilizados no Sul do Brasil, BR/IRGA 409, BR/IRGA 410, IRGA 420, IRGA 423 e IRGA 424, foram obtidos do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), RS, Brasil. Estas sementes foram umedecidas em água destilada permanecendo à 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

¹ Bióloga, mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agrobiologia, UFSM, R: Rodolfo Bher número 1795 CEP 97105440, fariasjuliag@hotmail.com.

² Graduando, Curso de Agronomia, UFSM, pedro_nunes@hotmail.com

³ Graduando, Curso de Agronomia, UFSM, gabrielschaich@yahoo.com.br

⁴ Bióloga, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica Toxicológica, UFSM, nice_sm@hotmail.com

⁵ Eng. Agr., mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFSM, darlene_sn@yahoo.com.br

⁶ Graduando, Curso de Agronomia, UFSM, leonardococcogarlet@hotmail.com

⁷ Graduando, Curso de Agronomia, UFSM, bilanunes@yahoo.com.br

⁸ Química, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Química, UFSM, fabigold@gmail.com

⁹ Biólogo, Dr. Prof. Departamento de Química, CCNE, UFSM, vdressler@gmail.com

¹⁰ Eng. Agr., Dr., prof. Departamento de Biologia, CCNE, UFSM, ftnicoloso@yahoo.com

período, as plântulas foram transferidas para vasos de plástico contendo seis kg de areia, onde receberam irrigação até o ponto de saturação com solução nutritiva contendo 0,36 mM (NH₄)₂SO₄, 0,54 mM MgSO₄.7H₂O, 0,18 mM de KNO₃, 0,36 mM Ca(NO₃)₂.4H₂O, 0,18 mM de KH₂PO₄, 40 µM NaEDTA-Fe.3H₂O, 12,14 µM MnCl₂.4H₂O, 18,8 µM H₃BO₃, 0,03 µM (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O, 0,3 µM ZnSO₄.7H₂O e 0,32 µM CuSO₄.5H₂O. O pH da solução foi corrigido para 5,5 antes da sua adição no substrato de cultivo. Irrigações diárias foram realizadas com solução nutritiva procurando manter a umidade através de avaliações por pesagem. A unidade experimental consistiu de um vaso contendo quatro plantas, sendo utilizado delineamento bifatorial 3x5 (três doses de As e cinco cultivares), inteiramente causalizado com quatro repetições. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação parcialmente climatizada. Após sete dias do transplântio deu-se o início dos tratamentos de As: 0 (controle), 2 e 10 µM na solução nutritiva. Quando as plantas emitiram a quarta folha, a solução nutritiva foi fornecida até a formação de uma lâmina d'água de aproximadamente 3 cm do colmo sendo matada assim até o fim do ciclo da cultura.

Dos 133 aos 143 dias de exposição ao As, as plantas foram coletadas e separadas em colmo principal e perfilhos. Os grãos foram beneficiados e polidos, e posteriormente analisados por espectrometria de absorção atômica (ICP-MS) para a determinação da concentração dos elementos As, cálcio (Ca), cobre (Cu), ferro (Fe), potássio (K), manganês (Mn), magnésio (Mg) e Zinco (Zn).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados apresentados nas tabelas 1 e 2 observa-se comportamentos distintos entre as cultivares avaliadas quanto a concentração dos elementos químicos analisados em grãos oriundos de colmo principal e perfilhos.

TABELA 1. Efeito de doses de As na concentração dos macronutrientes Ca, K e Mg e de As em grãos polidos de cinco cultivares de arroz, Santa Maria, RS, 2011.

CULTIVAR	DOSE (µM)	GRÃO POLIDO		GRÃO POLIDO		GRÃO POLIDO		GRÃO POLIDO		GRÃO POLIDO	
		COLMO PRINCIPAL		PERFILHO		COLMO PRINCIPAL		PERFILHO		COLMO PRINCIPAL	
		conc. As (µg/g)		conc. Ca (µg/g)		conc. K (µg/g)		conc. Mg (µg/g)			
BR/IRGA 409	0	>0.1Ab	>0.1Ac	62.4Bb	60.17Ca	414.8Ba	553.3Ba	108.4Ba	177Ba		
BR/IRGA 409	2	0.3Aa	0.3Ab	67.53Ab	67.8Ba	472.5Ba	378Bb	179.9Ba	130Bb		
BR/IRGA 409	10	0.43Aa	0.72Aa	83.3ABa	54.28Ba	489Ba	473.7Aa	92.8Ca	113.7Bb		
BR/IRGA 410	0	>0.1Ab	>0.1Ab	111.4Aa	53.49Cb	542.4Ab	515.8Ba	148.9Ac	116Bb		
BR/IRGA 410	2	0.15Bab	0.21Aab	72.28Ab	58.5Bb	910.3Aa	427Bb	354.3Ab	76.5Cb		
BR/IRGA 410	10	0.28ABa	0.3Ba	105.4Aa	75.18Aa	1117Aa	515.1Aa	705.2Aa	168.9Aa		
IRGA 420	0	>0.1Ab	>0.1Ab	70.9Ba	73.33Ba	602.5Aa	874.2Aa	144.6Aa	291.9Aa		
IRGA 420	2	0.1Bb	0.16Bb	79.45Aa	74.8Ba	508Ba	461Bb	146.4Ba	201Bab		
IRGA 420	10	0.26ABa	0.39Ba	66.3Ba	67.66Ba	460Bb	597.5Ab	142.7B Ca	162.9Ab		
IRGA 423	0	>0.1Aa	>0.1Ab	84.4Ba	95.92Aab	473.4Bb	553.4Bb	157.7Ab	242.3Ab		
IRGA 423	2	0.13Ba	0.21Aab	79.33Aa	107.2Aa	578.7B ab	1267Aa	256Aa	586.8Aa		
IRGA 423	10	0.19Ba	0.3Ba	73.1Ba	81.93Ab	736ABa	474.5Ab	259.2Ba	183.4Ab		
IRGA 424	0	>0.1Ab	>0.1Ab	64.4Bb	58.22Ca	384.1Ba	496.9Ba	105.7Ba	158.2Ba		
IRGA 424	2	0.19Bab	0.25Aab	66.04Ab	67.9Ba	407.8Ba	432Ba	91.5Ca	128.3Ba		
IRGA 424	10	0.45Aa	0.46ABa	93.6Aa	56.89Ba	430Ba	438.7Aa	125.6Ca	108Ba		
CV (%)		11,3	12,04	7,5	10,12	3,4	13,7	10,8	12,3		

Valores seguidos por letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre os cultivares na mesma dose de As pelo teste Tukey (P<0,05); Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre as doses para um mesmo cultivar pelo teste Tukey (P<0,05).

Nas espécies onde o perfilhamento é comum, tais como o arroz, os perfilhos são considerados estruturas benéficas, aumentando o número de inflorescência por área e, conseqüentemente, contribuindo para o incremento do rendimento de grãos (ALMEIDA,

1998). Adicionalmente considerado-se como produção tecidual adicional aquela produzida inicialmente pelo colmo principal, o perfilhamento pode estar ligado a uma estratégia de diluição e ou translocação de metais pesados em plantas. Em vista disto o presente trabalho faz um comparativo entre colmo principal e perfilhos. Quanto ao teor de As nos grãos, destacou-se a cultivar IRGA 424, a qual juntamente com a cultivar BR/IRGA409 apresentou o maior teor de As em grãos do colmo principal. Já em grãos oriundos de perfilhos, o maior teor de As foi encontrado na cultivar BR/IRGA 409 (0,72 $\mu\text{g g}^{-1}$, o qual corresponde a 50% acima das demais cultivares). As demais cultivares não diferiram na dose de 10 μM As. Na cultivar BR/IRGA 409, em grãos do colmo principal, o incremento da concentração de As apresentou correlação negativa com os teores de Fe e Zn, mas por outro lado, o teor de Ca aumentou. Já em grãos de perfilhos, houve diminuição dos teores de K na dose de 2 μM de As e de Mg nas doses de 2 e 10 μM de As, bem como aumento do teor de Fe, enquanto os teores de Ca e Cu não foram alterados.

Das cinco cultivares estudadas, a IRGA 420 apresentou a menor alteração nos teores de micronutrientes em resposta ao As, sendo que houve apenas aumento no teor de Fe em grãos do colmo principal e redução no teor de Mn de grãos dos perfilhos. A cultivar IRGA 424 foi aquela que apresentou a menor alteração nos teores de macronutrientes em resposta ao incremento de As no substrato, sendo que apenas o teor de Ca aumentou em grãos da planta principal. Quanto aos teores de micronutrientes, essa cultivar foi a segunda a apresentar menor alteração, onde houve apenas aumento no teor de Fe em grãos, tanto do colmo principal (da dose 0 em relação à 2 μM), bem como em ambas doses nos perfilhos. Ocorreu aumento do teor de Cu em grãos de perfilhos, bem como redução do teor de Zn neste mesmo cultivar.

TABELA 2. Efeito de doses de As nos teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn em grãos polidos de cinco cultivares de arroz, Santa Maria, RS, 2011.

CULTIVAR	DOSE	GRÃO POLIDO PLANTA PRINCIPAL	GRÃO POLIDO PERFILHO	GRÃO POLIDO PLANTA PRINCIPAL	GRÃO POLIDO PERFILHO	GRÃO POLIDO PLANTA PRINCIPAL	GRÃO POLIDO PERFILHO	GRÃO POLIDO PLANTA PRINCIPAL	GRÃO POLIDO PERFILHO
		conc. Cu ($\mu\text{g/g}$)		conc. Fe ($\mu\text{g/g}$)		conc. Mn ($\mu\text{g/g}$)		conc. Zn ($\mu\text{g/g}$)	
BR/IRGA 409	0	3.64Aa	3.8Aa	19.94Aa	8.54BCb	17.17Ba	14.23Ba	20.42ABa	22.59BCa
BR/IRGA 409	2	3.52Aa	3.27Aa	13.91Bb	19.39Aa	13.08Aa	10.72Bb	19.58Ba	19.94ABab
BR/IRGA 409	10	3.31Ba	3.41Aa	9.48Bb	12.57ABb	18.89Aa	10.48Bb	16.13Bb	17.84Bb
BR/IRGA 410	0	3.11ABb	3.28Aa	8.69Bb	13.29Ba	33.09Aa	10.33Ca	17.61Bb	16.72Ca
BR/IRGA 410	2	3.43Ab	3.07Aab	21.14Aa	9.87Bb	14.24Ac	9.91Ba	26.62Aa	16.51Ba
BR/IRGA 410	10	4.24Aa	2.83Bb	20.12Aa	7.46Bb	24.31Ab	12.24Aa	24.82Aa	17.5ABa
IRGA 420	0	3.76Aa	3.68Aa	8.47Bb	11.49Ba	13.38Ca	16.44Aa	21.55Aa	24.16Ba
IRGA 420	2	3.93Aa	3.15Aa	9.64Bb	10.98Ba	12.22Aa	13.4ABb	18.09Ba	20.89ABa
IRGA 420	10	3.74ABa	3.05Ba	15.7ABa	11.19Ba	12.42Ba	11.37ABb	20.42Aa	21.59Aa
IRGA 423	0	2.97Bb	3.69Aa	18.83Aa	21.84Aa	14.16BCa	14.5ABb	20.85Aa	48Aa
IRGA 423	2	3.5Aa	3.91Aa	12.28Bb	16.1ABb	16.45Aa	19Aa	15.52Ba	27.23Ab
IRGA 423	10	3.05Bab	3.21ABa	10.43Bb	14.07Ab	12.68Bb	13.56Ab	20.74Aa	18.6ABb
IRGA 424	0	3.15ABa	2.92Bb	11.73Bb	5.44Cb	10.28Ca	11.51Ba	18.38Ba	17.6Ca
IRGA 424	2	2.89Ba	3.95Aa	19.22Aa	11.59Ba	11.84Aa	10.94Ba	17.89Ba	17.39Ba
IRGA 424	10	3.55Ba	2.72Bb	15.49ABab	10.57Ba	10.78Ba	9.48Ba	17.73Ba	13.87Bb
CV (%)		11.5	11.3	9.2	13.7	5.8	12.1	11.7	13.3

Valores seguidos por letras maiúsculas diferentes diferem significativamente entre os cultivares na mesma dose de As pelo teste Tukey ($P < 0,05$); Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre as doses para um mesmo cultivar pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

O Fe foi o micronutriente mais afetado pelos tratamentos de As, porém o teor desse elemento mostrou variação ampla em relação às cultivares. Na cultivar IRGA 423 houve redução do teor tanto em grãos do colmo principal como nos de perfilhos. Já na cultivar IRGA 424, o teor de Fe aumentou nos grãos de planta principal e de perfilhos. Na cultivar IRGA 410 observou-se aumento no teor de Fe em grãos de colmo principal e redução nos grãos de perfilhos. Essa cultivar também apresentou aumento dos teores de K e Mg em

grãos da planta principal. A cultivar IRGA 423, dentre os cinco genótipos avaliados, foi a única a apresentar aumento simultâneo nos teores de K e Mg em grãos da colmo principal; já nos perfilhos ocorreu aumento apenas da dose 0 para dose de 2 µM de As. Nos teores de micronutrientes, o Fe, Mn e Zn diminuíram em grãos do colmo principal ou de perfilhos.

CONCLUSÃO

Todas cultivares de arroz avaliadas apresentam aumento no teor de As nos grãos, porém verificou-se ampla variação de resposta, que sugere diferenças na partição do As transportado até os órgãos reprodutivos.

Houve efeito do As sobre os teores de macro e micronutrientes analisados em tecidos de grãos de arroz, porém as cultivares apresentam comportamento diferenciado, fato que sugere variabilidade dos efeitos do As sobre a qualidade nutricional de grãos de arroz.

Grãos produzidos pelo colmo principal e pelos perfilhos apresentam respostas diversas nos teores de macro e micronutrientes em resposta as doses de As presente no substrato.

AGRADECIMENTOS

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, FAPERGS – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDIN, M.J.; FELDMANN, J.; MEHARG, A.A.. Uptake kinetics of arsenic species in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Plant Physiology* 128: 1120–1128, 2002.

ALMEIDA, M.L. **Modificação do afilamento de trigo e aveia pela qualidade de luz**. 1998. 121 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Curso de pós-graduação em Fitotecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERG, M.; STENGEL, C.; PHAM, T.K.; PHAM, H.V.; SAMPSON, M.L.; LENG, M.; SAMRETH, S.; FREDERICKS, D. Magnitude of arsenic pollution in the Mekong and Red River Deltas–Cambodia and Vietnam. *Science Total Environment*, 372:413–25, 2007.

BORBA, R. P.; COSCIONE, A. R.; FIGUEIREDO, B. R. and ZAMBELLO, F. Estudo da especiação de arsênio inorgânico e determinação de arsênio total no monitoramento ambiental da qualidade de águas subterrâneas. *Química Nova* 32, 970-975, 2009 .

CHAKRABORTI, D.; SENGUPTA, M.K.; RAHMAN, M.M.; AHAMED, S.; CHOWDHURY, U.K.; HOSSAIN, M.A.; MUKHERJEE, S.C.; PATI, S.; SAHA, K.C. Groundwater arsenic contamination and its health effects in the Ganga-Meghna-Brahmaputra plain. *Journal of Environmental Monitoring*, 6:74N–83N, 2004.

DWIVEDI, S.; TRIPATHI, R.; SRIVASTAVA, S.; Arsenic affects mineral nutrients in grains of various Indian rice (*Oryza sativa*) genotypes grown on arsenic-contaminated soils of West Bengal. *Protoplasma*, 245: 113-124, 2010.

Del NINNO, C.; DOROSH, P.A.; Averting a food crisis: private imports and public targeted distribution in Bangladesh after the 1998 flood. *Agricultural Economics*, 25: 337–346, 2001.

XIE, Z.M.; HUANG, C.Y. Control of arsenic toxicity in rice plants grown on an arsenic-polluted paddy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29: 2471–2477, 1998.