

Aplicação de composto e rega por aspersão diminuem o risco de acumulação de As e Cd em arroz

Compost application and sprinkler irrigation lowers the risk of As and Cd accumulation in rice grain

Paula Alvarenga^{1,*}, Damián Fernández-Rodríguez², David Peña Abades³, Ángel Albarrán², José Manuel Rato-Nunes⁴ e Antonio López-Piñeiro³

¹ LEAF - Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Center, Associated Laboratory TERRA, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

² Área de Producción Vegetal, Escuela de Ingenierías Agrarias – IACYS, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

³ Área de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias – IACYS, Universidad de Extremadura, Badajoz, Spain

⁴ Instituto Politécnico de Portalegre, Escola Superior Agrária de Elvas, Elvas, Portugal

(*E-mail: palvarenga@isa.ulisboa.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.28418>

RESUMO

Foi instalado um ensaio de campo junto ao rio Gévora (“Las Vegas Bajas de Guadiana”, Extremadura, Espanha), durante 3 anos, para avaliar a influência da aplicação de composto de resíduos da produção de azeite (bagaço de azeitona ou ‘Alperujo’), e de diferentes sistemas de rega, na acumulação de As e Cd no arroz. A rega deficitária (aspersão) levou a uma diminuição na acumulação de As no grão, quando comparada com a rega por inundação, atingindo concentrações de As no grão nos tratamentos aeróbios mais de 5 vezes inferior à atingida nas condições de rega por inundação. A concentração de As no grão, nos tratamentos aeróbios, atingiu valores inferiores ao limite estabelecido pela Comissão Europeia (0,20 mg kg⁻¹ no grão de arroz, peso fresco), e mesmo inferiores ao limite estabelecido para arroz branco polido para utilização em alimentos para bebés (0,10 mg kg⁻¹). Porém, um efeito contrário foi observado na acumulação de Cd no grão, que aumentou nos tratamentos aeróbios. A aplicação de composto (80 t ha⁻¹ no primeiro ano), foi capaz de contrabalançar esse efeito negativo, levando a uma diminuição na acumulação de Cd no grão, em comparação com a produção obtida sem aplicação de composto (e.g., uma diminuição de 0,080 para <0,010 mg Cd kg⁻¹ no grão, em sementeira direta com rega por aspersão), sem aumentar a concentração de As no grão. Por isso, foi possível concluir que, o cultivo aeróbio de arroz, com a aplicação simultânea de um corretivo orgânico maturado e estável, constitui uma boa solução para, simultaneamente, diminuir o risco de acumulação de As e Cd nos grãos de arroz.

Palavras-chave: produção de arroz, acumulação de elementos potencialmente tóxicos, rega por inundação, rega deficitária, correção orgânica dos solos

ABSTRACT

A field experiment was set-up near the Gévora River (“Las Vegas Bajas de Guadiana”, Extremadura, Spain), for 3 years, to evaluate how the application of compost from olive mill waste, influences the accumulation of As and Cd in rice grain under different irrigation systems. The deficit irrigation (sprinkler irrigation) was able to lower the accumulation of As in the grain, when compared to the flooding irrigation systems, achieving As concentrations in the grain more than 5-times lower in the aerobic treatments than in the flooding irrigation conditions. The As concentrations in the aerobic treatments achieved values below the regulated limits established by the European Commission (0.20 mg kg⁻¹ in the rice grain, fresh material), and even below the limit set for white polished rice intended to produce food for infants (0.10 mg kg⁻¹). However, a contrary effect was observed on Cd accumulation in the grain, which increased in the aerobic treatments. Compost application (80 t ha⁻¹ in the first year), was able to counterbalance that negative effect, lowering Cd accumulation in the rice grain, relatively to the non-treated counterparts (e.g., a reduction from 0.080 to <0.010 mg Cd kg⁻¹ in the grain, in direct seeding with sprinkler irrigation), without increasing grain As concentrations. It was possible to conclude that, the aerobic cultivation of rice, with the simultaneous application of a mature and stable organic amendment, can be considered a good solution to, simultaneously, lower the risk of accumulation of As and Cd in the rice grain.

Keywords: rice production, potentially toxic elements accumulation, flooding irrigation, deficit irrigation, soil organic amendment

INTRODUÇÃO

Recentemente, têm sido avaliadas diferentes tecnologias de produção de arroz em condições aeróbicas (e.g., rega por aspersão, alternância de secura/alagamento), de modo a evitar os sistemas tradicionais de produção de arroz, em solos alagados (condições anaeróbicas), que dependem de grandes quantidades de água (Sengupta *et al.*, 2021). Esta pode ser uma estratégia muito importante para a produção de arroz em regiões semi-áridas, como no Mediterrâneo, que terão que lidar com problemas crescentes de escassez de água (Sánchez-Llerena *et al.*, 2016).

Porém, os sistemas anaeróbicos ou aeróbicos de gestão da água podem influenciar a concentração de metais e metaloides no arroz em sentidos opostos, com impacto direto na qualidade alimentar. De facto, a rega por aspersão tem sido introduzida com sucesso na produção de arroz, permitindo uma diminuição no uso da água e na concentração de As no grão, porém, com efeitos contrários na disponibilidade e acumulação de Cd (Moreno-Jiménez *et al.*, 2014). Esta é uma temática importante, não apenas pela dependência mundial deste alimento, mas, também, pelos problemas de toxicidade em humanos provocados pelo As (Sengupta *et al.*, 2021). Por esse facto, os regulamentos são muito rigorosos: a concentração máxima permitida de As-inorgânico no arroz é de 0,20 mg kg⁻¹ (matéria fresca), ou 0,10 mg kg⁻¹ em arroz branco polido, quando se destina a produzir alimentos para crianças (Comissão Europeia, 2006; 2015). Na mesma regulamentação, a concentração máxima permitida para Cd é fixada em 0,20 mg kg⁻¹.

Como tal, é importante avaliar outras estratégias que possam ser combinadas para, simultaneamente, evitar a acumulação de As e de metais no arroz. Uma possibilidade é aplicar corretivos orgânicos ao solo. Sengupta *et al.* (2021) destacaram a importância dessa estratégia, permitindo a imobilização de As. Eles explicaram essa possibilidade através da formação de quelatos organo-As, reduzindo sua absorção pelas plantas. Pelo contrário, outros autores relataram uma maior mobilização de As, especialmente inorgânico, devido à aplicação de aditivos orgânicos nos solos (Hossain *et al.*, 2021). É, por isso, muito importante avaliar o efeito do uso de corretivos orgânicos na cultura do arroz,

com diferentes sistemas de rega, não apenas como estratégia para aumentar o sequestro de C orgânico do solo, mas, também, para imobilizar metais e metaloides. Preferencialmente, esses corretivos orgânicos devem permitir a valorização de resíduos, de fontes locais, de modo a aumentar a sustentabilidade económica e ambiental desta prática. A produção de azeite é uma agroindústria relevante em todo o sul do Mediterrâneo, produzindo elevadas quantidades de um resíduo sólido no processo de centrifugação de duas fases que pode ser estabilizado por compostagem com outros agro-resíduos (e.g., resíduos vegetais da limpeza do olival).

Neste contexto, o objetivo do estudo foi: avaliar os efeitos diretos e residuais da aplicação de composto de resíduos de produção de azeite na acumulação de As e Cd no arroz, produzido em diferentes regimes de rega e práticas agrícolas, num ensaio de campo de 3 anos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Uma experiência de campo foi instalada em “Las Vegas Bajas de Guadiana”, na região semiárida da Extremadura, Espanha (38°55'58,14" N; 6°57'13,42" W), num Antrossolo Hidrágico (FAO, 2006), argiloso (20,8% argila, 28,9% limo e 50,3% areia), com reação ácida (pH=4,42±0,07), e teor médio de matéria orgânica (MO: 21,6±0,5 g kg⁻¹) (Fernández-Rodríguez, 2020). Foram avaliados seis tratamentos diferentes, três sem composto (1-sementeira direta e rega por aspersão (DA); 2-sementeira tradicional e rega por aspersão (TA); e 3-sementeira tradicional e rega por inundação (TI)), e os mesmos três tratamentos, mas com uma aplicação inicial de composto (C, 80 t ha⁻¹, abril de 2015, espalhado manualmente e incorporado a uma profundidade de 15-20 cm usando uma grade de discos). As parcelas foram estabelecidas em triplicado, 18 m x 10 m por parcela. Na rega por inundação, a água tinha uma entrada contínua, mantendo um nível de água de 10 cm acima do solo. A rega por aspersão utilizou entre 57 a 67% da água utilizada na rega por inundação durante os 3 anos do estudo. A variedade de arroz e densidade de sementeira (*Oryza sativa* L. var. Gladio, 180 kg ha⁻¹), bem como outras práticas agrícolas, foram semelhantes entre os tratamentos, e repetidas durante os 3 anos do ensaio. Os efeitos das diferentes práticas agrícolas, e da aplicação

de composto, na acumulação de As e Cd no solo e no arroz, foram avaliados em três anos agrícolas sucessivos (Alvarenga *et al.*, 2022). Os fatores de bioacumulação (FB) foram calculados como a razão entre a concentração do elemento no arroz e a concentração total do mesmo elemento no solo. Sempre que as concentrações resultaram abaixo do limite de quantificação para esse elemento, no cálculo do FB foi assumida uma concentração igual ao limite de quantificação da técnica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações totais de As no solo durante os 3 anos do estudo variaram entre 0,94 e 2,92 mg kg⁻¹ (Quadro 1). Estes valores de concentração podem ser considerados baixos, quando comparados com o teor médio para As-total, considerando diferentes tipos de solos, que é de 6,83 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011), e não se verificou uma tendência óbvia na sua variação durante os 3 anos do estudo.

A concentração de As no arroz produzido nos sistemas de rega por aspersão foi menor, quando comparado com o valor obtido no arroz produzido nos sistemas de rega tradicionais, por inundação (Quadro 1), corroborando os resultados obtidos por outros autores (Moreno-Jiménez *et al.*, 2014). Muito importante, essa redução foi mantida durante os três anos do estudo, atingindo concentrações de As mais de 5 vezes menores nos tratamentos aeróbios do que nas condições de rega por inundação, e sempre abaixo dos limites regulamentados.

No caso do As, os FB foram significativamente superiores nos sistemas de rega por inundação, quando comparados com os obtidos nos sistemas de rega por aspersão (Quadro 1). Porém, a aplicação de composto permitiu a diminuição desses valores de FB durante os 3 anos do estudo, de 0,43 para 0,19, permitindo uma diminuição do risco de acumulação de As no arroz, mesmo nos sistemas anaeróbios, embora sem diferenças significativas.

O intervalo típico de concentrações de Cd em solos argilosos não contaminados é de 0,2 a 0,8 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias, 2011), dentro do qual estão compreendidos os valores encontrados nesta experiência (Tabela 2). Assim, apesar do aumento observado nas concentrações totais de Cd, em todos

Quadro 1 - Concentração de As no solo e no arroz, e respectivos fatores de bioacumulação (adaptado de Alvarenga *et al.* (2022)) (valores médios, n=3). Resultados marcados com a mesma letra não apresentam diferenças significativas (teste de Tukey, p > 0.05): letras minúsculas comparam diferentes tratamentos no mesmo ano, e letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em anos diferentes. D: sementeira direta; T: sementeira tradicional; A: aspersão; I: inundação; C: composto

Ano	Trat.	As _{solo} (mg kg ⁻¹)	As _{arroz} (mg kg ⁻¹)	As _{arroz} /As _{solo}
1	DA	1,05 dC	0,025 cA	0,02 aA
	DAC	1,80 cB	0,051 bcB	0,03 aA
	TA	1,44 bC	0,064 abcA	0,04 aA
	TAC	2,26 aB	0,055 bcB	0,02 aA
	TI	1,66 cB	0,403 abAB	0,24 abA
	TIC	1,00 dC	0,439 aAB	0,43 bA
2	DA	2,14 dB	0,169 bA	0,08 aA
	DAC	2,92 aA	0,202 bA	0,07 aA
	TA	2,88 abA	0,206 bA	0,07 aA
	TAC	2,57 cB	0,144 bA	0,06 aB
	TI	2,61 bcA	0,669 aA	0,26 bA
	TIC	2,04 dA	0,751 aA	0,37 bA
3	DA	2,63 aA	0,055 bA	0,02 aA
	DAC	1,69 cB	0,049 bB	0,03 aA
	TA	2,22 bB	0,052 bA	0,02 aA
	TAC	2,90 aA	0,049 bB	0,02 aA
	TI	0,94 dC	0,262 aB	0,28 bA
	TIC	1,42 cA	0,268 aB	0,19 bA

os tratamentos, durante os 3 anos de estudo, os valores permaneceram baixos. Uma possível explicação para o aumento de Cd no solo foi a aplicação de fertilizantes fosfatados, herbicidas e fungicidas, que são importantes fontes antrópicas de Cd para os sistemas agrícolas.

A aplicação de composto permitiu uma diminuição na concentração de Cd no arroz, em todos os tratamentos onde as concentrações foram quantificáveis, relativamente à concentração de Cd obtido nas mesmas práticas agrícolas, mas sem aplicação de composto (Quadro 2). Três anos após a aplicação do composto, o efeito residual na sementeira direta com rega por aspersão foi mesmo suficiente para baixar a concentração total de Cd no arroz para valores abaixo do limite de quantificação da técnica (<0,010 mg kg⁻¹).

Quadro 2 - Concentração de Cd no solo e no arroz, e respectivos fatores de bioacumulação (adaptado de Alvarenga et al. (2022)) (valores médios, n=3). Resultados marcados com a mesma letra não apresentam diferenças significativas (teste de Tukey, $p > 0.05$): letras minúsculas comparam diferentes tratamentos no mesmo ano, e letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em anos diferentes. D: sementeira direta; T: sementeira tradicional; A: aspersão; I: inundação; C: composto

Ano	Trat.	Cd _{solo} (mg kg ⁻¹)	Cd _{arroz} (mg kg ⁻¹)	Cd _{arroz} /Cd _{solo}
1	DA	<0,01	0,098 aA	3,50 aA
	DAC	<0,01	0,020 aB	2,00 aA
	TA	<0,01	0,063 aA	3,50 aA
	TAC	<0,01	0,017 aA	1,67 aA
	TI	<0,01	<0,010	1,00 aC
	TIC	<0,01	<0,010	1,00 aC
2	DA	0,19 bB	0,197 aA	0,88 cA
	DAC	0,25 aA	0,091 bA	0,49 abA
	TA	0,24 abB	0,169 aA	0,65 bcA
	TAC	0,20 abB	0,043 bA	0,22 abA
	TI	0,23 abB	<0,010	0,04 aB
	TIC	0,20 abB	<0,010	0,05 aB
3	DA	0,34 aA	0,080 aA	0,20 bA
	DAC	0,25 bA	<0,010	0,04 aA
	TA	0,34 aA	0,092 aA	0,27 bA
	TAC	0,36 aA	<0,010	0,09 aA
	TI	0,30 abA	<0,010	0,03 aA
	TIC	0,34 aA	<0,010	0,03 aA

Apesar das diferenças encontradas não terem sido significativas entre tratamentos, em cada ano, ou para o mesmo tratamento em anos diferentes, essa tendência, a da diminuição na bioacumulação de Cd como consequência da aplicação de composto

em tratamentos aeróbicos, foi evidente, sendo uma solução importante para lidar com o aumento verificado na concentração de Cd no arroz produzido em condições de rega por aspersão (Moreno-Jiménez *et al.*, 2014).

Os FB para Cd diminuíram do primeiro ao terceiro ano do estudo (Quadro 2). Mais importante, os FB para o Cd são menores nas parcelas tratadas com composto, nos sistemas de rega por aspersão, em relação às suas contrapartes não tratadas (DA e TA), enfatizando o efeito benéfico da aplicação de composto para diminuir a biodisponibilidade de Cd em sistemas aeróbicos.

CONCLUSÕES

A rega por aspersão na produção de arroz, com a aplicação simultânea de composto de bagaço azeitona, pode ser considerada uma boa solução para diminuir, em simultâneo, o risco de acumulação de As e Cd no arroz.

AGRADECIMENTOS

O suporte para este estudo foi dado pelas Bolsas GR21038 e IB16075, financiadas pelo Governo Regional da Extremadura, pela Bolsa RTI2018-095461-B-I00, financiada pelo MCIN/AEI/10.13039/501100011033 e pela "ERDF *A way of making Europe*". F. Fernández recebeu uma Bolsa de incentivo à contratação de jovens investigadores do ESF *Investing in your future* (TE-0042-18). P Alvarenga agradece o suporte dado pelo LEAF, financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., projeto UID/AGR/04129/2020 (LEAF).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarenga, P.; Fernández-Rodríguez, D.; Abades, D.P.; Rato-Nunes, J.M.; Albarrán, Á. & López-Piñero, A. (2022) - Combined use of olive mill waste compost and sprinkler irrigation to decrease the risk of As and Cd accumulation in rice grain. *Science of the Total Environment*, vol. 835, art. 155488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155488>
- Comissão Europeia (2006) - Commission Regulation (EC) 1881/2006, of 19 December 2006, setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 20.12.2006, L 364/5.
- Comissão Europeia (2015) - Amending Regulation (EC) 1881/2006, as regards maximum levels of inorganic arsenic in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 26.6.2015, L 161/14.
- Fernández-Rodríguez, D. (2020) - *Sistemas Aeróbicos y Anaeróbicos del Cultivo del Arroz con Aplicación de Enmienda Orgánica: Comportamiento Agronómico y Flujo de Gases de Efecto Invernadero*. PhD Thesis (in Spanish). Universidad de Extremadura. Badajoz.
- Hossain, M.; Mestrot, A.; Norton, G.J.; Deacon, C.; Islam, M.R. & Meharg, A.A. (2021) - Arsenic dynamics in paddy soil under traditional manuring practices in Bangladesh. *Environmental Pollution*, vol. 268, part A, art. 115821. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115821>
- Kabata-Pendias, A. (2011) - *Trace Elements in Soils and in Plants*. Fourth ed. CRC Press. Boca Raton (USA).
- Moreno-Jiménez, E.; Meharg, A.A.; Smolders, E.; Manzano, R.; Becerra, D.; Sánchez-Llerena, J.; Albarrán, Á. & López-Piñero, A. (2014) - Sprinkler irrigation of rice fields reduces grain arsenic but enhances cadmium. *Science of the Total Environment*, vol. 485–486, p. 468–473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.106>
- Sánchez-Llerena, J.; López-Piñero, A.; Albarrán, A.; Peña, D.; Becerra, D. & Rato-Nunes, J.M. (2016) - Short and long-term effects of different irrigation and tillage systems on soil properties and rice productivity under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, vol. 77, p. 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.005>
- Sengupta, S.; Bhattacharyya, K.; Mandal, J.; Bhattacharya, P.; Halder, S. & Pari, A. (2021) - Deficit irrigation and organic amendments can reduce dietary arsenic risk from rice: Introducing machine learning-based prediction models from field data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 319, art. 107516. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107516>