

ÁCIDO SALICÍLICO COMO ESTRATÉGIA DE TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO EM MICROVERDES DE AMARANTO

Toshik Iarley da Silva¹, Isabel da Silva Teixeira Dourado², Thainan Sipriano dos Santos,
Jucilene Jesus Santos³, Beatriz Meurer Bedra², Mairton Gomes da Silva⁴

RESUMO: O amaranto se destaca pelo elevado valor nutricional, apresentando proteínas de boa qualidade, fibras, vitaminas e minerais, além de compostos bioativos com ação antioxidante. O cultivo de microverdes tem ganhado destaque na agricultura moderna devido ao seu alto valor nutricional, rápido ciclo de cultivo e potencial antioxidante. No entanto, o cultivo em condições salinas pode comprometer essas plantas. Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar os efeitos do pré-tratamento de sementes com ácido salicílico no cultivo hidropônico de microverdes de amaranto (*Amaranthus cruentus*) sob condições de salinidade. Um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 (pré-tratamentos de sementes – 0 e 1 mM de ácido salicílico) $\times$ 3 (concentrações de NaCl – 0, 25 e 50 mM) com quatro repetições foi utilizado. Os teores de carboidratos e proteínas solúveis, antocianinas, flavonoides e massa fresca foram avaliados. A aplicação de ácido salicílico atenuou os efeitos deletérios do estresse salino moderado, promovendo maior acúmulo de compostos bioativos e estabilidade metabólica. Com isso, o ácido salicílico pode ser usado como um atenuante dos danos causados pelo estresse salino em microverdes de amaranto.

PALAVRAS-CHAVE: Fitormônios; Estresse abiótico; *Amaranthus cruentus*

¹ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, CEP 44380-000, Cruz das Almas, BA. E-mail: toshik@ufrb.edu.br

² Graduandas em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

⁴ Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, UFRB, Cruz das Almas, BA.

SALICYLIC ACID AS A STRATEGY TO SALT STRESS TOLERANCE IN AMARANTH MICROGREENS

ABSTRACT: Amaranth stands out for its high nutritional value, containing high-quality proteins, fibers, vitamins, and minerals, as well as bioactive compounds with antioxidant activity. The cultivation of microgreens has gained prominence in modern agriculture due to their high nutritional value, short growth cycle, and antioxidant potential. However, growing them under saline conditions can compromise plant performance. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of seed pre-treatment with salicylic acid on the hydroponic cultivation of amaranth (*Amaranthus cruentus*) microgreens under salinity conditions. A completely randomized experimental design in a 2 (seed pre-treatments – 0 and 1 mM salicylic acid) $\times$ 3 (NaCl concentrations – 0, 25, and 50 mM) factorial scheme with four replications was used. Soluble carbohydrate and protein contents, anthocyanins, flavonoids, and fresh mass were evaluated. The application of salicylic acid mitigated the deleterious effects of moderate salt stress, promoting greater accumulation of bioactive compounds and metabolic stability. Thus, salicylic acid can be used as an attenuator of the damage caused by salt stress in amaranth microgreens.

KEYWORDS: Phytohormones; Abiotic stress; *Amaranthus cruentus*

INTRODUÇÃO

A cultivo de microverdes têm ganhado destaque na agricultura moderna devido ao seu alto valor nutricional, rápido ciclo de cultivo e potencial antioxidante (Xiao et al., 2012). Dentre as espécies cultivadas o amaranto (*Amaranthus cruentus*) destaca-se por suas propriedades funcionais e adaptabilidade a diferentes condições de estresse (Weber, 2017). O amaranto é reconhecido como uma cultura de elevado valor alimentar, oferecendo excelente potencial nutricional tanto nos grãos quanto nas folhas. Além de ser amplamente empregado na alimentação animal, apresenta altos teores de metabólitos secundários, como flavonoides, alcaloides e compostos fenólicos, bem como vitaminas, macro e micronutrientes e ácidos graxos poli-insaturados, características que também o tornam apropriado para o consumo humano (Manyelo et al., 2022).

No entanto, o cultivo em condições salinas pode comprometer a germinação e o desenvolvimento dessas plantas, especialmente em sistemas hidropônicos, onde a

disponibilidade de nutrientes é diretamente influenciada pela condutividade elétrica da solução (Shah et al., 2021). O ácido salicílico (AS) tem sido utilizado como um agente mitigador de estresses abióticos, incluindo a salinidade, por sua capacidade de modular processos fisiológicos como a absorção iônica, a atividade antioxidante e a regulação hormonal (Hayat et al., 2010). Estudos indicam que o pré-tratamento de sementes com AS pode melhorar a germinação e o vigor de plântulas sob condições adversas (Khan et al., 2015), tornando-se uma estratégia promissora para a produção de microverdes em sistemas hidropônicos salinizados. Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar os efeitos do pré-tratamento de sementes com ácido salicílico no cultivo hidropônico de microverdes de amaranto (*Amaranthus cruentus*) sob condições de salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

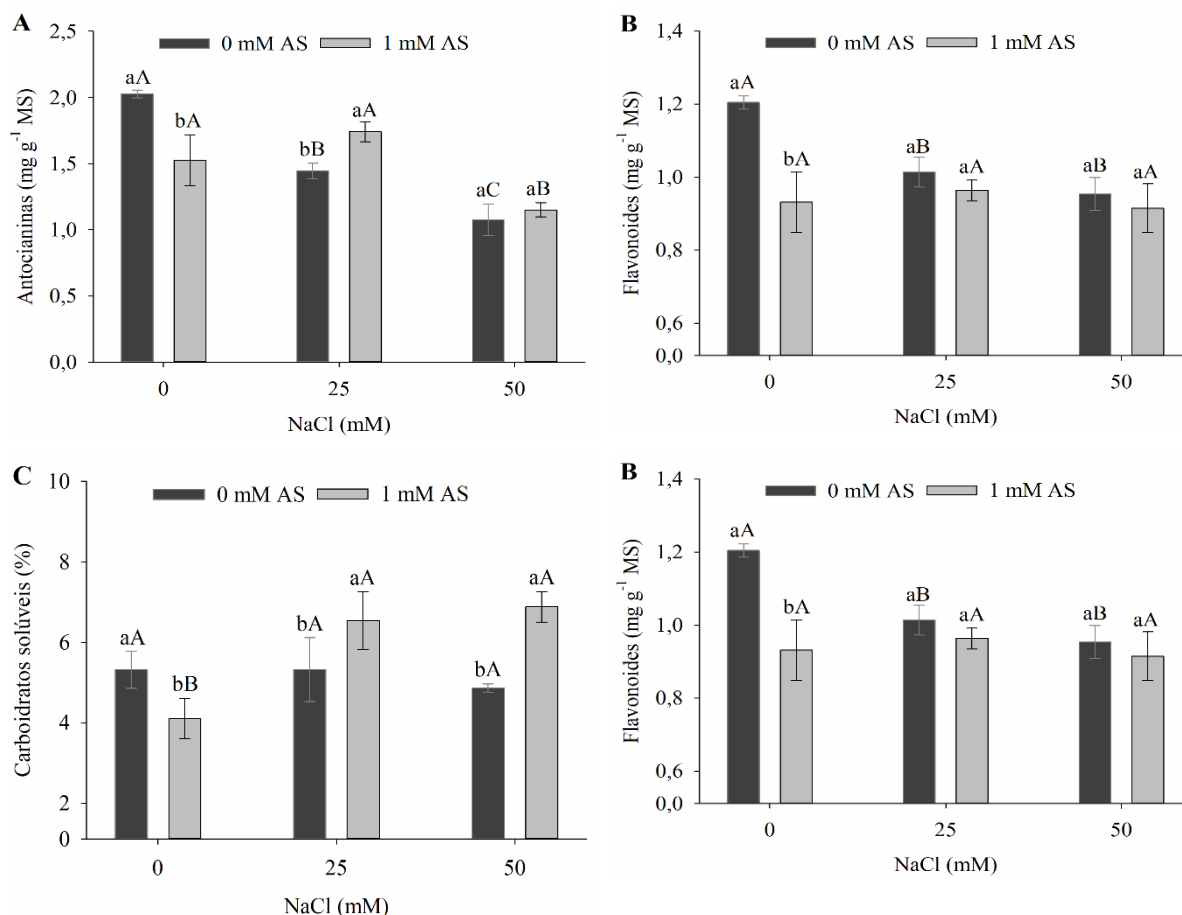
O experimento foi conduzido de 17 a 29 de maio de 2025, em casa de vegetação destinada a cultivos hidropônicos da UFRB, em Cruz das Almas – BA. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2×3 , com quatro repetições, avaliando dois pré-tratamentos de sementes de manjerição toscano (0 e 1 mM de ácido salicílico – AS) e três concentrações de NaCl (0, 25 e 50 mM).

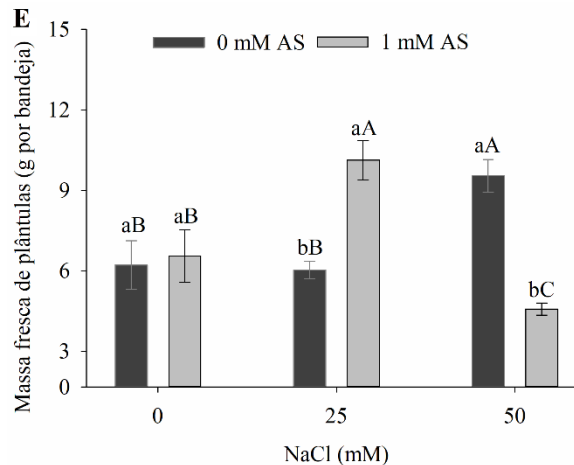
Para o pré-tratamento, 0,7 g de sementes foram imersas em 5 mL da solução (com ou sem AS) por 12 h. Após esse período, foram distribuídas em bandejas de isopor com fibra de coco. O cultivo foi realizado em sistema hidropônico NFT (*Nutrient Film Technique*), com canais de PVC inclinados a 3% e reservatório de 40 L. A recirculação da solução nutritiva ocorreu em ciclos de 15 min ligados/desligados, das 6 às 18:00.

A colheita foi feita aos 13 dias após a semeadura (DAS), e a massa fresca determinada em balança analítica. Para análise de carboidratos e proteínas solúveis, 0,5 g de material foi liofilizado, macerado, extraído com etanol 80% e centrifugado ($14.000 \times g$, 15 min). As quantificações seguiram Dubois et al. (1956) para carboidratos, Bradford (1976) para proteínas e Francis (1982) para flavonoides e antocianinas. Os dados foram submetidos à ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) através do programa estatístico R (R Core Team, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores para todas as variáveis analisadas. A aplicação de ácido salicílico (AS) via embebição de sementes aumentou os teores de antocianinas em microverdes de amaranto cultivados sob salinidade moderada (25 mM NaCl), mas reduziu essa variável em condições sem estresse (0 mM NaCl) e não promoveu alterações significativas sob salinidade severa (50 mM NaCl). Em plântulas não tratadas com AS, o estresse salino reduziu os teores de antocianinas, enquanto o tratamento com AS manteve esses níveis comparáveis ao controle sob 25 mM NaCl (Figura 1A). Para os flavonoides, o AS reduziu seus teores em plântulas cultivadas sob 0 mM NaCl, mas manteve os níveis estáveis em condições salinas. A irrigação com água salobra reduziu os teores de flavonoides nas plantas sem tratamento com AS, enquanto nas plântulas tratadas, os teores foram preservados independentemente da salinidade (Figura 1B).





Médias seguidas de mesma letra maiúscula e de mesma letra minúscula não diferem para ácido salicílico e para estresse salino, respectivamente, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Figura 1. Teores de antocianinas (A), flavonoides (B), carboidratos solúveis (C), proteínas solúveis (D) e massa fresca de plântulas de microverdes de amaranto submetido ao estresse salino (NaCl) e aplicação de ácido salicílico (AS).

A variação nos teores de antocianinas e flavonoides sugere que a ação do ácido salicílico (AS) está intimamente relacionada aos mecanismos de resposta ao estresse salino em microverdes de *Amaranthus*. Sob salinidade moderada (25 mM NaCl), a aplicação de AS elevou significativamente os teores de antocianinas, provavelmente por estimular vias biossintéticas do grupo dos fenilpropanóides e ativar respostas antioxidantes secundárias, conforme descrito por Khan et al. (2015). Em contrapartida, na ausência de estresse (0 mM NaCl), o AS reduziu os teores desses compostos, possivelmente por inibir enzimas como a fenilalanina amônia-liase (PAL) ou por redirecionar o metabolismo para rotas primárias, priorizando o crescimento em detrimento da produção de metabólitos secundários. Esse padrão reforça que, sem a presença de um estressor, o AS pode desregular o metabolismo basal.

Em relação aos carboidratos solúveis, observou-se aumento nos teores quando as plântulas foram irrigadas com águas salobras e tratadas com AS, enquanto o fitormônio reduziu essa variável sob condições não salinas. Em plântulas sem aplicação de AS, a salinidade não afetou os teores de carboidratos. Esse comportamento indica que o AS pode estimular a degradação de polissacarídeos ou favorecer o acúmulo de açúcares osmocompatíveis, como parte da adaptação ao estresse osmótico, como relatado por Khan et al. (2015).

O estresse salino reduziu os teores de proteínas solúveis nas plântulas, mas a aplicação de AS reverteu esse efeito sob salinidade severa (50 mM NaCl), além de manter os níveis proteicos estáveis em todas as condições. Esse efeito protetor pode estar associado à indução de proteínas de choque térmico (HSPs), enzimas antioxidantes e outras proteínas funcionais envolvidas na manutenção da homeostase celular (Hayat et al., 2010).

A massa fresca foi maior nas plântulas tratadas com AS sob salinidade moderada, indicando crescimento compensatório frente ao estresse leve. No entanto, sob salinidade severa, o AS reduziu essa variável, possivelmente por induzir estratégias conservativas, como fechamento estomático e priorização da integridade celular em detrimento do crescimento vegetativo.

CONCLUSÕES

A aplicação de ácido salicílico modulou positivamente a resposta de microverdes de amaranto ao estresse salino, promovendo acúmulo de antocianinas, flavonoides, carboidratos e proteínas solúveis, especialmente sob salinidade moderada. Os efeitos foram dependentes da intensidade do estresse, indicando que este fitormônio atua como regulador do metabolismo primário e secundário em condições adversas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCT AGRIS (CNPq/FUNCAP/CAPES), processos 406570/2022-1 (CNPq) e INCT-35960-62747.65.95/51 (FUNCAP), INCITE Economia Verde (FAPESB), Ciência na Mesa (FAPESB, Pedido Nº 4362/2024).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry Journal**, v. 72, p. 248–254, 1976.
- DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, P. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, **Analytical Biochemistry Journal**, v. 28, p. 350–356, 1956.

- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181–207.
- HAYAT, Q.; HAYAT, S.; IRFAN, M.; AHMAD, A. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 1, p. 14–25, 2010.
- KHAN, M. I. R.; FATMA, M.; PER, T. S.; ANJUM, N. A.; KHAN, N. A. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 462, 2015.
- MANYELO, Tlou Grace et al. Chemical composition and metabolomic analysis of *Amaranthus cruentus* grains harvested at different stages. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 623, 2022.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- SHAH, A. N.; TANVEER, M.; ABBAS, A.; FAHAD, S.; BALOCH, M. S.; AHMAD, M. I.; SAUD, S. F. Targeting salt stress coping mechanisms for stress tolerance in crops: A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 393–400, 2021.
- WEBER, C. F. Nutrient content of microgreens: A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 34, p. 7643–7651, 2017.
- XIAO, Z.; LESTER, G. E.; LUO, Y.; WANG, Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 31, p. 7644–7651, 2012.
- XU, Lingxin et al. Salicylic acid improves the salt tolerance capacity of *Saponaria officinalis* by modulating its photosynthetic rate, osmoprotectants, antioxidant levels, and ion homeostasis. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1443, 2022.