



I WORKSHOP DE HORTICULTURA NO SEMIÁRIDO & VIII SEMANA DE AGRONOMIA 02 a 06 de setembro de 2024

Aspectos fisiológicos de berinjela sob condição de déficit hídrico e aplicação de nanofertilizantes de Zn e bioinoculante

Jose Ebson Janoca de SOUZA¹; Francisco Hevilásio Freire PEREIRA¹; Leandro Nunes de FREITAS¹;

I Workshop de Horticultura no semiárido & VIII Semana de Agronomia

¹Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil.
ebsonsoares2016@gmail.com

RESUMO: A deficiência hídrica é um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento da olericultura como importante atividade econômica do sertão paraibano. Sendo assim, o trabalho teve como objetivo, avaliar os mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de berinjela tratadas com nanofertilizantes. O experimento foi realizado em condições de campo na Fazenda Experimental do CCTA/UFCG, *Campus* de Pombal-PB, utilizando a berinjela cultivar 'Ciça'. Os tratamentos foram arrançados no esquema de parcela subdividida 2 x 5, onde foram combinados dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração potencial - ETo) e cinco tratamentos relativos à aplicação de zinco e bioinoculante (sulfato de Zn; nano-ZnO foliar; nano-ZnO foliar + Bio; sulfato de Zn + Bio e controle). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliadas as trocas gasosas, carotenoides totais e extravasamento de eletrólitos. A aplicação de nanopartículas de zinco de forma isolada e associada com bioinoculantes proporcionaram os melhores resultados nas trocas gasosas e teor de carotenoides, em plantas de berinjela sob condição de irrigação com 50% da ETC aos 45 dias após o transplante.

PALAVRAS-CHAVE: Nanotecnologia; estresse hídrico; olericultura; fisiologia.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico é um dos fatores que mais contribuem para a diminuição do crescimento e produtividade das hortaliças, principalmente as de frutos como a berinjela (*Solanum melongena* L.), que apresenta elevado índice de área foliar e conseqüentemente, elevada taxa de evapotranspiração (DAMASCENO et al., 2022). O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água no tecido ou na célula vegetal está abaixo do conteúdo de máxima hidratação, e após longo prazo de estresse, a água na planta não é recuperada, causando fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas (XU et al., 2018) e, por conseguinte, decréscimo na produção.

O uso de nanopartículas (materiais com tamanho entre 1 e 100 nm) na agricultura tem se tornando cada vez mais frequente, especialmente aquelas contendo micronutrientes de plantas, com o óxido de zinco (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019; AHMADIAN et al., 2021). Alguns trabalhos demonstraram que a aplicação de nanofertilizantes em milho, trigo e em soja, pode diminuir os efeitos estressantes do déficit hídrico (GHOLINEZHAD, 2017; AHMADIAN et al., 2021; SUN et al., 2021). Entretanto, em hortaliças de frutos os trabalhos desta natureza são escassos (GARCIA-LÓPEZ et al., 2019). Os bioinoculantes são bactérias que realizam protocoperação com as raízes das plantas, se alimentam dos exsudatos liberados pelas raízes e formam uma camada protetora na raiz o que promove o crescimento radicular e melhora a absorção de nutrientes.

O objetivo do trabalho foi investigar a influência de nanopartículas contendo o micronutriente de zinco sobre os aspectos fisiológicos de berinjela cultivadas sob déficit hídrico no sertão paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, em área pertencente a Fazenda Experimental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), *Campus* de Pombal-PB. A sede da Fazenda Experimental localiza-se no município de São Domingos, à 30 km do município de Pombal (PB). O experimento consta de um arranjo fatorial 5 x 2, onde serão combinados

cinco tratamentos relativos as formas de aplicação de zinco e bioinoculantes (T1 = ZnSO₄ via solo, T2 = NPZnO foliar, T3 = NPZnO foliar + Bio, T4 = ZnSO₄ via solo + Bio e T5 = Controle ou testemunha) e dois níveis de irrigação (50% da evapotranspiração potencial -ET_o e 100 % da ET_o).

O preparo da área consistiu de uma aração e uma gradagem com grade aradora. Após esta etapa foi realizado uma amostragem de solo na área, na camada de 0 – 20 cm para sua caracterização química e física. As mudas de berinjela cultivar ‘Ciça’ foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor®), com 128, as quais foram preenchidas com substrato comercial Baseplant®. No solo foi levantada leiras, medindo 0,4 m de largura e 0,30 m de altura, onde posteriormente foi realizada a adubação de plantio de acordo com os resultados da análise de solo.

A berinjela foi cultivada no espaçamento de 1,2 metros entre linhas e 0,7 metros entre plantas da fileira. Cada parcela espaçada em 1 metro entre elas constituída de quatro linhas de 4,5 m de comprimento nas quais foram cultivadas 20 plantas. A parcela útil consistiu de uma área de 3 m por 3 m na parte central da parcela, onde serão avaliadas 10 plantas. O controle de plantas daninhas foi realizado, de forma manual. A adubação básica de plantio e de cobertura, com base na análise do solo, foram realizadas de acordo com as recomendações do Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (Cavalcante, 2008). Os tratamentos foram aplicados no período de pré-floração, 26 dias após o transplantio em única aplicação. Para o zinco foi empregado no preparo do nanofertilizantes de zinco o produto p.a nano-óxido de zinco (NPZnO) da marca Sigma-Aldrich® que tem 97% de pureza, nanopartículas de tamanho menor que 50 nm e superfície específica de 10,8 m²/g. As suspensões de trabalho de NPZnO foram preparadas na concentração de 50 g/L. Antes da sua aplicação foliar estas suspensões foram diluídas em água na proporção de 500 ml/100 L os quais foram empregados na dose de 100 L/ha. Para os tratamentos com fontes convencionais de Zn, foi utilizado o reagente p.a ZnSO₄·7H₂O. Para os bioinoculantes foi utilizado *Bacillus subtilis* BV-09 o produto líquido BIOBACI® contendo 1,0 x 10⁸ UFC/mL, enquanto para *B. amyloliquefaciens* foi empregado o produto NO-NEMA® contendo 1,0 x 10⁹ UFC/mL. Ambos os produtos foram aplicados na zona radicular, utilizando-se o sistema de irrigação, em dose única.

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com gotejadores espaçados de 0,20 m e com vazão nominal de 1,6 L/h. Após o transplantio e estabelecimento das mudas, iniciou-se a irrigadas seguindo os diferentes níveis de lâminas de água, a partir da irrigação total necessária. A lâmina de irrigação correspondente a 100% será obtida por meio do cálculo da ET_c, conforme descrito por Jensen (1968). A irrigação com a lâmina de 50% da ET_c, obtida pela divisão da ET_c, foi iniciada aos 27 dias após o transplantio.

As variáveis de trocas gasosas foram mensuradas aos 19 DAP através da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E) e concentração intercelular de CO₂ (Ci), foi medido com analisador de gás no infravermelho (IRGA) LCpro com fonte de luz constante de 1.200 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ e concentração de CO₂ a 370 μmol mol⁻¹. Os pigmentos carotenoides foram extraídos em acetona pura e gelada, filtrados em papel de filtro de 0,45 μm e quantificados por espectrofotometria, seguindo a metodologia descrita por LICHTENTHALER (1987).

O extravasamento de eletrólitos foi determinado seguindo a metodologia descrita por Campos, SCOTTI; THU PHAM THI (1997), após a coletado 5 discos de 113 mm² por parcela.

Os dados referentes às variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância e teste de médias de Tukey ao nível de 5% de significância utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas interação significativa (P<0,05) entre lâminas de irrigação e tratamentos para as características fotossíntese, transpiração, condutância estomática, extravasamento de eletrólitos.

Sendo que a fotossíntese e transpiração verificou-se efeito significativo entre os tratamentos apenas para a lâmina de irrigação de 50% (Figura 1). Os maiores valores foram observados nos tratamentos 2 e 3 que são relativos à aplicação das nanopartículas de óxido de zinco foliar de forma isolada e sob combinação de Bio, respectivamente, superando em 15,40% o tratamento 5 (testemunha) e maior que o tratamento 4 relativos ao sulfato de zinco e bioinoculantes. Uma das principais respostas ao déficit hídrico do solo é o fechamento dos estômatos por meio de sinais das raízes para os brotos (principalmente ABA), afetando diretamente a difusão do CO₂ nos tecidos das folhas, que reduz fotossíntese. (ABDELKHALIK, PASCUAL-SEVA, 2019). Diante disso as plantas que receberam as nanopartículas obtiveram resultados positivos em relação as características fisiológicas analisadas, ou seja, conseguiu amenizar o estresse.

Para condutância estomática verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para as lâminas de 50 e 100%. Para a lâmina de 50% os tratamentos 2 (NPZnO foliar) e 4 (ZnSO₄ via solo + Bio) apresentaram os maiores valores, não diferindo do tratamento 1 (ZnSO₂). Para a lâmina de 100% o maior valor foi observado para o tratamento 2 (NPZnO foliar). De acordo com os dados obtidos observa-se relação direta entre o aumento na condutância estomática e incremento na fotossíntese e transpiração, principalmente, para o tratamento 2 (NPZnO foliar) na lâmina de 50%, o que confere a esse tratamento maior eficácia das plantas de berinjela ao estresse hídrico.

Tratamento	A ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		E ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		gs ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	
	50	100	50	100	50	100
	1	18,23 b	20,03 a	8,42 b	7,86 a	484,50 ab
2	21,55 a	21,00 a	8,76 ab	8,66 a	503,25 a	560,50 a
3	22,50 a	21,03 a	8,04 b	8,65 a	420,75 bc	458,75 bc
4	18,33 b	21,00 a	9,65 a	8,70 a	498,25 a	459,25 bc
5	15,70 c	19,93 a	8,83 ab	7,90 a	397,00 c	479,75 b
CV (%)	3,83		5,80		8,57	

(CV: Coeficiente de variação); ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$: micromol por metro quadrado); ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$: milimols por metro quadrado).

Figura 1. Efeitos da aplicação foliar de nanopartículas de (NPZnO) e Bioinoculantes na eficiência fotossintética (A), integridade das membranas celulares (E) e condutância estomática (gs) da berinjela cultivada sob irrigação plena (100%) e deficitária (50%).

Para a integridade das membranas celulares (extravasamento de eletrolise) verificou-se efeito significativo entre os tratamentos para as lâminas de 50% e 100%. Para as lâminas de 50% os tratamentos 3 (NPZnO foliar + Bio) e 4 (ZnSO₄ via solo + Bio) obtiveram maiores danos celulares, com ambos os tratamentos associados com a aplicação de bioinoculantes, nesse âmbito podemos concluir que mesmo com a junção desses atenuantes não obteve redução dos extravasamentos de eletrolise para lâmina de 50%. Para a lâmina de 100% o tratamento 4 (ZnSO₄ via solo + Bio) obteve menor índice de danos celulares diferindo apenas do tratamento 5 (Testemunha), ou seja, nessa lâmina o bioinoculante associado ao sulfato de zinco conseguiu minimizar os efeitos do extravasamento celular, possivelmente que para sua disponibilidade e funções na planta necessite de um certo conteúdo de água para o elemento zinco, assim como esses fatores proporcione condições ideais para o desenvolvimento dos microrganismos inoculante. Segundo Carrijo et al. (2004) afirmam que os nutrientes que apresentam forte interação com a matriz do solo, predominantemente, se movimentam por difusão, como é o caso do zinco.

Para concentração intracelular de dióxido de carbono verificou-se diferença significativa apenas para os tratamentos, sendo os maiores valores observados para os tratamentos 2 (NPZnO foliar) e 5 (Testemunha). O aumento no tratamento 2 pode ser atribuído ao aumento da condutância estomática (abertura dos estômatos), acompanhado de incremento na fotossíntese e transpiração. Por outro lado, no tratamento 5 o incremento na concentração intercelular de CO₂ não foi acompanhado do aumento da condutância estomática e fotossíntese. Isso significa que houve limitação não estomática ao processo de fotossíntese o que pode ter causado o aumento da concentração intercelular de CO₂.

Para carotenoides verificou-se efeito significativo entre os tratamentos apenas para a lâmina de 50% com maior valor observado no tratamento 2 (NPZnO foliar), embora não tenha diferindo do tratamento 1 (ZnSO₄). O maior acúmulo de carotenoides no tratamento 2 pode ter proporcionado ajustes do aparelho fotossintético das plantas, os quais possivelmente resultaram na maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos.

Tratamento	Ca (g m^{-2})		Ex (%)		Ci ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
	50	100	50	100	
	1	0,278 ab	0,249 a	8,41 c	
2	0,336 a	0,248 a	8,85 cb	8,48 ab	280,75 a
3	0,264 b	0,300 a	9,93 a	7,88 ab	261,63 ab
4	0,256 b	0,290 a	10,68 a	7,77 b	242,50 b
5	0,230 b	0,287 a	9,78 ab	8,87 a	282,00 a
CV (%)	12,52		10,31		10,90

(CV: Coeficiente de variação); ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$: micromol por metro quadrado); (g m^{-2} : gramas por metro quadrado); (%: porcentagem).

Figura 2. Efeitos da aplicação foliar de nanopartículas de (NPZnO) e Bioinoculantes em carotenoides (Ca) e integridade das membranas celulares (Ex) da berinjela cultivada sob irrigação plena (100%) e deficitária (50%), e concentração interna de carbono (Ci) nos tratamentos.

CONCLUSÕES

A aplicação de nanopartículas de zinco de forma isolada e associada com bioinoculantes proporcionaram os melhores resultados nas trocas gasosas e teor de carotenoides, em plantas de berinjela sob condição de irrigação com 50% da ETc aos 45 dias após o transplantio.

REFERÊNCIAS

ABDELKHALIK, A.; PASCAUAL-SEVA, N.; NÁJERA, I.; DOMENE, M.Á.; BAIXAULI, CPASCAUAL, B. Efeito do déficit de irrigação na resposta produtiva da cebola irrigada por gotejamento (*Allium cepa* L.) em condições mediterrâneas. *Hortic. J.* v. 88, p. 488-498, 2019.

AHMADIAN, K. Os nanofertilizantes melhoraram a tolerância à seca no trigo sob irrigação deficitária. *Gestão da Água Agrícola*, v. 244, p. 106544, 2021.

CAMPOS, PAULA SCOTTI; THI, ANH THU PHAM. Efeitos de um pré-tratamento com ácido abscísico no vazamento de membrana e na composição lipídica de discos foliares de *Vigna unguiculata* submetidos a estresse osmótico. *Ciência das Plantas*, v. 130, n. 1, p. 11-18, 1997.

CARRIJO, O. A.; VIDAL, M. C.; DOS REIS, N. V.; SOUZA, R. B. D.; MAKISHIMA, N. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. *Horticultura Brasileira*, v. 22, p. 5-9, 2004.

CAVALCANTE, CARRIJO, O. A.; SOUSA, R. B. de; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE R. J. de. F.J.A. et al. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2a. aproximação. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.

DAMASCENO, L.F.; COVA, A.M.W.; GHEYI, H.; ALMEIDA, W.F.; DIAS, J.A.L.; RIBEIRO, S.V. Produção e consumo de água de berinjela sob estresse salino e irrigação contínua por gotejamento e gotejamento pulsado. *Revista Caatinga*, v. 35, n. 2, p. 450 – 459, 2022.

FERREIRA, D.F. SISVAR: Sistema de análise estatística computadorizado. *Ciência e Agrotecnologia (UFLA)*, Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.

GARCÍA-LÓPEZ, J. I.; NIÑO-MEDINA, G.; OLIVARES-SÁENZ, E.; LIRA-SALDIVAR, R. H.; BARRIGA-CASTRO, E. D.; VÁZQUEZ-ALVARADO, R.; ZAVALA-GARCÍA, F. Foliar application of zinc oxide nanoparticles and zinc sulfate boosts the content of bioactive compounds in habanero peppers. *Plants*, v. 8, n. 8, p. 254, 2019.

GHOLINEZHAD, E. Efeito do estresse hídrico e do nanofertilizante de Fe no rendimento de sementes, características morfológicas, porcentagem de óleo essencial e rendimento de endro (*Anethum graveolens* L.), *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, v.20, n.4, p.1006-1017, 2017.

JESEN, M.E. Consumo de água por plantas agrícolas. Em: KOZLOWSKI, T.T. et al. vol.1. Déficit hídrico rowth. Nova York, Academic Press, 1968. pág. 1-19.

LICHTENTHALER, H.K. Clorofilas e carotenóides: pigmentos de biomembranas fotossintéticas. *Métodos de Enzimologia*, v.148, p. 350-382, 1987.

XU, C.; XIA, C.; XIA, Z.; ZHOU, X.; HUANG, J.; HUANG, Z.; ZHANG, C. Physiological and transcriptomic responses of reproductive stage soybean to drought stress. *Plant cell reports*, v. 37, p. 1611-1624, 2018.