



USO DE ELICITORES INDUZ A TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO NO CULTIVO DA RÚCULA

Jussira Sonally Jácome Cavalcante¹, Miguel Ferreira Neto², Francisco Vanies da Silva Sá², Tayd Dayvison Custódio Peixoto³, Antonio Savio dos Santos⁴, Maria Elisa da Costa Souza⁵

RESUMO: A possibilidade do uso de águas de baixa qualidade, com concentrações elevadas de sais, para irrigação está diretamente relacionada à tolerância das culturas à salinidade. Objetivou-se estudar os efeitos da aplicação exógena de ácidos orgânicos nas trocas gasosas foliares de cultivares de rúcula irrigada com água salina. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no delineamento experimental em blocos casualizados 3 x 5. O primeiro fator foi composto por três cultivares de rúcula: Cultivada, Gigante e Rokita. O segundo fator foi composto por combinações de tratamentos: controle ($0,53 \text{ dS m}^{-1}$); estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$); estresse salino + ácido ascórbico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); estresse salino + ácido giberélico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); e estresse salino + ácido salicílico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$). A água salina utilizada nos tratamentos foi rejeito de dessalinizadores com condutividade elétrica de 9 dS m^{-1} diluída com água de abastecimento até 4 dS m^{-1} . A cultivar Cultivada é sensível à irrigação com água salina de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e à salinidade do solo de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$, com redução da atividade fotossintética e da produção de biomassa quando irrigada com água salina. A aplicação exógena de ácido giberélico mitigou os efeitos negativos do estresse salino, a partir do aumento da condutância estomática, fotossíntese e eficiência no uso da água. As cultivares Gigante e Rokita são tolerantes à irrigação com água salina de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e à salinidade do solo de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$. A aplicação exógena de AG3 ($50 \mu\text{M L}^{-1}$) é eficiente como elicitador de tolerância ao estresse salino em cultivares sensíveis de rúcula.

PALAVRAS-CHAVE: *Eruca sativa* L., salinidade, fotossíntese.

USE OF ELICITORS INDUCES TOLERANCE TO SALT STRESS IN ARUGULA CULTIVATION

¹ Engenheira Agrônoma, Pesquisadora FAPERN/SEDRAF-RN, Doutora em Manejo de Solo e Água, UFERSA

² Prof. Doutor, Departamento de Ciências Agrárias e Exatas, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Catolé do Rocha, PB

³ Bolsista de Pós-Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN

⁴ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN. Fone: (84) 96950349. E-mail: saviosantosg@gmail.com

⁵ Graduanda em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN

ABSTRACT: The possibility of using low quality water with high concentrations of salts for irrigation is directly related to the tolerance of the crop to salinity. Thus, the objective of this research was to study the effects of the exogenous application of organic acids on growth, physiological responses and production of arugula cultivars irrigated with saline water. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design, evaluating two factors. The first factor was three arugula cultivars: Cultivanda, Gigante, and Rokita. The arugula cultivars were submitted to five treatments: control (0.53 dS m^{-1}); salt stress (4.0 dS m^{-1}); saline stress + ascorbic acid ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); saline stress + gibberellic acid ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); and saline stress + salicylic acid ($50 \mu\text{M L}^{-1}$). The water used in the treatments came from saline waste with EC of 9 dS m^{-1} for use in the treatments this water was mixed with supply water so that this water would have an EC of around 4 dS m^{-1} and the application of elicitors GA3, ASC and AS was through sprayer and performed manually via foliar in arugula cultivars. The cultivars are sensitive to salinity and decreases photosynthesis when irrigated with saline water. The exogenous application of gibberellic acid mitigated the negative effects of salt stress by increasing stomatal conductance, photosynthesis, and water use efficiency. Gigante and Rokita cultivars were tolerant to irrigation with saline water of 4.0 dS m^{-1} and soil salinity of 6.0 dS m^{-1} . The exogenous application of AG3 ($50 \mu\text{M L}^{-1}$) is efficient as an elicitor of tolerance to salt stress in sensitive arugula cultivars.

KEYWORDS: *Eruca sativa* L., salinity, photosynthesis.

INTRODUÇÃO

O excesso de sais na planta afeta sua produtividade, processos morfológicos e fisiológicos. Altas concentrações de sais diminuem o potencial osmótico do solo, o que diminui a disponibilidade de água e interrompe o transporte de água e nutrientes para raízes de plantas (NEGRÃO et al., 2017).

A maioria das espécies do gênero Brassica, incluindo a rúcula (*Eruca sativa* L.), é categorizada como moderadamente tolerante ao estresse salino, com significativa variação interespecífica e intraespecífica para a tolerância ao sal, apresentando salinidade limiar de $2,1 \text{ dS m}^{-1}$ (MAHAWAR et al., 2018).

Uma alternativa utilizada para minimizar esses efeitos da salinidade nas plantas é o uso de ácidos orgânicos que induzam a tolerância das espécies vegetais aos efeitos deletérios do

estresse salino, dentre eles a literatura demonstra resultados promissores após a aplicação exógena de ácido salicílico, ácido giberélico, ácido ascórbico (KATHI et al., 2022).

Objetivou-se estudar os efeitos da aplicação exógena de ácidos orgânicos (ácido ascórbico, ácido giberélico e ácido salicílico) no crescimento, respostas fisiológicas e produção de cultivares de rúcula irrigada com água salina.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN, no período de dezembro de 2019 a março de 2020.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 5, com cinco repetições e cada repetição foi composta por duas plantas. O primeiro fator corresponde a três cultivares de rúcula: Cultivada, Gigante e Rokita. As cultivares de rúcula foram submetidas ao segundo fator, cinco combinações de tratamentos: E1 - irrigação com água de baixa salinidade ($0,53 \text{ dS m}^{-1}$, controle); E2 - irrigação com água de alta salinidade ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$, estresse salino); E3 - estresse salino + aplicação exógena de ácido ascórbico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); E4 - estresse salino + aplicação exógena de ácido giberélico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$); e E5 - estresse salino + aplicação exógena de ácido salicílico ($50 \mu\text{M L}^{-1}$). A água de baixa salinidade ($\text{CEa} = 0,53 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida do abastecimento local. A água salina ($\text{CEa} = 4,0 \text{ dS m}^{-1}$) foi obtida a partir da diluição do rejeito salino obtido em dessalinizadores de osmose reversa em água de abastecimento.

As aplicações dos ácidos orgânicos ocorreram no 2º, 10º e 20º DAT, usando borrifador manual via foliar, com volumes de 2,5, 5,0 e 5,0 ml por planta, respectivamente, totalizando 12,5 ml por planta.

As mudas das variedades de rúcula foram transplantadas em vasos preenchidos com solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico argissólico (EMBRAPA, 2018), coletado na profundidade de 0-30 cm, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada no distrito de Lagoinha, zona rural do município de Mossoró-RN. O solo foi coletado, seco, destorroado, peneirado em malha de 2,0 mm e amostrado para análises físicas e químicas (TEIXEIRA et al., 2017), conforme Tabela 1. Cada repetição foi composta por três lisímetros adaptados ao vaso de plástico preenchido com 12 dm³ de solo. Cada vaso teve sua base perfurada e adicionada uma

camada de 1 dm³ brita nº 1 e tela de nylon de 2 mm. Antes do transplântio da cultura, realizou-se a calagem 5,814 g de hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) por vaso, com 54% de cálcio, visando à saturação por base de 90%.

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento.

pH	MO	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	CTC	V	PST
	g kg ⁻¹	----(mg dm ⁻³)---			----- (cmol _c dm ⁻³)-----							-----%----	
5,4	2,13	2,0	61,1	16,7	1,6	1,10	0,20	0,33	2,90	3,10	3,23	63	1,0
CEes	Densidade				Areia			Silte			Argila		
(dSm ⁻¹)	(kg dm ⁻³)	-----			(g kg ⁻¹) -----				-----				
0,11	1,60				820			30			150		

MO – Matéria orgânica: Digestão úmida Walkley-Black; Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 M pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 M pH 7,0; Al³⁺ e (H⁺ + Al³⁺) extraídos utilizando-se CaOAc 0,5 M pH 7,0; CEes – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; Ds - Densidade do solo.

A adubação foi realizada de acordo com as recomendações de Novais et al. (1991), para vasos em cultivo protegido, sendo aplicados 300 mg de P₂O₅⁻, 150 mg de K₂O e 100 mg de N por dm³ de solo, por meio da fertirrigação, como fonte de ureia (45% de N), cloreto de potássio (KCl = 60% de K₂O) e monoamônio fosfato (MAP = 12% de N e 50% de P₂O₅⁻). A adubação foi dividida em três parcelas iguais, a primeira foi aplicada em fundação, a segunda e a terceira foram aplicadas aos 10 e 20 dias após o transplântio (DAT), respectivamente, via fertirrigação. A adubação com micronutrientes foi realizada aos 15 DAT via foliar

Aos 30 dias após o transplântio, as plantas foram avaliadas quanto a trocas gasosas, no período das 7h00 às 9h00. As avaliações foram feitas nas folhas totalmente expandidas situadas no terço superior de cada planta, com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro+ Portable Photosynthesis System® (ADC Bio Scientific Limited, UK) LCPro+ com controle de temperatura a 25°C, irradiação de 1200 μmol fótons m⁻² s⁻¹ e fluxo de ar de 200 mL min⁻¹, de modo que se obteve a fotossíntese líquida (AN) em μmol m⁻² s⁻¹, transpiração (E) em mmol de H₂O m⁻² s⁻¹, condutância estomática (gs) em mol de H₂O m⁻² s⁻¹ a concentração interna de CO₂ (Ci) em μmol m⁻² s⁻¹, além da temperatura foliar (Tl) em °C. De posse desses dados, foi quantificada a eficiência no uso da água (EUA) (AN/E) em μmol m⁻² s⁻¹ /mmol H₂O m⁻² s⁻¹, e a eficiência de carboxilação (AN/Ci) em decimal (SÁ et al., 2019).

Os dados obtidos de cada experimento foram submetidos à análise de variância e teste ‘F’, ao nível de 5% de significância. Nos casos de significância, o efeito isolado de tratamento e a interação entre tratamentos foram comparados pelo teste de médias Tukey, ao nível de 5% de significância com auxílio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre cultivares de rúcula e aplicação de elicitores que induzem a tolerância ao estresse salino foi significativa para condutância estomática (gs , $p < 0,001$), transpiração (E , $p < 0,001$), concentração interna de CO_2 (Ci , $p < 0,001$), taxa de assimilação de CO_2 (A_N , $p < 0,001$), eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$, $p < 0,001$), eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$, $p < 0,001$) (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo do teste F e teste de médias para condutância estomática (gs , em $mol (H_2O) m^{-2} s^{-1}$), transpiração (E , em $mmol (H_2O) m^{-2} s^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci , em $\mu mol (CO_2) mol^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A , em $\mu mol (CO_2) m^{-2} s^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água ($EiUA$, em $\mu mol (CO_2) m^{-2} s^{-1} / mmol (H_2O) m^{-2} s^{-1}$), eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$, em $\mu mol (CO_2) m^{-2} s^{-1} / \mu mol (CO_2) mol^{-1}$) de cultivares de rúcula irrigada com água salina submetidas à aplicação exógena de elicitores que induzem a tolerância ao estresse salino, aos 30 dias após a semeadura.

		Teste F (p-valor)					
Fontes de Variação		gs	E	Ci	A_N	$EiUA$	$EiCi$
Bloco		0,0040	0,0048	0,7455	0,1292	0,8351	0,8680
Elicitores (E)		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cultivares (C)		0,0000	0,0000	0,0211	0,0001	0,1472	0,0007
T x C		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
CV (%)		8,81	5,11	8,42	7,11	7,18	13,16
		Teste de Tukey					
Cultivares	Elicitores	gs	E	Ci	A_N	$EiUA$	$EiCi$
Cultivada	E1	0,28 aA	3,06 aA	230 aA	19,30 cB	6,32 cB	0,084 cB
	E2	0,23 bA	2,64 bA	245 aA	15,20 dB	5,75 cB	0,062 cB
	E3	0,26 abB	3,06 aB	140 cB	26,73 aA	8,74 abA	0,191 aA
	E4	0,29 aA	3,19 aA	144 cA	28,76 aA	9,03 aA	0,200 aA
	E5	0,27 aA	2,98 aA	182 aA	23,36 bA	7,85 bB	0,128 bA
Gigante	E1	0,21 cB	2,64 bB	200 bB	18,87 cB	7,15 bcB	0,096 cB
	E2	0,18 cB	2,22 cB	234 aA	14,15 dB	6,36 cAB	0,061 dB
	E3	0,26 bB	3,13 aB	176 bcA	23,69 bB	7,58 abB	0,135 bB
	E4	0,31 aA	3,33 aA	163 cA	27,58 aAB	8,31 aAB	0,170 aB
	E5	0,20 cB	2,35 cB	177 bcA	19,64 cB	8,40 aAB	0,117 bcA
Rokita	E1	0,24 bB	2,73 cB	160 bC	23,86 aA	8,76 aA	0,150 aA
	E2	0,26 bA	2,84 cA	222 aA	19,34 bA	6,76 bA	0,090 cA
	E3	0,31 aA	3,51 aA	195 aA	23,26 aB	6,62 bC	0,119 bcB
	E4	0,28 abA	3,20 bA	161 bA	25,65 aB	8,02 aB	0,159 aB
	E5	0,18 cB	2,30 dB	153 bB	20,44 bB	8,92 aB	0,135 abA
DMS (T)		0,04	0,26	27,85	2,79	0,98	0,03
DMS (C)		0,03	0,22	23,79	2,38	0,83	0,02

CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa. Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem interação elicitores dentro de cultivar pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna não diferem para interação cultivar dentro dos elicitores pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. E1 - irrigação com água de baixa salinidade ($0,53 dS m^{-1}$, controle); E2 - irrigação com água de alta salinidade ($4,0 dS m^{-1}$, estresse salino); E3 - estresse salino + aplicação exógena de ácido ascórbico ($50 \mu mol L^{-1}$); E4 - estresse salino + aplicação exógena de ácido giberélico ($50 \mu mol L^{-1}$); e E5 - estresse salino + aplicação exógena de ácido salicílico ($50 \mu mol L^{-1}$).

A AN das cultivares Cultivada, Gigante e Rokita foi reduzida sob condições de estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) em 21,24%, 25,01% e 18,94%, respectivamente, comparado ao controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabela 2). Na Cultivada, a aplicação dos elicitores de tolerância ao estresse salino ASC, AG3 e AS incrementou a AN em 75,86%, 89,21% e 53,68%, respectivamente, comparada ao estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabela 2). Na Gigante, a aplicação de todos os elicitores incrementou a AN em 67,42%, 94,91% e 38,80%, respectivamente, comparada ao estresse salino (Tabela 2). Na Rokita, a aplicação de ASC e AG3 incrementou a AN em 20,27% e 32,62%. Em condições de estresse salino, as menores AN são verificadas na cultivar Gigante e as maiores AN são verificadas na cultivar Rokita (Tabela 2).

A irrigação com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a taxa fotossintética (AN) das cultivares Cultivada, Gigante e Rokita, nas quais as reduções na AN estão relacionadas aos fatores de ordem estomática, limitando a eficiência do uso da água e, conseqüentemente, a eficiência instantânea de carboxilação, reduzindo a transpiração e a absorção de água pela planta. A fotossíntese é o processo fisiológico mais significativo, sendo, em todas as suas fases, afetado por fatores de estresse. Al-Taey (2017) afirma que o mecanismo da fotossíntese envolve vários componentes, incluindo pigmentos fotossintéticos e fotossistemas, o sistema de transporte de elétrons e vias de redução de CO_2 .

O estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) diminuiu a condutância estomática da cv. Cultivada de rúcula em 17,86% quando comparada ao controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$), ao passo que para a Gigante e a Rokita não houve diferença na gs com aplicação de água salina, comparado ao controle (Tabela 2). Na Cultivada, a aplicação exógena de ácido ascórbico (ASC), ácido giberélico (AG3) e ácido salicílico (AS) incrementou a condutância estomática em 13,04%, 26,09% e 17,39% em relação ao estresse salino. Na Gigante, a aplicação exógena de ASC e ácido giberélico (AG3) incrementou a condutância estomática em 44,44% e 72,22% em relação ao estresse salino. Para a Rokita, a aplicação exógena de ASC e ácido giberélico (AG3) melhora a condutância estomática em relação ao estresse salino, sendo verificados incrementos de 19,23% e 7,69% (Tabela 2). Em condições de estresse salino, as menores gs são verificadas na cv. Cultivada e as maiores gs são verificadas na Gigante (Tabela 2).

A taxa de transpiração (E) foi reduzida em 13,73% e 15,91% no tratamento com estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) para Cultivada e Gigante, respectivamente, quando comparada ao controle ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$) (Tabela 2). Na Cultivada, a aplicação de todos os elicitores que induzem a tolerância ao estresse salino incrementou a E em 15,91%, 20,83% e 12,88% em relação ao estresse salino. Na Gigante, a aplicação exógena de ASC e AG3 incrementou a condutância estomática em 41% e 50% em relação ao estresse salino. Para a Rokita, a aplicação de ASC e

AG3 melhora a transpiração em relação ao estresse salino, sendo verificados incrementos de 23,59% e 12,68%, respectivamente (Tabela 2). Em condições de estresse salino, as menores E são verificadas na cv. Cultivada e as maiores E são verificadas na cultivar Gigante (Tabela 2).

Na cultivar Cultivada, a aplicação exógena de ácido giberélico melhorou a fotossíntese, a condutância estomática e, conseqüentemente, a eficiência do uso da água e de carboxilação. Aumento da E_iC_i indica aumento na atividade da enzima Ribulose-1,5-Bisfosfato Carboxilase-Oxygenase (RuBisCO). O aumento da produção de fotoassimilados em condições de estresse salino com a aplicação de AG3 melhora o aporte energético da planta, permitindo que esta expresse mecanismos de tolerância com gasto de energia, como a compartimentalização de íons no vacúolo e a exclusão de íons específicos, visando à homeostase iônica (PAL et al., 2016).

CONCLUSÕES

As cultivares Gigante e Rokita são tolerantes, e a cv. Cultivada é sensível à irrigação com água salina de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ e à salinidade do solo de $6,0 \text{ dS m}^{-1}$. O AG3 exógeno ($50 \mu\text{M L}^{-1}$) é eficiente como elicitor de tolerância ao estresse salino em cultivares sensíveis de rúcula.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de Bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-TAEY, D. K. A. Mitigation of salt stress by organic matter and GA3 on growth and peroxidase activity in pepper (*Capsicum annum* L.). **Advances in Natural and Applied Sciences**, v. 11, n. 10, p. 1-11, 2017.

EMBRAPA. Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF, 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n. 4, p. 529-535, 2019.

KATHI, S.; HAYDEE, L.; SINGH, S.; THOMPSON, L.; LI, W.; SIMPSON, C. Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Scientific Reports**, v. 12, n. 13093, p. 1-10, 2022.

MAHAWAR, L.; KHATOR, K.; SHEKHAWAT, G. S. Role of proline in mitigating NaCl induced oxidative stress in *Eruca sativa* miller: An important oil yielding crop of Indian thar desert. **International Journal of Plant Research**, v. 31, p. 53-63, 2018.

NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S. M.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Ann. Bot.**, v. 119, p. 1–11, 2017.

PAL, P.; YADAV, K.; KUMAR, K.; SINGH, N. Effect of gibberellic acid and potassium foliar sprays on productivity and physiological and biochemical parameters of *Parthenocarpic cucumber* cv. Seven Star F1. **Journal of Horticultural Research**, v. 24, p. 93–100, 2016.

SÁ, F. V. S.; GUEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, v. 35, p. 211-221, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.