

MAIA JÚNIOR, S. de O. M.; ANDRADE, J. R. de; NASCIMENTO, R. de; LIMA, R. F. de; VASCONCELOS, G. N.; TAVARES, A. J. F.; Indução de tolerância ao estresse salino em sementes de tomateiro condicionadas com ácido salicílico. *Applied Research & Agrotechnology*, Guarapuava-PR, v.13: e6402, 2020. DOI: 10.5935/PAeT.V13. e6402

Artigo Científico

Indução de tolerância ao estresse salino em sementes de tomateiro condicionadas com ácido salicílico

Resumo

A salinidade afeta milhões de hectares de terras agricultáveis em todo o mundo, e vem aumentando a cada dia. Portanto, indutores de tolerância em plantas têm sido largamente utilizados, entre eles o ácido salicílico. Assim, objetivou-se investigar os efeitos de diferentes concentrações de ácido salicílico na germinação e no crescimento de plântulas de tomate, em condições de salinidade. Os tratamentos foram arranjados em delineamento inteiramente casualizado, em fatorial 4×2 (quatro concentrações de ácido salicílico: 0; 0,25; 0,5 e 1,0 mM; e dois tratamentos de estresse: controle e estresse salino), com quatro repetições. O ácido salicílico, quando na concentração de 1,0 mM e em condição salina, inibe a porcentagem e o índice de velocidade de germinação em sementes de tomate na fase inicial. A salinidade reduz a porcentagem e o índice de velocidade de germinação das sementes de tomate, além do crescimento e teor de água nas plântulas, mas aumenta a massa seca da parte aérea. O acréscimo nas concentrações de ácido salicílico, em condição de salinidade, aumenta o crescimento das plântulas e o teor relativo de água, e diminui o extravasamento de eletrólitos, melhorando o índice de vigor do crescimento.

Palavras chave: cloreto de sódio, indutor de tolerância, índice de vigor, integridade de membrana.

Induction of tolerance to salt stress in tomato seeds primed with salicylic acid

Abstract

Salinity affects millions of acres of farmland worldwide, and is increasing every day. Therefore, tolerance inducers in plants have been widely used, among them salicylic acid. Thus, it was aimed to investigate the effects of different concentrations of salicylic acid on germination and growth of tomato seedlings in saline conditions. The treatments were arranged in a completely randomized design, in a 4×2 factorial (four concentrations of salicylic acid: 0, 0.25, 0.5 and 1.0 mM; and two stress treatments: control and saline stress), with four replicates. The salicylic acid, when at the concentration of 1.0 mM and in saline condition, inhibits the percentage and rate of germination speed in tomato seeds in the initial phase. The salinity reduces the percentage and rate of germination speed of tomato seeds, besides the growth and water content in the seedlings, but increases the dry mass of the aerial part. The increase in salicylic acid concentrations, in salinity condition, increases seedling growth and relative water content, and decreases the extravasation of electrolytes, improving growth vigor index.

Keywords: sodium chloride, tolerance inducer, vigor index, membrane integrity.

Inducción de tolerancia al estrés salino en semillas de tomate acondicionadas con ácido salicílico

Resumen

La salinidad afecta a millones de hectáreas de tierra cultivable en todo el mundo y aumenta cada día. Por lo tanto, los inductores de tolerancia en plantas se han usado ampliamente, incluido el ácido salicílico. Por lo tanto, el objetivo fue investigar los efectos de diferentes concentraciones de ácido salicílico en la germinación y el crecimiento de las plántulas de tomate, en condiciones de salinidad. Los tratamientos se organizaron en un diseño completamente al azar, en un factorial 4×2 (cuatro concentraciones de ácido salicílico: 0; 0.25; 0.5 y 1.0 mM; y dos tratamientos de estrés: control y estrés salino), con cuatro repeticiones. El ácido salicílico,

1 - Pós-doutorado Júnior do CNPq, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Email: juniormaiagrari@hotmail.com

2 - Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Email: jailma_asf@hotmail.com

3 - Professor Titular da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Email: ronaldo453@gmail.com

4 - Mestrando em Engenharia Agrícola pela Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. Email: robsonfelipe88@hotmail.com

5 - Mestranda em Engenharia Agrícola pela Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Email: gleyka_nobrega@live.com

cuando está a una concentración de 1.0 mM y en condiciones salinas, inhibe el porcentaje y la velocidad de germinación en las semillas de tomate en la fase inicial. La salinidad reduce el porcentaje y la velocidad de germinación de las semillas de tomate, además del crecimiento y el contenido de agua en las plántulas, pero aumenta la masa seca de la parte aérea. El aumento en las concentraciones de ácido salicílico, en condiciones de salinidad, aumenta el crecimiento de las plántulas y el contenido relativo de agua, y disminuye la fuga de electrolitos, mejorando el índice de vigor del crecimiento.

Palabras clave: cloruro de sodio, inductor de tolerancia, índice de vigor, integridad de la membrana.

Introdução

A salinidade representa um desafio para a agricultura mundial, uma vez que já afeta 20% das terras cultivadas e 33% das terras agrícolas irrigadas, com estimativas de que a salinização poderá afetar 50% das terras agricultáveis até 2050 (JAMIL et al., 2011; SHRIVASTAVA e KUMAR, 2015), principalmente em regiões áridas e semiáridas onde a ocorrência de baixas taxas de precipitação impedem a lixiviação de sais, causando seu acúmulo no solo e na água. Nessas regiões, há predominantemente o sal cloreto de sódio (NaCl) que pode prejudicar a germinação de sementes e o desenvolvimento de plantas de várias espécies, tornando-se um problema significativo na produção agrícola (TONEL et al., 2013). Embora, sabendo-se dos prejuízos causados, o uso de água salina para a prática da irrigação nessas regiões é algo típico, pois na maioria das vezes é a única fonte disponível (SOUZA et al., 2018).

O estresse salino compreende dois componentes principais. O componente osmótico, no qual uma alta concentração de sal na solução do solo reduz a disponibilidade de água para as plantas, e o componente iônico, que está relacionado à toxicidade dos íons liberados pelos sais (FAYEZ e BAZAID, 2014; TAIZ et al., 2017). Tais efeitos levam à diminuição da absorção de água e nutrientes pelas plantas e podem causar danos diretos ou indiretos a outros processos fisiológicos incluindo germinação, crescimento, integridade das membranas celulares e turgescência (PIVETTA et al., 2016; SÁ et al. 2017).

A germinação é um dos processos fisiológicos em plantas mais afetados pelo uso de água salina, especificamente em culturas mais sensíveis como as hortaliças, entre as quais se pode citar o tomateiro. Na germinação, o efeito deletério da salinidade se dá pela interferência dos sais no potencial hídrico do solo, reduzindo o gradiente de potencial entre o solo e a superfície da semente, restringindo a captação de água pela semente, e reduzindo o percentual de

germinação (CAMPOS et al., 2007; DEMONTIÊZO et al., 2016; PIVETTA et al., 2016).

Em estudo avaliando a germinação do tomate cv. IPA 6 foi relatado que o aumento na condutividade elétrica da água de irrigação afetou a germinação ao reduzir a velocidade de emergência em 3,46% e o comprimento de plântulas em 4,96% para cada unidade de condutividade elétrica acima de 1 dS m^{-1} (CAMPOS et al., 2007). Em outro estudo com a cv. Santa Clara constatou-se que o índice de velocidade de emergência decresceu à medida que se aumentou a salinidade, o qual começou a diminuir a partir de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (DEMONTIÊZO et al., 2016). Além da germinação, a salinidade pode afetar o teor relativo de água e a integridade celular nas plântulas o que, conseqüentemente, afeta o crescimento e o vigor das mesmas.

Atualmente, existem muitas estratégias para melhorar a germinação, o crescimento e a produtividade das plantas sob salinidade como modificações genéticas ou uso de indutores de tolerância, como o ácido salicílico (AS) (TONEL et al., 2013; ALAMRI et al., 2018; HUSEN et al., 2018). O AS é um composto fenólico envolvido em muitos aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas, que além de regular a produção de vários osmólitos e metabólitos secundários, também está envolvido na regulação de importantes processos fisiológicos de plantas, incluindo a germinação de sementes sob condições estressantes (KHAN et al., 2015). Entretanto, dada a importância do AS na germinação e crescimento de plântulas de diversas espécies como cevada (FAYEZ e BAZAID, 2014), fava (ANAYA et al., 2018), trigo (ALAMRI et al., 2018) e milho (TONEL et al., 2013), não se tem conhecimento sobre a germinação e vigor de plântulas de tomate, apesar de relatos positivos do AS sobre o teor relativo de água (SZEPESI et al., 2005), as trocas gasosas (STEVENS et al., 2006) e osmólitos (ZAHRA et al., 2011) em plantas jovens. Além disso, mesmo se conhecendo seus efeitos positivos também é relatado

que há uma dependência entre concentrações de AS e a espécie da planta (ARFAN, 2009; ANAYA et al., 2018; KHAN et al., 2015).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de concentrações de AS sobre a germinação e o crescimento de plântulas de tomate sob estresse salino. O conhecimento das alterações nesses processos mediados pelo AS pode fornecer uma base para aumentar a tolerância na germinação e o vigor de plântulas de tomate em áreas que dispõem de águas salinas.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande-PB, no período entre abril e maio de 2019, utilizando sementes de tomate cv. IPA 6 Caline.

Os tratamentos foram arranajados em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 × 2: quatro concentrações de ácido salicílico (0; 0,25; 0,5 e 1,0 mM) e dois tratamentos de estresse (controle e estresse salino), com quatro repetições.

Previamente, as sementes foram embebidas em solução de ácido salicílico (AS) nas diferentes concentrações (0; 0,25; 0,5 e 1,0 mM), sendo a concentração 0 (zero) embebida em água destilada, durante 20 horas. Em seguida, as sementes foram lavadas com água destilada.

As soluções utilizadas no teste de germinação foram água destilada (controle) e soluções preparadas com adição de cloreto de sódio (NaCl) a água destilada até atingir condutividade elétrica de 4,5 dS m⁻¹. Essa condutividade foi selecionada por estar acima do limiar da cultura do tomate, que é considerada moderadamente sensível a salinidade da água de condutividade elétrica superior a 2,5 dS m⁻¹ (AYERS e WESTCOT, 1999), e o NaCl por este compor 70% dos íons salinos na água de irrigação de pequenas propriedades semiáridas do Brasil (MEDEIROS et al., 2003).

Cada repetição foi composta de 50 sementes distribuídas uniformemente entre duas folhas de papel Germitest[®] umedecidas com água destilada (controle) ou solução salina, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel Germitest[®] seco. As folhas de papel foram então transformadas em rolos, que foram embalados em sacos plásticos para evitar a evaporação, e em seguida colocados para germinar em câmara de Demanda Bioquímica de Oxigênio (B.O.D.), a 25 °C e fotoperíodo de 12 horas (GEHLING et al., 2017). As sementes foram consideradas germinadas

quando a raiz primária foi maior que 2,0 mm. Sementes germinadas foram registradas dos cinco até os 14 dias, após o início do teste (BRASIL, 2009).

A porcentagem e o índice de velocidade de germinação foram avaliados dos cinco aos 14 dias do teste. A porcentagem de germinação: $G = n/N \times 100$, em que n= número de sementes germinadas no dia da contagem e N= número total de sementes semeadas; e o índice de velocidade de germinação: $IVG = G1/N1 + G2/N2 + Gn/Nn$, em que G = o número de plântulas emergidas em cada contagem e N = o número de dias da sementeira, conforme metodologia de Maguire (1962).

O comprimento da parte aérea e da radícula primária foram medidos em 10 plântulas normais obtidas aleatoriamente após a contagem total de germinação, aos 14 dias, utilizando-se uma régua milimetrada, com resultados expressos em cm.

O extravasamento de eletrólitos (EE) foi determinado de acordo com Chu et al. (2016), com pequenas modificações. Amostras de duas plântulas (parte aérea e radícula) foram lavadas com água destilada, e depois incubadas em 50 mL de água destilada a 25 °C. Após 2 h, a condutividade foi medida (C1) usando um condutivímetro. Após a primeira medida (C1) as amostras foram então aquecidas a 80 °C por 30 min e a condutividade elétrica foi novamente medida (C2). O EE foi calculado pela fórmula: $EE = C1 / C2 \times 100$.

O teor relativo de água (TRA) foi determinado de acordo com Lotfi et al. (2019). Amostras de uma plântula (parte aérea e radícula) foram pesadas obtendo-se a massa fresca (MF) e posteriormente deixadas a hidratar em água durante 24 h. Subsequentemente, retirou-se o excesso de água das amostras, as quais foram novamente pesadas, obtendo-se a massa túrgida (MT). A massa seca (MS) foi registrada após secagem das amostras a 80 °C por 24 h e o teor relativo de água (TRA) foi calculado pela seguinte fórmula: $TRA = (MF-MS) / (MT-MS) \times 100\%$.

As 10 plântulas medidas o comprimento foram também utilizadas para determinar a partição de massa seca, sendo separadas em radícula e parte aérea, e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, e então pesadas em balança analítica de precisão. Os resultados foram expressos em mg por plântula. Para determinar a razão raiz: parte aérea, a massa seca da radícula foi dividida pela massa seca da parte aérea.

As variáveis porcentagem de germinação, comprimento de plântulas e produção de massa

seca foram utilizadas para calcular os índices de vigor do crescimento e de massa seca de plântulas na tolerância a salinidade. Os índices de vigor de comprimento (IVCP) e de massa de plântulas (IVMP) em cada tratamento foram calculados conforme metodologia de Abdul-Baki e Anderson (1973): IVCP = [comprimento de plântulas (cm) × germinação de sementes (%)] e IVMP = [massa seca de plântulas (mg) × germinação de sementes (%)].

Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão pelo software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014). Os modelos foram selecionados em função de sua significância biológica, significância do teste F e coeficiente de determinação (R^2).

Resultados e discussão

A porcentagem e o índice de velocidade de germinação do tomate diferiram entre as concentrações de ácido salicílico apenas aos cinco DAS, tanto no controle quanto na salinidade (Figura 1A, B, C e D). No controle, houve maior germinação

com 0 mM de AS, enquanto as demais concentrações diminuíram a germinação. Já na condição de salinidade, apenas a maior dose (1,0 mM de AS) reduziu a porcentagem e o índice de germinação. A partir dos seis DAS, a germinação reduziu apenas na salinidade, chegando a 16,2% aos 14 dias.

A porcentagem e o índice de germinação do tomate cv. IPA 6 Caline foram bastante afetados pela salinidade da água de 4,5 dS m⁻¹, na qual as sementes foram postas para germinar. Os efeitos negativos da salinidade na germinação podem ser devidos ao maior tempo para ajuste do potencial osmótico interno de acordo com o ambiente externo ou à absorção de íons tóxicos, o que pode causar mudanças na atividade de algumas enzimas ou concentrações hormonais da semente, resultando numa taxa de germinação mais lenta ou menor (MUNNS e TESTER, 2008), como ocorrido em diversas culturas sob salinidade, entre elas tomate (CAMPOS et al., 2007), maxixe (SOUZA et al., 2018) e feijão (SÁ et al., 2017).

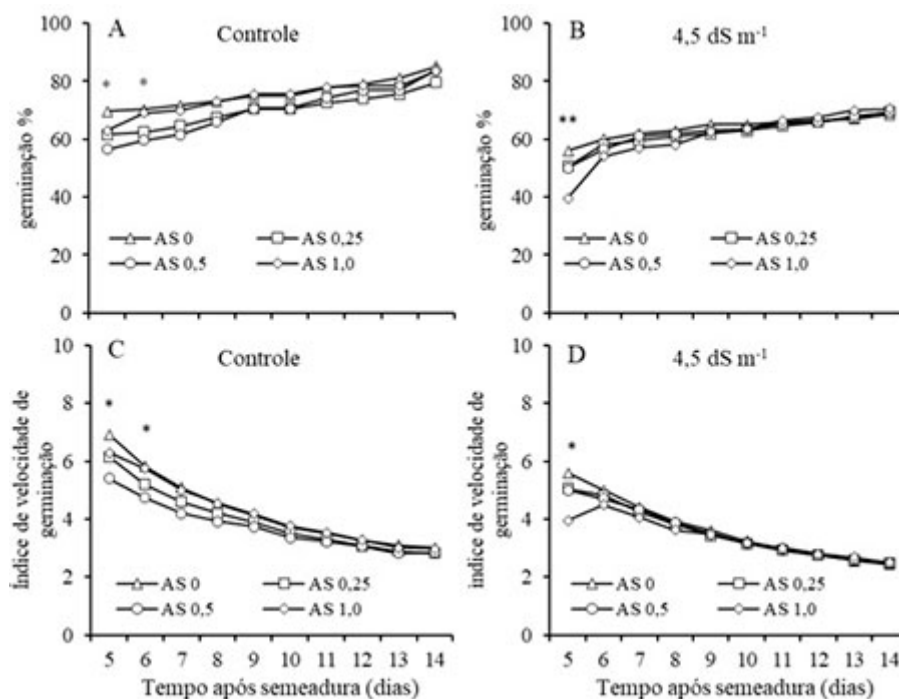


Figura 1. Porcentagem e índice de velocidade de germinação de sementes de tomate sob concentrações de ácido salicílico e salinidade. **, *: significativo a 1 e 5% de probabilidade entre as concentrações de ácido salicílico em cada condição salina, respectivamente pelo teste F.

Além disso, na salinidade, a concentração de 1,0 mM de AS retardou a germinação, porém apenas aos 5 DAS. Resultados diferentes foram observados na germinação de trigo, em que a utilização de 0,1 mM de AS melhorou a germinação em ambas as condições (salina e não salina), inclusive aumentando a porcentagem de germinação em 13,05% na condição de salinidade, em relação ao controle (ALAMRI et al., 2018). Da mesma maneira, em sementes de milho tratadas com diferentes concentrações de NaCl que não foram tratadas com 1 mM de SA, mostraram redução na porcentagem de germinação a partir da concentração de 90 mM de NaCl, enquanto a partir dessa mesma concentração de sal, o AS manteve a porcentagem de germinação das sementes (TONEL et al., 2013). Tais resultados, indicam que os efeitos do ácido salicílico na germinação de sementes sob condições salinas dependem da espécie de planta e, sobretudo da intensidade da salinidade, uma vez que baixas concentrações de AS (0,25 mM) melhorou a germinação em fava até a salinidade de 120 mM de NaCl,

e quando aumentou a salinidade até 200 mM, apenas concentrações de 0,5 e 1,0 mM de AS foram capazes de inibir a redução da germinação (ANAYA et al., 2018).

O comprimento da parte aérea aumentou linearmente com o acréscimo das concentrações de AS, tanto no controle quanto na condição salina, sendo maior 7,69% no controle quando comparado a salinidade. No controle, houve aumento de 3,74% no comprimento da parte aérea entre as concentrações 0 e 1,0 mM de AS (Figura 2A), enquanto na salinidade o aumento foi de 3,79%.

O comprimento da radícula e total da plântula também foram maiores no controle que na salinidade, cerca de 86,91 e 43,84%, respectivamente. No controle, a MSR e MSTP aumentaram até 0,60 e 0,66 mM de AS, decrescendo logo em seguida, enquanto na salinidade aumentou linearmente 7,56 e 5,35%, respectivamente entre 0 e 1,0 mM de AS (Figura 2B e C).

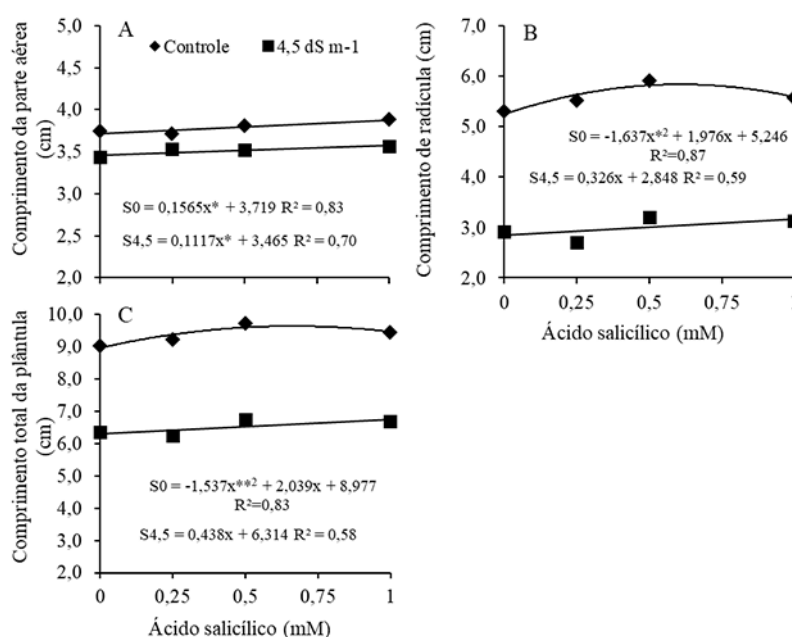


Figura 2. Comprimento da parte aérea, radícula e total de plântulas de tomate sob concentrações de ácido salicílico e salinidade.

O crescimento da parte aérea é uma característica importante na avaliação de plântulas sob estresse salino, pois fornece informações importantes sobre a resposta das plantas às condições

estressantes (TONEL et al., 2013; DEMONTIÉZO et al., 2016; ANAYA et al., 2018; SHAKI et al., 2018). Assim, nossos resultados indicam que a embebição de sementes de tomate em AS, sobretudo

com o acréscimo das concentrações, melhora o crescimento das plântulas, tanto em condição salina quanto não salina. Em duas cultivares de *Brassica carinata* A. Br. a concentração de 0,5 mM de AS aumentou o comprimento da parte aérea e da radícula em ambas as cultivares, tanto no controle quanto na condição salina (HUSEN et al., 2018). Esses autores também encontraram que o uso de AS incrementou no comprimento da parte aérea e da radícula nos tratamentos sem salinidade em relação aos salinos, assim como no presente estudo, principalmente o comprimento da radícula que aumentou consideravelmente com o AS no tratamento controle. Isso ocorre porque o AS, assim

como os fitormônios, está envolvido em muitos aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas (FAYEZ e BAZAID, 2014; KHAN et al., 2015).

O extravasamento de eletrólitos (EE) foi maior na condição salina que no controle, na qual decresceu linearmente 19% com aumento das concentrações de AS entre 0 e 1,0 mM, sendo que nesta última concentração foi semelhante ao controle. Nessa condição, o EE não variou entre as concentrações de AS ficando em média 58,8% (Figura 3A). Já o teor relativo de água (TRA) aumentou linearmente com as concentrações de AS, sendo maior no controle que na salinidade (Figura 3B). Entre 0 e 1,0 mM de AS, o TRA aumentou 8,16 e 10,84%, respectivamente no controle e na condição salina.

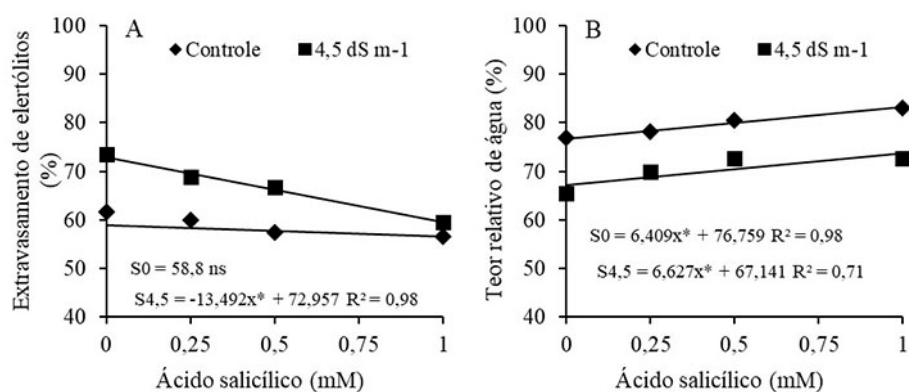


Figura 3. Extravasamento de eletrólitos e teor relativo de água de plântulas de tomate sob concentrações de ácido salicílico e salinidade.

O aumento no extravasamento de eletrólitos leva a danos na membrana celular (CHU et al., 2006). Portanto, quando ocorre redução no EE significa que as plantas estão sofrendo menos com o estresse a que estão expostas. Dessa maneira, a redução no extravasamento de eletrólitos com o aumento da concentração de AS na condição salina, indica que as plântulas de tomate sofreram menos injúrias nas membranas celulares com 1,0 mM de AS quando expostas à salinidade, uma vez que o estresse osmótico ocasiona maior permeabilidade das membranas, além da peroxidação de lipídeos (LOTFI et al., 2019). Assim, pode-se inferir que o AS exógeno aplicado em plantas estressadas, seja por embebição de sementes ou pulverização foliar, é relatado como indutor de mecanismos de tolerância a estresses abióticos, como a salinidade (KHAN et al., 2015).

O teor relativo de água das plântulas foi

melhorado pelo incremento da concentração de AS, principalmente na condição salina. Isso, possivelmente, se deve aos menores danos sofridos nessas plântulas com menor estresse osmótico pelo baixo acúmulo de Na^+ e/ou ao ajustamento osmótico pelo acúmulo de osmorreguladores, como relatado por Szepesi et al. (2005). Esses autores observaram que o AS melhorou o TRA na condição salina, ao mesmo tempo em que reduziu o acúmulo de Na^+ nas raízes de plantas de tomate. Fayez & Bazaid (2014) também relataram que em plantas jovens de cevada sob condições salinas, o uso de 50 μ M de AS reduziu a concentração de sódio nas folhas, sugerindo que o maior TRA nas plântulas de tomate com o AS se deve ao menor acúmulo de Na^+ e, conseqüentemente, menor toxicidade iônica. Além disso, o AS pode ter promovido também o acúmulo de osmorreguladores como prolina, glicina betaína e carboidratos totais.

Em estudo com plantas de cártamo foi relatado que o AS exógeno aumentou os teores de glicina betaína e carboidratos melhorando a resposta das plantas à salinidade (SHAKI et al., 2018). Semelhante, em plântulas de trigo o AS também aumentou o teor de prolina e carboidratos totais em 116,21 e 25,86%, respectivamente quando se aplicou 100 µM de AS em condições salinas (ALAMRI et al., 2018).

A massa seca da parte aérea foi superior na condição de salinidade, em comparação ao controle. Em ambas as condições, a MSPA teve comportamento

quadrático, aumentando até 0,65 e 0,68 mM de AS, no controle e na salinidade, respectivamente, decrescendo em seguida (Figura 4A). Já a massa seca de radícula aumentou 20,33% entre 0 e 1,0 mM de AS na salinidade, enquanto no controle aumentou até 0,61 mM de AS, e decresceu a partir deste (Figura 4B). A massa seca total de plântulas também foi maior na salinidade que no controle. Na salinidade, a MSTP aumentou 8,98% entre 0 e 1,0 mM de AS, enquanto no controle aumentou até 0,63 mM, e decresceu em seguida (Figura 4C).

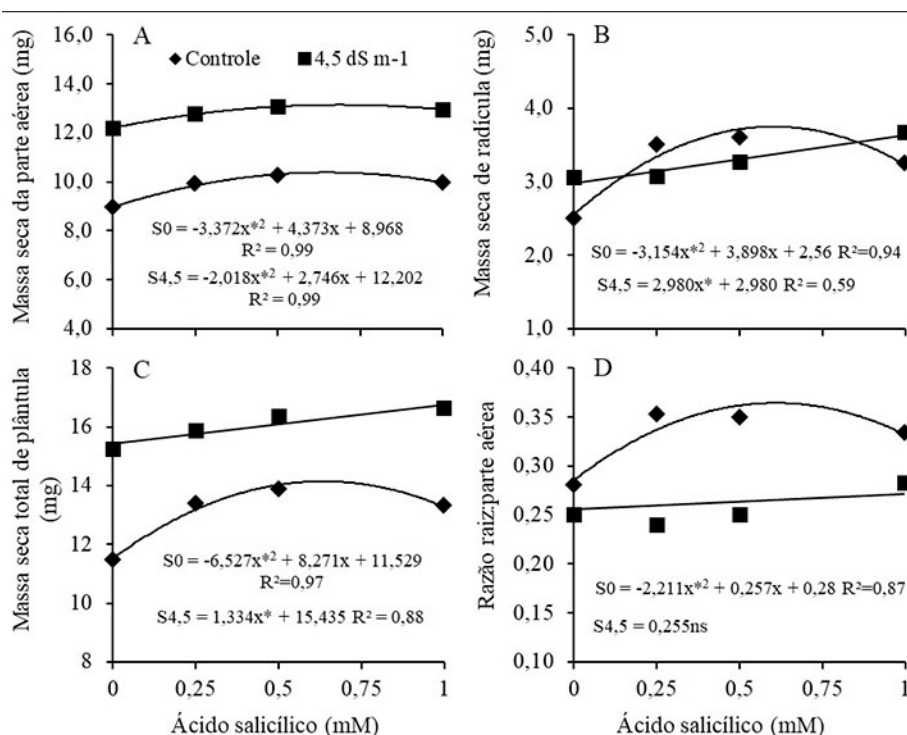


Figura 4. Massa seca da parte aérea, radícula, total e razão raiz:parte aérea de plântulas de tomate sob concentrações de ácido salicílico e salinidade.

A razão raiz:parte aérea foi maior no controle que na salinidade. No controle, a razão R:PA aumentou até a dose de 0,26 mM de AS, e decresceu em seguida, enquanto na salinidade não houve variação entre as concentrações de AS, ficando em média de 0,255 (Figura 4D).

O estabelecimento da plântula, fisiologicamente, corresponde ao período entre a emergência da radícula e a exaustão das reservas da semente (TAIZ et al., 2017). Nesse estudo, a massa seca da parte aérea e total foram maiores na condição de

salinidade, exceto a massa seca de radícula que não diferiu entre o controle e a salinidade, evidenciando que a parte aérea foi preponderante na massa seca total, visto a baixa razão raiz:parte aérea na salinidade. Tais resultados sugerem que a maior massa seca na condição salina pode ser devido a não utilização das reservas da semente ou ao lote de sementes utilizadas, pois de acordo com Steiner et al. (2019) que avaliando diferentes tamanhos de sementes de amendoim na germinação e crescimento de plântulas sob salinidade, observaram que as plântulas provenientes de

sementes de tamanho médio aumentaram a massa seca na condição salina em comparação ao controle, os quais sugeriram que o tamanho da semente pode influenciar na tolerância das plantas ao estresse salino, o que pode ter ocorrido no presente estudo.

Além disso, o AS atuou positivamente nas duas condições, sobretudo na salina. Portanto, sugere-se que a redução no extravasamento de eletrólitos e aumento no teor relativo de água, ambos promovidos pela utilização de AS melhoraram os aspectos de crescimento e ganho de biomassa, como observado na massa seca total das plântulas. Resultados semelhantes foram relatados por Husen et al. (2018), que avaliando duas cultivares de *Brassica carinata* observaram que o AS aumentou a biomassa da parte aérea e da radícula em ambas as cultivares tanto no controle quanto na salinidade,

principalmente nessa última condição. Semelhante, em plântulas de fava foi observado que o aumento da salinidade diminuiu a massa seca das plântulas, mas foi superior nas tratadas com AS em comparação as do controle (ANAYA et al., 2018).

O índice de vigor do crescimento de plântulas (IVCP) foi maior no controle que na salinidade, mas aumentou linearmente com as concentrações de AS em ambas as condições (Figura 5A). Foram observados aumentos de 3 e 7,60% entre 0 e 1,0 mM de AS no controle e na salinidade, respectivamente. Já o índice de vigor da massa seca de plântulas (IVMP) não variou entre o controle e a salinidade (Figura 5B). No entanto, no controle o IVMP aumentou até a concentração de 0,67 mM de AS, enquanto na salinidade aumentou linearmente 11,21% entre 0 e 1,0 mM de AS.

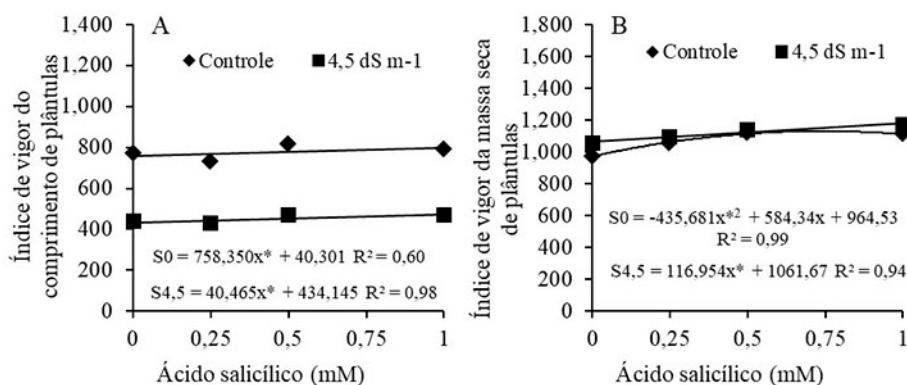


Figura 5. Índice de vigor do crescimento e da massa seca de plântulas de tomate sob concentrações de ácido salicílico e salinidade.

O índice de vigor do crescimento de plântulas foi mais afetado pela salinidade que o índice de vigor da massa seca, mas ambos foram favorecidos pelo acréscimo das concentrações de AS. Esses resultados refletem o efeito negativo da salinidade no crescimento das plântulas de tomate, conforme observado pelo menor comprimento da parte aérea e, principalmente da radícula. Contudo, o índice de vigor da massa seca foi mais favorecido pelas concentrações de AS na condição salina.

O índice de vigor da massa de plântulas tem sido apontado como indicador de tolerância a fatores estressantes e, portanto, o menor índice de vigor de plântulas na condição de salinidade representa danos às mesmas, ocorridos devido à redução do potencial osmótico do meio externo inibir a porcentagem de

germinação e o crescimento inicial das plântulas (STEINER et al., 2019). No entanto, foram amenizados pelo AS, assim, como relatado em trigo, em que o AS aumentou em 68,60% o índice de vigor das plântulas sob salinidade (ALAMRI et al., 2018). O AS tem sido bastante relatado como indutor de tolerância a salinidade em diferentes espécies de plantas, por mediar diversos processos fisiológicos como germinação (TONEL et al., 2013; FAYEZ e BAZAID, 2014), osmoregulação (ALAMRI et al., 2018; SHAKI et al., 2018) e fotossíntese (HUSEN et al., 2018).

Conclusões

O uso de ácido salicílico na embebição de sementes de tomate cv. IPA 6 Caline, quando na concentração de 1,0 mM, inibe a porcentagem e

o índice de velocidade de germinação apenas na salinidade e na fase inicial.

No tratamento controle, o ácido salicílico aumenta o comprimento da radícula de plântulas de tomate cultivar IPA 6 Caline, enquanto na salinidade o acréscimo da concentração de ácido salicílico até 1,0 mM aumenta o crescimento total das plântulas, o teor relativo de água e diminui o extravasamento

de eletrólitos, melhorando o índice de vigor do crescimento das plântulas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de pesquisa modalidade PDJ (nº153397/2018-7), concedida ao primeiro autor.

Referências

- ABDUL-BAKI, A. A.; ANDERSON, J. D. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. **Crop Science**, v. 13, n. 6, p. 630-633, 1973.
- ALAMRI, S. A.; SIDDIQUI, M. H.; AL-KHAISHANI, M. Y.; ALI, H. M. Response of salicylic acid on seed germination and physio-biochemical changes of wheat under salt stress. **Acta Scientific Agriculture**, v. 2, n. 5, p. 36-42, 2018.
- ANAYA, F.; FGHIRE, R.; WAHBI, S.; LOUTFI, K. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 17, n. 1, p. 1-8, 2018.
- ARFAN, M. Exogenous application of salicylic acid through rooting medium modulates ion accumulation and antioxidant activity in spring wheat under salt stress. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 4, p. 437-442, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. FAO. Irrigação e Drenagem. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009.
- CAMPOS, C. A. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BLANCO, F. F. Production of tomato seedlings under saline irrigation. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 2, p. 32-38, 2007.
- CHU, X. T.; FU, J. J.; SUN, Y. F.; XU, Y. M.; MIAO, Y. J.; XU, Y. F.; HU, T. M. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on cold stress-induced oxidative damage in leaves of *Elymus nutans* Griseb. **South African Journal of Botany**, v. 104, p. 21-29, 2016.
- DEMONTIÊZO, F. L. L.; ARAGÃO, M. F.; VALNIR JUNIOR, M.; MOREIRA, F. J. C.; PAIVA, P. V. V.; LIMA, S. C. R. V. Emergência e crescimento inicial de tomate 'Santa Clara' em função da salinidade e condições de preparo das sementes. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 81-92, 2016.
- FAYEZ, K. A.; BAZAID, S. A. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 1, p. 45-55, 2014.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- GEHLING, V. M.; MENDONÇA, A. O.; ANJOS, F. C.; ALLGAYER, G. D.; VILLELA, F. A.; AUMONDE, T. Z. Desempenho fisiológico de sementes e plântulas de tomateiro sob diferentes temperaturas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 1, p. 32-38, 2017. DOI: 10.18188/1983-1471/sap.v16n1p32-38
- HUSEN, A.; IQBAL, M.; SOHRAB, S. S.; ANSARI, M. K. A. Salicylic acid alleviates salinity-caused damage to foliar functions, plant growth and antioxidant system in Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Br.). **Agriculture & Food Security**, v. 7, n. 1, p. 44, 2018.
- JAMIL, A.; RIAZ, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Gene expression profiling of plants under salt stress. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 5, p. 435-458, 2011.
- 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. DOI: 10.3389/fpls.2015.00462

- LOTFI, N.; SOLEIMANI, A.; VAHDATI, K.; ÇAKMAKÇI, R. Comprehensive biochemical insights into the seed germination of walnut under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 329-343, 2019.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MEDEIROS, J. F. D.; LISBOA, R. D. A.; OLIVEIRA, M. D.; SILVA JÚNIOR, M. J. D.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanism of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 6, p. 651-681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- PIVETTA, L. G.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; ZANOTTO, M. D.; VILLAS BOAS, R. L. Germination and initial growth of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst.) under saline conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1614, 2016.
- SÁ, F. V. S.; DO NASCIMENTO, R.; PEREIRA, M. O.; BORGES, V. E.; GUIMARÃES, R. F. B.; RAMOS, J. G.; MENDES, J. S.; DA PENHA, J. L. Vigor and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes under salt stress. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, p. 1488-1494, 2017.
- SHAKI, F.; MABOUD, H. E.; NIKNAM, V. Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), by salicylic acid. **Current Plant Biology**, v. 13, p. 16-22, 2018.
- SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi journal of biological sciences**, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.
- SOUZA, F. M.; SÁ, F. V. S.; SOUTO, L. S.; PAIVA, E. P.; ANDRADE, R. A.; ARAÚJO, G.; BRESSIA, E. Desenvolvimento inicial e tolerância de cultivares de maxixe irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2385-2394, 2018.
- STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; BUSH, A.; SOUSA, T. O.; ZOZ, T. Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanut under salinity and water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (Agricultural Research in the Tropics), v. 49, p. e54353-e54353, 2019.
- STEVENS, J.; SENARATNA, T.; SIVASITHAMPARAM, K. Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilization. **Plant Growth Regulation**, v. 49, n. 1, p. 77-83, 2006.
- SZEPESI, A.; CSISZÁR, J.; BAJKÁN, S.; GÉMES, K.; HORVÁTH, F.; ERDEI, L.; DEÉR, A. K.; SIMON, M. L.; TARI, I. Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt-and osmotic stress. **Acta Biologica Szegediensis**, v. 49, n. 1-2, p. 123-125, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Artmed, 6ª ed. Porto Alegre-RS, 888 p. 2017.
- TONEL, F. R.; MARINI, P.; BANDEIRA, J. D. M.; MORAES, D. M. D.; AMARANTE, L. D. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedlings subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 457-465, 2013.
- ZAHRA, S.; AMIN, B.; ALI, V. S. M.; ALI, Y.; MEHDI, Y. The salicylic acid effect on the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sugar, protein and proline contents under salinity stress (NaCl). **Journal of biophysics and structural biology**, v. 2, n. 3, p. 35-41, 2011.