

Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade¹

Ingrid Schimidt Kaiser², Lorena Contarini Machado², José Carlos Lopes³, Liana Hilda Golin Mengarda⁴

10.1590/0034-737X201663010006

RESUMO

Estudos realizados com *Brassica* sp. demonstram que o estresse salino afeta a qualidade fisiológica e o vigor das sementes. Assim, a busca por substâncias que minimizem os efeitos provocados pelo estresse salino durante a germinação são de grande importância. Objetivou-se com este trabalho avaliar a ação de substâncias liberadoras de óxido nítrico durante a germinação de sementes de repolho cultivado sob condições de salinidade. As sementes foram pré-embecidas em soluções de nitrato de potássio (KNO₃) e nitroprussiato de sódio (SNP) nas concentrações de zero (controle), 0,01, 0,10, 1,00 e 10,00 mmol L⁻¹, por 30 minutos. Posteriormente, distribuídas sobre papel germitest em placas de Petri, umedecido com solução salina de NaCl nos potenciais de zero, -0,6 e -1,2 MPa. Foram avaliados a germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, tempo médio de germinação, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e massa seca das plântulas. Não houve germinação no potencial osmótico de -1,2 MPa. O potencial de -0,6 MPa reduz a germinação e o desenvolvimento das plântulas de repolho. Os resultados sugerem que houve ação positiva do KNO₃ e do SNP na concentração de 0,01 mmol L⁻¹, revertendo o estresse provocado pela salinidade (-0,6 MPa de NaCl).

Palavras-chave: *Brassica oleracea* L., nitrato de potássio, nitroprussiato de sódio.

ABSTRACT

Nitric oxide-releasing effect in the physiological quality of seeds of cabbage under salt stress

Studies with *Brassica* sp. demonstrate that salt stress affects the seed physiological quality and vigor. Thus the search for substances that minimize the effects caused by salt stress during germination are of great importance. The aim of this study was to verify the action of nitric oxide-releasing substances during germination of cabbage grown under salt stress. The seeds were pre-soaked in solutions of potassium nitrate (KNO₃) and sodium nitroprussiate (SNP) at concentrations of zero, 0.01, 0.10, 1.00 and 10.00 mmol L⁻¹ for 30 minutes. Then the seeds were germinated in Petri dishes lined with moistened paper germitest with NaCl solution at potentials of 0.0, -0.6 and -1.2 MPa, evaluated the germination and seedling development. There was no germination in osmotic potential of -1.2 MPa. The potential of -0.6 MPa reduced germination and seedling growth of cabbage. The results suggest that there was positive action of KNO₃ and SNP at 0.01 mmol L⁻¹, reversing the stress caused by salinity (-0.6 MPa of NaCl).

Key words: *Brassica oleracea* L., sodium nitroprusside, potassium nitrate.

Submetido em 14/02/2014 e aprovado em 27/01/2015.

¹ Bolsa CNPQ de produtividade e bolsa CAPES de pós-graduação concedidas aos terceiro e quarto autores.

² Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Produção Vegetal, Alegre, Espírito Santo, Brasil. ingrid_schimidt@hotmail.com; lozenarini@hotmail.com

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Produção Vegetal, Alegre, Espírito Santo, Brasil. jcufes@bol.com.br

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Alegre, Espírito Santo, Brasil. limengarda@gmail.com

*Autor para correspondência: jcufes@bol.com.br

INTRODUÇÃO

O impacto da salinidade é considerado como um fator limitante na produção agrícola nas regiões áridas e semi-áridas do mundo. Visando reduzir os impactos negativos à agricultura buscam-se alternativas para o reaproveitamento de áreas inutilizadas, como variedades agrícolas tolerantes às estas condições, assim como a prospecção de substâncias capazes de reverter os danos causados pela salinidade durante o cultivo.

A salinidade reduz a capacidade das plantas em absorver água, determinando reduções na taxa de crescimento, juntamente com alterações metabólicas idênticas às causadas por estresse hídrico (Munns, 2002). Para ocorrer a absorção de água o potencial osmótico nas células deve ser menos negativo do que o potencial osmótico do solo (Nunes, *et al.*, 2009). Logo, dependendo da quantidade de sais presente nos solos, ocorre um decréscimo no potencial hídrico em nível abaixo do necessário para que ocorra a absorção de água pelas células, induzindo ao estresse hídrico.

A salinidade é caracterizada pela presença de altas concentrações de sais solúveis no solo. Os principais íons relacionados à salinidade são os cátions Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e os ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} e NO_3^- , que formam sais como cloretos, sulfatos, nitratos, carbonatos e bicarbonatos. Os sais mais nocivos às plantas são os cloretos e os sulfatos de sódio e de magnésio, pela maior solubilidade (Carmona, 2011).

A salinidade afeta diretamente a germinação devido à toxidez e à diminuição do potencial osmótico, o que resulta em menor capacidade de absorção de água pelas sementes inviabilizando os eventos relacionados ao processo de germinativo (Rebouças *et al.*; 1989). Torres (2007) observou reduções significativas na germinação de sementes de melancia (*Citrullus lanatus* Schrad.) com a diminuição progressiva do potencial osmótico de NaCl a partir de $-0,4$ MPa, afetando negativamente o desenvolvimento de plântulas normais. Estudos realizados com *Brassica* sp. demonstram que o estresse salino afeta negativamente a manifestação do potencial fisiológico pela germinação, vigor das sementes, aumento da porcentagem de plântulas anormais e redução no desenvolvimento das plântulas da parte aérea e da raiz em proporção à redução do potencial osmótico (Lopes & Macedo, 2008; Bernardes *et al.*, 2015).

Contudo, estudos evidenciam que substâncias liberadoras de óxido nítrico (NO) estimulam a germinação de sementes submetidas ao envelhecimento acelerado. Tais substâncias atuam na permeabilidade da membrana, evitando ou revertendo os danos causados pelas condições de elevada temperatura e umidade, as quais reduzem o vigor das sementes (Pereira *et al.*, 2010). Con-

siderando que o processo de estresse salino e hídrico envolve alterações de potencial osmótico e tensão sobre a membrana celular, é possível que os liberadores de óxido nítrico favoreçam o processo germinativo sob estresse salino.

O óxido nítrico é uma molécula que atua como sinalizadora nos vegetais e os estudos acerca de suas funções nos processos fisiológicos das plantas indicam que o NO está envolvido na regulação do crescimento e desenvolvimento da planta, na defesa contra patógeno e nas respostas ao estresse abiótico (Sanz *et al.*, 2015). Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a ação de SNP e do KNO_3 (liberadores de óxido nítrico) durante a germinação de sementes de repolho sob salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal, no campus do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), em Alegre-ES. Foram utilizadas sementes de repolho (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*), cultivar “Chato de Quintal”.

O lote de sementes foi caracterizado quanto ao teor de água e viabilidade: **Teor de água** - foi determinada a umidade do lote de sementes pelo método de estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas, de acordo com Brasil (2009), utilizando-se duas repetições de 25 sementes, e o resultado expresso em porcentagem (base úmida). **Viabilidade** - Foi realizado o teste de viabilidade (tetrazólio) nas sementes. Para isto, sementes intactas e sem tratamento foram pré-condicionadas em água destilada por 16 horas, em papel germitest embebido em água destilada a 30 °C, posteriormente foram perfuradas com auxílio de um estilete, e colocadas em um béquer envolvido em papel alumínio, contendo a solução de 2,3,5- trifeniltetrazólio na concentração de 0,5% pv., permanecendo na solução durante 12 horas, a 30 °C. Após este período de coloração, as sementes foram retiradas da solução, lavadas em água corrente, tiveram seu tegumento removido, foram seccionadas e avaliadas, com auxílio de um microscópio estereoscópico. A interpretação levou em conta a ocorrência de coloração dos tecidos (vermelho carmin), classificando-as em viáveis (mais de 2/3 da semente corada) ou inviáveis (sem coloração ou menos de 1/3 da semente corada) (adaptado de Brasil, 2009).

Sementes foram submersas em soluções de nitrato de potássio (KNO_3) e de nitroprussiato de sódio (SNP) nas concentrações de zero (controle); 0,01; 0,10; 1,00 e 10,00 mmol L^{-1} , por 30 min. Posteriormente, as sementes foram distribuídas sobre papel germitest em placas de Petri, previamente esterilizadas, umedecido com soluções de NaCl

na quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco (7,0 mL), de acordo com Brasil (2009), nas concentrações de zero; -0,6; e -1,2 MPa, de acordo com a equação proposta por Van't Hoff (Salisbury & Ross, 1992). As placas foram acondicionadas em incubadora do tipo BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), com temperatura alterada de 20-30 °C, e fotoperíodo de 12 horas.

Foram determinados: **Germinação (G%)** - o teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 25 sementes para cada amostra, e a avaliações efetuadas conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009), e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, ou seja, aquelas que apresentavam todas as estruturas essenciais perfeitas. **Primeira contagem de germinação (PCG%)** - foi determinada juntamente com o teste de germinação, computando-se após cinco dias da sementeira a porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009). **Índice de velocidade de germinação (IVG)** - foi conduzido concomitante com o teste de germinação, computando-se diariamente o número de sementes que apresentaram protrusão da raiz primária com dimensão e" 2 mm, calculado de acordo com Maguire (1962). **Tempo médio de germinação (TMG)** - foi calculado de acordo com Labouriau (1983). **Comprimento de parte aérea (CPA) e da raiz (CR)** - no décimo dia após a sementeira as plântulas normais foram avaliadas quanto ao comprimento da parte aérea e da raiz primária, com o auxílio de uma folha milimetrada. Os resultados foram expressos em cm plântula⁻¹. **Massa seca das plântulas (MS)** - no décimo dia após a montagem do experimento, as plântulas normais foram acondicionadas em envelopes de papel tipo Kraft, mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, por 72 horas, e a massa seca determinada em balança analítica (0,0001 g). Os resultados foram expressos e mg plântula⁻¹.

Delineamento experimental e análise estatística - Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições de 25 sementes por tratamento. A análise dos dados foi realizada de forma independente para cada substância (KNO₃ e SNP), apresentando arranjo no esquema fatorial 3 x 4 +1 com tratamento adicional, sendo três níveis salinidade (0,0; -0,6; e -1,2 MPa) e quatro concentrações de liberador de óxido nítrico (0,01; 0,10; 1,00 e 10,00 mmol L⁻¹) + controle (água destilada, sem adição de sais e SNP).

Foram testadas a normalidade da distribuição dos erros e a homogeneidade da variância, e quando necessária feita a transformação angular ou logarítmica dos valores. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e a comparação entre os diferentes tratamentos em arranjo fatorial pelo teste de Tukey em nível de 5% de significância, efetuando-se os respectivos desdobramentos das interações não significativas.

Para a comparação dos tratamentos com o controle, realizou-se o teste de agrupamento de médias Dunnett, em nível de 5% de significância. Para ambas as análises foi utilizado o programa estatístico ASSISTAT versão 7.6 beta (Silva, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lote de sementes apresentou teor de água médio de 6,85%. De acordo com o teste de tetrazólio, o lote de sementes utilizado na experimentação apresentou valor médio de 72% de sementes viáveis (CV = 10,39%, e desvio padrão de 7,48%). Isto demonstra que o lote de sementes apresentava viabilidade abaixo do padrão estabelecido pelo comércio e pelos próprios fabricantes (90%), possivelmente pelo sistema de transporte, manipulação, armazenamento e exposição das embalagens contendo as sementes sob condições indesejáveis para manutenção de sua qualidade fisiológica e viabilidade até a sementeira.

Entre os níveis de salinidade, nos quais as sementes foram submetidas durante o teste de germinação, não ocorreu germinação no potencial de -1,2 MPa, mesmo quando tratadas com liberadores de óxido nítrico. Com estes resultados, sugere-se que sementes desta cultivar de repolho não pode ser cultivada em solos com este nível de salinidade. Desta forma, foram analisados os dados relativos aos níveis de 0,0 MPa (sem salinidade) e -0,6 MPa (com salinidade).

Para os dados obtidos em sementes tratadas com KNO₃, não houve interação entre os fatores, para as características de germinação, primeira contagem de germinação, tempo médio de germinação, comprimento da parte aérea e das raízes de plântulas (Tabelas 1 e 2). Logo, o efeito de cada fator foi analisado separadamente.

O tratamento das sementes com diferentes concentrações de KNO₃ não exerceu influência significativa nos valores de germinação, primeira contagem de germinação e no tempo médio de germinação (Tabela 1). No entanto, com relação à salinidade, as sementes de repolho apresentaram valores de germinação (36%) significativamente menores em relação ao controle (66%). Houve aumento no tempo médio de germinação das sementes sob estresse e redução no crescimento das plântulas (parte aérea e sistema radicular) (Tabela 2). Fato que está associado à redução do potencial hídrico, e consequentemente ocorre menor absorção de água pela semente, interferindo na capacidade germinativa e no desenvolvimento das plântulas (Rebouças *et al.*, 1989). Comportamento similar foi observado por Chang *et al.* (2010) em sementes de pepino, que apresentaram redução na germinação, quando submetidas à presença de NaCl (100 e 200 mmol L⁻¹).

Outros trabalhos comprovam efeitos negativos da salinidade na qualidade fisiológica de sementes de diversas culturas, como em sementes de quatro cultivares de arroz, em que a diminuição do potencial osmótico determinou decréscimo na germinação, afetando o desenvolvimento de plântulas normais, com redução na viabilidade e no vigor das sementes (Lima *et al.*, 2005). Em sementes de couve chinesa sob estresse salino houve comprometimento na qualidade fisiológica das sementes, com redução na velocidade, e na porcentagem de germinação, e desenvolvimento de plântulas anormais (Lopes; Macedo,

2008); em sementes de pepino, os níveis iniciais de salinidade no solo afetaram a cultura (Medeiros *et al.*, 2009).

Com relação ao índice de velocidade de germinação das sementes e a massa seca das plântulas, foi verificada interação significativa entre os fatores, e a análise foi baseada na média da interação estresse x concentração (Tabelas 1 e 2).

O índice de velocidade de germinação foi reduzido com a presença de salinidade, entretanto, nas concentrações de KNO_3 não houve diferença. Todavia, na ausência

Tabela 1: Germinação – G (%), primeira contagem de germinação – PCG (%), índice de velocidade de germinação – IVG, tempo médio de germinação – TMG de sementes de repolho em função da salinidade e concentrações de KNO_3 ($mmol L^{-1}$)

KNO_3 ($mmol L^{-1}$)	Salinidade (MPa)					
	0,0			-0,6		
	0,0	-0,6	ME ¹	0,0	-0,6	ME
	G (%) ^{2,3}			PCG (%)		
0,01	62*	39	50 a	29*	20	24 a
0,10	66*	36	51 a	35*	18	26 a
1,00	63*	38	50 a	36*	14	25 a
10,0	73*	32	52 a	47*	13	30 a
Média	66 A	36 B		36 A	16 B	
Controle	66*	40*				
CV(%)	22,72	32,63				
	IVG			TMG		
0,01	3,22* Ab	1,99 Ba	2,6 a	5,35*	5,40*	5,37 a
0,10	3,57* Aab	1,74 Ba	2,66 a	5,30*	6,11*	5,70 a
1,00	4,15* Aa	1,32 Ba	2,73 a	5,15*	5,95*	5,55 a
10,0	4,34* Aa	1,43 Ba	2,89 a	4,84*	5,96*	5,40 a
Média	3,82 A	1,62 A		5,16 B	5,85 A	
Controle		3,70*			5,04*	
CV(%)		17,37			12,37	

¹ Média (ME); ² As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; ³ As médias seguidas com asterisco são significativamente semelhante ao controle, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2: Comprimento da parte aérea – CPA (cm), comprimento da raiz – CR (cm) e massa seca – MS (mg) de plântulas de repolho em função da salinidade e concentrações de KNO_3 ($mmol L^{-1}$)

KNO_3 ($mmol L^{-1}$)	Salinidade (MPa)								
	0,0			-0,6			0,0		
	0,0	-0,6	ME ¹	0,0	-0,6	ME	0,0	-0,6	ME
	CPA (cm) ^{2,3}			CR (cm)			MS (mg)		
0,01	3,34*	2,37*	2,86 a	5,24*	2,10	3,67 a	2,58* Ba	4,40 Aa	3,49 a
0,10	2,62*	2,40*	2,51 a	4,52*	2,33	3,42 a	2,69* Aa	2,86* Ab	2,77 ab
1,00	2,88*	2,06*	2,47 a	3,93	1,92	2,92 a	2,18* Aa	2,89* Ab	2,53 b
10,0	3,27*	1,98	2,62 a	4,85*	1,52	3,19 a	2,52* Aa	2,32* Ab	2,42 b
Média	3,03 A	2,20 B		4,63 A	1,97 B		2,49 B	3,12 A	
Controle	2,88*	5,93*	2,44*						
CV(%)	15,73	19,53	21,76						

¹ Média (ME); ² As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; ³ As médias seguidas com asterisco são significativamente semelhante ao controle, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

de salinidade a velocidade de germinação aumentou a partir da concentração de 0,10 mmol L⁻¹.

Já a média de massa seca das plântulas oriundas das sementes tratadas com concentração de 0,01 mmol L⁻¹, em presença de salinidade (-0,6 MPa) apresentou valor de 4,4 mg, significativamente superior às demais concentrações utilizadas no tratamento das sementes. Nas plântulas oriundas de sementes sem salinidade, esse valor foi de 2,58 mg. Esse resultado sugere um possível efeito de reversão do estresse salino (-0,6 MPa) promovido pela concentração de 0,01 mmol L⁻¹ de KNO₃.

Há indícios de que o óxido nítrico atue em nível de membrana, superando determinados tipos de dormência, além de acelerar a germinação e recuperar a qualidade das sementes de *Plathymenia reticulata* com baixo vigor (Pereira *et al.*, 2010). Essa possível atuação na membrana da semente pode auxiliar na superação do estresse provocado pela salinidade, principalmente porque a permeabilidade da membrana do tegumento está relacionada ao processo de embebição, que por sua vez é dependente do potencial hídrico da semente e do meio externo.

Em sementes tratadas com SNP, o tempo médio de germinação, o comprimento radicular e a massa seca de plântulas não apresentaram interação entre os fatores concentração de SNP e estresse salino (Tabelas 3 e 4).

Analisando os fatores separadamente, verifica-se que o tempo médio de germinação aumentou com a pre-

sença da salinidade, diferindo significativamente do controle para todas as concentrações de SNP. Spadeto *et al.* (2012) estudando os efeitos do estresse salino e hídrico sobre sementes de *Apuleia leiocarpa*, constataram que quanto menor o potencial osmótico, maior foi o tempo médio de germinação das sementes, além disso houve um atraso no início e na velocidade de germinação. Resultados similares foram encontrados por Nunes *et al.* (2009) em sementes de *Crotalaria juncea*.

Com relação ao sistema radicular, em plântulas oriundas de sementes submetidas à salinidade (-0,6 MPa), verificou-se redução de 4,14 cm para 1,74 cm. O crescimento anormal das plântulas provocado pela salinidade pode estar associado com a ação dos sais por ocasionar um déficit hídrico devido a elevada osmolaridade da solução. E ainda, apresentam efeito tóxico dos íons, o que pode culminar com danos metabólicos e fisiológicos. Du *et al.* (2015) observaram que a salinidade (200 mM de NaCl) resultou em níveis elevados substâncias tóxicas, como o malodialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), em plantas de *Spinacia oleracea*.

Para os valores de acúmulo de massa seca, a salinidade não exerceu influência, e os valores obtidos nas diferentes concentrações de SNP não apresentam diferença estatística.

Tabela 3: Germinação – G (%), primeira contagem de germinação – PCG (%), índice de velocidade de germinação – IVG, tempo médio de germinação – TMG de sementes de repolho em função da salinidade e concentrações de SNP (mmol L⁻¹)

SNP (mmol L ⁻¹)	Salinidade (MPa)					
	0,0		-0,6		ME	
	G (%) ^{2,3}		PCG (%)			
0,01	62* Aa	64* Aa	63 a	39* Aa	40* Aa	39 a
0,10	62* Aa	27 Bb	44b	33* Aa	14 Bb	23 b
1,00	61* Aa	30 Bb	45 b	28* Aa	16 Bb	22 b
10,0	58* Aa	27 Bb	42b	38* Aa	14 Bb	26 b
Média	60 A	37 B		34 A	21 B	
Controle		66*			40*	
CV (%):		20,20			22,78	
	0,0	-0,6	ME	0,0	-0,6	ME
	IVG			TMG		
0,01	3,69* Aa	3,75* Aa	3,72 a	4,89*	5,08*	4,98 a
0,10	3,39* Aa	1,29 Bb	2,34 b	5,14*	5,91*	5,53 a
1,00	3,33* Aa	1,66 Bb	2,50 b	5,26*	6,10*	5,68 a
10,0	3,27* Aa	1,41 Bb	2,34 b	4,87*	6,03*	5,45 a
Média	3,42 A	2,03 B		5,04 B	5,78 A	
Controle		3,7*			5,04*	
CV (%):		19,73			10,65	

¹Média (ME); ² As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; ³ As médias seguidas com asterisco são significativamente semelhante ao controle, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4: Comprimento da parte aérea – CPA (cm), comprimento de raiz- CR (cm) e massa seca – MS (mg) de plântulas de repolho em função do estresse salino e concentrações de SNP (mmol L⁻¹)

SNP (mmol L ⁻¹)	Salinidade (MPa)								
	0,0			-0,6			ME ¹		
	0,0	-0,6	ME ¹	0,0	-0,6	ME	0,0	-0,6	ME
	CPA (cm) ^{2,3}			CR (cm)			MS (mg)		
0,01	2,69* Aa	1,71 Bab	2,20 a	4,39	1,56	2,97 a	2,41*	3,11*	2,75 ab
0,10	2,64* Aa	1,90 Ba	2,27 a	4,37	1,56	2,96 a	2,47*	2,96*	2,72 ab
1,00	3,16* Aa	2,06 Ba	2,61 a	4,82*	2,21	3,52 a	2,99*	2,89*	2,94 a
10,0	3,07* Aa	1,11 Bb	2,10 a	4,56	1,57	3,07 a	2,23*	2,07*	2,15 b
Média	2,89 A	1,76 B		4,14 A	1,74 B		2,53 A	2,76 A	
Controle		2,89*			5,18*			2,44*	
CV (%):		17,01			17,55			18,66	

¹Média (ME); ² As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade; ³ As médias seguidas com asterisco são significativamente semelhante ao controle, pelo teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade.

Houve interação entre os fatores concentração de SNP e salinidade para as características germinação, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação e comprimento da parte aérea das plântulas (Tabelas 3 e 4). Para estas características, na ausência de salinidade, os valores foram similares nas diferentes concentrações de SNP. Pereira (2010), em estudo com sementes de *Plathymenia reticulata* tratadas com diferentes concentrações de SNP, observou que a velocidade de germinação não foi afetada. Song *et al.* (2009) trabalhando com sementes de *Suaeda salsa* também observaram que, com aumento na concentração de NO₃ não estimulou a emergência de plântulas e a produção de massa seca da parte aérea, para os tratamentos das sementes com e sem salinidade.

Nas sementes submetidas à salinidade e tratadas com solução SNP na concentração de 0,01 mmol L⁻¹ os valores de germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação diferiram das demais, sugerindo que esta concentração do liberador SNP auxiliou na reversão e/ou minimização dos efeitos negativos da salinidade na fase de germinação das sementes e desenvolvimento inicial das plântulas. A explicação plausível para este fenômeno é a possibilidade dos liberadores de óxido nítrico promoverem a tolerância das plântulas à salinidade por meio da redução do transporte de Na⁺ e Cl⁻ para folhas e pela capacidade de compartimentar esses íons em vacúolos para evitar seu acúmulo no citoplasma ou paredes celulares e, assim, evitar toxicidade pelo sal (Munns, 2002). Além disso, os liberadores de óxido nítrico aumentam a atividade de enzimas antioxidantes (peroxidase, superóxido dismutase, catalase) que minimizam o estresse oxidativo provocado pela salinidade. O NO é uma molécula mensageira e, assim, na maioria dos casos, a resposta ao estresse é produto da sua interação com fito-hormônios (Fan *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2015; Sanz *et al.*, 2015).

O teste de Dunnett comparou cada tratamento com o controle, separadamente para SNP e KNO₃, sendo que as médias semelhantes estatisticamente ao controle são indicadas por um asterisco (Tabelas 1, 2, 3 e 4). Logo, nas concentrações de liberadores de óxido nítrico, que obtiveram médias semelhantes ao controle em presença de salinidade (-0,6 MPa de NaCl), ou ainda médias superiores ao controle, sugere-se que possa ter ocorrido o efeito positivo na reversão do estresse.

Em presença de salinidade, sementes tratadas com as diferentes concentrações de KNO₃ apresentaram médias semelhantes ao controle para tempo médio de germinação, comprimento da parte aérea e massa seca (Tabela 1), à exceção dos valores obtidos para comprimento da parte aérea na concentração de 10,00 mmol L⁻¹, e para a massa seca na concentração de 0,01 mmol L⁻¹, cuja média foi superior ao controle (Tabela 1 e 2).

Quando as sementes foram tratadas com SNP na concentração de 0,01 mmol L⁻¹, os valores obtidos para as variáveis germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação foram semelhantes aos valores obtidos no controle (Tabela 3), sugerindo a possibilidade desta concentração atuar minimizando o efeito da salinidade. Os valores médios obtidos em presença de salinidade também foram semelhantes ao controle para o tempo médio de germinação e a massa seca, em todas as concentrações de SNP utilizadas (Tabelas 3 e 4).

Giba *et al.* (1998) trabalhando com sementes de *Paulownia tomentosa* observaram que concentrações de óxido nítrico estimularam a germinação em concentrações superiores a de 1,0 mmol L⁻¹ de SNP. As concentrações de óxido nítrico que promovem a germinação variam conforme a espécie e o liberador utilizado, sendo que para as sementes de repolho concentração mais baixas foram mais efetivas.

CONCLUSÕES

A salinidade no potencial de -1,2 MPa inibe a germinação de sementes, e no potencial de -0,6 MPa reduz a germinação e o desenvolvimento das plântulas de repolho.

Os liberadores de óxido nítrico KNO_3 e SNP, em especial na concentração de $0,01 \text{ mmol L}^{-1}$, apresentam ação positiva na reversão do estresse salino (-0,6 MPa) na germinação e vigor de sementes de repolho.

REFERÊNCIAS

- Bernardes PM, Mengarda LHG, Lopes JC, Nogueira UM & Rodrigues LL (2015) Qualidade fisiológica de sementes de repolho de alta e baixa viabilidade sob estresse salino. *Nucleus*, 12:77-86.
- Brasil (2009) Regras para análise de sementes. Brasília, Mapa/ACS. 395p.
- Carmona FC, Anghinoni I & Weber EJ (2011) Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha, Instituto Rio Grandense do Arroz/Estação Experimental. 54p. (Boletim técnico, 10).
- Chang C, Wang B, Shi L, Li Y, Duo L & Zhang W (2010) Alleviation of salt stress-induced inhibition of seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by ethylene and glutamate. *Journal of Plant Physiology*, 167:1152-1156.
- Du ST, Liu Y, Zhang P, Liu HJ, Zhang XQ & Zhang RR (2015) Atmospheric application of trace amounts of nitric oxide enhances tolerance to salt stress and improves nutritional quality in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Food Chemistry*, 173:905-911.
- Fan H, Du C, Xu Y & Wu X (2014) Exogenous Nitric Oxide Improves Chilling Tolerance of Chinese Cabbage Seedlings by Affecting Antioxidant Enzymes in Leaves. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 55:159-165.
- Giba Z, Grubisc D, Todorovic S, Sajc L, Stojakovic D & Konjevic R (1998) Effect of nitric oxide-releasing compounds on phytochrome-controlled germination of Empress tree seeds. *Plant Growth Regulation*, 26:175-181.
- Labouriau LG (1983) A germinação das sementes. Washington, Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos. 174p.
- Lima MGS, Lopes NF, Moraes DM & Abreu CM (2005) Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 27:54-61.
- Lopes JC & Macedo CMP (2008) Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 30:79-85.
- Maguire JD (1962) Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2:176-177.
- Medeiros PRF, Duarte SN & Dias CTS (2009) Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:406-410.
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25:239-250.
- Nunes AS, Lourenção ALF, Pezarico CR, Scalon SPQ & Gonçalves MC (2009) Fontes e níveis de salinidade na germinação de sementes de *Crotalaria juncea* L. *Ciência e Agrotecnologia*, 33:753-757.
- Pereira BLC, Borges EEL, Oliveira AC, Leite HG & Gonçalves JFC (2010) Influência do óxido nítrico na germinação de sementes de *Plathymenia reticulata* Benth com baixo vigor. *Scientia Forestalis*, 38:629-636.
- Rebouças MA, Façanha JGV, Ferreira LGR & Prisco JT (1989) Crescimento e conteúdo de N, P, K e Na em três cultivares de algodão sob condições de estresse salino. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 1:79-85.
- Salisbury FB & Ross CW (1992) *Plant physiology*. 4ª ed. Belmont, Wadsworth Publishing Company. 682p.
- Sanz L, Albertos P, Mateos I, Sánchez-Vicente I, Lechón T, Fernández-Marcos M & Lorenzo O (2015) Nitric oxide (NO) and phytohormones crosstalk during early plant development. *Journal of Experimental Botany*, 66:2857-2868.
- Silva FAZ (2011) Assistat Versão 7.6 beta. Disponível em: <<http://www.assistat.com/indexp.html>>. Acessado em: 01 de agosto de 2013.
- Song J, Shi G, Xing S, Chen M & Wang B (2009) Effects of nitric oxide and nitrogen on seedling emergence, ion accumulation, and seedling growth under salinity in the euhalophyte *Suaeda salsa*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172:544-549.
- Spadeto C, Lopes JC, Mengarda LHG, Matheus MT & Bernardes PM (2012) Estresse salino e hídrico na germinação de sementes de garapa (*Apuleia leiocarpa* (VOGEL.) J. F. Macbr.). *Enciclopédia Biosfera*, 8:539-551.
- Torres SB (2007) Germinação e desenvolvimento de plântulas de melancia em função da salinidade. *Revista Brasileira de Sementes*, 29:77-82.