

AÇÃO DA ACETILCOLINA DURANTE O DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOJA CULTIVADA SOB ALTA TEMPERATURA E DEFICIÊNCIA HÍDRICA

Bruno Felipe Picoli de Oliveira, Bruna Oliveira Reinheimer Spolaor, Helida Regina Sala, Daniele Silva Sukert, Mateus Modesto Bosisio, Tais Costa Pinto, Adriana Lima Moro & Ana Claudia Pacheco
brunopicoli2008@hotmail.com, brunaspolaor@hotmail.com, helidahrs@hotmail.com, danieleskert@hotmail.com, mateusbosisio@gmail.com, taiscp99@gmail.com, adrianamoro@unoeste.br, anaclau@unoeste.br

PROBLEMÁTICA

O acúmulo de ações antrópicas vem ocasionando bruscas mudanças climáticas, resultando em veranicos, que são longos períodos de altas temperaturas associadas com a deficiência hídrica do solo. Os veranicos ocorrem principalmente na região do Oeste Paulista, acarretando em ambientes hostis para as culturas e ameaçando a produção agrícola.

Sob influência de altas temperaturas, as plantas sofrem um desequilíbrio no seu metabolismo, sendo que os danos primários ocorrem no aparato fotossintético e nas mitocôndrias, afetando conseqüentemente a fotossíntese e a respiração, devido à desestruturação físico-química das biomembranas (Vital, 2019).

Por outro lado, sob efeito de seca, as plantas têm respostas negativas em sequência, ou seja, começam em suas raízes, com perda de turgescência, redução de seu potencial hídrico e diminuição na condutância estomática. Conseqüentemente, a fotossíntese fica prejudicada, resultando em taxas de crescimento e produção de biomassa reduzidas. Paralelamente, haverá maior dissipação de energia luminosa e altos níveis de fotorrespiração gerando espécies reativas de oxigênio (ROS), que causam danos às células vegetais, incluindo peroxidação lipídica e desestruturação de proteínas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014; PASALA; MINHAS; WAKCHAURE, 2017).

CONHECIMENTO PRÉVIO

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.] é uma oleaginosa pertencente à família Fabaceae e apresenta metabolismo fotossintético tipo C3 (TEJO et al., 2019). A alta adaptabilidade da soja para o cultivo em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, somada ao seu alto valor proteico, produção de óleo e alta valorização no mercado de commodities agrícolas fizeram com que aumentasse substancialmente sua produção, levando o Brasil ser o maior produtor de soja do mundo (XIMENES et al. 2023). Embora tenham sido lançados novos híbridos e cultivares desenvolvidos para uma maior tolerância aos estresses abióticos, ainda assim ocorrem diminuições na sua produtividade (Rocha et al., 2018).

Uma forma de mitigar os efeitos dos estresses abióticos é a aplicação de biorreguladores, que são compostos orgânicos não nutricionais, de ocorrência natural, produzidos na planta, e que, em baixas concentrações, promovem, inibem ou modificam processos fisiológicos do vegetal. Os biorreguladores exercem papel fundamental nas atividades metabólicas da planta, alterando os principais processos físico-químicos e suas estruturas, possibilitando uma melhoria no rendimento vegetal quando se encontra em ambientes hostis (ZULFIGAR et al., 2021).

Sendo uma amina quaternária e tendo a presença de um éster acético (C₇H₁₆NO₂) (KURCHII, 2009), a acetilcolina (ACh) é gerada a partir dos compostos Acetil-CoA mais colina, sendo que a enzima colina acetiltransferase atua como catalisador nesta reação. Quando a ACh é hidrolisada pela enzima acetilcolinesterase (AChE) formam-se os metabólitos colina e acetato (DANELLUZI, 2012). Estudos recentes sugerem o envolvimento de ACh em diversos processos metabólicos das plantas, entre eles, a germinação, reprodução, crescimento, desenvolvimento e no metabolismo celular.

DESCRIÇÃO DA PESQUISA

O experimento foi realizado nas dependências Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista (CEVOP-UNOESTE), em Presidente Prudente-SP. As plantas foram semeadas em casa de vegetação em vasos de 9 kg com terra vegetal, onde foram mantidas até a fase fenológica R3 (final da floração) (Buratto et al., 2018). Neste momento, as plantas foram pulverizadas com doses de Acetilcolina (ACh) (0 e 2 mM) e transferidas para câmara de crescimento (fitroton). Durante cinco dias as plantas foram expostas a uma combinação de alta temperatura (38/28°C dia/noite) e deficiência hídrica (irrigação com 30% da capacidade de campo), com recuperação das condições normais no sexto dia. As plantas controle permaneceram na casa de vegetação, com condições adequadas de umidade (irrigação com 100% da capacidade de campo) e temperatura (28/20°C dia/noite).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com fatorial 2 x 2 (com e sem estresse e com e sem aplicação de ACh), totalizando 4 tratamentos e 9 repetições. Foram realizadas análises de trocas gasosas na recuperação, com auxílio de medidor portátil IRGA modelo 6400 (Licor). Os parâmetros de crescimento foram avaliados ao final do experimento, no sétimo dia. Os dados obtidos foram submetidos a ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No final do período de estresse, as plantas apresentaram reduções na altura e número de folhas, quando comparadas às plantas controle, não havendo efeito da aplicação de ACh. Houve diminuição da massa seca da parte aérea (MSPA) em resposta à aplicação de ACh, tanto em plantas controle como em plantas sob estresse. Já a massa seca da raiz (MSR) foi maior nas plantas sob estresse e tratadas com ACh (Figura 1).

Nas medidas realizadas após a recuperação, verificou-se que para as plantas em condições controle não houve efeito da aplicação de ACh, com exceção dos parâmetros taxa de assimilação de CO₂ (Pn) e eficiência de carboxilação (EC), nos quais houve redução de valores. Entretanto, nas plantas submetidas ao estresse e tratadas com ACh houve aumento de 147,7% na taxa de assimilação de CO₂ (Pn); 46,66% na condutância estomática (gs); 146,15% na eficiência de carboxilação (EC); 96,07% eficiência de uso da água (EUA) e 21,31% na taxa de transporte de elétrons (ETR) (Figuras 2 e 3).

Resultados semelhantes foram encontrados em plantas de *Nicotiana benthamiana* sob estresse salino (QUIN et al., 2019), onde os autores afirmam que o papel da ACh é o de fazer a manutenção do metabolismo da clorofila, fotossíntese, homeostase iônica, condutividade hidráulica e equilíbrio hídrico por meio da regulação

da relação Na^+/K^+ , juntamente com a diminuição da peroxidação lipídica. Aliado a isso, Hengbin et al. (2003) propôs em seu trabalho que ACh está ligada na transdução de sinal da raiz e planta, ou seja, o mesmo observou que em mudas de *Vicia faba* em condição normais ocorre síntese de ACh nas raízes e transportando para as folhas onde exerce controle direto do movimento estomático. Paralelamente, autores que expuseram as plantas sob estresse térmico com aplicação de ACh, como o feijão, rabanete e pepino (MOMONOKI et al., 1993) e milho (MOMONOKI et al., 1996) mostraram que a atividade enzimática aprimorada nas células da epiderme foliar está relacionada à regulação da homeostase da água durante o estresse, prevenindo a transpiração epidérmica e controlando o equilíbrio hídrico e iônico. Além disso, o aumento da atividade da acetilcolinesterase em células endodérmicas entre o córtex e as células estelares ao redor dos feixes vasculares da raiz, juntamente com Ca^{2+} atuam como gatilho para a ativação dos canais iônicos, otimizando a absorção de nutrientes.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Concluiu-se que a ACh promoveu a alocação de carboidratos da parte aérea para o sistema radicular durante o desenvolvimento inicial de plantas de soja cultivadas sob estresse combinado de seca e calor. Os efeitos da ACh nas trocas gasosas, quando medidas na fase de recuperação do estresse, foram verificados pela melhor performance fotossintética e pelo aumento da eficiência de uso da água.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Estudo de Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista (CEVOP/UNOSTE), à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) (pelas taxas concedidas).

LITERATURA CITADA

BURATTO, W. et al. Aplicação foliar de nitrogênio na soja em diferentes fases fenológicas e inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 333-337, 2018.

DANELUZZI, G. S. Uma abordagem neurofisiológica da acetilcolina em plantas de milho hidratadas e sob condições de estresse hídrico. 2012. **Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.**

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 53, 2014.

KURCHII, B. A. Acetylcholine and ethylene: do they share similar receptors and biological action. **Ukrainica Bioorganica Acta**, v.7, n.1, p. 36-44, 2009.

MOMONOKI, Y. S.; MOMONOKI, T. Changes in acetylcholine-hydrolyzing activity in heat-stressed plant cultivars. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 62, n. 3, p. 438-446, 1993.

MOMONOKI, Y. S.; MOMONOKI, T.; WHALLON, J. H. Acetylcholine as a Signaling System to Environmental Stimuli in Plants: I. Contribution of Ca²⁺ in heat-stressed *Zea mays* seedlings. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 65, n. 2, p. 260-268, 1996.

PASALA, R. K.; MINHAS, P. S.; WAKCHAURE, G. C. Plant bioregulators: a stress mitigation strategy for resilient agriculture. In: **Abiotic Stress Management for Resilient Agriculture**, p. 235-259, Springer, Singapore, 2017.

QIN, C. et al. Acetylcholine mechanism of action to enhance tolerance to salt stress in *Nicotiana benthamiana*. **Photosynthetica**, v. 57, n. 2, 2019.

ROCHA, B.G.R. et al. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 376-384, 2018.

SHEN, H. et al. Characteristics of leaf photosynthesis and simulated individual carbon budget in *Primula nutans* under contrasting light and temperature conditions. **Journal of Plant Research**, v. 121, n. 2, p. 191–200, 2008.

TEJO, Débora Perdigão; FERNANDES, Carlos Henrique dos Santos; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, p. 1-9, 2019.

VITAL, R.G. **Mecanismos da tolerância ao déficit hídrico e à alta temperatura em cultivares de soja**. 2019. 90f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Câmpus Rio Verde. Goiás, 2019.

XIMENES, L. F.; COÊLHO, J. D. Agropecuária: Soja. Fortaleza: BNB, ano 8, n. 287, maio 2023

ZULFIQAR, F.; ASHRAF, M. Bioregulators: unlocking their potential role in regulating the plant's oxidative defense system. **Plant Molecular Biology**, v. 105, n. 1, p. 11-41, 2021.

TABELAS E FIGURAS

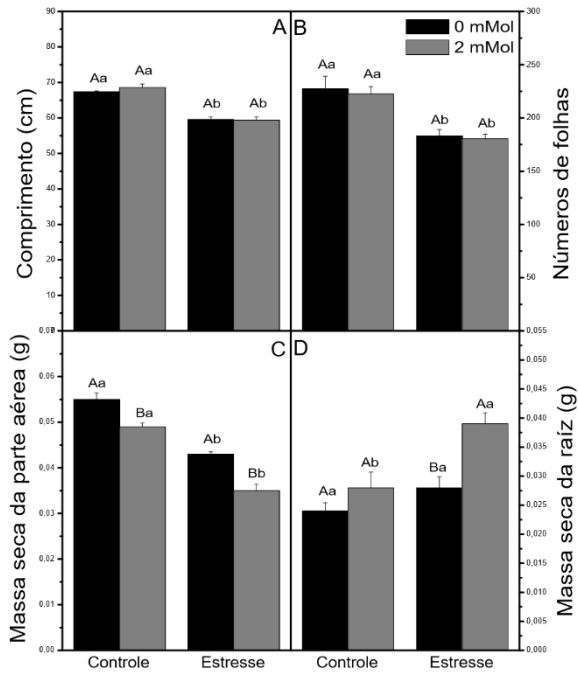


Figura 1. Efeitos de diferentes concentrações de Acetilcolina (mMol) no comprimento (cm), número de folhas (B), massa seca da raiz (g) (C) e massa seca da parte aérea (g) (D), em plantas de soja submetidas à condição de estresse (deficiência hídrica e alta temperatura). Onde que letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa entre as doses de ACh na mesma condição e letras minúsculas diferentes representam diferença significativa entre as condições dentro da mesma dose pelo teste de Tukey ($P < 0.05$).

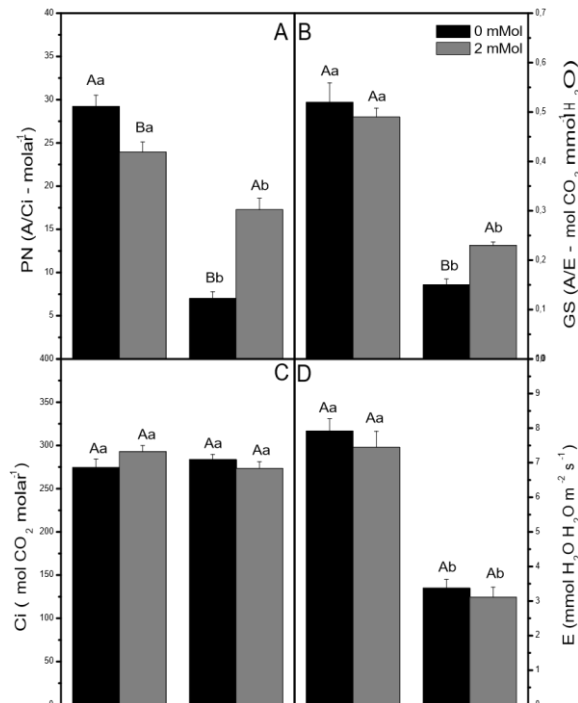


Figura 2. Efeitos de diferentes concentrações de Acetilcolina (mMol) na taxa de assimilação de CO_2 (PN) (A), na condutância estomática (GS) (B), na concentração interna de CO_2 (Ci) (C) e na transpiração (E) (D), em plantas de soja submetidas a condição de controle e condição de estresse (déficit hídrico + alta temperatura) no 6º dia de leitura. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa entre as doses na mesma condição. Letras minúsculas diferentes representam diferença significativa entre as condições dentro da mesma dose pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

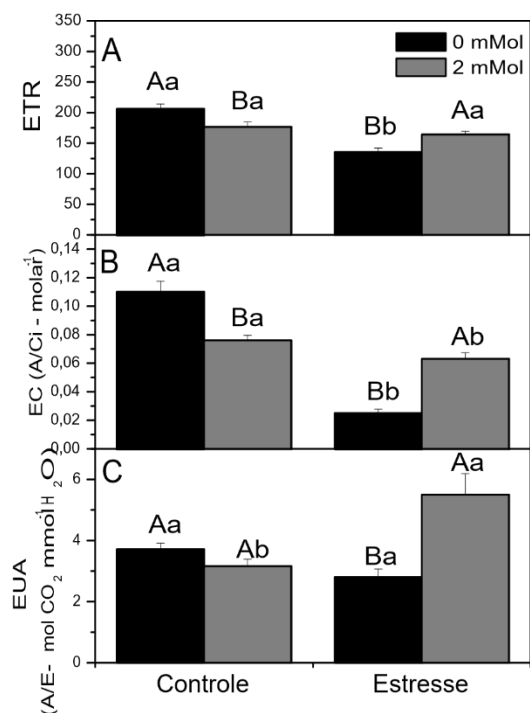


Figura 3. Efeitos de diferentes concentrações de Acetilcolina (mMol) na taxa de transporte de elétrons (ETR) (A), na eficiência do uso da água (EUA) (B) e na eficiência da carboxilização (EC), em plantas de soja submetidas a condição de controle e condição de estresse (déficit hídrico + alta temperatura) no 6º dia de leitura. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa entre as doses na mesma condição. Letras minúsculas diferentes representam diferença significativa entre as condições dentro da mesma dose pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).