

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

TEOR DE AMIDO EM PLANTAS JOVENS DE GIRASSOL SOB APLICAÇÃO DE SILÍCIO COMO MITIGADOR DA TOXICIDADE DE AMÔNIO

Laércio Novato Ribeiro Filho, Marcos Ferreira Almeida, Milton Carriço Sá, Vinícius Alves Rodrigues, Raul Antônio Araújo do Bonfim, Leandro Dias da Silva, Paulo Araquém Ramos Cairo

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Estrada do Bem-Querer, km 4, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil, CEP 45031-900.
laelcionovato@gmail.com, marcosagro2014@gmail.com, milton.carrico@hotmail.com, vinicius14cnn@gmail.com, raularaujoraul@gmail.com, leodias5@yahoo.com.br, pcairo@uol.com.br

Resumo

Helianthus annuus é cultivado em todos os lugares do mundo e tem muita importância para algumas regiões do planeta. O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais requeridos pelas culturas e absorvido nas formas iônicas nitrato e amônio. Assim, o N em altas concentrações, pode interferir negativamente no desenvolvimento das plantas. O silício (Si) é um mineral não essencial benéfico e pode conferir resistência às plantas a estresses abióticos. Objetivou-se avaliar os efeitos de aplicações de Si exógeno, incorporado ao substrato e via pulverização foliar sobre o teor de amido em plantas jovens de girassol submetidas a diferentes concentrações de amônio. O experimento foi realizado no campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) em Vitória da Conquista-BA, em delineamento inteiramente ao acaso, em esquema fatorial (4×3) +1, sendo quatro concentrações de amônio e três métodos de aplicações de silício mais a testemunha (sem Si). A concentração de 15 mM obteve maior teor de amido quando comparados os métodos de aplicação de Si. Além disso, a aplicação de Si incorporado ao substrato favoreceu maior teor de amido nas plantas jovens de girassol.

Palavras-chave: carboidrato de reserva. Estresse abiótico. *Helianthus annuus*. nitrogênio.

Área do Conhecimento: Agronomia.

Introdução

Helianthus annuus, o girassol, é cultivado em todos os lugares do mundo e tem muita importância para algumas regiões do planeta (HOSNI *et al.*, 2022), por isso tem sido implantada em todas as regiões brasileiras devido a sua alta versatilidade e adaptabilidade a climas e condições de desenvolvimento (SANTOS *et al.*, 2019). É uma das espécies que mais contém óleo vegetal essencial em todo o planeta (USDA, 2023). A safra 2022/2023 revelou um grande avanço da cultura no território brasileiro, pois, em relação à safra 2021/2022, evidenciou aumento tanto em área, produtividade e produção com cerca de 20,5%, 44,5%, e 74,2%, respectivamente (CONAB, 2023).

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais requeridos pelas culturas por ser constituinte de algumas estruturas como proteínas, ácidos nucleicos, fitocromos e clorofila (MÁLINAŠ *et al.*, 2022). As formas iônicas nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) são as principais fontes de N inorgânico absorvido pelas plantas (MARSCHNER, 2012). Para o NH_4^+ ser incorporado a compostos orgânicos oferece menor custo de energia em relação ao NO_3^- (MARSCHNER, 2012), o que pode favorecer o aumento da produtividade das culturas. Contudo, essa vantagem é revertida pela toxicidade do NH_4^+ , que pode causar déficit do crescimento da raiz e da parte aérea, associada à clorose foliar, além de provocar desequilíbrios iônicos, perturbação dos gradientes de pH por meio das membranas celulares, e estresse oxidativo (LIU; VON WIRÉN, 2017).

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre (DESHMUKH *et al.*, 2017) que, embora não seja um elemento essencial, é considerado benéfico para a maioria das espécies vegetais (LÓPEZ-PÉREZ *et al.*, 2018). O Si é absorvido pelas raízes na forma de ácido monossilícico que após ser translocado para a parte aérea, através do fluxo transpiratório, chega aos tecidos foliares

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

e é desidratado, polimerizando-se em fitólitos e, finalmente, depositado nas paredes celulares ou abaixo da cutícula, (MANDLIK *et al.*, 2020). Isso aumenta a rigidez dos tecidos foliares e melhora a arquitetura da parte aérea da planta aumentando a interceptação da radiação solar e a taxa de fotossíntese, o que promove a síntese de metabólitos benéficos (AHANGER *et al.*, 2020).

O amido é uma das principais formas de reservas de carboidratos e açúcares nas plantas, sendo composto por monômeros de glicose (ZEEMAN *et al.*, 2010), muito presente em raízes, caules, tubérculos, sementes e folhas. Como resultado da fotossíntese, o amido é sintetizado principalmente a partir do CO₂, fixado no ciclo de Calvin, sendo posteriormente organizado nos cloroplastos e compreendido como temporário, pois é sintetizado e hidrolisado dentro de um intervalo curto de tempo para suprir demandas da planta (THALMANN & SANTELIA, 2017).

Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos de aplicações de Si exógeno, incorporado ao substrato e via pulverização foliar sobre o teor de amido em plantas jovens de girassol submetidas a diferentes concentrações de NH₄⁺.

Metodologia

O experimento foi conduzido no *campus* da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) em Vitória da Conquista – BA (14°53'08" sul, 40°48'02" oeste, altitude 881 m). Foi realizado em delineamento inteiramente casualizado-DIC, em esquema fatorial (4×3)+1, com quatro concentrações de NH₄⁺ (7,5; 15,0; 22,5 e 30,0 mM) e três métodos de aplicações de solução de Si 2 mM (via substrato; via pulverização foliar; e combinado substrato + pulverização) além da testemunha, com cinco repetições, sendo uma planta por vaso. As concentrações de NH₄⁺ basearam-se no critério descrito conforme Leal *et al.* (2021) – os quais seguiram Hoagland e Arnon (1952), que propuseram o fornecimento de 15 mM de N na forma de NO₃⁻. Nesta pesquisa foi estudado o efeito de concentrações de N somente na forma NH₄⁺. As quatro concentrações de NH₄⁺ consideram a concentração 15 mM de NH₄⁺ como “controle”, acrescida de uma concentração abaixo (7,5 mM) e duas acima (22,5 e 30,0 mM).

Foram semeadas três sementes em cada vaso com capacidade de 15 L preenchidas com areia previamente tratada, com lavagem repetitiva em água corrente, esterilizada com solução de H₂SO₄ 0,1 M, e novamente, lavada com água corrente. Aos 15 dias após emergência (DAE) realizou-se o desbaste das plantas permanecendo uma por vaso. Logo após, foi fornecida uma solução nutritiva (Hoagland & Arnon, 1952), que possuía a seguinte composição: N (variando a cada tratamento em 7,5 mM, 15,0 mM, 22,5 mM e 30,0 mM), Ca (5 mM), Mg (2 mM), P (1 mM), K (16 mM), S (2 mM), Cl (25 mM), B (46,24 µM), Fe (89,53 µM), Mn (9,1 µM), Zn (0,76 µM), Cu (0,31 µM) e Mo (0,1 µM), com 25% da força iônica, aumentando-se gradativamente para 50%, 75% e 100% semanalmente, até aos 28 dias.

Para os tratamentos com Si exógeno, utilizou-se o produto comercial Sifol Powder (Copasil Química Industrial Ltda.), fonte reativa de nanosílica de H₄SiO₄ (ácido silícico), altamente solúvel, e que é compatível com outros insumos, inclusive com a solução nutritiva. O produto foi preparado na concentração de 2 mM, e sua aplicação foi realizada a cada sete dias após o início do fornecimento da solução de Hoagland.

A quantificação do teor de amido foi realizada conforme a Instrução Normativa nº 20 (Brasil, 1999). Amostras de 0,125 g de folhas secas previamente desengorduradas em hexano foram adicionadas a 5 mL de H₂SO₄ (0,5 M) e aquecida a 100 °C, por 1 hora. Após este período, foi adicionada água, completando o volume para 250 mL. Em seguida, foram coletados 1 mL dessa solução, para resfriamento a 0 °C, juntamente com 5 mL de solução de antrona (0,005 M). Após esse procedimento, a mistura foi aquecida a 100 °C, por 11 min, seguida de resfriamento à temperatura ambiente. As leituras espectrofotométricas (Bioespectro SP-22) foram feitas a 620 nm.

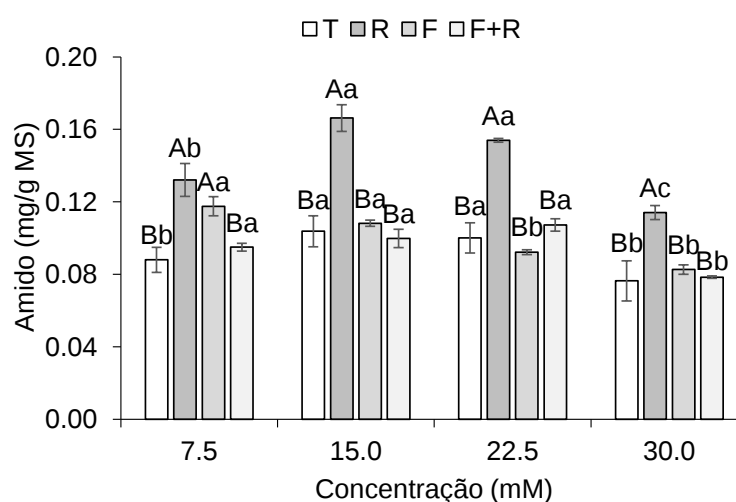
Os dados foram avaliados quanto à homogeneidade, pelo teste de Cochran, e quanto à distribuição normal dos resíduos, pelo teste de Lilliefors. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância e comparações múltiplas de médias, pelo teste de Scott-Knott (p< 0,05) empregando-se o programa estatístico SISVAR 5.4 (FERREIRA, 2011).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Resultados

Observa-se que a aplicação de Si via radicular obteve maiores valores médios em todas as concentrações de NH_4^+ (Figura 1). A concentração de 15 mM foi a que revelou maior aumento no teor de amido quando comparados os métodos de aplicação de Si (Figura 1). Além disso, a concentração de 30 mM demonstrou menor teor de amido em relação às demais concentrações de NH_4^+ (Figura 1).

Figura 1 – Teores de amido em plantas jovens de girassol submetidas diferentes concentrações de amônio e diferentes métodos de aplicação de Si (T, testemunha; R, via radicular; F, pulverização foliar; e F+R, pulverização foliar + via radicular). As letras maiúsculas comparam os métodos testemunha (sem Si) e de aplicação de Si em cada concentração de amônio, enquanto as letras minúsculas comparam as concentrações de amônio em cada método de aplicação de Si ($n = 5$) usando o teste de *Scott-Knott* ($p < 0,05$).



Fonte: o próprio autor, 2023.

Discussão

O amido atua no fornecimento de glicose quando a fotossíntese é comprometida (STITT; ZEEMAN, 2012) atuando como reserva. A fotossíntese é frequentemente prejudicada por estresses, então o carbono do amido estocado é redirecionado para evitar distúrbios nos processos fisiológicos da planta (HUMMEL et al., 2010) e para produzir osmoprotetores (ZANELLA et al., 2016), sequestradores de radicais livres (KEUNEN et al., 2013) e sinais para as respostas ao estresse (ROLLAND, et al., 2006). Isso pode explicar os baixos teores de amido, principalmente, para a concentração de 30 mM, revelando toxicidade de amônio. Além disso, o excesso de amônio pode estar relacionado ao amido digerido para glicose sendo realocado para os órgãos das plantas.

Por outro lado, os maiores valores médios para as aplicações via radicular revelam a eficácia do Si em mitigar os efeitos tóxicos de NH_4^+ , não sendo necessário a digestão do amido em glicose para ser realocado e agir na atenuação dos efeitos tóxicos do amônio, sendo assim armazenado. Porém, as plantas podem acumular amido em resposta ao estresse a depender da severidade, e do estágio de desenvolvimento que a planta esteja (THALMANN; SANTELIA, 2017).

Conclusão

A concentração de 15 mM obteve maior teor de amido quando comparados os métodos de aplicação de Si. Além disso, a aplicação de silício via radicular no substrato garantiu maior teor de amido nas plantas jovens de girassol.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Referências

- AHANGER, M.A.; BHAT, J.A.; SIDDIQUI, M.H. RINKLEBE, J.; AHMAD, P. Integration of silicon and secondary metabolites in plants: a significant association in stress tolerance. **J. Exp. Bot.**, v. 71, n. 21, p. 6758–6774, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº 20, de 21 de jul. de 1999.** Oficializa os métodos analíticos físicoquímicos, para controle de produtos cárneos e seus ingredientes – sal e salmoura. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 27 jul. 1999.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, safra 2022/23 nono levantamento, v.10, n.9, 2023.
- DESHMUKH, R. K.; MA, J. F.; BÉLANGER, R. R. Role of silicon in plants. **Front. Plant Sci.**, v. 8, p. 1858–1860, 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011
- HOSNI, T.; ABBES, Z.; ABAZA, L.; MEDIMAGH, S.; BEN SALAH, H.; KHARRAT, M. Biochemical Characterization of Seed Oil of Tunisian Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Accessions with Special Reference to Its Fatty Acid Composition and Oil Content. **J. Food Quality**, v.2022, p. 8, 2022.
- HUMMEL, I.; PANTIN, F.; SULPICE, R.; PIQUES, M.; ROLLAND, G.; DAUZAT, M.; CHRISTOPHE, A.; PERVENT, M.; BOUTEILLÉ, M.; STITT, M.; GIBON, Y.; MULLER, B. *Arabidopsis* plants acclimate to water deficit at low cost through changes in carbon use: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. **Plant Physiol.**, v.154, n.1, p.357–372, 2010.
- KEUNEN, E. L. S.; PESHEV, D.; VANGRONSVELD, J.; VAN DEN ENDE, W. I. M.; CUYPERS, A. N. N. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. **Plant, Cell Environ.**, v.36, n.7, p.1242–1255, 2013.
- LEAL, A. J. F.; BARRETO, R. F.; PRADO, R. M.; SILVA JUNIOR, G. B.; BARRETO, C. F.; SANTOS, L. C. N.; CAMPOS, C. N. S. Silicon attenuates abiotic stress caused by ammonium toxicity but not nitrogen deficiency in cotton plants. **J. Agron. Crop Sci.**, v.207, n.4, p.774–781, 2021.
- LIU, Y.; VON WIRÉN, N. Ammonium as a signal for physiological and morphological responses in plants. **J. Exp. Bot.**, v. 68, n. 10, p. 2581–2592, 2017.
- LÓPEZ-PÉREZ, M. C.; PÉREZ-LABRADA, F.; RAMÍREZ-PÉREZ, L. J.; JUÁREZ-MALDONADO, A.; MORALES-DÍAZ, A. B.; GONZÁLEZ-MORALES, S.; GARCÍA-DÁVILA, L. R.; GARCÍA-MATA, J.; BENAVIDES-MENDOZA, A. Dynamic modeling of silicon bioavailability, uptake, transport, and accumulation: applicability in improving the nutritional quality of tomato. **Front. Plant Sci.**, v. 9, p. 647–657, 2018.
- MĂLINAȘ, A.; VIDICAN, R.; ROTAR, I.; MĂLINAȘ, C.; MOLDOVAN, C. M.; PROOROCU, M. Current status and future prospective for nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plants**, v. 11, n. 2, p. 217, 2022.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

MANDLIK, M.; THAKRAL, V.; RATURI, G.; SHINDE, S.; NIKOLIĆ, M.; TRIPATHI, D.K.; SONAH, H.; DESHMUKH, R. Significance of silicon uptake, transport, and deposition in plants. **J. Exp. Bot.**, v. 79, p. 6703–6718, 2020.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3^a ed. London, Academic Press, p. 672, 2012.

ROLLAND, F.; BAENA-GONZALEZ, E.; SHEEN, J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v.57, p.675–709, 2006.

SANTOS, J. M. S.; PEIXOTO, C. P.; SILVA, M. R.; ALMEIDA, A. T.; CASTRO, A. M. P. B. Agronomic and productive characteristics of sunflower intercropped with forage in a crop-livestock integration system. **Rev. Caatinga**, v.32, n.2, p.514–525, 2019.

STITT, M.; ZEEMAN, S. C.; Starch turnover: pathways, regulation and role in growth. **Curr. Opin. Plant Biol.**, v.15, n.3, p.282–292, 2012.

THALMANN, M.; SANTELIA, D. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. **New Phytol.**, v. 214, n.1, p. 943-951, 2017.

USDA - **United States Department of Agriculture**. Oilseeds: World Market and Trades; Washington, DC, USA, 2023.

ZANELLA, M.; BORGHI, G. L.; PIRONE, C.; THALMANN, M.; PAZMINO, D.; COSTA, A.; SANTELIA, D.; TROST, P.; SPARLA, F. β -amylase 1 (BAM1) degrades transitory starch to sustain proline biosynthesis during drought stress. **J. Exp. Bot.**, v.67, n.6, p.1819–1826, 2016.

ZEEMAN, S.C.; KOOMANN, J.; SMITH, A.M. Starch: its metabolism, evolution, and biotechnological modification in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 61, p. 209-234, 2010.

Agradecimentos

À CAPES e FAPESB pelas bolsas concedidas aos autores. À UESB pela estrutura e a empresa Heliagro – Science and Crops® pelo fornecimento das sementes.