

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
relatório pós-doc será
disponibilizado somente a partir de
31/08/2026.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Gilmar da Silveira Sousa Junior

**EFEITO DA COMBINAÇÃO DE ESTRESSES ABIÓTICOS EM ÍNDICES
FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE PLANTAS DE MICRO TOMATEIRO**

Relatórios de Pós-Doutorado
realizado na Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal

Supervisora: Profa. Dra.
Priscila Lupino Gratão

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - 150129/2022-0

Jaboticabal
2024

Resumo

As mudanças climáticas aumentam a incidência de estresses abióticos, como seca, salinidade e contaminação por metais pesados, afetando negativamente a produtividade das lavouras. Estresses combinados impactam as funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (ERO) e à ativação de sistemas antioxidantes. Este estudo tem como objetivo identificar as alterações fisiológicas e bioquímicas em folhas de microtomateiro sob diferentes estresses. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em fatorial 3x2, com um tratamento adicional de controle. Os fatores representados nesse delineamento foram três condições estressantes (estresse hídrico, salinidade e cádmio) e duas intensidades de estresse (moderada e severa). Após 15 dias de germinação em bandejas com substrato e vermiculita, as mudas foram transplantadas para vasos Leonard com solução nutritiva, e os tratamentos começaram 10 dias após a aclimação. As plantas foram expostas aos estresses em períodos de 10, 30 e 60 dias, e, ao final de cada período, amostras foram coletadas para análises de produção de biomassa, pigmentos, peroxidação lipídica e as enzimas antioxidantes, como SOD, CAT, APX, GSH-PX e GR. A exposição aos estresses abióticos reduziu a massa seca, alterou os pigmentos fotossintéticos e aumentou a produção de H₂O₂ e malondialdeído (MDA). A ativação das enzimas antioxidantes demonstra uma resposta adaptativa das plantas, ressaltando a importância de entender essas interações para desenvolver estratégias de manejo que aumentem a tolerância das culturas.

Palavras-chave: antioxidante, defesa enzimática, superóxido dismutase, catalase.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão exacerbando a incidência da maioria dos estresses abióticos nas lavouras. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), formado em setembro de 2013, relata que a seca vai abranger grandes regiões do mundo (Ferreira, 2019). Além disso, o nível inadequado do lençol freático é uma problemática assustadora para o produtor.

Na natureza, o estresse geralmente não vem de forma isolada e muitos estresses agem de forma sinérgica. Algumas pesquisas demonstraram que as respostas das plantas aos estresses abióticos combinados são específicas e não podem ser explicadas unicamente pelo estudo das respostas desenvolvidas a um único estresse (Rawat et al., 2021). Com isso alguns autores tem destacando a importância de estudar estresses abióticos combinados, em vez de estudá-los separadamente (Lawas et al. 2018 , Zandalinas et al. 2018, García-Martí et al. 2019; Rawat et al. 2021).

A limitação causada pelos estresses abióticos na produtividade das culturas, principalmente devido a modificações nas funções fisiológicas da plantas, são demonstradas por vários autores, entre estes estresses, a escassez hídrica, poluição por metais pesados e o estresse salino são os mais danosos (Lawlor, 2002; Rellán-Álvarez et al. 2006; Jaleel et Al. 2007; Turkyilmaz et al. 2012; Hayat et al. 2014; Gratão et al. 2015; Akram et al. 2016; Alves et al. 2019; Chiconato et al., 2020;).

As condições da deficiência hídrica estão relacionadas à escassez de água e ao acesso de água à planta (Jaleel et al. 2007), causando efeitos subversivos na cultura (Song et al. 2012). No mundo, o déficit hídrico atua como um fator primário na redução da produção agrícola mais do que o efeito combinado de todos os patógenos que afetam a produção agrícola (Gupta et al. 2020). Precipitações infrequentes e má irrigação nas áreas geralmente levam ao déficit hídrico porque há falta de água disponível (Song et al. 2012). As plantas frequentemente sofrem os efeitos do déficit hídrico quando a água do solo se torna indisponível, e com isso, as taxas de transpiração e evaporação são muito altas (Sakcali et al., 2008). Na maior parte das vezes, os efeitos comuns da escassez de água no crescimento das plantas são bem conhecidos, mas os

conhecimentos sobre as mudanças bioquímicas que ocorrem ainda são incipientes (Shao et al. 2008).

Assim, como a deficiência hídrica, a salinidade do solo é um problema mundial que ameaça o crescimento e o rendimento das safras, impedindo o desenvolvimento sustentável da agricultura moderna. Mais de um terço das terras irrigadas do mundo são afetadas pela salinização (Pedrotti et al. 2015). O estresse salino inibe o acúmulo de biomassa vegetal, atrasa o desenvolvimento da planta e reduz a atividade fotoquímica. García-Sánchez et al., (2020) observaram que existem três mecanismos principais onde a salinidade pode afetar as plantas, incluindo a indução de desequilíbrio osmótico, a interrupção da homeostase iônica e o aparecimento de estresse oxidativo. O estresse salino pode diminuir o potencial osmótico, o que resulta no fechamento estomático das plantas, o que consequentemente limita a absorção de água (García-Sánchez et al. 2020). Sendo assim, torna-se necessário a compreensão à tolerância ao estresse salino nas lavouras para uma segurança alimentar global. Para atingir esse objetivo, é necessário que novas pesquisas se atentem como a alta salinidade afeta os aspectos fisiológicos e bioquímicos, das plantas.

Por outro lado, a poluição causada pelo cádmio (Cd) é também considerada um dos problemas ambientais de maior severidade (Lux et al. 2011). As ações antropogênicas aumentaram de maneira drástica a contaminação por Cd. Nas últimas cinco décadas, o lançamento mundial de Cd estendeu-se gradativamente (Costa et al. 2012). O Cd afeta os aspectos morfológicos, bioquímicos e fisiológicos do desenvolvimento das plantas, inibindo a fotossíntese e a respiração, reduzindo a absorção de água e nutrientes, alterando a expressão de genes e proteínas, induzindo e inibindo enzimas, aumentando o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ERO) e aumentando a peroxidação lipídica (Gratão et al. 2015). Este metal pesado pode se acumular em organismos e mesmo baixas concentrações representam um enorme risco cancerígeno (Alves et al, 2019). Normalmente, a maioria dos metais ocorre no solo em formas que não estão prontamente disponíveis para absorção pela planta. Na solução do solo, o Cd ocorre predominantemente como Cd^{2+} e também como íons complexos (CdCl^+ , CdOH^+ , CdHCO^{3+} , CdCl_4 , Cd(OH)_3 e Cd(OH)_4 , orgânico complexos e quelatos de Cd (Verbruggen et al. 2009). O Cd afeta o estado nutricional da planta provavelmente por inibir os transportadores de outros elementos na parte aérea da planta (Sandalio et al., 2001), ou por inibir as atividades de enzimas relacionadas ao metabolismo dos elementos (Sanchez-Pardo et al. 2013). Além disso, o Cd causa um

desequilíbrio no redox da célula controlada, desencadeando várias vias bioquímicas, incluindo as ERO, causando estresse oxidativo e, conseqüentemente, indução de sistemas antioxidantes (Gratão et al. 2015; Iannone et al. 2015).

Enquanto as plantas estiverem sendo cultivadas em condições ambientais variáveis, elas vão estar expostas a diferentes tipos de estresses abióticos. Alguns autores demonstraram que a resposta da planta aos estresses abióticos combinados difere significativamente quando comparados com o estresse individual (Atkinson, Urwin 2012, Jin et al. 2016). Pellinen et al., (2002) relataram que as mudanças ambientais, acarretam as problemáticas em relação os estresses causados pelo déficit hídrico, salinidade e contaminação por metais pesados e esses são uma fonte de estresse ao qual as plantas costumam responder pela produção excessiva de ERO. Segundo Jin et al., (2016) o dano à membrana causado pelo estresse combinado é mais grave do que o estresse único, e esse dano pode ser mensurado pelo aumento do conteúdo de malondialdeído (MDA) durante o estresse combinado. He et al., (2018) demonstram que não somente o conteúdo de MDA é aumentado, mas também outras respostas são induzidas por estresses abióticos combinados, como o estresse osmótico e desnaturação de proteínas.

À medida que o estresse se torna mais intenso/severo, tanto as reações fisiológicas quanto as relações bioquímicas diminuem como resultado da redução das atividades enzimáticas (Ghannoum, 2009). Diferentes tipos e severidades de estresse abiótico e o período de exposição ao estresse abiótico têm sido estudados para a modulação da homeostase interna da planta (Alkhsabab et al, 2018). As ERO, particularmente H_2O_2 , são moléculas sinalizadoras que iniciam a sinalização intracelular e sistêmica ou promovem o estresse oxidativo e desencadeiam a sinalização associada à morte celular (Vranová et al. 2002).

Os organismos desenvolveram sistemas enzimáticos e não enzimáticos para atuar como mecanismos de defesa contra os efeitos das ERO para manter o equilíbrio entre oxidantes e antioxidantes para o funcionamento eficiente das células. O sistema não enzimático de defesa de ERO inclui carotenoides, GB e Pro enquanto o sistema enzimático inclui superóxido dismutases, peroxidases, catalases e enzimas que oxidam ou reduzem o ascorbato, como a glutathione redutase (Dias et. al. 2014; Chiconato et. al 2019; Checchio et al., 2021), ambos os sistemas cooperam para formar um mecanismo complementar que controla as concentrações de ERO no organismo.

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é a segunda cultura vegetal com maior produção global depois da batata, com uma produção de 164 milhões de toneladas (Conab, 2020). O tomate é consumido em todo o mundo, tanto para consumo in natura quanto para processamento industrial. Vários estudos relatam os efeitos benéficos do tomate na alimentação humana (Adalid et al. 2010; Lin et al. 2014). O tomate é amplamente adotado como planta modelo experimental em diferentes campos de pesquisa de plantas, especialmente para aquelas características para as quais *Arabidopsis* não é uma opção adequada (Carvalho et al. 2011).

A cultivar Micro Tom (MT) foi originalmente criada para uso como planta ornamental (Scott, Harbaugh. 1989), que simplificou o cultivo de tomates em pequenos espaços e se estabeleceu como um dos modelos mais importantes em genética e estudos de fisiologia de plantas cultivadas (Campos et al. 2010). O fenótipo de Micro-Tom é o resultado de duas mutações recessivas chaves: anão (d) e miniatura (mnt) (Meissner et al. 1997). Essas mutações provocaram redução no tamanho e seu ciclo se completa entre 70 e 90 dias, proporcionando estudar em um período mais curto o ciclo completo da vida, incluindo floração e frutos.

Embora o tomate seja uma cultura de clima temperado, a cultura está sendo cultivada em diversas zonas climáticas, o que torna o cultivo do tomate mais desafiador (Chaudhary et al. 2019). Frequentemente, a produtividade e o rendimento das colheitas são severamente afetados pelas mudanças nas condições ambientais. Essas mudanças ambientais ocasionam áreas escassas para a agricultura, submetendo o produtor a buscar novas regiões de plantio, e por muitas vezes este se depara com áreas em regiões contaminadas e inóspitas para sua produção. Tendo em vista esta problemática, o impacto de pesquisas que possam gerar dados quanto à resposta das plantas aos estresses é extremamente importante frente à possibilidade do uso de plantas que sejam tolerantes a estes estressores em áreas as quais não são utilizadas na atividade agrícola, impedindo o conflito entre a demanda pela produção e a disponibilidade de áreas agricultáveis.

Ainda que as plantas tentem a se adaptar aos estresses, os mecanismos de tolerância não são claros (Reddy et al. 2004; Kishor et al. 2005). A adaptação aos estresses abióticos é intrincada devido à complexidade das interações entre os fatores de estresse e as respostas no crescimento e evolução das plantas em níveis fisiológicos e bioquímicos (Ashraf, Harris. 2004). O principal objetivo do melhoramento de safras é

alcançar um alto rendimento da safra sob estresse (Blum, 1996), ou que pelo menos este seja satisfatório.

O efeito da combinação de estresse abióticos induz mecanismos diferentes de resposta, como a produção de ERO, peroxidação lipídica, desnaturação de proteínas e defesa antioxidante enzimática e não enzimática diferindo do efeito de cada estresse individual. Dessa forma, este estudo tem como objetivo identificar alterações nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos, em folhas de micro tomateiro sob diferentes condições, intensidade e período de exposição de estresses abióticos.

5. CONCLUSÃO

A exposição a diferentes condições e intensidades de estresse abiótico impactou significativamente os parâmetros fisiológicos, bioquímicos e nutricionais das folhas e frutos de microtomateiros, evidenciando a complexidade das respostas das plantas a estresses ambientais. A redução na massa seca, as alterações nos teores de pigmentos fotossintéticos, o aumento da produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e malondialdeído (MDA), e a ativação das enzimas antioxidantes, como SOD, CAT, APX, GSH-PX e GR, refletem a resposta adaptativa das plantas frente a condições adversas. Esses resultados ressaltam a importância de compreender as interações entre os diferentes estresses abióticos e suas consequências para o crescimento e desenvolvimento das plantas, contribuindo para estratégias de manejo que visem a resistência das culturas em cenários de estresse.

6. REFERÊNCIAS

- Adalid, AM, Roselló, S., Nuez, F. (2010). Avaliação e seleção de acessos de tomate (*Solanum* seção *Lycopersicon*) para teor de licopeno, β -caroteno e ácido ascórbico. *Jornal de composição e análise de alimentos*, 23 (6), 613-618.
- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Akram, MS, Shahid, M., Tariq, M., Azeem, M., Javed, MT, Saleem, S., Riaz, S. (2016). Decifrando *Staphylococcus sciuri* SAT-17 mediados por mecanismos de defesa anti-oxidativos e modulações de crescimento em milho estressado com sal (*Zea mays* L.). *Fronteiras em microbiologia*, 7, 867.
- Alkhsabah, IA, Alsharafa, KY, Kalaji, HM. (2018). Effects of Abiotic Factors on Internal Homeostasis of *Mentha Spicata* Leaves. *Appl Ecol Environ Res* 16 (3), 2537-2564.
- Alves, LR, Rossatto, DR, Rossi, ML, Martinelli, AP, Gratão, PL (2020). O selênio melhora a fotossíntese e induz mudanças ultraestruturais, mas não alivia os danos do estresse por cádmio em tomateiros. *Protoplasma*, 257 (2), 597-605.
- Arthur, J. R. (2003). The glutathione peroxidases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 57(13-14), 1825-1835.
- Ashraf, MPJC e Harris, PJC (2004). Potenciais indicadores bioquímicos de tolerância à salinidade em plantas. *Ciência de plantas*, 166 (1), 3-16.
- Atkinson, NJ, Urwin, PE (2012). A interação dos estresses bióticos e abióticos das plantas: dos genes ao campo. *Journal of experimental botany*, 63 (10), 3523-3543.

Blum, A. (1996). Respostas das culturas à seca e a interpretação da adaptação. Em *tolerância à seca em plantas superiores: análise genética, fisiológica e biológica molecular* (pp. 57-70). Springer, Dordrecht.

Campos, ML, Carvalho, RF, Benedito, VA, Peres, LEP (2010). Pequeno e notável: o sistema de modelos Micro-Tom como uma ferramenta para descobrir novas funções e interações hormonais. *Sinalização e comportamento de plantas*, 5 (3), 267-270.

Carvalho, R. F., Campos, M. L., Pino, L. E., Crestana, S. L., Zsögön, A., Lima, J. E., ... Peres, L. E. (2011). Convergence of developmental mutants into a single tomato model system: 'Micro-Tom' as an effective toolkit for plant development research. *Plant Methods*, 7(1), 1-14.

Chaudhary, J., Khatrri, P., Singla, P., Kumawat, S., Kumari, A., Vikram, A., Deshmukh, R. (2019). Avanços nas abordagens ômicas para tolerância ao estresse abiótico em tomate. *Biology*, 8 (4), 90.

Checchio, M. V., de Cássia Alves, R., de Oliveira, K. R., Moro, G. V., Santos, D. M. M. D., Gratão, P. L. (2021). Enhancement of salt tolerance in corn using *Azospirillum* brasilense: an approach on antioxidant systems. *Journal of Plant Research*, 1-11.

Chiconato, DA, Junior, GDSS, dos Santos, DMM, Munns, R. (2019). Adaptação de plantas de cana-de-açúcar ao solo salino. *Botânica Ambiental e Experimental*, 162, 201-211.

CONAB. Produção de tomate tem alto custo no País, aponta estudo da Conab. Disponível em: < <https://alavoura.com.br/colunas/panorama/producao-de-tomate-tem-alto-custo-no-pais-aponta-estudo-da-conab/>>2019. Acesso em: 22 de outubro de 2020.

Costa, E. T., Guilherme, L. R. G., de Melo, É. E. C., Ribeiro, B. T., Euzelina dos Santos, B. I., da Costa Severiano, E., ...Hale, B. A. (2012). Assessing the tolerance of castor bean to Cd and Pb for phytoremediation purposes. *Biological Trace Element Research*, 145(1), 93-100.

Dias MC, Figueiredo P, Duarte IF, Gil AM, Santos C (2014) Diferentes respostas de folhas novas e expandidas de alface ao fungicida Mancozeb: fluorescência da clorofila, peroxidação lipídica, pigmentos e teor de prolina. *Photosynthetica* 52 (1): 148-151.

Ferreira, A. (2019). Localização cromossômica de retrotransposons do tipo rex em tambaqui (*Colossoma macropomum* cuvier, 1818) casos aos cenários propostos pelo painel intergovernamental sobre mudanças climáticas-ipcc.

Gao, Y., et al. (2024). "Oxidative stress in plants: Insights into mechanisms and management." *Journal of Plant Physiology*, 310, 153-168.

García-Martí, M., Piñero, M. C., García-Sanchez, F., Mestre, T. C., López-Delacalle, M., Martínez, V., Rivero, R. M. (2019). Amelioration of the oxidative stress generated by simple or combined abiotic stress through the K⁺ and Ca²⁺ supplementation in tomato plants. *Antioxidants*, 8(4), 81.

García-Sánchez, A., Miranda-Díaz, A. G., Cardona-Muñoz, E. G. (2020). The role of oxidative stress in physiopathology and pharmacological treatment with pro-and antioxidant properties in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020.

Ghannoum, O. (2009). C4 photosynthesis and water stress. *Annals of botany*, 103(4), 635-644.

Gratão, P. L., Monteiro, C. C., Tezotto, T., Carvalho, R. F., Alves, L. R., Peters, L. P., Azevedo, R. A. (2015). Cadmium stress antioxidant responses and root-to-shoot communication in grafted tomato plants. *Biometals*, 28(5), 803-816.

Gupta, A., Rico-Medina, A., Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368(6488), 266-269.

Hayat, S., Khalique, G., Wani, AS, Alyemeni, MN, Ahmad, A. (2014). Proteção do crescimento em resposta ao 28-homobrassinolídeo sob estresse de cádmio e salinidade em trigo. *Jornal internacional de macromoléculas biológicas*, 64, 130-136.

He M, He CQ, Ding NZ (2018) Abiotic stresses: general defenses of land plants and chances for engineering multistress tolerance. *Front Plant Sci* 9: 1771.

Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.

Iannone, M. F., Groppa, M. D., Benavides, M. P. (2015). Cadmium induces different biochemical responses in wild type and catalase-deficient tobacco plants. *Environmental and Experimental Botany*, 109, 201-211.

Jaleel, C. A., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ines, J., Al-Juburi, H. J., ... Panneerselvam, R. (2009). Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(3), 427-436.

Jin R, Wang Y, Liu R, Gou J, Chan Z (2016) Physiological and metabolic changes of purslane (*Portulaca oleracea* L.) in response to drought, heat, and combined stresses. *Front Plant Sci* 6: 1123.

Khan, M. I. R., et al. (2023). "Chlorophyll degradation and antioxidative responses in plants: A review." *Environmental and Experimental Botany*, 204, 105102.

Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. S., ... Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current science*, 424-438.

Lawas LMF, Zuther E, Jagadish SK, Hinch DK (2018) Molecular mechanisms of combined heat and drought stress resilience in cereals. *Curr Opin Plant Biol* 45: 212–217.

Lawlor, D. W. (2002). Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of botany*, 89(7), 871-885.

Lin, T., Zhu, G., Zhang, J., Xu, X., Yu, Q., Zheng, Z., ...Huang, S. (2014). Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. *Nature genetics*, 46(11), 1220-1226.

Lux, A., Martinka, M., Vaculík, M., White, P. J. (2011). Root responses to cadmium in
Mahmood, T., Abdullah, M., Ahmar, S., Yasir, M., Iqbal, M. S., Yasir, M., ... Mora-Poblete, F. (2020). Incredible role of osmotic adjustment in grain yield sustainability under water scarcity conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 9(9), 1208.

Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G. A., Panneerselvam, R. (2007). Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 59(2), 141-149.

Mansour, E., et al. (2024). "Glutathione and ascorbate metabolism in plants under abiotic stress." *Frontiers in Plant Science*, 15, 674823.

Meissner, R.; Jacobson, Y.; Melamed, S.; Levyatuv, S.; Shalev, G.; Ashri, A.; Elkind, Y; Levy, A. *Plant Journal*, v.12, p.1465-1472, 1997.

Meyer, A. J., Brach, T., Marty, L., & Kreye, S. (2007). Redox-sensitive GFP in *Arabidopsis thaliana* is a quantitative biosensor for the redox potential of the cellular glutathione redox buffer. *The Plant Journal*, 52(5), 973-986.

Mishra, R., et al. (2024). "Carotenoids in plants: Importance and biosynthesis under abiotic stress." *Molecules*, 29(2), 312.

Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7(9), 405-410.

Ozturk, M., Turkyilmaz, B., Gucel, S., Guvensen, A. (2011). Proline accumulation in some coastal zone plants of the Aegean region of Turkey. *American Journal of Botany*, 66(3), 307-312.

Panchuk, I. I., Zentgraf, U., & Volkov, R. A. (2005). Expression of the Apx gene family during leaf senescence of *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 222(5), 926-932.

Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., Hanson, C. (Eds.). (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.

Pedrotti, A., Chagas, R. M., Ramos, V. C., Prata, A. D. N., Lucas, A. A. T., Santos, P. D. (2015). Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 19(2), 1308-1324.

Pellinen, R. I., Korhonen, M. S., Tauriainen, A. A., Palva, E. T., Kangasjärvi, J. (2002). Hydrogen peroxide activates cell death and defense gene expression in birch. *Plant Physiology*, 130(2), 549-560.

Rawat, N., Singla-Pareek, S. L., Pareek, A. (2021). Membrane dynamics during individual and combined abiotic stresses in plants and tools to study the same. *Physiologia Plantarum*, 171(4), 653-676.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., Jutur, P. P., & Sumithra, K. (2004). Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars. *Environmental and experimental botany*, 52(1), 33-42.

Rellán-Álvarez, R., Ortega-Villasante, C., Álvarez-Fernández, A., Del Campo, F. F., & Hernández, L. E. (2006). Stress responses of Zea mays to cadmium and mercury. *Plant and Soil*, 279(1), 41-50.

Rontein, D., Basset, G., Hanson, A. D. (2002). Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic engineering*, 4(1), 49-56.

Sakcali, M. S., Bahadir, H., Ozturk, M. (2008). Ecophysiology of Capparis spinosa L.: a plant suitable for combating desertification. *Pak. J. Bot*, 40(4), 1481-1486.

Sánchez-Pardo, B., Cantero, C., Zornoza, P. (2015). Alleviation of arsenic stress in cardoon plants via the supply of a low cadmium concentration. *Environmental and experimental botany*, 109, 229-234.

Sandalio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero-Puertas, M. C., Del Rio, L. A. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of experimental botany*, 52(364), 2115-2126.

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. (2007). Drought-induced biochemical modifications and proline metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. *Acta Botanica Croatica*, 66(1), 43-56.

Scott J.; Harbaugh, B. Micro-Tom: a miniature dwarf tomato. Gainesville: Agricultural Experiment Station, University of Florida, p.1-6, 1989.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologies*, 331(3), 215-225.

Song, J., Shellie, K. C., Wang, H., Qian, M. C. (2012). Influence of deficit irrigation and kaolin particle film on grape composition and volatile compounds in Merlot grape (*Vitis vinifera* L.). *Food chemistry*, 134(2), 841-850.

Turkyilmaz, B. (2012). Effects of salicylic and gibberellic acids on wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Bangladesh Journal of Botany*, 41(1), 29-34.

Verbruggen, N., & Hermans, C. (2008). Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*, 35(4), 753-759. doi: 10.1007/s00726-008-0061-6.

Verbruggen, N., Hermans, C., Schat, H. (2009). Mechanisms to cope with arsenic or cadmium excess in plants. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 364-372.

Vranová, E., Inzé, D., Van Breusegem, F. (2002). Signal transduction during oxidative stress. *Journal of experimental botany*, 53(372), 1227-1236.

Wang, H., Wang, H., Shao, H., Tang, X. (2016). Recent advances in utilizing transcription factors to improve plant abiotic stress tolerance by transgenic technology. *Frontiers in plant science*, 7, 67.

Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia plantarum*, 162(1), 2-12.

Fischer, C., et al. (2022). "Physiological responses of plants to abiotic stress: A review." *Plant Physiology Reports*, 27(2), 98-115.

Zhang, H., et al. (2022). "Role of catalase in oxidative stress tolerance: A review." *Plant Biology*, 24(1), 50-67.

Zhang, L., et al. (2023). "The relationship between lipid peroxidation and plant stress response." *Plant Growth Regulation*, 101(1), 119-132.