

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCATINA DO MARANHÃO –
UEMASUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, NATURAS E TECNOLÓGICAS – CCENT
ESPECIALIZAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

WANDERSON LIMA CUNHA

**MODIFICAÇÃO -DO METABOLISMO DE *PASSIFLORA INCARNATA* EM
ASSOCIAÇÃO COM FUNGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES E SUBMETIDA
A ESTRESSE HÍDRICO E RADIAÇÃO UV-B.**

**Imperatriz-MA
2024**

WANDERSON LIMA CUNHA

Modulação do metabolismo de *Passiflora incarnata* em associação com fungos micorrizicos arbusculares e submetida a estresse hídrico e radiação UV-B.

Trabalho de conclusão de curso ao Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL na pós-graduação, lato sensu, especialização em ciências ambientais/pgls, como requisito para obtenção do título de especialista em ciências ambientais

Orientadora; Ivaneide de Oliveira Nascimento

**Imperatriz-MA
2024**

C972m

Cunha, Wanderson Lima

Modificação -do metabolismo de *Passiflora incarnata* em associação com fungos micorrizicos arbusculares e submetida a estresse hídrico e radiação UV-B. / Wanderson Lima Cunha. – Imperatriz, MA, 2024.

16 f.; il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Imperatriz, MA, 2024.

1. Fungos micorrizicos. 2. Metabolismo vegetal. 3. Adaptação - aclimação. 4. Imperatriz - MA. I. Título.

CDU 582.28

Ficha elaborada pelo Bibliotecário: **Mateus de Araújo Souza CRB13/955**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivo específico	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Local e Produção	10
4.2 Delineamento experimental	10
4.3 Variáveis avaliadas	12
4.3.1 Fluorescência da clorofila <i>a</i> , trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos.....	12
4.3.2 Fenóis totais, vitexina, açúcares solúveis e amido.....	12
4.3.3. Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.....	13
4.3.4 Massa seca parte aérea e raiz.....	13
4.3.5 Colonização dos FMA.....	13
4.4 Forma de análise dos resultados	13
REFERÊNCIAS	14

RESUMO

Com as mudanças climáticas há aumento na temperatura, redução de chuvas e longas estiagens e aumento da radiação luminosa que podem afetar o desenvolvimento e metabolismo vegetal, com destaque para estresse hídrico e radiação ultravioleta B (UV-B), que afeta diversos aspectos no metabolismo primário, além de incremento das espécies reativas de oxigênio (ERO) que influencia o processo fotossintético e a produção de metabólitos especializados. Desta forma, é importante possibilitar aclimação vegetal para redução dos efeitos dos estresses e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) contribuem para maior proteção da planta e absorção de água. Desta forma, objetiva-se, investigar o metabolismo primário e especializado de *Passiflora incarnata* submetida a estresse de déficit hídrico, luminoso (ultravioleta-B) e associada a fungos micorrízicos arbusculares. Realizara-se experimentos em casa de vegetação com *P. incarnata* associada ao FMA e submetida a estresse hídrico ou radiação ultravioleta-B. Espera-se que os FMA contribuam para maior absorção de água e com sistema de defesa de *P. incarnata*, possibilitando superação do estresse hídrico ou UV-B e aumento de metabólitos para a proteção da planta.

Palavras-chaves: Adaptação, Metabolismo, Fungos micorrízicos

ABSTRACT

With climate change, there is an increase in temperature, a reduction in rainfall and long droughts, and an increase in light radiation that can affect plant development and metabolism, emphasizing water stress and ultraviolet B (UV-B) radiation, which affects several aspects of metabolism. primary, in addition to an increase in reactive oxygen species (ROS) that influences the photosynthetic process and the production of specialized metabolites. Therefore, it is important to enable plant acclimatization to reduce stress's effects, and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) contribute to greater plant protection and water absorption. Thus, the objective is to investigate the primary and specialized metabolism of *Passiflora incarnata* subjected to water deficit stress, light (ultraviolet-B), and associated with arbuscular mycorrhizal fungi. Experiments were conducted in a greenhouse with *P. incarnata* associated with AMF and subjected to water stress or ultraviolet-B radiation. AMF is expected to contribute to greater water absorption and the defense system of *P. incarnata*, enabling it to overcome water stress or UV-B and increase metabolites to protect the plant.

Keywords: Adaptation, Metabolism, Mycorrhizal fungi

1 INTRODUÇÃO

A *Passiflora incarnata* (Passifloraceae) são caracterizados pela presença abundante de flavonoides, alcaloides, saponinas e esteróides, sendo que, os principais flavonóides encontrados são a orientina, isoorientina, isovitexina e vitexina, todos responsáveis pela ação medicinal e farmacológica (FARAG et al., 2016; GONULALAN et al., 2020). Destacando a vitexina, que é utilizado nos tratamentos de depressão, ansiedade, insônia, estresse, agitação (HE et al., 2016). E as mudanças climáticas podem influenciar a produção dos metabolitos e desenvolvimento vegetal (LI et al., 2020; LIU et al., 2020; ZHAO et al., 2020).

A problemática das mudanças climáticas, traz efeito alarmante para o desenvolvimento sustentável do planeta, onde o aumento da temperatura, radiação luminoso, redução de chuvas e aumentando a estiagens, podem reduzir o desenvolvimento vegetal (LI et al., 2020; HU et al., 2020; ZHAO et al., 2020). Segundo dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), responsável por relatórios de avaliação climática (AR), existem tendências de aumento de temperatura de até 4,80°C, trazendo alerta para perturbações ambientais, com foco na situação hídrica e possibilitando uma redução na produção agrícola (ZHAO et al., 2020).

Além do aumento da incidência da radiação UV-B nas plantas, sujeitas a períodos de seca cada vez mais duradouros, o que pode intensificar os resultados no impacto no desenvolvimento e crescimento, uma vez que o UV-B e a seca promovem alterações morfofisiológica no metabolismo fotossintético (KALING et al., 2015; LIU et al., 2020).

Deste modo, os estresses abióticos influenciam diversos mecanismo do metabolismo vegetal (LIU et al., 2020; VERMA et al., 2021; ZHAO et al., 2020), como no estresse hídrico, com aumento nas espécies reativas de oxigênio (EROs), nos níveis de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) elevados, causando a diminuição da integridade da membrana, e eleva a atividade antioxidantes como catalase (CAT), polifenol oxidase (PPO) e peroxidase (POX)

(ABDELAAL et al., 2018; LI et al., 2020; VERMA et al., 2021), além de reduzir os níveis de pigmento fotossintético, clorofila, taxa assimilatória, transpiração, condutância estomática, e teor relativo de água da folha, prejudicando o desenvolvimento vegetal (LI et al., 2020; SEHAR et al., 2021; ZHAO et al., 2020).

Plantas em déficit hídrico fecham seus estômatos, o que reduz a assimilação de CO₂ (HURA et al., 2007; VERMA et al., 2021; ZHAO et al., 2020). A energia captada que seria utilizada para a redução do CO₂ pode formar EROs, como superóxido e peróxido de hidrogênio, principalmente no fotossistema I (PSI) (FOYER, 2018). Além disso, pode ocorrer redução da Rubisco por efeito da diminuição da carbamilação da lisina do sítio ativo (CARMO-SILVA et al., 2010) e limitação estomática afetando a síntese de ATP e redução NADP+H₂ (HURA et al., 2007; ZHAO et al., 2020).

E o estresse de radiação Ultravioleta-B (UV-B) (280-315 nm) elevado, podem levar a planta a ter um aumento no nível de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (LIU et al., 2020), e redução da taxa fotossintética, influenciando a produção de metabólicos como flavonoides, antocianinas e polifenóis e mobilização de sistemas antioxidantes para aliviar o estresse (KALING et al., 2015; LIU et al., 2020), certos níveis de radiação UV-B podendo não ser prejudiciais ao processo fotossintético em plantas aclimatada, nesse caso envolve mecanismos de fotoproteção, incluindo, contra os efeitos de luz visível excessiva (WARGENT et al., 2015).

Desta forma, as plantas podem se associar com organismos presentes no solo como forma de conferir maior resistência a fatores adversos do ambiente, como seca e escassez de alguns elementos mineral (GHOLINEZHAD et al., 2020; CHEN et al., 2020; KOBAE, 2019), melhorando a captação de água e de minerais, essa associação pode também estimulara vias do metabolismo especializado(MUNIZ et al., 2021), de modo a contribuir com a aclimação de outras condições extremas do ambiente (LANGEROODI et al., 2020; ZOU; WU; KUČA, 2021), como o aumento do nível de radiação UV-B.

Destacando a associação com fungos micorrizicos arbusculares (FMA) que pode conferir as plantas maior capacidade de aclimatação a condições de déficit hídrico, uma vez que possibilita maior absorção de água e nutrientes, como o fósforo e nitrogênio (CHEN et al., 2020; KOBAE, 2019; PARNISKE, 2008; WANG et al., 2020).

Vale ressaltar ainda que os FMA possibilitam maior atividade do sistema antioxidante enzimático como na polifenoloxidase, ascorbato peroxidase, catalase e no sistema antioxidante não enzimático com aumento na atividade de fenilalanina amônia liase (PAL), redução no acúmulo H₂O₂ e nos danos oxidativos, permitindo melhor desenvolvimento da planta em estresse hídrico (GHOLINEZHAD et al., 2020; LANGEROODI et al., 2020; ZOU; WU; KUČA, 2021). Além disso, os FMA podem atuar na redução dos efeitos prejudiciais da radiação UV-B nas plantas, como observado em situações de estresse por seca e alagamento, bem como de concentrações elevadas de CO₂, e possibilitando maior taxa fotossintética (BELLIDO, 2021; HU et al., 2020; THIRKELL; PASTOK; FIELD, 2020; ZOU; WU; KUČA, 2021).

Além disso, os FMA contribuem significativamente para a produção de metabólitos especializados (MUNIZ et al., 2021; SALEH et al., 2020; SILVA; MAIA; SILVA, 2019). A atuação dos FMA no metabolismo especializado das plantas foi verificada com incremento na produção de metabólitos em *Passiflora alata*, de 137,93 % e 110,75 % em saponinas e fenóis totais respectivamente (MUNIZ et al., 2021). Contudo, os benefícios dos FMA podem variar dependendo da espécie de fungo utilizada, em relação a produção de metabólitos e de situações de estresse (DE OLIVEIRA et al., 2019; HU et al., 2020; ZOU; WU; KUČA, 2021).

Portando, *Passiflora incarnata* pode ter redução do desenvolvimento em estresse de déficit hídrico, e aumento dos metabolitos especializados pela interação com outro estressores com radiação UV-B e FMA, possibilitando aclimatação. além disso, a interação a FMA pode contribuir para maior proteção de *P. incarnata* em estresse de déficit hídrico e radiação UV-B.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar o metabolismo primário e especializado de *Passiflora incarnata* submetida a estresse de déficit hídrico, luminoso (ultravioleta-B) e associada a fungos micorrizicos arbusculares.

2.2 Objetivo Específicos

O metabolismo de *P. incarnata* é alterado quando em estresse de déficit hídrico, e com interação a radiação UV-B apresenta mudanças no desenvolvimento e metabolismo.

P. incarnata tem maior produção de metabólitos em associada com FMA, e quando em interação com déficit hídrico ou radiação UV-B há redução dos estresses.

A melhora do sistema de defesa de *P. incarnata* em déficit hídrico ou radiação UV-B com associação de FMA.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e Produção

O experimento ponderar ser conduzido na UEMASUL, Campus de Imperatriz/MA, em câmara de crescimento e em casa de vegetação tipo “Paddy Fan” .

Serão utilizadas, como modelo, plantas jovens de *Passiflora incarnata*, com 5 cm de altura com fornecimento de solução nutritiva nº 2 de Hoagland; Arnon, (1950), diluída a 25%, sem fósforo. As plantas serão cultivadas com luz artificial utilizando-se lâmpadas que fornecerão $\pm 250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ DFFFA.

4.2 Delineamento experimental

O experimento será realizado em blocos casualizados, esquema fatorial 2x2x2, com ou sem fungos micorrizicos arbusculares (FMA), com ou sem déficit hídrico (DH) e presença ou ausência de radiação ultravioleta B (UV-B), totalizando 8 tratamentos, com 5 repetições. da seguinte forma: controle (T1) sem-FMA+sem-UV-B+sem-DH; T2 sem-FMA+sem-UV-

B+com-DH; T3 sem-FMA+com-UV-B+com-DH; T4 sem-FMA+com-UV-B+sem-DH; T5 com-FMA+sem-UV-B+com-DH; T6 com-FMA+com-UV-B+com-DH; T7-com-FMA+com-UV-B+sem-DH T8 com-FMA+sem-UV-B+sem-DH. Avaliações serão realizadas no auge do estresse e na recuperação.

Serão utilizados fungos micorrízicos arbusculares (*Rhizophagus intraradices*) multiplicados em solo esterilizado, (características físico-químicas apresentadas na tabela 1), com *Brachiaria decumbens* por quatro meses, em casa de vegetação, localizada na UEMASUL, Campos Imperatriz/MA (-5.535337 O, -47.483387 S). Após esse período, os fungos armazenados em temperatura igual a $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

Para o cultivo da *Passiflora incarnata* serão utilizados vasos com capacidade igual a 2,5L. Esporos de fungos micorrízicos arbusculares contidos em 100 g de solo serão inoculados em substrato estéril no momento do plantio.

Passiflora incarnata inoculada será mantida em capacidade de campo por meio de rega frequente, durante 15 dias para aclimação. A seguir, ocorrerá a suspensão do fornecimento de água e aplicação de UV-B até o auge do estresse quando as plantas revelarem fotossíntese próxima a zero e/ou condutância estomática menor que 30%. Ao atingir o auge do estresse as plantas serão mantidas em capacidade de campo e ausência de radiação UV-B para recuperação.

A radiação UV-B (comprimento de onda entre 280 nm e 360 nm, com pico em 305 nm – 310 nm) será aplicada por meio de lâmpada USHIO – G15T8E, para fornecimento de $1500 \pm 100 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ durante quatro horas, das 05:00 às 09:00 horas, durante todo o período de seca.

No auge do estresse e quando as plantas submetidas a UV-B e déficit hídrico revelarem taxa fotossintética próxima daquelas do tratamento controle (sem déficit e sem UV-B), serão avaliados fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, fenóis totais, vitexina, açúcares totais e amido.

4.3 Variáveis avaliadas

4.3.1 Fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e pigmentos fotossintéticos

Fluorescência da clorofila e trocas gasosas serão realizadas em folhas totalmente expandidas, utilizando-se equipamento de sistema aberto com analisador de gases por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo GFS 3000 FL, Walz), com fluorômetro acoplado (Array/PAM-Fluorometer 3055-FL, Walz).

Será determinada a clorofila com 0,2 g de folhas frescas, inseridas em 20 ml de solução reativa (acetona:etanol: H₂O=4,5:4,5:1. E depois mantidas por 24 em ambiente escuro, os valores de OD₆₄₅ e OD₆₆₃ foram mensurados após as folhas estarem completamente brancas. A concentração da clorofila a (Chl a) e clorofila b (Chl b) e o total de clorofila foram calculado de acordo com o método de Roca., et al (2024)

4.3.2 Fenóis totais, vitexina, açúcares solúveis e amido

Fenóis totais serão determinados segundo Bonoli et al. (2004), utilizando acetona como extrator em banho ultrassônico. A reação ocorrerá com Folin diluição 1: 10 em água destilada e carbonato de sódio a 20%. A curva de calibração será realizada com ácido gálico e a leitura em comprimento de onda de 725 nm.

A análise de vitexina será realizada de acordo com Wosch et al., (2017). Folhas secas (200 mg) serão adicionadas a 8 ml de etanol 60% em tubo de 15 mL e agitados em vórtex por 15 segundos. A seguir, o extrato bruto será submetido a banho com ultrassom por 30 minutos, filtrado e acondicionado em frasco escuro a $\pm 4^{\circ}\text{C}$. A quantificação da vitexina será realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (uvHPLC) com bomba de gradiente e detector UV-VIS, com a leitura em 340 nm.

A extração dos açúcares solúveis será realizada com etanol 80% e a quantificação dos açúcares solúveis totais seguirá o método de antrona, com leituras em espectrofotômetro a 620 nm. O amido será extraído do pelet com ácido perclórico 52% em banho de gelo. O

sobrenadante será transferido para tubo Falcon, sendo a determinação realizada com o método de antrona e curva padrão de glicose (Garcia et al., 2006).

4.3.3. Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Será determinada a peroxidação lipídica, (Devi and Prasad 1998) e quantificada a concentração de peróxido de hidrogênio (Alexieva et al. 2001), com ácido tricloroacético (TCA) e leitura em 390 nm.

4.3.4 Massa seca parte aérea e raiz

Ao final do experimento parte aérea e raízes serão coletadas e submetidas à secagem em estufa de aeração forçada, em temperatura igual a 38° C por 72h para a determinação das massas secas.

4.3.5 Colonização dos FMA

A colonização radicular será determinada com 1g de raízes, cortadas em segmentos iguais a 1 cm e diafanizados com KOH 2,5%. A seguir, os segmentos serão corados usando azul de triptan 0,05%, de acordo com Koske e Gemma, (1989). O percentual de colonização será realizado, segundo método de Giovannetti e Mossea, (1980), calculando-se a % de colonização micorrízica = $(\text{pontos de raízes colonizadas} / \text{pontos de raízes colonizadas} + \text{pontos de raízes não colonizadas}) \times 100$.

Serão avaliados os fragmentos de raízes contendo estruturas fúngicas, como esporos, arbúsculos, hifas e vesículas (Dickson, 2004).

4.4 Forma de análise dos resultados.

As variáveis serão submetidas à análise de variância (ANOVA) após teste de homogeneidade por Levene. As médias serão comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Análise de Componentes Principais (PCA) e Cluster Aglomerativa Hierárquica serão realizados, com R versão 4.2.0 (R Core Team, 2022).

REFERÊNCIAS

- ABDELAAL, K. A. A. et al. Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water deficit stress. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 30, p. 30199–30211, 2018.
- ALEXIEVA, V., SERGIEV, I., MAPELLI, S. & KARANOV, E. Te efect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell Environ.* 24, 1337–1344 (2001).
- BELLIDO, E.; DE LA HABA, P.; AGÜERA, E. Physiological alteration in sunflower plants (*Helianthus annuus* l.) exposed to high co2 and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plants*, v. 10, n. 5, 1 maio 2021.
- BONOLI, M. et al. Antioxidant Phenols in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Flour: Comparative Spectrophotometric Study among Extraction Methods of Free and Bound Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 5195–5200, 2004.
- CARMO-SILVA, A. E. et al. Rubisco activities, properties, and regulation in three different C4 grasses under drought. *Journal of Experimental Botany*, v. 61, n. 9, p. 2355–2366, 1 maio 2010.
- CHEN, W. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological performance of *catalpa bungei* C.A.Mey. under drought stress. *Forests*, v. 11, n. 10, p. 1–29, 2020.
- DE OLIVEIRA, P. T. F. et al. Production of biomolecules of interest to the anxiolytic herbal medicine industry in yellow passionfruit leaves (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) promoted by mycorrhizal inoculation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 99, n. 7, p. 3716–3720, 2019.
- DICKSON, S., 2004. The Arum-Paris continuum of mycorrhizal symbioses. *New Phytol.* 163, 187–200. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01095.x>
- FARAG, M. A.; OTIFY, A.; PORZEL, A.; MICHEL, C. G.; ELSAYED, A.; WESSJOHANN, L. A. Comparative metabolite profiling and fingerprinting of genus *Passiflora* leaves using a multiplex approach of UPLC-MS and NMR analyzed by chemometric tools. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, [s. l.], v. 408, n. 12, p. 3125–3143, 2016.
- FOYER, C. H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, v. 154, p. 134–142, 1 out. 2018.
- GARCIA, I. S., SOUZA, A., BARBEDO, C. J., DIETRICH, S. M. C. & FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpinia echinata*

LAM. (Brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the Brazilian Atlantic Forest. *Braz. J. Biol.* 66, 739–745 (2006).

GHOLINEZHAD, E. et al. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, v. 238, n. April, 2020.

GIOVANNETTI, M., MOSSE, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84: 489-500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>

GONULALAN, E. M.; NEMUTLU, E.; BAYAZEID, O.; KOÇAK, E.; YALÇIN, F. N.; DEMIREZER, L. O. Metabolomics and proteomics profiles of some medicinal plants and correlation with BDNF activity. *Phytomedicine*, [s. l.], v. 74, p. 152920, 2020.

HE, M.; MIN, J.-W.; KONG, W.-L.; HE, X.-H.; LI, J.-X.; PENG, B.-W. A review on the pharmacological effects of vitexin and isovitexin. *Fitoterapia*, [s. l.], v. 115, p. 74–85, 2016.

HEATH, R.L., PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts I. Kinetic and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Arch. Biochem. Biophys.*, v.125, p.189-98, 1968.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn.* 397, 32 (1950).

HU, S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization and physiological functions toward wetland plants under different water regimes. *Science of the Total Environment*, v. 716, p. 137040, 2020.

HURA, T. et al. Effect of long-term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C3 and C4 plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 29, n. 2, p. 103–113, 2007.

IPCC Climate Change 2021: The Physical Science Basis (eds Masson-Delmotte, V. et al.) (Cambridge Univ. Press, in the press).

KALING, M. et al. UV-B mediated metabolic rearrangements in poplar revealed by non-targeted metabolomics. *Plant Cell and Environment*, v. 38, n. 5, p. 892–904, 1 maio 2015.

KOBAE, Y. Dynamic phosphate uptake in arbuscular mycorrhizal roots under field conditions. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6, n. JAN, p. 1–12, 2019.

KOSKE, R.E., GEMMA, J.N., 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92, 486–488. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(89\)801959](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(89)801959)

LANGEROODI, A. R. S. et al. To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. *Scientia Horticulturae*, v. 263, n. July 2019, p. 109109, 2020.

LI, B. et al. Elevated CO₂-induced changes in photosynthesis, antioxidant enzymes and signal transduction enzyme of soybean under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 154, n. May, p. 105–114, 2020.

LIU, Y. et al. Comparison of the global metabolic responses to UV-B radiation between two medicinal *Astragalus* species: An integrated metabolomics strategy. *Environmental and Experimental Botany*, v. 176, n. December 2019, p. 104094, 2020.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31, 426–428 (1959)

MUNIZ, B. C. et al. *Acaulospora longula* Spain & N.C. Schenck: A low-cost bioinsumption to optimize phenolics and saponins production in *Passiflora alata* Curtis. *Industrial Crops and Products*, v. 167, n. November 2020, 2021.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: The mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, v. 6, n. 10, p. 763–775, 2008.

PASSOS, L. P. *Métodos Analíticos e Laboratoriais em Fisiologia Vegetal* 223 (1996).

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

SALEH, A. M. et al. Global metabolic changes induced by arbuscular mycorrhizal fungi in oregano plants grown under ambient and elevated levels of atmospheric CO₂. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 151, n. February, p. 255–263, 2020.

SEHAR, Z. et al. Hydrogen peroxide potentiates defense system in presence of sulfur to protect chloroplast damage and photosynthesis of wheat under drought stress. *Physiologia Plantarum*, v. 172, n. 2, p. 922–934, 2021.

SILVA, F. A.; MAIA, L. C.; SILVA, F. S. B. Arbuscular mycorrhizal fungi as biotechnology alternative to increase concentrate of secondary metabolites in *Zea mays* L. *Revista Brasileira de Botanica*, v. 42, n. 1, p. 189–193, 2019.

THIRKELL, T. J.; PASTOK, D.; FIELD, K. J. Carbon for nutrient exchange between arbuscular mycorrhizal fungi and wheat varies according to cultivar and changes in atmospheric carbon dioxide concentration. *Global Change Biology*, v. 26, n. 3, p. 1725–1738, 2020.

VERMA, K. K. et al. Foliar application of silicon boosts growth, photosynthetic leaf gas exchange, antioxidative response and resistance to limited water irrigation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 166, n. May, p. 582–592, 2021.

WANG, S. et al. Functional analysis of the OsNPF4.5 nitrate transporter reveals a conserved mycorrhizal pathway of nitrogen acquisition in plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, n. 28, p. 16649–16659, 2020.

WARGENT, J. J. et al. Acclimation to UV-B radiation and visible light in *Lactuca sativa* involves up-regulation of photosynthetic performance and orchestration of metabolome-wide responses. *Plant Cell and Environment*, v. 38, n. 5, p. 929–940, 1 maio 2015.

WOSCH, L., dos Santos, K. C., IMIG, D. C. & SANTOS, C. A. M. Comparative study of *Passifora* taxa leaves: II. A chromatographic profile. *Rev. Bras. Farmacogn.* 27, 40–49 (2017).

ZHAO, W. et al. Effects of Water Stress on Photosynthesis, Yield, and Water Use Efficiency in Winter Wheat. *Water* 2020, Vol. 12, Page 2127, v. 12, n. 8, p. 2127, 27 jul. 2020.

ZOU, Y. N.; WU, Q. S.; KUČA, K. Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biology*, v. 23, n. S1, p. 50–57, 2021.