

DOI: 10.47209/2317-5729.v.9.n.4.p.21-28

Influência da densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos da Savana no desenvolvimento do milho (*Zea mays*)

Jéssica Aires dos Santos^{1*}; Tulio Silva Lara²; Tatiane Santos Correia³; Ludyanne da Silva Sousa⁴

¹ Discente do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal do Oeste do Pará.

*Autor para correspondência. E-mail: jessicaaires38@gmail.com

Resumo

Na relação simbiótica entre os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e as plantas, o FMA auxilia na absorção de água e nutrientes minerais pelas plantas, em contrapartida, as plantas fornecem carboidratos aos FMA. No entanto, a proliferação descontrolada de FMA pode ser prejudicial às plantas. Avaliamos o efeito de fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo de uma área da Savana em Alter do Chão, no leste da Amazônia Brasileira, no crescimento inicial e metabolismo de carboidratos de mudas de milho. As plantas de milho foram inoculadas com diferentes densidades de esporos de FMA utilizando três tratamentos (T1 = 3,8; T2 = 7,6 e T3 = 30 esporos g⁻¹ de solo) e como controle (C), solo livre de FMA, em um experimento conduzido em casa de vegetação. Aos 18 dias após a emergência foram avaliados os parâmetros de crescimento e a quantificação dos teores de carboidratos nas raízes e parte aérea. As plantas inoculadas com T3 apresentaram área foliar, altura, diâmetro do coleto, massa fresca foliar e total significativamente menor que o controle. A relação raiz/parte aérea foi significativamente maior nos tratamentos de T3 e T1 em relação ao controle. O teor de açúcar solúvel total, açúcar não redutor e amido não variaram significativamente na parte aérea e raiz, porém o amido foi significativamente menor nos tratamentos de T3 e T1 do que no controle. O teor de açúcar redutor foi maior na parte aérea nos tratamentos T2 e T1. Concluímos que as densidades dos tratamentos T1 e T2 têm um efeito positivo no balanço de açúcar redutor, o que pode conferir uma maior tolerância ao déficit hídrico e a densidade de esporos do T3 tem efeitos negativos no crescimento de milho.

Palavras-chave: Amazônia oriental. Açúcar solúvel total. *Acaulospora*.

Influence of spore density of native arbuscular mycorrhizal fungi from the Savanna of corn development (*Zea mays*)

Abstract

In the symbiotic relationship between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plants, AMF assists in the absorption of water and mineral nutrients by plants, in contrast, plants supply carbohydrate to AMF, however, the uncontrolled proliferation of AMF can be harmful to plants. We evaluated the effect of arbuscular mycorrhizal fungi originated from the soil of a savanna area in Alter do Chão, in the eastern Brazilian Amazon, on the initial growth and carbohydrate metabolism of corn seedlings. Corn plants were inoculated with different densities of AMF spores using three treatments (T1=3.8; T2= 7.6 and T3=30 spores g⁻¹ of soil) and AMF-free soil as control in a greenhouse experiment. The corn shoots were evaluated 18 days after emergence for growth parameters and quantification of carbohydrate content in the roots and aerial parts. Shoots treated with T3 had significantly smaller aerial parts, height, stem diameter, lower leaf and total mass than the control. The root/aerial parts ratio was significantly higher in the T3 and T1 treatments relative to the control. Total soluble sugar, non-reducing sugar and starch contents did not vary significantly in the root and aerial parts, except for significantly lower starch contents in the T3 and T1 treatments than in the control. Reducing sugar content was significantly higher in the aerial parts of the T2 and T1 treatments. We conclude that the spore density of T3 has negative effects on corn growth, but that the densities of the T1 e T2 have a positive effect on the reducing-sugar balance, which may confer a greater tolerance to the water deficit.

Key words: Eastern Amazonia. Total soluble sugar. *Acaulospora*.

Introdução

O milho (*Zea mays*) é o componente essencial para segurança alimentar global, pois é utilizado como alimento básico por milhões de pessoas (Begum *et al.*, 2019). No Brasil, a área cultivada de milho pode atingir 13,5 milhões de hectares (Conab, 2020). No entanto, fatores abióticos estressantes, como déficit hídrico e deficiência nutricional, promovem severas perdas tanto na produtividade quanto no crescimento do milho

(Raya-Hernández *et al.*, 2020). Essas perdas podem ser amenizadas utilizando os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pois, eles permitem a manutenção da produtividade mesmo em condições edafoclimáticas estressantes (Thirkell *et al.*, 2017).

Para uma simbiose bem-sucedida entre FMA e planta é requisito obrigatório que o fungo complete seu ciclo de vida, manifestado pela produção de esporos e pela formação de uma extensa rede de hifas (Smith & Read, 2008). Durante a simbiose, o fluxo de sacarose e monossacarídeos entre as folhas, que são a fonte e as raízes que são o dreno, é alterado mediante atividades das enzimas invertase e sacarose sintase (Roth & Paszkowski, 2017). Sendo assim, é aceitável que uma demanda descontrolada no dreno, em virtude da presença dos FMA nas raízes, pode se tornar um fator limitante ao crescimento tanto das plantas como dos FMA. Alguns trabalhos demonstram incremento nos teores de sacarose, glicose, frutose, trealose nas raízes de plantas micorrizadas (Tekaya *et al.*, 2017; Zhang, 2019). Outros autores já demonstram incrementos nos teores de açúcar solúveis e sacarose na parte aérea das plantas micorrizadas (Wu *et al.*, 2011).

Em contrapartida, os FMA proporcionam maior crescimento e produtividade às plantas, pois eleva a taxa fotossintética líquida, promove incremento no conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, na eficiência fotossintética e na eficiente do uso de água (Elhindi *et al.*, 2017), além de promover aumento na absorção de nutrientes, como fósforo (P), nitrogênio (N) e zinco (Zn) (Tekaya, *et al.*, 2017), e também proporciona as plantas uma maior tolerância ao estresse abiótico (Lenoir *et al.*, 2016). Benefícios esses que possibilitam redução no uso de fertilizantes químicos e da água para irrigação, tornando assim, a agricultura mais sustentável e menos susceptível as intempéries climáticas.

A savana de Alter do Chão é localizada no Oeste do Pará, apresenta uma estação seca pronunciada entre os meses de junho e dezembro, e uma estação chuvosa de janeiro a maio, além de ser composta principalmente por solo arenoso, de baixa fertilidade, elevados teores de alumínio, bem drenados e pH ácido (~5) (Pennington *et al.*, 2000; Magnusson *et al.* 2002). Essas características edafoclimáticas possibilitaram o surgimento de um estrato inferior herbáceo de altura e densidade variáveis, o estrato arbustivo de 60 a 80 cm e o estrato arbóreo pode atingir até 10 metros de altura (Magnusson *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2018).

Nesse ambiente, a simbiose entre plantas e FMA é um fator importante para a adaptação e sobrevivência das plantas, pois, auxilia no crescimento e desenvolvimento da planta mesmo em condição limitada de P e água (Moura & Cabral, 2019). Em virtude disso, é promissora a utilização, na agricultura, dos esporos de FMA originados da área de savana de Alter do Chão, no entanto, pouco se conhece sobre o potencial de esporos de FMA dessa região como recurso biológico para promoção das atividades de produção na agricultura.

O estudo da utilização dos FMA na agricultura é extenso, entretanto, as respostas ao crescimento das plantas podem variar de positivo (mutualismo) a negativo (parasitismo), ou mesmo sem interação (neutro), dependendo dos genótipos dos organismos envolvidos e das condições ambientais. Em virtude disso, nós avaliamos a influência da densidade de esporos de FMA originados da savana de Alter do Chão no crescimento inicial das plantas de milho e no metabolismo de carboidratos.

Material e métodos

A área de estudo compreende uma mancha de savana situada nas coordenadas 2°28'1" S e 54°49'41" W na região de Alter do Chão, no município de Santarém, oeste do estado do Pará. O clima da área é representado pelo tipo climático Am da classificação de Köppen (1948) (clima de monção tropical). A temperatura média anual é 27.5 °C, com médias máximas e mínimas, em torno de 26.9 °C e 25.1 °C, respectivamente, com umidade média de 70% e a média anual de pluviosidade é de 1991 mm (Climate-data.org, 2019).

Foram selecionados, aleatoriamente, 10 pontos de coletas equidistantes 30 metros entre si, onde amostras de solo de 500 g foram coletadas na faixa de profundidade de 0 e 20 cm. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e conduzidos em caixas de isopor para o Laboratório de Fisiologia Vegetal e Crescimento de Plantas da Universidade Federal do Oeste do Pará, *Campus* de Santarém-PA, onde ocorreu a produção do inóculo de FMA.

Para a produção do inóculo, uma amostra composta de 1,5 kg de solo (amostra essa formada, a partir de amostra de solo de todos os 10 pontos coletados) foi misturada com 1,5 kg de substrato comercial, esterilizado na autoclave a 121 °C durante 15 min, esse processo foi repetido por duas vezes. Como planta hospedeira, responsável por realizar a multiplicação dos esporos presente no solo coletado, utilizou-se 10 plantas de milho, as quais foram cultivadas em ambiente controlado por 20 dias sob iluminação artificial com fotoperíodo de 12 horas, irrigação diária, temperatura de 27 °C e a capacidade de campo para 65%.

Para a contagem dos esporos presentes no inóculo produzido foram utilizadas três amostras de 100 g de solo. A extração dos esporos foi a partir do método de peneiramento via úmida (Gerdemann & Nicolson, 1963), seguido de centrifugação em solução de sacarose a 50% (Jenkins, 1964) a 1512 g, por 15 minutos. Após a extração, procedeu-se a contagem dos esporos com auxílio de um microscópio estereoscópio (40x). A maioria dos FMA presente no inóculo foi identificado como sendo do gênero *Acaulospora* spp.

Para realizar a inoculação, o milho foi cultivado em 3 densidades de esporos: T1 = 3,8 esporos g⁻¹ de solo, T2 = 7,6 esporos g⁻¹ de solo e T3 = 30 esporos g⁻¹ de solo e em solo livre de esporos, esterilizado na autoclave a 121 °C durante 15 min repetido de duas vezes, como controle (C). As densidades utilizadas no experimento foram possíveis utilizando em T1- 25 g de inóculo com 764 esporos, T2- 50 g de inóculo com 1,520 esporos, T3- 200 g de inóculo com 6,110 esporos. O inóculo foi adicionado ao vaso e completou com substrato comercial, isento de FMA até atingir 200 g. No T3 não precisou acrescentar substrato. Foram utilizados 4 vasos para cada tratamento, sendo que foram semeadas 5 sementes de milho, após 7 dias foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. As plantas foram mantidas em ambiente controlado, nas mesmas condições descritas anteriormente.

O crescimento foi analisado a partir das seguintes variáveis: área foliar (AF) (dm²), obtida pela fórmula $AF = C \times L \times 0,75$, C - representa o comprimento da folha e L a largura (Sangoi et al., 2007), altura da planta (AP) (cm) com auxílio de uma régua, diâmetro do coleto (DC) (mm) com auxílio de um paquímetro digital, volume de raiz (VR) (cm³), massa fresca foliar (MFF), massa fresca raiz (MFR), massa fresca total (MFT) e a relação raiz parte aérea (R/P), todas as variáveis foram medidas 18 dias após a emergência.

Para medir o volume de raiz, utilizou-se uma seringa de 20 mL, com volume inicial de 15 mL de água, retirado o embolo da seringa e inserido a raiz dentro da mesma, devolvendo o embolo e arrastando ao final para observar o volume que corresponde a fórmula: VF-VI, volume final (com a raiz) e volume inicial (sem a raiz).

A biomassa coletada foi seca em estufa com circulação forçada de ar a temperatura de 60°C até peso constante. Deste material, foram retiradas amostras de 0,2 g da parte aérea e da raiz de cada repetição para determinar os teores de amido, sacarose e açúcares solúveis totais pelo método da Antrona (Dische, 1962) e de açúcares redutores pelo método DNS (Miller, 1959).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) usando o SigmaPlot versão 12.0. A comparação entre as médias para as fontes de variações foi realizada pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Sisvar® (Ferreira, 2011).

Resultados

O T3 proporcionou os menores valores ($p < 0,05$) para área foliar (AF), altura da planta (AP) e diâmetro do coleto (DC) em comparação aos tratamentos e ao C. Já, entre o C e os tratamentos 1 e 2 não foi observado diferença significativa para AF, AP e DC, embora a inoculação com 3,8 esporos g⁻¹ de solo (T1) tenha promovido um leve aumento nos valores dos parâmetros avaliados. Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos para a variável VR (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de crescimento das plantas de milho cultivadas em diferentes densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, avaliados aos 18 dias após a emergência

Tratamento	AF	AP	DC	VR
T1	5.30 b	9.75 b	2.35 b	0.76 a
T2	5.19 b	9.75 b	2.10 b	0.65 a
T3	2.87 a	7.37 a	1.49 a	0.49 a
C	4.65 b	8.87 b	2.12 b	0.67 a

AF- área foliar; AP - altura da planta; DC - diâmetro do coleto; VR - volume de raiz; C - Controle. As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não são diferentes estatisticamente pelo teste de Scott-not $\leq 5\%$.

Com relação às variáveis relacionadas com a biomassa fresca, as plantas sob inoculação com 30 esporos g⁻¹ de solo (T3) mostraram menores valores ($p < 0,05$) para MFF e MFT, ao passo que, entre as plantas que não receberam inoculação (C) ou que foram inoculadas com densidades de esporos mais baixas (T1 e T2) apresentaram desempenho semelhante. A MFR foi semelhante em todos os tratamentos, sem diferença estatística, por outro lado, os tratamentos 1 e 3 proporcionaram os maiores incrementos na relação R/P, superior estatisticamente ao C e T2 (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de matéria fresca do sistema radicular (MFR) e da parte aérea (MFPA) de plantas de milho cultivadas em diferentes densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, avaliados aos 18 dias após a emergência

Tratamento	MFF	MFR	MFT	R/P
T1	1.16 b	0.74 a	1.91 b	0.63 b
T2	1.29 b	0.59 a	1.89 b	0.46 a
T3	0.59 a	0.42 a	1.02 a	0.71 b
C	1.01 b	0.51 a	1.52 b	0.51 a

MFF-massa fresca foliar; MFR-massa fresca da raiz; MFT-massa fresca total; R/P- relação raiz/parte aérea; C-controle. As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não são diferentes estatisticamente pelo teste de Scott-not $\leq 5\%$.

Os teores de açúcares solúveis totais (AST) e açúcares redutores (ANR) não diferiram estatisticamente ($p>0,05$) entre os tratamentos, incluindo o C, tanto na parte aérea como na raiz. Os tratamentos T2 e T1 apresentaram maiores teores de açúcar redutor (AR) na parte aérea com 72% e 30% de aumento ($p<0,05$) em relação ao C, respectivamente. Na raiz, o teor de açúcar redutor não apresentou diferença estatística ($p>0,05$) entre os tratamentos, nem entre os tratamentos e o C. Os tratamentos T2 e C proporcionaram os maiores teores de amido na parte aérea, ao passo que, na raiz não foi observado diferença estatística (Tabela 3).

Tabela 3. Teores de carboidratos na raiz (R) e na parte aérea (PA) das plantas de milho cultivadas em diferentes densidades de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, avaliados aos 18 dias após a emergência

T	AST		ANR		AR		Amido	
	R	PA	R	PA	R	PA	R	PA
T1	15.13 b	30.68 b	93.91 b	191.66 a	69.85 b	327.20 b	7.51 b	8.19 b
T2	17.13 b	35.21 a	134.29 a	175.00 b	86.52 b	434.06 b	7.12 b	13.35 a
T3	20.55 a	26.07 b	132.69 a	156.25 b	153.92 a	175.24 a	12.56 a	7.54 b
C	18.07 a	31.28 a	128.36 b	198.55 a	179.41 a	251.22 a	13.80 a	15.20 a

T-tratamento; AST-açúcar solúvel total; ANR- açúcar não redutor; AR-açúcar redutor. C-Controle. Os teores de carboidratos foram apresentados em mg g^{-1} de massa seca. As médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não são diferentes estatisticamente pelo teste de Scott- not $\leq 5\%$.

Discussão

A seleção de FMA nativos da área de savana de Alter do Chão é de grande interesse prático, pois, trata-se de uma área onde o solo tem baixo valor nutricional e dois períodos distintos de pluviosidade, sendo um período de pouquíssima chuva (Magnusson *et al.*, 2002; Climate-data.org, 2019). Dessa forma, os FMA assumem um papel fundamental auxiliando a absorção de água e nutrientes minerais, principalmente do P, mantendo o crescimento e desenvolvimento mesmo em um ambiente estressante (Rodrigues *et al.*, 2018). Em virtude desses benefícios às plantas, os FMA da savana de Alter do Chão possuem características a serem utilizadas na agricultura. Todavia, a direção e magnitude da resposta dependem de inúmeros fatores, como a espécie do vegetal e do fungo, a idade da planta, a eficiência na colonização do fungo MA, o manejo do solo, o volume de raiz e principalmente, densidade dos esporos no solo (Munkvold *et al.*, 2004).

De forma geral, a partir dos dados de crescimento, os benefícios dos FMA originados da savana de Alter do Chão ao crescimento das plantas de milho foram de negativo, quando se utilizou a densidade do T3, a pouco positivo, quando se utilizou as densidades dos tratamentos 1 e 2. Em virtude disso, nós propusemos três fatores que possivelmente influenciaram a simbiose entre a planta e FMA, e levaram a tais resultados: Primeiro, o milho é exótico a área de savana, ou seja, não existe uma relação íntima entre o milho e os FMA. Segundo, utilizaram-se densidades elevadas de esporos, o que pode ter levado ao uma severa competição por C fotoassimilado entre os FMA e a planta hospedeira. Terceiro, as condições de clima e solo onde as plantas de milho foram cultivadas são diferentes as condições da savana.

Resultados nulos ou negativos proporcionados pelos FMA ao crescimento de plantas também foram observados por Rodrigues *et al.* (2018) e Wang *et al.* (2018). Esses autores também estudaram a influência dos FMA nativos no crescimento de plantas exóticas a área de coleta do FMA. Por outro lado, quando já existe uma relação íntima entre as espécies de FMA e do vegetal os benefícios são mais perceptíveis, como foi observado por Pinos, *et al* (2019).

Dessa forma, pode se afirmar que os tratamentos com FMA proporcionaram resultados negativos a pouco positivo ao crescimento por se tratar de uma interação entre duas espécies sem contato prévio, ou seja, a inexistência de uma relação íntima entre o milho e os FMA nativos a área de savana.

Outro fator que pode ter influenciado negativamente o crescimento das plantas de milho é a densidade de esporos. As plantas do T3 foram cultivadas em vasos com mais de 3,000 esporos. No Cerrado foi observado cerca de 9 esporos por litro de solo (Cordeiro *et al.*, 2005), ou seja, a densidade de esporos no experimento foi muito elevada. Em adição, as plantas inoculadas com densidade de 3,8 esporos g⁻¹ de solo (T1) mostram tendência a acréscimo nas variáveis de crescimento vegetal comparadas ao controle e demais tratamentos.

Sendo assim, a alta densidade de esporos presente no solo pode prejudicar o crescimento do vegetal, pois a interação, que naturalmente é de simbiose, quando em baixa densidade de esporos, passaria a ser de parasitismo, quando em alta densidade de esporos, como nas plantas do T3. A mudança de comportamento do crescimento do vegetal em relação à densidade pode ser explicada pelo destino do C fotoassimilado, que é dividido entre o crescimento dos FMA presentes na raiz e o crescimento das plantas. Estima-se que, as plantas direcionam de 4% a 20% do C fotoassimilado, principalmente em forma de carboidrato para o sistema radicular micorrizado (Graham, 2000). Assim, quando existe uma competição entre o C fotoassimilado pode ocasionar redução no crescimento total da planta, conforme mencionado por Wang *et al.* (2018).

Além disso, a pouca influência dos FMA ao crescimento das plantas de milho pode estar relacionada ao solo e ambiente, as plantas de milho foram cultivadas em um substrato comercial rico em matéria orgânica (dados não demonstrados) e com irrigações diárias, ou seja, o oposto encontrado em ambiente natural de savana. Onde o solo é exclusivamente arenoso (<18% de argila) com baixo teor de matéria orgânica e o clima com um marcado período de estiagem (Magnusson *et al.*, 2002). Autores como Liu *et al.* (2016) observaram benefícios mais acentuado às plantas hospedeiras apenas quando a planta estava submetida a algum tipo de estresse existente na área de origem do FMA.

Dessa forma, os fungos MA nativos desempenham melhor o papel quando submetido ao seu ambiente de origem. Em nosso estudo, os FMA provavelmente promoveriam melhores benefícios em condições de baixa nutrição de solo ou com limitação hídrica, visto que são fungos originários de savana. Os maiores valores de açúcar redutor observados nas plantas dos tratamentos T1 e T2 indicam a eficácia das plantas micorrizadas em tolerar melhor as condições de limitação hídrica em relação às plantas não micorrizadas. De acordo com Begum *et al.* (2019), a simbiose com FMA auxilia a planta hospedeira a tolerar melhor o déficit hídrico moderado, principalmente por elevar os teores de açúcares solúveis e P.

Os teores de carboidratos estudados variaram de forma diferente nas raízes e na parte aérea, sendo que houve mudança mais acentuada na parte aérea, principalmente em relação ao AR e amido. Sabe-se que a presença dos fungos MA modifica o fluxo de carboidratos entre a fonte e o dreno mediante atividades das enzimas invertase e sacarose sintase (Roth & Paszkowski, 2017). Ademais, nós observamos, não apenas que a presença do fungo afeta, mas também o número de esporos pode influenciar o particionamento dos carboidratos. Nos tratamentos T1 e T2, com um número intermediário de esporos, foram observados os maiores valores de açúcar redutor nas folhas e os menores valores na raiz. Por outro lado, nas plantas do T3 e do C foram observados os maiores valores de açúcar redutor nas raízes e menores valores nas folhas. Esses resultados interessantes, uma vez que se trata de tratamentos extremos, onde T3 foi inoculado com o maior número de esporos e o C não foi inoculado.

Wu *et al.* (2011) e Wu *et al.* (2013) observaram mudanças mais significativas no teor de glicose, que é um açúcar redutor, do que na sacarose, que é um açúcar não redutor. O incremento nos valores de açúcar redutor nas folhas de plantas micorrizadas pode ser explicado pela maior taxa fotossintética, devido ao aumento no teor de pigmentos fotossintéticos, do rendimento quântico máximo do PSII e rendimento de fótons do PSII (Yooyongwech *et al.*, 2016).

Em nosso estudo, os teores de amido nas raízes não diferiram estatisticamente entre as plantas analisadas, ao passo que, nas folhas, os T1 e T3 os valores foram mais baixos. Wright *et al.* (1998) observaram em *Trifolium repens* diferença no teor de amido na raiz e folhas, em período distintos do desenvolvimento da planta. Assim, os teores de amido vão alterando de acordo com a necessidade do dreno para a formação das estruturas simbióticas e para suportar as demandas respiratórias (Wright *et al.*, 1998), ou seja, o período de desenvolvimento do vegetal é importante para evidenciar mudanças nos teores do amido e das outras classes de carboidratos.

Os carboidratos originados da fotossíntese são os principais compostos transportados como fonte de carbono e energia. Nas plantas, eles também agem como moléculas de sinalização em resposta a mudanças ambientais, portanto, são muito importantes para manter a plasticidade do crescimento e o desenvolvimento (Lastdrager *et al.*, 2014). Apesar de não ser observada diferença significativa no teor de AST e de ANR entre os tratamentos e o C, tanto nas folhas como na raiz, o menor crescimento da parte aérea foi encontrado nas plantas do T3. Covacevich *et al.* (2018) observaram relação positiva entre a presença de FMA e o teor de açúcares solúveis nas folhas de milho, enquanto para o girassol a presença dos FMA influenciou negativamente o teor de açúcares solúveis.

Assim, o particionamento dos carboidratos entre folhas e raízes poderá ocasionar mudanças no crescimento e desenvolvimento da planta. Sendo que, o metabolismo de carboidratos nas plantas de milho é alterado não apenas pela presença ou ausência dos fungos MA, mas também pela densidade dos esporos presentes no solo, pois, com mais esporos ocorrerá uma maior demanda de carboidratos para manutenção da simbiose. Além disso, outro fator a se considerar é a origem do fungo, pois fungos nativos tendem a promover melhores benefícios às plantas hospedeiras em ambientes estressantes ou a espécies já aclimatadas.

Conclusão

Os fungos micorrízicos arbusculares da Savana de Alter do Chão influenciaram o crescimento e o metabolismo de carboidratos das plantas de milho. As densidades de 3,8 e 7,6 esporos g^{-1} de solo da população de FMA da savana de Alter do Chão são indicadas para o cultivo das plantas de milho, pois proporciona incremento no teor de açúcar redutor na parte aérea, o que pode proporcionar às plantas de milho maior tolerância à limitação hídrica. A densidade de 30 esporos g^{-1} de solo das populações de FMA da savana de Alter do Chão não é indicada para o cultivo das plantas de milho, pois causa decréscimo no crescimento.

Agradecimento

Agradeço a Pró-Reitoria da Cultura, Comunidade e Extensão (PROCCE) pelo financiamento.

Referências

- Begum, N.; Ahanger, M. A.; Su, Y., Lei, Y. Sabet, Mustafa, N A., Parvaiz A.; Zhang, L. (2019). Improved Drought Tolerance by AMF Inoculation in Maize (*Zea mays*) Involves Physiological and Biochemical Implications. *Plants*, v. 8, n. 579, p. 1- 20.
- Clima Alter do Chão (Brasil). Climate-data-org, 2019. Disponível em <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/alter-do-chao-317494/>
- Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.
- Cordeiro, M. A.S.; Carneiro, M.A.C.; Paulino, H.B.P.; Junior, O.J.S.(2005) Colonização e densidade de esporos de fungos Micorrízicos em dois solos do cerrado Sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 35 (3): 147-153.
- Covacevich, F.; Verner, J. M. and Dosio, G. A. A.(2018) Does mycorrhizal colonisation vary between maize and sunflower under limitations to radiation source or carbohydrate sink? *Crop & Pasture Science* (Journal compilation _ CSIRO 2018) <https://doi.org/10.1071/CP17340>
- Dische, Z. General color reactions. In: Whistler, R. L.; Wolfram, M. L. Carbohydrate chemistry. *New York: Academic*, 1962. p. 477-520.
- Elhindi, K. M.; El-Din, A. S.; Elgorban, A. M. (2017) The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences* v.24, p.170–179
- Ferreira, D. F. (2011) Sisvar a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042.
- Gerdemann, J.W.; Nicolson, T.H. (1963) Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society, London*, v.46, n.2, p.235-244.
- Graham, J.H (2000) Assessing costs of arbuscular mycorrhizal symbiosis agroecosystems fungi. In GK Podila, DD Douds Jr, eds, *Current Advances in Mycorrhizae Research*.APS Press, St. Paul, pp 127–140
- Jenkins, W. R.(1964) A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v. 48, n. 9, p. 692.
- Koppen, W. (1948) *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de cultura econômica. Mexico, p.479.
- Lastdrager, J.; Hanson, J.; Smeekens, S. (2014) Sugar signals and the control of plant growth and development. *J Exp Bot* 65(3): 799-807.
- Lenoir, I.; Fontaine, J.; Sahraoui, A. L-H. (2016)Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry*.
- Lima, N.E.D.; Carvalho, A.A.; Lima-ribeiro, M.S.; Manfrin, M.H. (2018). Caracterização e história biogeográfica dos ecossistemas secos neotropicais. *Rodriguésia*, 69: 2209-2222.

- Liu, S.; Guo X.; Feng, G.; Maimaitiaili, B.; Fan, J.; He, X. (2016) Indigenous arbuscular mycorrhizal fungi can alleviate salt stress and promote growth of cotton and maize in saline fields. *Plant Soil* v.398: p.195–206
- Magnusson, W. E., Lima, A. P., Albernaz, A. L., Sanaiotti, T. M., & Guillaumet, J. L. (2008). Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém-PA. *Brazilian Journal of Botany*, v. 31, n. 1, p. 165-177.
- Magnusson, W.E.; Sanaiotti, T.M.; Lima, A. P; Martinelli, L. A.; Victoria, R. L.; Araujo, M. C and Albernaz, A. L.(2002) A comparison of $\delta^{13}C$ ratios of surface soils in savannas and forests in Amazonia. *Journal of Biogeography*, 29, 857 – 863
- Miller, G. L.(1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, [S.l.], v. 31, n. 3, p. 426-428.
- Moura, J.B. and Cabral J. S. R. © Springer Nature Switzerland AG 2019 193 M. C. Pagano, M. A. Lugo (eds.), Mycorrhizal Fungi in South America, Fungal Biology, https://doi.org/10.1007/978-3-030-15228-4_10.
- Munkvold, L., Kjoller, R., Vestberg, M., Rosendahl, S., and Jakobsen, I. (2004) High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.*164, 357–364.
- Pennington, R.T.; Prado, D.E & Pendry, C.A (2000) Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. *Journal of Biogeography* 27: 261-273
- Pinos, N.Q.; Berbara, R.L.L.; Elias, S.S.; Castro, T.A. V.T and García A. C. (2019).Combination of Humic Substances and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Affecting Corn Plant Growth. *Journal of Environmental Quality*. J. Environ. Qual.v. 48, p.1594–1604.
- Raya-Hernández A. I.; Jaramillo-López, P. F.; López-Carmona, D. A.; Díaz, T. Carrera-Valtierra, J. A., Larsen J.(2020) Field evidence for maize-mycorrhiza interactions in agroecosystems with low and high P soils under mineral and organic fertilization. *Applied Soil Ecology* v. 149, p. 1 – 8.
- Rodrigues, L.A.; Barroso, D.G.; Figueiredo, F. A.M. M.A.Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L. F. *Ciência Florestal*, vol. 28, núm. 1, pp. 25-34,2018.
- Roth, R., and Paszkowski, U. (2017). Plant carbon nourishment of arbuscular mycorrhizal fungi. *Curr. Opin. Plant Biol.* 39, 50–56. DOI: 10.1016/j.pbi.2017.05.008
- Sangoi, L.; Schmitt, A.; Zanin, C.G. (2007) Área foliar e rendimento de grãos de híbridos de milho em diferentes populações de planta. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, p.263-271.
- Smith, S. E., and Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd Edn. New York,NY: Academic Press.
- Tekaya, M.; Mechri, B.; Mbarki, N.; Cheheb, H; Hammami, M and Attia, F.(2017) Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* influences key physiological parameters of olive trees (*Olea europaea* L.) and mineral nutrient profile. *Photosynthetica* 55 (2): 308-316.
- Thirkell, T.J.; Charters, M.D.; Elliott, A.J.; Sait, S.M.; Field, K.J.(2017). Are mycorrhizal fungi our sustainable saviours? Considerations for achieving food security.
- Wang, X-X; Wang, X.; Sun, Y.; Cheng, Y.; Liu, S.; CHEN, X.; Feng, G and Kuypers, T.W. (2018).Arbuscular Mycorrhizal Fungi negatively affect nitrogen acquisition and grain yield of maize in a n deficient Soil. *Microbiol.* 9:418.
- Wright, D.P; Read, D. J; Scholes, J. D. (1998).Mycorrhizal sink strength influences whole plant carbon balance of *Trifolium repens* L. *Plant, Cell and Environment*,21, 881–891.
- Wu, Q-S.; Li, G-H.; Zou, Y-N. (2011). Improvement of Root System Architecture in Peach (*Prunus persica*) Seedlings by Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Related to Allocation of Glucose/Sucrose to Root. *Not Bot Horti Agrobo*, v. 39(2):232-236
- Wu, Q-S.; Zou, Y-N.; Huang, Y-M. ; Li, Y.; He, X-H. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi induce sucrose cleavage for carbon supply of arbuscular mycorrhizas in citrus genotypes. *Scientia Horticulturae*. v. 160, p. 320–325
- Yooyongwech, S.; Samphumphuang, T.; Tisarum, R.; Theerawitaya, C.; Cha-Um, S. (2016).Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved water deficit tolerancein two different sweet potato genotypes involves osmoticadjustments via soluble sugar and free proline. *Scientia Horticulturae*, P. 107–117.
- Zhang, X.; Zhang, H.; Zhang, Y.; Liu, Y.; Zhang, H.;Tang, M.Arbuscular mycorrhizal fungi alter carbohydrate distribution and amino acid accumulation in *Medicago truncatula* under lead stress, *Environmental and Experimental Botany* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103950>