

BIOFUNGICIDA À BASE DE ÓLEOS ESSENCIAIS APRESENTA POTENCIAL BIOESTIMULANTE EM SOJA SUBMETIDA AO ESTRESSE COMBINADO DE SECA E CALOR

Ana Clara Padovan Ligabo¹, Mariane Aleixo¹, Héli da Regina Sala¹, Daniele Sukert¹, Gustavo Gomes Lobo¹, Ana Claudia Pacheco^{1*}

*Universidade do Oeste Paulista, Curso de Graduação e Programa de Pós-Graduação em Agronomia
(*anaclau@unoeste.br)*

PROBLEMÁTICA

Diante das mudanças climáticas e da crescente incidência de estresses abióticos, torna-se essencial desenvolver estratégias para aumentar a tolerância das culturas agrícolas. O uso de bioestimulantes pode minimizar os impactos negativos sobre o metabolismo e garantir maior resiliência das plantas em condições adversas. Este estudo buscou investigar os efeitos de um produto biofúngico à base de óleos essenciais sobre parâmetros fisiológicos e bioquímicos da soja.

CONHECIMENTO PRÉVIO

Os óleos essenciais são constituídos por misturas complexas de monoterpenos e sesquiterpenos. Em plantas, a biossíntese de óleos essenciais é fortemente induzida por estresses ambientais, como seca, salinidade, altas temperaturas e radiação UV. Esses compostos atuam como metabólitos especializados, integrando respostas fisiológicas, antioxidantes e de sinalização. Recentemente, alguns estudos têm demonstrado que os óleos essenciais podem atuar como bioestimulantes em plantas, efeito esse caracterizado pela ação de mitigação de estresses abióticos, entre outros.

DESCRIÇÃO DA PESQUISA

O ensaio foi realizado com plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], cultivar 66I68 IPRO. Inicialmente as plantas foram conduzidas em casa de vegetação, com controle de temperatura e irrigação diária. Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V3, as mesmas foram transferidas para câmaras de crescimento com controle ambiental (Eletrolab, modelo EL 011), para a imposição de estresse abiótico (associação de alta temperatura e déficit hídrico).

Foi adotado o esquema fatorial duplo 2 x 2 (ausência e presença de estresse abiótico e ausência e presença de aplicação de biofúngico de óleo essencial), totalizando 4 tratamentos, a saber: (T1) = controle sem aplicação de biofúngico, (T2) = controle com aplicação de biofúngico, (T3) = estresse sem aplicação de biofúngico e (T4) = estresse com aplicação de biofúngico. O biofúngico utilizado trata-se de uma formulação proprietária à base de óleos essenciais (FPOE), desenvolvida e fornecida pela Santa Clara Agrociência/Linax (Brasil). A composição qualitativa e quantitativa detalhada da formulação é confidencial, em razão de sua proteção por propriedade intelectual.

As plantas controle foram mantidas com fotoperíodo de 12 horas e temperaturas de 28/20° C dia/noite, sendo irrigadas na capacidade de vaso. As plantas do estresse foram mantidas com fotoperíodo de 12 horas e temperaturas de 35/25°C dia/noite, associado à suspensão de irrigação.

No dia anterior ao início do estresse, as plantas receberam a aplicação foliar do FPOE. Já as plantas não tratadas foram pulverizadas com água destilada. O produto foi testado em

aplicação única, na dose recomendada de 500 mL/ha. A aplicação foi realizada com auxílio de pulverizador pressurizado, com volume de aplicação equivalente a 200 litros por hectare.

Para cada tratamento foram utilizadas 9 repetições (totalizando 36 plantas), com delineamento experimental inteiramente casualizado. As plantas dos tratamentos 3 e 4 permaneceram sob condições de estresse durante um período de sete dias, quando as mesmas começaram a apresentar sintomas de murcha e ressecamento das folhas. No quarto e sétimo dias de imposição de estresse foram realizadas as medidas de clorofilas, flavonoides e índice de nitrogênio.

Finalizada a etapa de imposição de estresse e avaliações fisiológicas, todas as plantas foram transferidas novamente para a casa de vegetação, com as condições normais/controle de temperatura e irrigação. As plantas foram mantidas por uma semana na casa de vegetação e após isso foi realizada a coleta (= término do experimento).

As concentrações foliares de clorofilas totais, flavonoides totais e o índice de nitrogênio foliar (INF) foram determinadas com auxílio de medidor portátil (modelo MPM -100, ADC). Ao final do período de imposição de estresse abiótico (sétimo dia) e antes do retorno para as condições normais de casa de vegetação, foram coletadas amostras foliares (terceiro trifólio) com congelamento imediato em ultrafreezer, para a realização de análises bioquímicas em laboratório das concentrações de prolina e malondialdeído (MDA), considerados indicadores de estresse.

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variância e submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Posteriormente as médias foram comparadas pelo Teste Tukey ($p \leq 0,01$) através do Programa Estatístico ASSISTAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os parâmetros em que foi observado efeito isolado dos fatores avaliados, os resultados são apresentados em tabelas, enquanto para aqueles em que foi constatada interação significativa entre os fatores, os dados são apresentados graficamente, de modo a facilitar a visualização e a interpretação dos efeitos da interação.

No quarto dia de imposição de estresse abiótico, houve interação significativa entre os fatores estudados (“condição hídrica” e “aplicação de biofungicida”) para a quantidade de clorofilas e o índice de nitrogênio foliar – INF (Figura 1). A aplicação do biofungicida não resultou em diferença na quantidade de clorofilas na folha, tanto nas plantas controle como nas plantas sob estresse. Entretanto, comparando-se plantas controle e plantas estressadas que receberam a aplicação do biofungicida, houve redução nas clorofilas das plantas sob estresse (Figura 1). Em relação ao INF, nas plantas sob condição controle não houve diferença quanto à aplicação do biofungicida. Porém, em plantas sob estresse, houve redução do INF em resposta à aplicação do FPOE (Figura 1).

No sétimo dia de imposição de estresse, houve efeito isolado dos fatores estudados, com redução do teor de clorofilas em resposta ao estresse e aumento em resposta ao tratamento com o FPOE. Reportando-se à concentração de flavonoides totais na folha, houve efeito isolado da aplicação do FPOE, sendo que as plantas tratadas com o produto apresentaram maior teor foliar destes compostos fenólicos (Tabela 1).

Em relação à concentração foliar de prolina nas plantas de soja, houve efeito apenas do fator estresse. Nas plantas que passaram por estresse de seca e calor associados, houve aumento na concentração de prolina, sendo que a aplicação do biofungicida não exerceu efeito sobre este antioxidante não enzimático (Tabela 2).

Tabela 1. Clorofilas (CLOR), flavonoides totais (FLAV) e índice de nitrogênio foliar (INF) em plantas de soja submetidas à condição de estresse e aplicação de biofungicida a base de óleos essenciais (FPOE), aos 4 e 7 dias de imposição de estresse abiótico.

Dia 4	CLOR	FLAV	INF
Controle	----	61,91 a	---
Estresse	---	58,68 a	
Sem FPOE	---	57,3 b*	---
Com FPOE	---	63,94 a	---
Dia 7	CLOR	FLAV	INF
Controle	61,63 a*	58,81 ^{ns}	124,5 ^{ns}
Estresse	53,5 b	63,56	115,63
Sem FPOE	53,00 b *	56,18 b *	106,28 ^{ns}
Com FPOE	62,11 a	66,18 a	133,88

^{ns} não significativo ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ pelo Teste Tukey

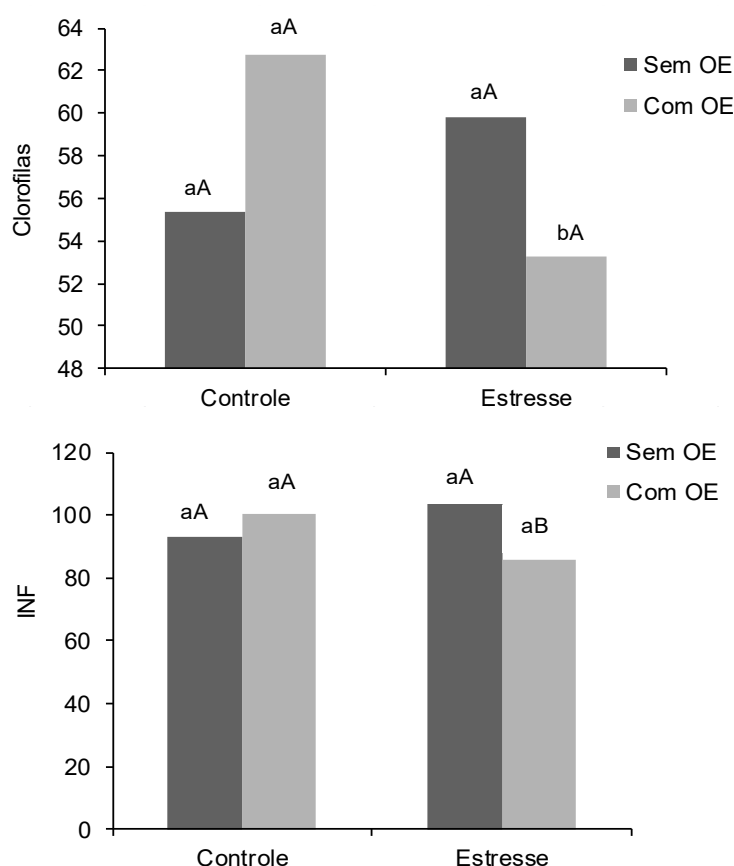


Figura 1. Teor de clorofilas totais e índice de nitrogênio foliar (INF) em plantas de soja submetidas à condição de estresse e aplicação de biofungicida a base de óleos essenciais, aos 4 dias de imposição de estresse abiótico. Letras minúsculas comparam a ausência ou presença de estresse e letras maiúsculas comparam a aplicação de biofungicida. Letras diferentes indicam diferença significativa de acordo com o teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Concentração de prolina em plantas de soja submetidas à condição de estresse e aplicação de biofungicida a base de óleos essenciais (FPOE).

	Prolina ($\mu\text{mol g}^{-1}$ MF)
Controle	2,43 b**
Estresse	2,85 a
Sem FPOE	2,52 ^{ns}
Com FPOE	2,76

^{ns} não significativo ; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ letras diferentes na coluna indicam diferença estatística

Por outro lado, em relação à concentração de malondialdeído (MDA), houve efeito de interação entre os fatores estresse e aplicação de FPOE (Figura 2). Comparando-se plantas controle e plantas sob estresse sem aplicação do produto, verifica-se aumento no MDA das plantas estressadas. Nas plantas sob condição controle não houve efeito da aplicação do FPOE quanto à produção de MDA nas folhas. Porém, nas plantas sob estresse, verifica-se que a aplicação do biofungicida resultou em diminuição da concentração de MDA.

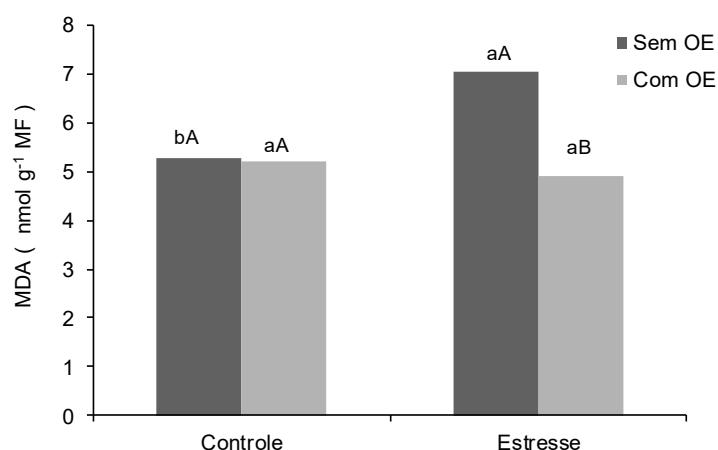


Figura 2. Concentração de malondialdeído (MDA) em plantas de soja submetidas à condição de estresse e aplicação de biofungicida a base de óleos essenciais. Letras minúsculas comparam a ausência ou presença de estresse e letras maiúsculas comparam a aplicação de biofungicida. Letras diferentes indicam diferença significativa de acordo com o teste Tukey a 5% de probabilidade.

A seca reduz a disponibilidade de água no solo, limitando a absorção pelas raízes e levando a um déficit hídrico nos tecidos vegetais. Essa condição provoca a diminuição da turgidez celular, a redução da fotossíntese e a inibição do crescimento vegetal. Já o estresse causado por temperaturas elevadas, pode desestabilizar estruturas celulares, afetando a fluidez das membranas e a funcionalidade de proteínas essenciais para o metabolismo (Li et al., 2024).

Ambos os tipos de estresse estão fortemente associados ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs). Sob condições normais, as plantas possuem mecanismos eficientes para manter os níveis de EROs sob controle. No entanto, sob estresse, a produção de EROs pode ultrapassar a capacidade antioxidante da célula, resultando em um desequilíbrio conhecido como estresse oxidativo celular. Um dos efeitos é a peroxidação de lipídeos das membranas celulares, que resulta em perda de sua função e em produção de MDA. Para atenuar esses efeitos, as plantas ativam sistemas de defesa antioxidante, que incluem enzimas e

metabólitos antioxidantes não enzimáticos, como os flavonoides e a prolina (SOARES et al., 2019).

O aumento nos teores de clorofilas e flavonoides aos 7 dias de estresse (Tabela 1), associado à redução do malondialdeído (MDA) em plantas de soja submetidas a estresse abiótico e tratadas com o biofungicida à base de óleos essenciais (Figura 2), constitui um resultado particularmente relevante. A maior concentração de clorofilas sugere maior preservação do aparato fotossintético, enquanto o incremento de flavonoides indica a ativação de mecanismos de defesa antioxidante, importantes para a neutralização das EROs. Essa interpretação é reforçada pela redução dos níveis de MDA, um importante marcador da peroxidação lipídica e dos danos oxidativos às membranas celulares, indicando menor ocorrência de estresse oxidativo nos tecidos da planta.

Em conjunto, essas respostas sugerem que a formulação, além de sua ação biofungicida, pode exercer um efeito elicitor ou bioestimulante, promovendo ajustes fisiológicos e metabólicos capazes de aumentar a proteção celular e contribuir para a tolerância da soja ao estresse abiótico (DU JARDIN et al., 2020).

APLICAÇÃO PRÁTICA

Os resultados evidenciam o potencial da formulação à base de óleos essenciais como uma tecnologia multifuncional, capaz de associar a proteção fitossanitária à indução de mecanismos fisiológicos e antioxidantes relacionados à maior tolerância das plantas aos estresses abióticos, ampliando suas possibilidades de aplicação e seu valor agregado para o setor agrícola.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Santa Clara Agrociência pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas.

LITERATURA CITADA

DU JARDIN, P. ; XU, L.; GEELLEN, D. Agricultural functions and action mechanisms of plant biostimulants (PBs): an introduction. In: **The Chemical Biology of Plant Biostimulants**, p. 1-30, 2020.

LI, X. et al. Effects of abiotic stress on chlorophyll metabolism. **Plant Science**, v. 342, p. 112030, 2024.

SOARES, C. et al. Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. **Environmental and Experimental Botany**, v. 161, p. 4-25, 2019.