

Ácido salicílico e acibenzolar-S-methyl como atenuadores de fitointoxicação causada pelo chlorimuron-ethyl na cultura da soja

Salicylic acid and acibenzolar-S-methyl as attenuators of phytointoxication caused by chlorimuron-ethyl on soybean crop

Roque de Carvalho Dias^{1,*}, Leandro Bianchi¹, Thiago Barbosa Batista¹, Gabriel Henrique Germino¹, Caio Antonio Carbonari¹, Elizabeth Orika Ono², João Domingos Rodrigues² e Edivaldo Domingues Velini¹

¹Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Rua José Barbosa de Barros, n° 1780, CEP 18610-307, Botucatu, São Paulo, Brasil

²Universidade Estadual Paulista (Unesp), Departamento de Botânica – Instituto de Biologia, Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, Distrito de Rubião Junior, n° 250, CEP 18618-000, Botucatu, São Paulo, Brasil

(*E-mail: roquediasagro@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.16031>

Recebido/received: 2018.12.16

Aceite/accepted: 2019.03.06

RESUMO

O ácido salicílico (AS) e o acibenzolar-S-methyl (ASM) podem ser usados como atenuadores de estresses bióticos/abióticos causados em plantas, entretanto, são escassos os estudos visando minimizar os possíveis efeitos negativos da utilização de herbicidas em plantas. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito do AS e ASM como atenuadores de fitointoxicação causado pelo chlorimuron-ethyl na cultura da soja. Foi realizado um experimento em casa de vegetação no delineamento em blocos casualizados com cinco repetições. Os tratamentos aplicados no estádio V3-V4 na cultura da soja foram: controle (sem herbicida, sem AS e ASM); AS (1,0 mM); ASM (1,0 mM); AS 7 dias antes da aplicação do herbicida + chlorimuron-ethyl (1,0 mM + 100 g ha⁻¹); ASM 7 dias antes a aplicação do herbicida + chlorimuron-ethyl (1,0 mM + 100 g ha⁻¹, respectivamente); chlorimuron-ethyl (100 g ha⁻¹); AS em mistura de calda + chlorimuron-ethyl (1,0 mM + 100 g ha⁻¹, respectivamente) e ASM em mistura de calda + chlorimuron-ethyl (1,0 mM + 100 g ha⁻¹, respectivamente). Decorrido três horas após a aplicação e aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias depois da aplicação (DDA) foram realizadas avaliações de taxa de transporte de elétrons (TTE). Nesses mesmos dias avaliou-se os sintomas de fitointoxicação e a estimativa da área foliar (AF). Aos 28 DDA mediu-se a altura das plantas e a biomassa seca da parte aérea. A aplicação de AS e ASM, antes ou em mistura com herbicida chlorimuron-ethyl, reduziu os sintomas de fitointoxicação, manteve os índices de TTE próximos ao tratamento controle e minimizou as reduções da AF, altura e biomassa seca. A aplicação de AS e ASM atenuou o estresse causado pelo chlorimuron-ethyl na soja.

Palavras-chave: ação protetora, estresse, herbicida, *Glycine max* L., taxa de transporte de elétrons.

ABSTRACT

Salicylic acid (SA) and acibenzolar-S-methyl (ASM) can be used as biotic/abiotic stress attenuators in plants, thus, there are few studies that reduce the negative effects of herbicide use on plants. Therefore, this study aimed the effect of SA and ASM as attenuators of phytointoxication caused by chlorimuron-ethyl in soybean crop. The experiment was carried out in a greenhouse in a randomized complete block design with five replicates. The treatments were not studied V3-V4 in the soybean crop were: control (without herbicide, without SA and ASM); SA (1.0 mM); ASM (1.0 mM); SA 7 days before application of the herbicide + chlorimuron-ethyl (1.0 mM + 100 g ha⁻¹ respectively); ASM 7 days before application of the herbicide + chlorimuron-ethyl (1.0 mM + 100 g ha⁻¹, respectively); chlorimuron-ethyl (100 g ha⁻¹); SA in

syrup mixture + chlorimuron-ethyl (1.0 mM + 100 g ha⁻¹, respectively) and ASM in syrup mixture + chlorimuron-ethyl (1.0 mM + 100 g ha⁻¹, respectively). After three hours of application and at 3, 7, 14, 21 and 28 days after application (DAA), electron transport rate (ETR) evaluations were performed. On the same days the symptoms of phytointoxication and the estimation of leaf area (LA) were evaluated. At 28 DAA, plant height and dry shoot biomass were measured. The application of SA and ASM, before or in combination with chlorimuron-ethyl herbicide, reduced phytointoxication symptoms, maintained ETR indexes close to the control treatment, and minimized the reductions of LA, height and dry biomass. The application of SA and ASM attenuated the stress caused by chlorimuron-ethyl in soybean crop.

Keywords: protective action, stress, herbicide, *Glycine max* L., electron transport rate.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é uma das principais fontes de proteína para o uso humano e animal, representando uma das culturas de grande importância para a economia brasileira. A estimativa de produção na safra 2018/2019 pode chegar até 119,4 milhões de toneladas e área de aproximadamente 36 mil hectares no Brasil (CONAB, 2018).

A produtividade é reflexo do potencial genético da cultivar e dos tratos culturais utilizados durante o ciclo da cultura. Nesse contexto, ressalta-se a importância do manejo das plantas daninhas, uma vez que, a interferência dessas plantas pode causar prejuízos diretos e indiretos na cultura da soja (Minozzi *et al.*, 2014). Assim como na maioria das espécies cultivadas, o uso de herbicidas é uma ferramenta imprescindível no manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja. No entanto, a aplicação de herbicidas pode causar injúrias às plantas, afetando o desenvolvimento, crescimento e produtividade (Galon *et al.*, 2011).

O chlorimuron-ethyl é registrado para aplicações em pós-emergência na cultura da soja sendo efetivo no controle de folhas largas e algumas gramíneas (MAPA, 2018). Esse herbicida atua na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxiácido sintase (AHAS), esta essencial para a síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada: valina, isoleucina e leucina (Powles e Yu, 2010). A paralisação na síntese dos aminoácidos leva a uma interrupção na divisão celular e consequente paralisação do crescimento da planta. Embora, essa molécula seja registrada para a soja, há relatos sobre sintomas de fitointoxicação após a aplicação em pós-emergência (Galon *et al.*, 2007; Correia *et al.*, 2008).

A tolerância das culturas e a fitointoxicação por herbicidas está ligada a diferentes fatores intrínsecos ou não às plantas. Esta pode ser influenciada com a aplicação de substâncias exógenas, denominadas de antídotos ou protetores (Galon *et al.*, 2011). Dentre as moléculas com potencial para este fim destaca-se o ácido salicílico (AS) e o acibenzolar-S-methyl (ASM), seu análogo funcional.

Segundo Radwan (2012), a aplicação de AS tem a capacidade de reduzir estresses oxidativos gerados pela aplicação de herbicidas. Plantas de cevada tratadas com AS antes de aplicações de paraquat apresentaram proteção contra os efeitos fitotóxicos devido a alterações na atividade de enzimas antioxidantes como glicolato oxidase, fosfoglicolato fosfatase e catalase (Ananieva *et al.*, 2002). O uso de AS tem sido avaliado como alternativa para atenuar a fitointoxicação causada por paraquat em batata-doce (Ananieva *et al.*, 2002, 2004) e por glyphosate e clethodim em milho (Radwan, 2012; Akbulut *et al.*, 2015). Em trigo, Dias *et al.* (2017) verificaram que a aplicação de AS reduziu os sintomas de fitointoxicação provocadas pelo herbicida flumioxazin, evitando reduções do índice SPAD, do peso hectolitro e da produtividade. Evidências indicam que o ácido salicílico é uma molécula natural sinalizadora para a ativação de defesas da planta, atuando na modificação do sistema antioxidante por estimular a ação e produção das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase (Ananieva *et al.*, 2004; Sharma e Bhardwaj, 2014).

Já o acibenzolar-S-methyl (ASM) é um composto sintético, análogo funcional do ácido salicílico, que atua como um indutor de resistência, aumenta a velocidade de resposta da planta, ativando mecanismos de prevenção contra o ataque de determinados patógenos. Essa indução de resistência é

baseada principalmente na ativação de genes cuja expressão resulta na produção de proteínas tais como peroxidases, glucanases e quitinases, bem como na produção de fitoalexinas e modificações na parede celular pela lignificação, conferindo resistência ao ataque de fitopatógenos (Wróbel-Kwiatkowska *et al.*, 2004). Há diversos trabalhos avaliando o uso de ASM na indução de resistência de diversas doenças e pragas, entretanto, são escassos os trabalhos relacionando a redução da fitointoxicação por herbicidas com a utilização de ASM.

Nesse sentido, o ácido salicílico (AS) e o acibenzolar-S-methyl (ASM) podem representar um método alternativo e complementar com a função de atenuar os efeitos negativos da aplicação de herbicidas. Dessa maneira, sugere-se que a aplicação dessas moléculas pode se constituir em tecnologia auxiliar em diversos processos fisiológicos das plantas, como fluxo de elétrons, e de parâmetros de crescimento e desenvolvimento, como área foliar, altura e biomassa seca, por exemplo. Ademais, a utilização desses protetores pode auxiliar na adoção de práticas que proporcionem um controle efetivo das plantas daninhas e maior produtividade da cultura em função da redução dos estresses causados pelos herbicidas.

A partir desse contexto, o objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito desempenhado pelo AS e ASM na recuperação da fitointoxicação provocada pelo herbicida chlorimuron-ethyl aplicados em pós-emergência na cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual Paulista (UNESP), da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), Botucatu-SP em casa de vegetação, em delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições. As unidades experimentais foram compostas de vasos de 1,8 L preenchidos com substrato organomineral, com as seguintes características físico-químicas: turfa de sphagno, vermiculita expandida, casca de arroz torrefado, calcário dolomítico, gesso agrícola e traços de NPK; condutividade elétrica (CE) = $0,7 \pm 0,3$ mS/cm; pH em água ou KCl $5,5 \pm 0,5$; densidade das partículas 155 kg/m^3 ; capacidade de retenção de água 55%.

Quadro 1 - Relação dos tratamentos estudados, aplicados em pós-emergência na cultura de soja cultivar M6410 IPRO, Botucatu, São Paulo

Tratamento	Dose
T1. Controle (sem herbicida, sem AS ¹ e ASM ²)	-
T2. AS	1,0 mM
T3. ASM	1,0 mM
T4. AS 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	1,0 mM + 100 g ha ⁻¹
T5. ASM 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	1,0 mM + 100 g ha ⁻¹
T6. chlorimuron-ethyl	100 g ha ⁻¹
T7. AS em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	1,0 mM + 100 g ha ⁻¹
T8. ASM em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	1,0 mM + 100 g ha ⁻¹

¹AS= Ácido salicílico, ²ASM= Acibenzolar-S-methyl e ³DAA= Dias antes a aplicação do herbicida.

Foram semeadas quatro sementes de soja cultivar M6410 IPRO em cada vaso e, após a emergência das plântulas, ocorreu o desbaste, mantendo duas plantas por vaso e os tratamentos (Quadro 1) foram aplicados no estágio V3-V4 da cultura da soja, conforme a recomendação do fabricante.

Para a aplicação dos tratamentos foi utilizado pulverizador instalado em ambiente fechado, provido de uma barra de pulverização com quatro pontas de pulverização XR 110.02 VS, espaçadas entre si em 0,5 m e posicionadas a 0,5 m de altura em relação à superfície das unidades experimentais. O sistema foi operado com velocidade de deslocamento de $3,6 \text{ km h}^{-1}$, com volume de calda de 200 L ha^{-1} , pressão constante de $3,0 \text{ kgf cm}^{-2}$, pressurizado por ar comprimido.

Decorrido três horas após a aplicação e aos 3, 7, 14, 21 e 28 dias do mesmo realizou-se análise de taxa do fluxo de elétrons do FSII, por meio da fluorescência da clorofila a das folhas inferiores e superiores. Para tal utilizou-se o protocolo *Yield* do fluorômetro modulado portátil *Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Science)* e calculou-se a taxa de transporte de elétrons (TTE), conforme apresentado por Araldi *et al.* (2011). Nesses mesmos dias foi realizada a avaliação de fitointoxicação através de escala de notas na qual 0% representa nenhuma injúria e 100% morte das plantas, conforme metodologia proposta pela SBCPD (1995). Além disso, calculou-se a estimativa da área foliar, utilizando-se a equação: $AF = 2,0185 \times (\text{comprimento} \times \text{largura})$ (Richter *et al.*, 2014), sendo essa avaliação sempre no mesmo trifólio da soja em que foram aplicados os tratamentos (V3-V4).

Aos 28 DDA realizou-se a avaliação da altura das plantas (cm), considerando a distância entre o colo e a extremidade da haste principal e a coleta da parte aérea visando a determinação da biomassa seca, para isso, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, a temperatura média de 72°C, até atingir massa constante e, posteriormente, pesadas em balança analítica.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste *F* e, quando significativos, foram comparadas pelo teste de agrupamento de médias Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SISVAR (Ferreira, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação isolada de chlorimuron-ethyl resultou na fitointoxicação da soja em todos os períodos avaliados (Quadro 2). Os sintomas caracterizados por folhas de coloração amarela, cloroses internervais e deformações (Figura 1) devem-se a ação deste herbicida que atua na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS) ou acetohidroxiácido sintase (AHAS). Essa inibição está diretamente ligada à síntese de aminoácidos de cadeia ramificada essenciais como valina, isoleucina e leucina o que resulta na paralisação da divisão celular e, conseqüentemente, no crescimento da planta (Powles e Yu, 2010), o que pode ser verificado no presente estudo, nas reduções relacionado à altura de plantas, a taxa de crescimento e produção de biomassa. Galon *et al.* (2007) e Correia *et al.* (2008), verificaram efeitos de fitointoxicação em plantas de soja submetidas à aplicação de 40 e 20 g i.a., respectivamente, de chlorimuron-ethyl em pós-emergência. No presente estudo observou-se que os sintomas do chlorimuron-ethyl isolado, provocados inicialmente nas plantas de soja, interferiram negativamente nas demais variáveis analisadas taxa de transporte de elétrons (TTE) em até 13,15% aos 14 DDA em comparação ao tratamento controle, área foliar (AF) em todos os períodos avaliados, com redução máxima de 62,06% aos 7 DDA, altura em 10,22% e 44,16% de redução da biomassa seca.

Inserir Figura 1.



Figura 1 - Sintomas de fitointoxicação causado pela aplicação do chlorimuron-ethyl na cultura da soja cultivar M6410 IPRO, Botucatu, São Paulo. Fonte: Roque de Carvalho Dias.

Independente do período de avaliação e da modalidade de aplicação do herbicida associado com AS e ASM foram observados em todas os períodos avaliados, redução dos sintomas de fitointoxicação em até 13,95; 20,00; 38,36 e 45,75% aos 3, 7, 14, 21 e 28 DDA, respectivamente, quando comparados à aplicação isolada do chlorimuron-ethyl (Quadro 2). As reduções nos sintomas de fitointoxicação em função da aplicação exógena do AS e ASM ocorreu em função destes serem ativadores químicos contra estresses bióticos/abióticos em plantas (Alamino *et al.*, 2013; Sharma e Bhardwaj, 2014). Essas moléculas estão envolvidas na atividade de enzimas importantes no processo de detoxificação de herbicidas em plantas, como as catalases, peroxidases e superóxido dismutases (Galon *et al.*, 2011). Em estudos utilizando o AS, Agarwal *et al.* (2005) verificaram aumento da atividade de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, catalase e glutathione redutase) nos teores de clorofila, carotenoides, na estabilidade das membranas e decréscimo no nível de peroxidação de lipídeos. Para a aplicação de ASM foi verificado aumento da atividade de peroxidase (Soares *et al.*, 2004; Vigo *et al.*, 2012), superóxido dismutase e catalase (Alamino *et al.*, 2013). Dessa maneira, evidencia a atuação tanto do AS e ASM no herbicida na proteção da planta e conseqüente redução da fitointoxicação da soja em relação à aplicação isolada de chlorimuron-ethyl.

O uso de AS com o intuito de reduzir a fitointoxicação causada por herbicidas tem sido estudado em batata-doce para a aplicação de paraquat (Ananieva *et al.*, 2002, 2004), milho para glyphosate e clethodim em milho (Radwan, 2012; Akbulut

Quadro 2 - Fitointoxicação (%) em função da aplicação de ácido salicílico, acibenzolar-S-methyl e chlorimuron-ethyl em plantas de soja. Botucatu, São Paulo

Tratamento	Fitointoxicação (%)				
	3 DDA ⁴	7 DDA ⁴	14 DDA ⁴	21 DDA ⁴	28 DDA ⁴
Controle (sem herbicida, sem AS ¹ e ASM ²)	0,00 c	0,00 c	0,00 d	0,00 c	0,00 c
AS	0,00 c	0,00 c	0,00 d	0,00 c	0,00 c
ASM	0,00 c	0,00 c	0,00 d	0,00 c	0,00 c
AS 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	37,80 b	38,80 b	30,20 c	28,00 b	25,00 b
ASM 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	38,20 b	39,80 b	30,40 c	28,80 b	24,00 b
chlorimuron-ethyl	43,00 a	47,00 a	49,00 a	50,00 a	42,40 a
AS em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	38,60 b	40,60 b	33,00 b	30,60 b	28,00 b
ASM em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	37,00 b	37,60 b	32,80 b	27,40 b	23,00 b
Média Geral	24,32	25,47	20,95	20,60	18,17
Teste F	228,39**	483,23**	386,06**	467,80**	379,41**
C.V. (%)	12,30	8,50	10,08	9,30	10,19

¹AS= Ácido salicílico, ²ASM= Acibenzolar-S-methyl, ³DAA= dias antes a aplicação do herbicida e ⁴DDA= dias depois da aplicação dos tratamentos. C.V. (%) = coeficiente de variação. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo critério de agrupamento Scott-Knott ao nível de significância de 5% de probabilidade. ** significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

et al., 2015) e trigo para flumioxazin (Dias *et al.*, 2017). Para o ASM não há relatos sobre a utilização dessa molécula com a finalidade em atenuar possíveis efeitos fitotóxicos decorridos pela aplicação de herbicidas, o que salienta a importância dos resultados verificados neste estudo para a cultura de soja.

Em relação aos valores na taxa de transporte de elétrons (TTE) observou-se que aos 3, 7 e 14 dias depois da aplicação (DDA) dos tratamentos, apenas a aplicação isolada do herbicida chlorimuron-ethyl reduziu essa variável (Quadro 3). A análise de fluorescência da clorofila é baseada no fato de que a energia da luz absorvida pela clorofila é usada para conduzir a fotossíntese e esse excesso de energia é liberado como calor e fluorescência (Bolhàr-Nordenkampf e Oquist, 1993). Assim, a redução da TTE deve-se a interferência negativa na funcionalidade do aparelho fotossintético ou a efeitos dos estresses exógenos (Krause e Weis, 1991), como por exemplo, a inibição da síntese de proteínas por meio da ação do herbicida, o que interfere no transporte de elétrons nas plantas de soja.

Em contrapartida, tanto o ácido salicílico (AS) e o acibenzolar-S-methyl (ASM) independente se aplicados 7 dias antes da aplicação do herbicida ou em mistura com a molécula, auxiliaram em manter a TTE próximos ao tratamento controle e as aplicações isoladas de AS e ASM. A aplicação de AS foi capaz de aumentar o conteúdo relativo de água, a taxa fotossintética, transpiração e condutância

estomática em plantas de cevada (*Hordeum vulgare* L.) (Habibi, 2012). Isto significa dizer que o uso de AS em concentrações adequadas aumenta a capacidade fotossintética da cultura, logo, auxiliando a minimizar possíveis reduções por estresses abióticos como decorrentes da aplicação de herbicidas. A análise das alterações na fluorescência da clorofila, detectada pelo fluorômetro, oferece muitas possibilidades não só para determinar a inibição do transporte de elétrons pelo herbicida, mas também, para relacionar os sintomas de fitointoxicação com a taxa de absorção do herbicida e/ou concentração aplicada (Richard Jr. *et al.*, 1983).

Para área foliar (AF) verificou-se efeito semelhante ao da TTE, em que a aplicação isolada do chlorimuron-ethyl ocasionou maiores reduções aos 3, 7 e 14 DDA em comparação aos demais tratamentos (Quadro 4). As injúrias, principalmente, causadas pelo herbicida nos estádios iniciais afetaram negativamente o crescimento, o que refletiu na redução da AF. De maneira similar, em girassol, Fleck e Vidal (1993) constataram redução na área foliar após a aplicação do chlorimuron-ethyl. Merotto Jr. *et al.* (2000) verificaram reduções na área foliar em duas cultivares de soja, após a aplicação de herbicidas inibidores da ALS.

Paralelamente, a aplicação desse herbicida com o AS ou ASM independente da modalidade de aplicação reduziu a perda da AF quando comparado ao uso do herbicida isolado (Quadro 4). Em plantas de arroz (Esmielli *et al.*, 2015), calêndula (Pacheco

Quadro 3 - Taxa de transporte de elétrons (TTE) em função da aplicação de ácido salicílico, acibenzolar-S-methyl e chlorimuron-ethyl em plantas de soja. Botucatu, São Paulo

Tratamento	TTE					
	3 HAA ⁴	3 DDA ⁵	7 DDA ⁵	14 DDA ⁵	21 DDA ⁵	28 DDA ⁵
Controle (sem herbicida, sem AS ¹ e ASM ²)	58,09 a	86,81 a	33,16 a	52,15 a	38,55 a	53,96 a
AS	63,62 a	89,19 a	35,89 a	52,65 a	38,24 a	54,42 a
ASM	63,41 a	88,31 a	34,05 a	50,51 a	38,37 a	54,59 a
AS 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	59,43 a	86,78 a	35,88 a	50,43 a	39,75 a	54,39 a
ASM 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	59,01 a	87,72 a	33,95 a	50,07 a	38,47 a	55,14 a
chlorimuron-ethyl	55,11 a	80,72 b	28,87 b	45,29 b	35,28 a	53,57 a
AS em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	62,61 a	88,78 a	34,68 a	49,44 a	38,42 a	53,16 a
ASM em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	61,84 a	87,72 a	32,29 a	49,24 a	39,43 a	56,70 a
Média Geral	60,39	86,42	33,55	49,89	38,31	54,87
Teste F	1,81 ^{ns}	6,45 ^{**}	3,32 ^{**}	3,75 ^{**}	1,14 ^{ns}	0,64 ^{ns}
C.V. (%)	8,22	2,87	8,31	5,14	7,31	5,44

¹AS= Ácido salicílico, ²ASM= Acibenzolar-S-methyl, ³DAA= dias antes a aplicação do herbicida, ⁴DDA= dias depois da aplicação dos tratamentos e ⁵DAA=dias após a aplicação dos tratamentos. C.V. (%) = coeficiente de variação. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo critério de agrupamento Scott-Knott ao nível de significância de 5% de probabilidade. ^{ns} e ^{**} não significativo e significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

et al., 2013), crisântemo (Villanueva–Couoh *et al.*, 2009) e tomate (Larqué–Saavedra *et al.*, 2010) houve aumento na área foliar em plantas tratadas com AS e, estes resultados, corroboram ao verificado neste estudo. O uso de ácido salicílico aumenta a assimilação de carbono, síntese de metabólitos e a capacidade fotossintética, o que resulta em expansão dos tecidos, visualizado pelo aumento da área foliar (Farooq *et al.*, 2010), além disso, ressalta-se que o acibenzolar-S-methyl é análogo funcional do AS, resultando possivelmente nos mesmos mecanismos envolvidos na resposta para AF. Assim, a aplicação de AS e ASM servirá como

uma ferramenta em auxiliar as plantas em atenuar situações de estresse por herbicidas.

A altura e biomassa seca diminuíram em função da aplicação isolada do chlorimuron-ethyl (Quadro 5). Essas reduções devem-se à ação do chlorimuron-ethyl na inibição da síntese dos aminoácidos de cadeia ramificada: valina, isoleucina e leucina já citados anteriormente. Assim, as reduções na altura e biomassa seca apresentaram relação direta aos níveis de fitointoxicação proporcionada pelo herbicida. A redução nessas variáveis e seus possíveis efeitos no crescimento e desenvolvimento

Quadro 4 - Área foliar (cm²) em função da aplicação de ácido salicílico, acibenzolar-S-methyl e chlorimuron-ethyl em plantas de soja. Botucatu, São Paulo

Tratamento	Área foliar (cm ²)				
	3 DDA ⁴	7 DDA ⁴	14 DDA ⁴	21 DDA ⁴	28 DDA ⁴
Controle (sem herbicida, sem AS ¹ e ASM ²)	121,34 a	160,94 a	166,89 a	169,65 a	174,99 a
AS	138,63 a	160,77 a	164,14 a	170,09 a	174,51 a
ASM	137,76 a	160,03 a	165,14 a	171,35 a	175,56 a
AS 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	93,75 b	100,38 b	111,21 b	122,08 b	124,34 b
ASM 7 DAA ³ + chlorimuron-ethyl	90,15 b	99,94 b	105,23 b	114,66 b	119,39 b
chlorimuron-ethyl	40,41 c	61,05 c	67,35 c	98,99 b	104,08 b
AS em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	79,93 b	96,75 b	99,59 b	102,23 b	102,10 b
ASM em mistura de calda + chlorimuron-ethyl	80,57 b	96,85 b	100,04 b	101,22 b	102,11 b
Média Geral	97,82	117,09	122,54	131,29	134,64
Teste F	7,75 ^{**}	11,25 ^{**}	11,04 ^{**}	8,69 ^{**}	16,23 ^{**}
C.V. (%)	27,41	21,75	20,83	19,21	14,18

¹AS= Ácido salicílico, ²ASM= Acibenzolar-S-methyl, ³DAA= dias antes a aplicação do herbicida e ⁴DDA= dias depois da aplicação dos tratamentos. C.V. (%) = coeficiente de variação. Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo critério de agrupamento Scott-Knott ao nível de significância de 5% de probabilidade. ^{**} significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

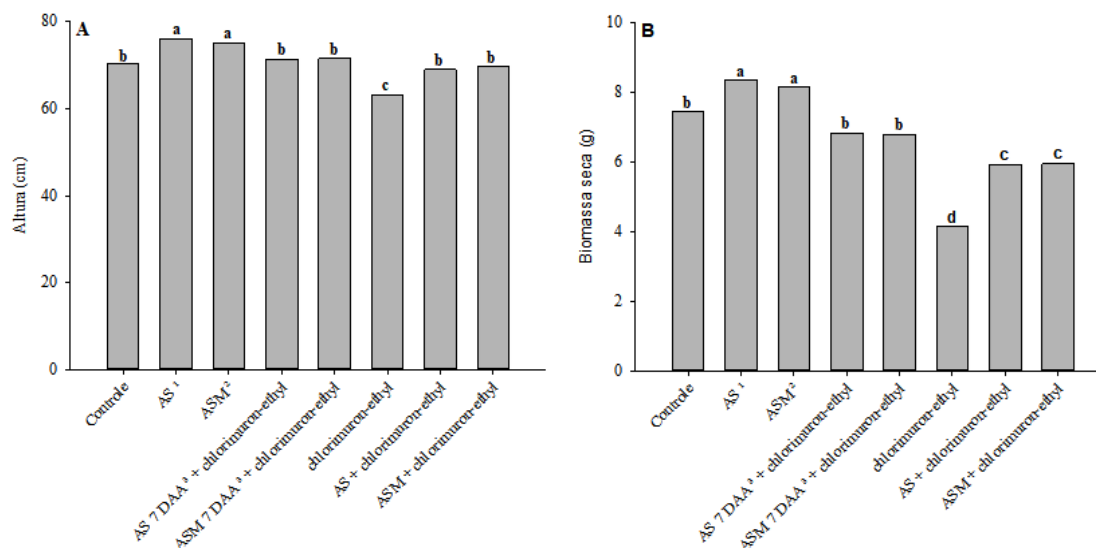


Figura 2 - Altura (A) e biomassa seca (B) aos 28 dias depois da aplicação em função da aplicação de AS, ASM e chlorimuron-ethyl em plantas de soja. Botucatu, São Paulo. ¹AS= Ácido salicílico, ²ASM= Acibenzolar-S-methyl e ³DAA= Dias antes a aplicação do herbicida. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo critério de agrupamento Scott-Knott ao nível de significância de 5% de probabilidade.

da planta de soja podem resultar na diminuição competitiva com as plantas daninhas (Bianchi *et al.*, 2006).

O uso do AS e ASM tanto antes da aplicação do herbicida ou em mistura na calda reduziram a perda de altura e biomassa seca (Quadro 5). Vale ressaltar que para altura de plantas, a modalidade de aplicação dessas substâncias não influenciou nessa variável, diferente na biomassa seca, em que a aplicação sete dias antes da aplicação do herbicida auxiliou de maneira mais efetiva a redução na perda de biomassa seca de plantas de soja em comparação a mistura de calda. A modalidade de aplicação e a concentração de AS são características que podem influenciar na tolerância a um tipo de estresse (Németh *et al.*, 2002).

Normalmente, a baixa concentração ou um nível muito elevado de AS pode acarretar na redução em relação aos estresses abióticos. Em plantas de *Arabidopsis* e tabaco, a concentração de 0,1-0,5 mM de AS é ideal para obter o mais alto nível de tolerância ao estresse (Németh *et al.*, 2002; He *et al.*, 2005; Shi *et al.*, 2006). No presente trabalho, a concentração aplicada de 1 mM foi satisfatória para ajudar a atenuar os efeitos de chlorimuron-ethyl em plantas de soja.

O AS é um regulador vegetal capaz de incrementar o conteúdo de água, taxa fotossintética e condutância estomática (Habibi, 2012), o que possivelmente favoreceu o aumento da altura e incremento de biomassa seca, tanto para as plantas tratadas com AS quanto para seu análogo funcional ASM. Além disso, Khodary (2004) constatou maior desempenho do metabolismo de carboidratos em plantas de milho tratadas com AS, o que pode explicar o incremento de altura e biomassa seca das plantas de soja.

CONCLUSÕES

O herbicida chlorimuron-ethyl isolado aplicado em pós-emergência na cultura da soja provoca sintomas de fitointoxicação prejudicando o desenvolvimento e crescimento das plantas tratadas. A aplicação de AS e ASM proporciona efeito de proteção em relação ao estresse causado pelo herbicida chlorimuron-ethyl.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio financeiro a pesquisa através do Projeto (Processo n. 140683/2018-6).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, S.; Sairam, R.K.; Srivastava, G.C. & Meena, R.C. (2005) – Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, vol. 49, n. 4, p. 541-500. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z>
- Akbulut, G.B.; Yigit, E. & Bayram, D. (2015) – Investigation of the Effects of Salicylic Acid on Some Biochemical Parameters in *Zea mays* to Glyphosate Herbicide. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, vol. 5, n. 3, p. 271-279. <http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.1000271>
- Alamino, D.A.; Cabral, V.B.; Danner, M.A. & Marchese, J.A. (2013) – Indução de resistência à podridão-amarga em maçãs pelo uso de eliciadores em pós-colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 48, n. 3, p. 249-254. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300002>
- Ananieva, E.A.; Alexieva, V.S. & Popova, L.P. (2002) – Treatment with salicylic acid decreases the effects of paraquat on photosynthesis. *Journal of Plant Physiology*, vol. 159, n. 7, p. 685-693. <http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-0706>
- Ananieva, E.A.; Christov, K.N. & Popova, L.P. (2004) – Exogenous treatment with salicylic acid leads to increased antioxidant capacity in leaves of barley plants exposed to Paraquat. *Journal of Plant Physiology*, vol. 161, n. 3, p. 319-328. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01022>
- Araldi, R.; Velini, E.D.; Giroto, M.; Carbonari, C.A.; Jasper, S.P. & Trindade, M.L.B. (2011) – Efeitos na taxa de transporte de elétrons de plantas daninhas após aplicação de amicarbazone. *Planta Daninha*, vol. 29, n. 3, p. 647-653, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300019>
- Bianchi, M.A.; Fleck, N.G. & Federizzi, L.C. (2006) – Características de plantas de soja que conferem habilidade competitiva com plantas daninhas. *Bragantia*, vol. 65, n. 4, p. 623-632.
- Bøllhar-Nordenkamp, H.R. & Oquist, G.O. (1993) – *Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research*. In: Hall, D.O.; Scurlock, J.M.O.; Bøllhar-Nordenkamp, H.R.; Leefood, R.C.; Long, S.P. (Eds.) – *Photosynthesis and production in a changing environment*. London: Chapman & Hall, p. 193-206.
- CONAB (2018) – Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 4ª levantamento. *Monitoramento Agrícola*, vol. 6, n. 1, p. 1-129.
- Correia, N.M.; Durigan, J.C. & Leite, G.J. (2008) – Seletividade da soja transgênica tolerante ao glyphosate e eficácia de controle de *Commelina benghalensis* com herbicidas aplicados isolados e em misturas. *Bragantia*, vol. 67, n. 3, p. 663-671. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300015>
- Dias, R.C.; Melo, C.A.D.; Santos, L.P.D.; Silva, G.S.; Carneiro, G.D O.P. & Reis, M.R. (2017) – Ácido salicílico como atenuador de fitotoxicidade causada pelo flumioxazin na cultura do trigo. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, vol. 60, n. 2, p. 152-157. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2458>
- Esmaili, M.; Heidarzade, A. & Zeinali, A. (2015) – Alterations in content of phenolic acids and growth parameters of two rice (*Oryza sativa*) cultivars in response to salicylic acid under abiotic stress. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, vol. 4, n. 2, p. 119-124.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Lee, D.J.; Cheema, S.A. & Aziz, T. (2010) – Drought stress: comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 196, n. 5, p. 336-345. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00422.x>
- Ferreira, D.F. (2003) – *Programa de análises estatísticas (Statistical Analysis Software) e planejamento de experimentos*. Lavras: UFLA.
- Fleck, N.G. & Vidal, R.A. (1993) – Injúria potencial de herbicidas de solo ao girassol: II-Chlorimuron-ethyl. *Planta Daninha*, vol. 11, n. 1-2, p. 44-48. <https://doi.org/10.1590/s0100-835819930001000>
- Galon, L.; Pinto, J.J.O.; Agostinetto, D. & Dal Magro, T. (2007) – Controle de plantas daninhas e seletividade de herbicidas à cultura da soja, aplicados em dois volumes de calda. *Revista Brasileira de Agrociência*, vol. 13, n. 3, p. 325-330.
- Galon L.; Maciel, C.D.G.; Agostinetto, D.; Concenço, G. & Moraes, P.V.D. (2011) – Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos. *Revista Brasileira de Herbicidas*, vol. 10, n. 3, p. 291-304. <https://doi.org/10.7824/rbh.v10i3.167>

- Habibi, G. (2012) – Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis*, vol. 56, n. 1, p. 57-63.
- He, Y.; Liu, Y.; Cao, W.; Huai, M.; Xu, B. & Huang, B. (2005) – Effects of salicylic acid on heat tolerance associated with antioxidant metabolism in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, vol. 45, n. 3, p. 988-995. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.0678>
- Krause, G.H. & Weis, E. (1991) – Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, vol. 42, n. 1, p. 313-349. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525>
- Khodary, S.E.A. (2004) – Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt-stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology*, vol. 6, n. 1, p. 5-8.
- Larqué-Saavedra, A.; Martín-Mex, R.; Nexticapan-Garcéz, Á.; Vergara-Yoisura, S. & Gutiérrez-Rendón, M. (2010) – Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, vol. 16, n. 3, p. 183-187.
- MAPA (2018) – AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério da Agricultura. [cit. 2018-10-21]. <https://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>.
- Merotto Jr, A.; Vidal, R.A. & Fleck, N.G. (2000) – Tolerância da cultivar de soja Coodetec 201 aos herbicidas inibidores de ALS. *Planta Daninha*, vol. 18, n. 1, p. 93-102. <https://doi.org/10.1590/s0100-8358200000100010>
- Minozzi, G.B.; Monquero, P.A. & Pereira, P.A. (2014) – Eficácia de diferentes manejos das plantas daninhas na cultura da soja transgênica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 9, n. 3, p. 406-412. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i3a4499>
- Németh, M.; Janda, T.; Horváth, E.; Páldi, E. & Szalai, G. (2002) – Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science*, vol. 162, n. 4, p. 569-574. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00593-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00593-3)
- Pacheco, A.C.; Silva, C.C.; Silva, E.S.F. & Aleman, C.C. (2013) – Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 7, n. 42, p. 3158-3163. <https://doi.org/10.5897/JMPR2013.5208>
- Powles, S.B. & Yu, Q. (2010) – Evolution in Action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 61, p. 317-347. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>
- Radwan, D.E.M. (2012) – Salicylic acid induced alleviation of oxidative stress caused by clethodim in maize (*Zea mays* L.) leaves. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 102, n. 2, p. 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.002>
- Richard Jr, E.P.; Goss, J.R.; Arntzen, C.J. & Slife, F.W. (1983) – Determination of herbicide inhibition of photosynthetic electron transport by fluorescence. *Weed Science*, vol. 31, n. 3, p. 361-367. <https://doi.org/10.1017/S0043174500069174>
- Richter, G.L.; Zanon Júnior, A.; Streck, N.A.; Carús Guedes, J.V.; Kräulich, B.; Marques da Rocha, T.S.; Winck, J.E.M. & Cera, J.C. (2014) – Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. *Bragantia*, vol. 73, n. 4, p. 416-425. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0179>
- SBCPD (1995) – *Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas*. Londrina: Sociedade Brasileira Da Ciência Das Plantas Daninhas, 42p.
- Sharma, A. & Bhardwaj, R.D. (2014) – Effect of seed pre-treatment with varying concentrations of salicylic acid on antioxidant response of wheat seedlings. *Indian Journal of Plant Physiology*, vol. 19, n. 3, p. 205-209. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0100-0>
- Shi, Q.; Bao, Z.; Zhu, Z.; Ying, Q. & Qian, Q. (2006) – Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regulation*, vol. 48, n. 2, p. 127-135. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-5482-6>
- Soares, R.M.; Maringoni, A.C. & Lima, G.P.P. (2004) – Ineficiência de acibenzolar-S-methyl na indução de resistência de feijoeiro comum à murcha-de-curtobacterium. *Fitopatologia Brasileira*, vol. 29, n. 4, p. 373-377. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000400002>
- Vigo, S.C.; Maringoni, A.C.; Camara, R.D.C. & Lima, G.P.P. (2012) – Evaluation of pyraclostrobin and acibenzolar-S-methyl on common bacterial blight of snap bean. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 33, n. 1, p. 167-173. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p167>

- Villanueva-Couoh, E.; Alcántar-González, G.; Sánchez-García, P.; Soria-Fregoso, M. & Larque-Saavedra, A. (2009) – Efecto del ácido salicílico y dimetilsulfóxido en la floración de [*Chrysanthemum morifolium* (Ramat) Kitamura] en Yucatán. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, vol. 15, n. SPE, p. 25-31.
- Wróbel-Kwiatkowska, M.; Starzychi, M.; Oszmianski, J.; Kepczynska, E. & Szopa, J. (2004) – Expression of β -1,3-glucanase in flax causes increased resistance to fungi. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, vol. 65, n. 5, p. 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2005.02.008>