

FATORES AMBIENTAIS QUE AFETAM A EFICÁCIA DE HERBICIDAS INIBIDORES DA ACCASE: REVISÃO¹

Environmental Factors Affecting the Efficacy of ACCase-inhibiting Herbicides: a Review

CIESLIK, L.F.², VIDAL, R.A.³ e TREZZI, M.M.⁴

RESUMO - O conhecimento dos fatores que limitam o desempenho dos herbicidas permite selecionar os momentos mais apropriados para sua eficácia, otimizar a dose aplicada e reduzir o custo de produção. O objetivo desta revisão foi sintetizar o conhecimento do impacto das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e luminosidade) na eficácia de herbicidas inibidores da ACCase. Temperatura do ar e umidade relativa do ar são as variáveis ambientais que mais alteram o desempenho desses herbicidas no controle das plantas daninhas. Em condições naturais, essas variáveis, juntamente com a luminosidade, interagem entre si – fato que dificulta a escolha do momento adequado para a aplicação do herbicida e a decisão do fator determinante na eficiência do produto. Sob condições controladas, é possível identificar a influência de cada um desses fatores. Aumento da umidade relativa do ar e da temperatura do ar, até certo limite, amplia a eficácia dos inibidores da ACCase no controle das plantas daninhas, pois favorece a absorção e a translocação do produto pela planta. Intensidade luminosa, quando em níveis elevados, também proporciona esses benefícios, porém há condições em que o sombreamento confere melhor desempenho aos herbicidas. A otimização da eficácia dos herbicidas inibidores da ACCase no controle das plantas daninhas passa por uma correta análise da influência de cada uma das variáveis ambientais supracitadas.

Palavras-chave: variáveis ambientais, temperatura do ar, umidade relativa do ar, luminosidade.

ABSTRACT - Understanding the factors that limit herbicide performance would allow selecting the appropriate time to spray the compounds, optimizing the dose applied, and reducing the production costs. The objective of this review was to synthesize the information available on the literature on the effect of the environmental conditions (air temperature, relative humidity, and irradiance) on the efficacy of the ACCase-inhibiting herbicides. Air temperature and relative humidity are the most important environmental variables altering the performance of these herbicides on weed control. Under natural conditions, these variables, along with irradiance, interact with one another, making it difficult to decide the best time to select herbicide application. Under controlled conditions, it is possible to identify the individual influence of each factor on herbicide efficacy. Increased relative humidity and air temperature increase the efficacy of ACCase-inhibitors to a certain extent, because of increased uptake and translocation of the herbicides by the plants. Light intensity, when increased, also provides these benefits, but sometimes shading provides better performance of these herbicides. To optimize the efficacy of ACCase-inhibitors on weed control, it is necessary to analyze the influence of each of the variables mentioned above.

Keywords: environmental variables, air temperature, relative humidity, light.

¹ Recebido para publicação em 9.8.2012 e aprovado em 11.11.2012.

² Eng^o-Agr^o, M.Sc., Unicampo/Dupont, Luis Eduardo Magalhães-BA, Curso de Agronomia, UTFPR, Campus Pato Branco, Via do Conhecimento, Km 01, Caixa Postal 571, 85503-390 Pato Branco-PR, <lucas_cieslik@hotmail.com>; ³ Eng^o-Agr^o, Ph.D., Professor, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre-RS. Pesquisador do CNPq, <ribas.vidal@gmail.com>; ⁴ Eng^o-Agr^o, Dr., Professor, Curso de Agronomia, UTFPR, Campus Pato Branco, Via do Conhecimento, Km 01, Caixa Postal 571, 85503-390 Pato Branco-PR, <trezzim@gmail.com>.



INTRODUÇÃO

Os herbicidas inibidores da enzima Acetil-CoA carboxilase (ACCCase) são de aplicação em pós-emergência das plantas daninhas, controlam espécies gramíneas e são seletivos para as culturas dicotiledôneas (Vidal & Merotto Jr., 2001). No Brasil, os herbicidas com atividade nessa enzima pertencem a dois grupos químicos: os ariloxifenoxipropionatos e os ciclohexanodionas. Contudo, em nível mundial, há um grupo químico mais novo em fase de lançamento: fenilpirazolininas (Muehlebach et al., 2009). O conhecimento dos fatores que impactam a eficácia desses herbicidas foi pesquisado mais intensamente na década de 1980, após a descoberta e o lançamento deles. Com a introdução de culturas resistentes a outros herbicidas, num primeiro momento, houve redução da utilização dos inibidores da ACCCase. Com a recente necessidade de reutilização desses herbicidas, há necessidade de sintetizar o conhecimento dos fatores ambientais que otimizam a eficácia desses graminicidas pós-emergentes.

Temperatura do ar e umidade relativa do ar, além do nível de irradiância, afetam diversas características morfológicas e fisiológicas das plantas daninhas, incluindo composição e quantidade de substâncias lipofílicas depositadas sobre a superfície foliar, ângulo foliar, taxa fotossintética, entre outras (Vidal, 2002). Essas variáveis morfofisiológicas alteram a capacidade de absorção, de translocação e de detoxificação dos herbicidas nas plantas. Com isso, a eficácia de controle das plantas daninhas pelos herbicidas inibidores da ACCCase é extremamente dependente das condições ambientais.

O objetivo desta revisão foi sintetizar a informação disponível na literatura com relação ao impacto das variáveis ambientais estudadas na eficácia dos herbicidas inibidores da ACCCase no controle das plantas daninhas.

Temperatura do ar

A temperatura do ar, quando aumentada dentro de limites favoráveis à planta, favorece o desempenho de herbicidas inibidores da

ACCCase (Medd et al., 2001; Andrews et al., 2007, 2008). Por exemplo, quando a temperatura do ar máxima no dia da aplicação foi elevada, houve maior eficácia de clodinafop-propargyl em plantas de *Avena* spp. em relação a temperaturas do ar inferiores (Medd et al., 2001). Em condição de aplicação de doses reduzidas de clodinafop, a eficácia de controle de *Avena* spp. com o produto também foi aumentada quando a temperatura do ar máxima no dia da aplicação foi elevada, em comparação à condição de baixa temperatura do ar (Andrews et al., 2008).

A temperatura do ar máxima no dia da aplicação e a soma das temperaturas do ar mínimas diárias dos sete dias antes da aplicação tiveram efeitos significativos sobre a eficácia de clodinafop-propargyl. Constatou-se que condições de baixa temperatura do ar no momento ou após a aplicação do produto atrasaram as respostas em *Avena* spp. (Medd et al., 2001). De fato, a temperatura do ar máxima no dia da aplicação também foi correlacionada com a eficácia de clodinafop para três variáveis estudadas: mortalidade de *Avena* spp., densidade de panícula e produção de sementes da mesma espécie (Andrews et al., 2007).

Há interação entre a temperatura do ar máxima no dia da aplicação e o volume de calda utilizado (Medd et al., 2001; Andrews et al., 2007, 2008). Dessa forma, é possível compensar a limitação de baixas temperaturas do ar aumentando o volume de calda, para garantir a eficácia de controle de *Avena* spp. com clodinafop-propargyl (Medd et al., 2001). Com efeito, outros autores (Andrews et al., 2007, 2008) demonstraram, mesmo com temperatura do ar máxima no dia da aplicação de 11 °C, que o aumento do volume de calda incrementou o desempenho do herbicida, sobretudo em doses reduzidas. Contudo, quando a temperatura do ar máxima no dia da aplicação foi de 20 °C, o aumento no volume de calda não alterou a eficácia de controle, independentemente da dose utilizada, porque o produto já havia proporcionado ótimo controle das plantas (Andrews et al., 2008).

Também ocorre interação da temperatura do ar máxima no dia da aplicação com a dose aplicada (Medd et al., 2001). Doses reduzidas de clodinafop-propargyl foram eficazes em

plantas de *Avena* spp. somente quando a temperatura do ar máxima no dia da aplicação foi superior a 11 °C. Em condições em que as plantas estavam sob estresse por baixa temperatura do ar, tornou-se necessário o aumento da dose do produto para que o controle fosse eficiente (Medd et al., 2001).

Destacam-se pelo menos três explicações para a redução do efeito de herbicidas inibidores de ACCase sob baixa temperatura do ar. Primeiramente, em condição de temperatura do ar reduzida, há incremento do conteúdo decera epicuticular da folha. Com efeito, plantas de *Setaria faberi* submetidas a baixa temperatura do ar (20/15 °C dia/noite) tiveram 40% a mais de cera nas folhas do que plantas cultivadas sob alta temperatura do ar (32/22 °C dia/noite). Conseqüentemente, a cutícula foliar incrementa sua hidrofobicidade e há reduzido molhamento foliar pela pulverização do herbicida, o que pode diminuir a absorção do produto (Hatterman-Valenti et al., 2006).

A segunda explicação para a menor eficácia dos herbicidas inibidores da ACCase sob baixa temperatura do ar é a diminuição da absorção e da translocação do produto na planta sob essa condição. Plantas de *Helianthus annuus* que cresceram sob temperatura do ar de 30 °C e 90±5% de umidade relativa do ar absorveram até 27% a mais de ¹⁴C-diclofop do que plantas crescidas a 10 °C e 40±10% (Gillespie & Miller, 1983). A translocação de ¹⁴C-diclofop para fora da folha tratada nessa mesma espécie também foi maior na temperatura do ar de 30 °C (1,3%) do que a 10 °C (0,5%) (Gillespie & Miller, 1983).

Por último, a menor atividade metabólica das plantas sob temperatura do ar reduzida também explica a redução do efeito dos herbicidas inibidores da ACCase sob baixas temperatura (Gillespie & Miller, 1983).

A hipótese de que temperatura do ar elevada favorece a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase no controle de plantas daninhas tem limites (Xie et al., 1997; Hatterman-Valenti et al., 2006; Andrews et al., 2007; Cieslik, 2012). Em espécies vegetais de clima frio, como *Avena* spp., o efeito da temperatura do ar sobre a atividade de clodinafop foi quadrático. Assim, a eficácia do produto foi otimizada quando a temperatura do ar máxima

no dia da aplicação foi de 20 °C. No entanto, houve diminuição da eficácia do herbicida com temperaturas do ar máximas no dia da aplicação superiores a 20 °C (Andrews et al., 2007). Na mesma espécie vegetal, a toxicidade de fenoxaprop e diclofop às plantas foi reduzida quando em temperatura do ar elevada (30/20 °C dia/noite). O efeito adverso da alta temperatura do ar no controle das plantas de aveia com fenoxaprop foi compensado, em parte, pela elevação da dose do produto (Xie et al., 1997). A menor atividade desse herbicida pode ser atribuída à reduzida retenção de calda (Xie et al., 1995), ao aumento na desintoxicação do produto (Xie et al., 1996) e, possivelmente, à intensa evaporação das gotas aspergidas sob elevada temperatura do ar.

Em espécies infestantes de clima quente também há limites para a ótima atuação dos inibidores de ACCase sob elevada temperatura do ar. Por exemplo, o aumento dessa variável ambiental foi acompanhado por decréscimo da eficácia de fluazifop-p-butil no controle de gramíneas (Cieslik, 2012). Reduzida absorção de fluazifop-P pelas folhas de *S. faberi* foi observada quando as plantas estavam sob elevada temperatura do ar (32/22 °C dia/noite), em comparação com a condição de temperatura do ar amena (20/15 °C dia/noite). Especula-se que alterações fisiológicas provocadas pela elevada temperatura do ar reduziram a suscetibilidade do tecido foliar à ação do herbicida (Hatterman-Valenti et al., 2006).

A temperatura do ar é uma das principais variáveis ambientais a serem observadas no momento da aplicação de herbicidas. Pode-se concluir que a eficácia dos inibidores da ACCase é ampliada pelo aumento da temperatura do ar, até um certo limite. Baixas temperaturas do ar aumentam o conteúdo de cera das folhas e diminuem o metabolismo das plantas, resultando em menor absorção e translocação do produto. Todavia, sob temperaturas do ar muito elevadas, pode ocorrer redução do efeito dos herbicidas inibidores da ACCase, devido à menor retenção de calda ou maior detoxificação do produto.

Umidade relativa do ar

O impacto da umidade relativa do ar na atividade de herbicidas inibidores da ACCase



é uma das mais importantes entre as variáveis ambientais. Por exemplo, a umidade relativa do ar correlacionou-se com a eficácia de dichlorprop. Essa variável ambiental foi a mais importante para explicar os resultados experimentais, superando a temperatura do ar na predição da eficácia desse herbicida sobre o controle das plantas daninhas (Skuterud et al., 1998). O desempenho de fluazifop-p-butyl sobre o controle de plantas daninhas monocotiledôneas também foi ampliado em condição de elevada umidade relativa do ar (Cieslik, 2012).

A melhoria da eficácia de controle quando o herbicida é aspergido sob condição de elevada umidade relativa do ar é atribuída a pelo menos duas razões: aumento da hidratação da cutícula e adiamento da secagem da gota. Ambos os mecanismos podem ser separados pela análise temporal com relação ao momento da pulverização. Quando a maior hidratação da cutícula é o mecanismo responsável pela melhoria da eficácia com alta umidade relativa do ar, esta deve ser elevada durante algum tempo antes da aplicação, a fim de hidratar a cutícula. Quando a alta umidade relativa do ar melhora a eficácia através do adiamento da secagem das gotículas de pulverização, então a umidade relativa do ar após a aspersão é mais importante. Essa argumentação permitiu aos pesquisadores deduzir que a maior eficácia dos inibidores da ACCase com elevada umidade relativa do ar é explicada pela maior absorção e translocação do produto sob essa condição (Ramsey et al., 2005; Xu et al., 2010).

A análise de translocação de ^{14}C -diclofop em *H. annuus* – uma espécie insensível aos inibidores de ACCase – permitiu evidenciar a interação da umidade relativa do ar com a temperatura do ar. Assim, 192 horas após a aplicação, houve absorção de 70% do produto quando as plantas estiveram sob temperatura do ar de 30 °C e umidade relativa do ar de 90%, em contraste com apenas 45% de absorção quando as plantas estiveram sob temperatura do ar de 10 °C e umidade relativa do ar de 40% (Gillespie & Miller, 1983).

Contudo, a hipótese de melhor eficácia do herbicida com maior umidade relativa do ar nem sempre é válida (Xie et al., 1997). Com efeito, a permanência de plantas tratadas com

fenoxaprop, diclofop e flamprop por seis horas depois da aplicação sob baixa (30%) e alta (95%) umidade relativa do ar não alterou o controle de *A. fatua* (Xie et al., 1997). Esse trabalho não esclarece os motivos da ausência de resposta dos graminicidas sobre a planta daninha nas diversas condições de umidade relativa do ar estudadas.

Adjuvantes junto à calda de pulverização, principalmente os surfatantes molhantes (umectantes), podem contornar o problema da baixa umidade relativa do ar. Esses produtos retardam a evaporação das gotículas de água, fazendo com que elas permaneçam por maior período de tempo sobre a superfície das folhas. Desse modo, o herbicida é mantido na solução de aspersão e permanece disponível para absorção. Alternativamente, sem os umectantes ocorreria rápida secagem da gota, com conseqüente cristalização das moléculas do herbicida na superfície tratada e, portanto, reduzida absorção do herbicida pela planta (Ramsey et al., 2005).

Em síntese, a umidade relativa do ar pode afetar a atividade dos herbicidas inibidores da ACCase. Salvo algumas exceções, pode-se constatar relação crescente entre a eficácia desses herbicidas e a umidade relativa do ar.

Luminosidade

O efeito da intensidade luminosa na eficácia dos herbicidas inibidores da ACCase é controverso. Normalmente, condições de elevada irradiância favorecem a atividade desses produtos (Kells et al., 1984; Hatterman-Valenti et al., 2006). Entretanto, existem situações na quais o sombreamento pode favorecer a atividade dos inibidores da ACCase (Xie et al., 1994; Hatterman-Valenti et al., 2006).

A irradiância, quando em nível elevado, favorece a absorção de fluazifop-P, por exemplo, pelas plantas de *S. faberi* quando a umidade do solo, onde as plantas foram cultivadas, apresenta-se na capacidade de campo. De fato, plantas mantidas sob elevada intensidade luminosa ($812 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) apresentaram absorção de fluazifop-P aproximadamente 25% superior em comparação com aquelas crescidas sob média irradiância ($390 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

e 50% superior quando comparada à condição de baixa intensidade de luz ($145 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Hatterman-Valenti et al., 2006).

A condição de sombreamento antes da aplicação do herbicida seguida de elevada luminosidade também favorece o desempenho do produto. Por exemplo, plantas de *Agropyron repens* expostas à sombra ($53 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por 48 horas antes do tratamento com fluazifop-butil foram mais eficazmente controladas quando mantidas a plena luz ($280 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) após a aspersão, em comparação com plantas que também permaneceram na sombra depois do tratamento (Kells et al., 1984).

A luminosidade em nível elevado favorece a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase, pelo fato de melhorar a atividade metabólica das plantas. A luz afeta uma grande variedade de processos fisiológicos nas plantas, os quais influenciam direta e indiretamente a absorção e a translocação de herbicidas inibidores da ACCase (Hull et al., 1982). Entre outros fatores fisiológicos e morfológicos, a elevada irradiância favorece a síntese de fotoassimilados, a qual é necessária para o transporte do herbicida na planta (Wanamarta & Penner, 1989). De fato, a translocação de ^{14}C -fluazifop-butil foi 25% maior nas plantas expostas à plena luz ($280 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que naquelas mantidas em luminosidade reduzida ($53 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) após o tratamento. Esses resultados evidenciam que a translocação de fluazifop-butil é aumentada em condições que favoreçam o fluxo de fotoassimilados (Kells et al., 1984).

A luminosidade elevada, todavia, nem sempre favorece a eficiência de herbicidas inibidores da ACCase (Xie et al., 1994; Hatterman-Valenti et al., 2006). Existem pelo menos três condições em que a elevada luminosidade não favorece a atividade dos inibidores de ACCase. Primeiramente, sob condição de estresse hídrico (-5 a -10 kPa), a absorção de fluazifop-P pelas plantas de *S. faberi* foi muito baixa, não havendo diferenças entre intensidades luminosas (Hatterman-Valenti et al., 2006).

Em segundo lugar, o efeito de fenoxaprop aplicado em *A. fatua* aumentou quando as plantas foram sombreadas. Neste regime de luz (30% da luz plena), houve diminuição da massa da parte aérea, do número de perfilhos

e da rebrota de plantas em comparação com o regime sem sombreamento (densidade de fluxo de fótons fotossintéticos média de $400 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Xie et al., 1994). As razões desse fenômeno ainda são especulativas. O sombreamento anterior à aspersão aumentou a área foliar das plantas, o que pode ter sido responsável pela maior interceptação do herbicida (Xie et al., 1994). Além disso, sob baixa intensidade luminosa, as plantas reduziram a detoxificação do herbicida via conjugação, o que contribuiu para elevar sua eficácia em *A. fatua* (Hill & Stobbe, 1978). Finalmente, a maior fitointoxicação promovida por fenoxaprop nessa espécie pode ter sido efeito do menor conteúdo de cera epicuticular em condições sombreadas, em contraste com condições de plena luz (Xie et al., 1994).

A terceira razão para redução da atividade dos inibidores da ACCase sob alta luminosidade é a possibilidade de fotodegradação dos produtos do grupo das ciclo-hexanodionas pela luz ultravioleta (McMullan, 1994). Desse modo, quando os fatores ambientais, principalmente temperatura do ar e umidade relativa do ar, reduzem a absorção do produto, a luz ultravioleta pode degradar mais intensamente as moléculas não absorvidas. Com efeito, quando exposto à luz por apenas uma hora, 80% do ^{14}C -sethoxydim sofreu transformação em seis subprodutos atóxicos (Campbell & Penner, 1985).

Em síntese, irradiância em níveis elevados, em geral, favorece a eficácia dos inibidores de ACCase. Isso se deve ao fato de que o metabolismo da planta é favorecido, sobretudo a fotossíntese, o que influencia diretamente a translocação do produto na planta. Contudo, níveis de sombreamento sob condições muito específicas podem propiciar condições que ampliam o desempenho dos herbicidas. A correta análise dessa variável contribui para a otimização desses herbicidas no controle das plantas daninhas.

Todas as variáveis ambientais até aqui apresentadas de forma isolada interagem entre si e variam de acordo com o horário do dia em que o herbicida é aplicado. De fato, é complexo o entendimento do melhor horário de aplicação e das causas que afetam a eficácia dos produtos em campo, em comparação



com experimentos realizados com condições controladas (Lundkvist, 1997; Skuterud et al., 1998; Fornarolli et al., 1999; Fausey & Renner, 2001; Penckoswi et al., 2003; Sellers et al., 2003; Cieslik, 2012).

Especialmente no verão, com o decorrer do dia a radiação global e a temperatura do ar se elevam e a umidade relativa do ar diminui (Lundkvist, 1997; Skuterud et al., 1998; Cieslik, 2012). Em razão dessas interações, deve-se atentar para uma condição de aplicação na qual o conjunto das variáveis ambientais seja favorável a um maior desempenho do herbicida nas plantas daninhas. Desse modo, todos os fatores ambientais devem ser analisados criteriosamente, a fim de que a aplicação do produto ocorra em horários propícios a uma maior eficácia.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à CAPES, pelo apoio às pesquisas dos autores.

LITERATURA CITADA

- ANDREWS, T. S. et al. Field validation of the factors related to clodinafop efficacy on *Avena* species. **Weed Res.**, v. 47, n. 1, p. 15-24, 2007.
- ANDREWS, T. S.; MEDD, R. W.; VAN DE DEN, R. J. Predicting *Avena* spp. control with clodinafop. **Weed Res.**, v. 48, n. 3, p. 319-328, 2008.
- CAMPBELL, J. R.; PENNER, D. Abiotic transformations of sethoxydim. **Weed Sci.**, v. 33, n. 4, p. 435-439, 1985.
- CIESLIK, L. F. **Interferência de fatores morfoambientais e horários de aplicação de fluazifop-p-butyl e fomesafen no controle de infestantes, seletividade e lucratividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2012.
- FAUSEY, J. C.; RENNER, K. A. Environmental effects on CGA-248757 and flumiclorac efficacy/soybean tolerance. **Weed Sci.**, v. 49, n. 5, p. 668-674, 2001.
- FORNAROLLI, D. A. et al. Influência do horário de aplicação no comportamento de atrazine e misturas aplicadas em pós-emergência na cultura do milho. **Planta Daninha**, v. 17, n. 1, p. 119-130, 1999.
- GILLESPIE, G. R.; MILLER, S. D. Absorption, translocation, and metabolism of diclofop by sunflower. **Weed Sci.**, v. 31, n. 5, p. 658-663, 1983.
- HATTERMAN-VALENTI, H. M.; PITY, A.; OWEN, M. D. K. Effect of environment on giant foxtail (*Setaria faberi*) leaf wax and fluazifop-P absorption. **Weed Sci.**, v. 54, n. 4, p. 607-614, 2006.
- HILL, B. D.; STOBBE, E. H. Effect of light and nutrient levels on ¹⁴C-benzoylprop ethyl metabolism and growth inhibition in wild oat (*Avena fatua* L.). **Weed Res.**, v. 18, n. 4, p. 223-229, 1978.
- HULL, H. M.; DAVIS, D. G.; STOLZENBERG, G. E. Action of the adjuvants on plant surfaces. In: HODGSEN, R. H. Adjuvants for herbicides. Champaign: Weed Science Society of America, 1982. p. 26-67.
- KELLS, J. J.; MEGGITT, W. F.; PENNER, D. Absorption, translocation, and activity of fluazifop-butyl as influenced by plant growth stage and environment. **Weed Sci.**, v. 32, n. 2, p. 143-149, 1984.
- LUNDKVIST, A. Influence of weather on the efficacy of dichlorprop-P/MCPA and tribenuron-methyl. **Weed Res.**, v. 37, n. 5, p. 361-371, 1997.
- McMULLAN, P. M. Effect of sodium bicarbonate on clethodim or quizalofop efficacy on the role of ultraviolet light. **Weed Technol.**, v. 8, n. 3, p. 572-575, 1994.
- MEDD, R. W. et al. Determination of environment-specific dose-response relationships for clodinafop-propargyl on *Avena* spp. **Weed Res.**, v. 41, n. 4, p. 351-368, 2001.
- MUEHLEBACH, M. et al. Aryldiones incorporating a [1,4,5]oxadiazepane ring. Part I: Discovery of the novel cereal herbicide pinoxaden. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 17, n. 12, p. 4241-4256, 2009.
- PENCKOWSKI, L. H.; PODOLAN, M. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 435-442, 2003.
- RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. **Pestic. Biochem. Physiol.**, v. 82, n. 1, p. 162-175, 2005.
- SELLERS, B. A.; SMEDA, R. J.; JOHNSON, W. G. Diurnal fluctuations and leaf angle reduce glufosinate efficacy. **Weed Technol.**, v. 17, n. 2, p. 302-306, 2003.



SKUTERUD, R. et al. Effect of herbicides applied at different times of the day. **Crop Protec.**, v. 17, n. 1, p. 41-46, 1998.

VIDAL, R. A.; MERROTO JR., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf, 2001. 152 p.

VIDAL, R. A. **Ação dos herbicidas: Absorção, translocação e metabolização**. Porto Alegre: Evangraf, 2002. 89 p.

XIE, H. S.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A. Effect of shading on activity of imazamethabenz and fenoxaprop in wild oat (*Avena fatua*). **Weed Sci.**, v. 42, n. 1, p. 66-69, 1994.

XIE, H. S. et al. Spray deposition of fenoxaprop and imazamethabenz on wild oat (*Avena fatua*) as influenced by environmental factors. **Weed Sci.**, v. 43, n. 1, p. 179-183, 1995.

XIE, H. S. et al. Influence of water stress on absorption, translocation, and phytotoxicity of fenoxaprop-ethyl and imazamethabenz-methyl in *Avena fatua*. **Weed Res.**, v. 36, n. 1, p. 65-71, 1996.

XIE, H. S.; HSIAO, A. I.; QUICK, W. A. Influence of drought on graminicide phytotoxicity in wild oat (*Avena fatua*) grown under different temperature and humidity conditions. **Plant Growth Regul.**, v. 16, n. 4, p. 233-237, 1997.

XU, L. et al. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of droplets on waxy leaves. Trans. **ASABE**, v. 53, n. 1, p. 13-20, 2010.

WANAMARTA, G.; PENNER, D. Foliar absorption of herbicides. Review. **Weed Sci.**, v. 4, n. 1, p. 215-231, 1989.

