

INTERAÇÃO DOS HERBICIDAS TRIFLURALINA E FLUMETSULAN COM O pH DO SOLO

GIOVANI THEISEN *
RIBAS A. VIDAL **
NILSON G. FLECK **

Avaliou-se o efeito do pH da superfície do solo no desempenho de Trifluralina, herbicida não ionizável, e de Flumetsulan, herbicida ionizável. Os tratamentos foram organizados em modelo fatorial, tendo como fator A os níveis de pH (5,1 e 7,8) da superfície do solo e como fator B os herbicidas Trifluralina a 360 g/ha, Flumetsulan a 24 e 48 g/ha e testemunha não tratada. Os herbicidas foram aspergidos no solo imediatamente após a semeadura de aveia-branca (*Avena sativa* L.). Constatou-se que Flumetsulan a 24 g/ha foi mais tóxico às plantas quando aplicado em solo com pH 7,8 do que em pH 5,1, resultando na redução da altura das plantas. Menor comprimento de raízes foi obtido quando os herbicidas foram aspergidos em solo com pH alcalino, sendo que Flumetsulan a 48 g/ha e Trifluralina causaram as maiores reduções no comprimento de raízes. Quando Flumetsulan foi aspergido em solo com pH 7,8 constatou-se maior índice de clorose. Flumetsulan aplicado em solo ácido foi menos eficaz do que quando aplicado em solo alcalino. Concluiu-se que o desempenho de herbicidas ionizáveis pode ser mais acentuado em solos que apresentam pH superficial alcalino, comparado com solo ácido. Já o desempenho da Trifluralina não foi influenciado pelo pH da superfície do solo.

* Engenheiro Agrônomo, aluno de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS.

** Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Professor, Departamento de Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, UFRGS, bolsista do CNPq. (e.mail: vidal@if1.if.ufrgs.br).

1 INTRODUÇÃO

O controle de plantas daninhas na cultura da soja é responsável por cerca de 28% dos custos variáveis da produção (6). Dentre os diversos produtos utilizados, a Trifluralina [2,6-dinitro-*N,N*-dipropil-4-(trifluorometil) benzenamina] foi, por muitos anos, um dos herbicidas mais aplicados para o controle de gramíneas. Quando utilizado no sistema convencional de semeadura, este produto é aspergido antes desta operação e incorporado ao solo; mas também pode ser utilizado em pré-emergência sem incorporação, quando empregado no sistema de semeadura direta.

O herbicida Trifluralina, pertencente ao grupo químico das dinitroanilinas, é quimicamente uma molécula neutra, não ionizável, não sendo esperado portanto mudanças no seu desempenho devido a alterações do pH do solo. Sua degradação ocorre por ação dos microorganismos (14), pela luz (21) e por reações não biológicas no solo (14). Estudos conduzidos por REDDY & LOCKE (17) confirmaram que, para dinitroanilinas, o processo de adsorção ao solo não é afetado pelo pH do meio, sendo dominado por forças de van der Waals, ligações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio.

Atualmente, no controle de plantas daninhas na cultura da soja, destaca-se o uso de moléculas ionizáveis, como Flumetsulan {*N*-[2,6-difluorofenil] - 5 - metil (1,2,4) triazolo [1,5a] - pirimidina - 2 - sulfonamida}, herbicida pertencente ao grupo das sulfonanilidas que atua nas plantas inibindo a atividade da enzima aceto lactato sintase (ALS) (20). Flumetsulan tende a ionizar-se com as mudanças do pH do meio e, em solos com pH elevado, a molécula torna-se não ionizada, sendo menos adsorvida em solo argiloso do que em solo ácido, no qual a molécula está protonizada. O índice de constante de equilíbrio de ionização ácida (pKa) de Flumetsulan é 4,6 (1). Em solo com pH 4,6, cujo valor é o mesmo do pKa, haverá 50% das moléculas do herbicida na forma dissociada e 50% na forma não iônica. Sob baixo pH, o percentual de moléculas protonizadas aumenta, com até 54 vezes maior adesão do composto às argilas (2).

Menor retenção de herbicidas aos substratos orgânicos ou minerais pode promover melhor controle de plantas daninhas, mas também pode ocasionar maiores perdas por escoamento superficial através da água de chuvas ou lixiviação no perfil do solo (7, 15). Haverá contaminação de águas subterrâneas (10), maior facilidade de degradação por microorganismos (19), maior toxicidade à cultura, além de menor período de controle de plantas daninhas. Elevadas quantidades de herbicida aderidas às argilas e à fração orgânica podem ser prejudiciais por aumentarem a persistência dos produtos, com conseqüente incremento nos danos causados às culturas sensíveis em sucessão à cultura tratada (12), além de diminuir a eficiência do herbicida no controle de plantas daninhas.

A adoção de técnicas conservacionistas de cultivo do solo, conhecidas como sistemas de semeadura direta, tem favorecido a acidificação da camada superficial do solo (3, 8, 5) em função da nitrificação concentrada na superfície, pelo não revolvimento do terreno. Geralmente, a correção da acidez do solo em semeadura direta é feita pela adição de calcário na superfície do terreno, sem incorporação em camadas mais profundas. Esta prática pode provocar a formação de meio alcalino na superfície do solo, por período relativamente curto de tempo.

O presente trabalho visou avaliar o efeito do pH superficial do solo na atividade dos herbicidas Trifluralina e Flumetsulan.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, na Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre, RS. O solo utilizado foi coletado na Estação Experimental Agronômica (EEA-UFRGS) em Eldorado do Sul, RS, sendo classificado como podzólico vermelho-escuro distrófico, com pH 5,1, contendo 30% de argila e 2,4% de matéria orgânica. O delineamento experimental constou de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em modelo fatorial, no qual o fator A foi o pH superficial do solo (5,1 e 7,8) e o fator B os tratamentos com os herbicidas e testemunha sem aspersão de herbicida. Utilizaram-se os herbicidas Trifluralina a 360 g/ha e Flumetsulan a 24 g/ha e 48 g/ha. As condições climáticas foram adequadas para a aspersão dos herbicidas, aplicando-se os mesmos logo após a semeadura da cultura, com aspersor costal pressurizado, pressão constante de 200 kPa, bicos jato leque 80.02 e volume de calda de 200 L/ha. Para cada repetição utilizou-se um vaso com capacidade de 1,2 kg de solo, no qual foram colocadas 10 sementes de aveia-branca (*Avena sativa* L.), cultivar UFRGS-14.

Para se obter solo com característica alcalina, 25 dias antes da semeadura da aveia foram adicionados 12 gramas de carbonato de cálcio a uma amostra de 7,5 kg de solo, equivalendo à aplicação de 3 t/ha de calcário. O solo foi então adicionado superficialmente nos vasos, em camada uniforme, a pelo menos 0,5 cm acima das sementes de aveia, de maneira que na superfície o solo encontrava-se alcalino, enquanto abaixo e em contato com as sementes predominava solo com pH 5,1. Para os tratamentos em que o pH superficial foi 5,1, as sementes foram colocadas a 1 cm de profundidade, em solo sem adição de carbonato de cálcio.

Avaliou-se indiretamente a adsorção, a degradação e a liberação dos herbicidas para a solução do solo mediante seus efeitos nas plantas de aveia. Aos 15 dias após a emergência determinou-se a altura das plantas desde o nível do solo, bem como os níveis de clorose por meio de escala visual de fitotoxicidade, na qual 0 representa planta intacta e 100 significa

planta morta. Avaliou-se também o comprimento das raízes principais após extração das plantas dos vasos e remoção do solo com jatos de água. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de DMS a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que houve interação entre os fatores herbicidas e pH do solo para as avaliações de altura de plantas e índice de clorose. As maiores variações no desempenho ocorreram com o herbicida Flumetsulan, cuja maior fitotoxicidade foi constatada quando o mesmo foi aspergido em solo alcalino. Para a variável comprimento de raízes, a análise de variância não evidenciou interação para os fatores, sendo considerados significativos somente os efeitos dos fatores simples herbicidas e pH superficial do solo.

3.1 ALTURA DE PLANTA

As plantas de aveia apresentaram menor estatura com Trifluralina e Flumetsulan a 48 g/ha, sob qualquer condição de pH do solo (Tabela 1). A altura das plantas tratadas com Flumetsulan a 24 g/ha, quando aplicado em solo ácido, não diferiu da altura das plantas utilizadas como testemunhas. Já sob pH 7,8, Flumetsulan a 24 g/ha reduziu significativamente a altura das plantas, indicando que, nesta condição de pH, houve maior disponibilidade do herbicida na solução do solo para absorção pelas plantas. Tal resultado concorda com os relatados por ABELLO (2), o qual afirma que, sob pH alto, este herbicida tende a permanecer na solução do solo, sendo prontamente absorvido pelas plantas, enquanto em pH baixo ele é fortemente adsorvido às argilas. De fato, Flumetsulan a 24 g/ha foi o único tratamento cujo efeito diferiu significativamente em função do pH do solo (Tabela 1). Especula-se que só tenha ocorrido efeito de pH com Flumetsulan na menor dose porque na maior dose, mesmo em pH baixo, houve quantidade suficiente de moléculas que permaneceram no solo sem serem adsorvidas, causando efeito similar ao obtido para pH alto.

Solos com superfície relativamente ácida e altos teores de matéria orgânica ocorrem em sistemas de semeadura direta (5, 8, 18). Considerou-se hipoteticamente que, quando o pH destes solos não é corrigido, o desempenho de herbicidas ionizáveis pode não ser o esperado, havendo a possibilidade de ocorrer controle insatisfatório de plantas daninhas e incremento na persistência do herbicida adsorvido à fração orgânica e às argilas. Neste experimento simulou-se a aspersão de herbicidas em solo ácido e básico, tendo sido confirmada a hipótese de haver menor efeito

biológico do herbicida ionizável quando aspergido em solo ácido. Tal fato pode ser atribuído, ao menos em parte, pela maior adsorção do herbicida às argilas e à matéria orgânica.

TABELA 1 - ALTURA DE PLANTAS DE AVEIA-BRANCA TRATADAS COM TRIFLURALINA E FLUMETSULAN, APLICADOS EM SOLO COM DUAS CONDIÇÕES DE pH SUPERFICIAL - UFRGS, PORTO ALEGRE, RS (1996)

Tratamentos	Altura de plantas (cm)	
	pH 5,1	pH 7,8
Trifluralina	a ¹ 4.0 b ²	a 3.2 c
Flumetsulan 24 g/ha	a 8.0 a	b 5.2 b
Flumetsulan 48 g/ha	a 4.1 b	a 3,4 c
testemunha	a 9.1 a	a 8.5 a

Coefficiente de variação = 14,3 %

¹ Médias antecedidas pela mesma letra (comparações nas linhas, entre pH) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

² Médias sucedidas pela mesma letra (comparações nas colunas, entre herbicidas) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

Outros herbicidas ionizáveis, tais como 2,4-D, Dicamba, Prometone e Amitrole, também causam maiores danos às plantas em condições de pH elevado (4). JOHNSON *et al.* (11) demonstraram que o aumento no pH do solo diminuiu a adesão dos herbicidas às argilas, aumentando, assim, a mobilidade e a fitotoxicidade destes herbicidas às plantas.

3.2 COMPRIMENTO DE RAÍZES

Em ambas condições de pH do solo, plantas tratadas com Trifluralina apresentaram, numericamente, menor comprimento de raízes, embora seu valor não tenha diferido significativamente de Flumetsulan a 48 g/ha (Tabela 2).

Na média dos tratamentos, as plantas de aveia em solo com pH superficial alcalino apresentaram menor comprimento de raízes que plantas sob pH ácido (Tabela 2). O comprimento de raízes em solo com pH 5,1 nas plantas tratadas com Flumetsulan, na média de ambas as

doses, foi numericamente 57 % maior do que o comprimento de raízes das plantas sob pH alcalino, sugerindo que houve redução da disponibilidade do herbicida na solução do solo com a redução do pH da superfície do mesmo.

TABELA 2 - COMPRIMENTO DE RAÍZES DE PLANTAS DE AVEIA-BRANCA TRATADAS COM TRIFLURALINA E FLUMETSULAN, APLICADOS EM SOLO COM DUAS CONDIÇÕES DE pH SUPERFICIAL - UFRGS, PORTO ALEGRE, RS (1996)

Tratamentos	Comprimento de raízes (cm)		
	pH 5,1	pH 7,8	Média
Trifluralina	3,8	3,0	3,4 c ²
Flumetsulan 24 g/ha	14,3	9,1	11,7 b
Flumetsulan 48 g/ha	9,0	5,7	7,4 c
testemunha	20,4	19,1	19,8 a
Médias	11,9 a ¹	9,3 b	

Coefficiente de variação = 27%.

¹ Médias seguidas pela mesma letra (comparação na linha) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

² Médias seguidas pela mesma letra (comparação na coluna) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

3.3 ÍNDICE DE CLOROSE

Sob ambas condições de pH superficial, a maior toxicidade às plantas foi causada pela Trifluralina. Em solo alcalino não se observou diferença significativa entre este herbicida e Flumetsulan a 48 g/ha. Já em solo ácido todos os tratamentos diferiram entre si, havendo resposta significativa para o índice de clorose em função da dose de Flumetsulan (Tabela 3). Verificou-se que o herbicida Flumetsulan, independentemente da dose, apresentou efeito diferencial sob diferentes condições de pH do solo. O herbicida incrementou de 58 a 64 % a toxicidade às plantas em pH 7,8 em relação ao solo com pH 5,1. Trifluralina não mostrou efeito diferenciado quando aplicada em pH ácido ou alcalino (Tabela 3).

Variações no estado de dissociação de compostos ionizáveis podem ser esperadas com a modificação do pH do meio em que estão dispersos,

podendo esta característica alterar o comportamento de herbicidas no solo. Para o ácido acético, cujo valor pKa é 4,76, a elevação do pH em uma unidade eleva o número de moléculas aniônicas de 50 para aproximadamente 75% (13). Assumindo-se uma curva de dissociação similar para o herbicida Flumetsulan constatou-se que, em pH 5,1 cerca de 35% de suas moléculas estarão na forma protonada, provavelmente aderidas à matriz do solo. Sob pH 7,8 quase que a totalidade das moléculas estão na forma neutra, sofrendo menor adesão às argilas. Tal característica explicaria os resultados obtidos neste experimento, pois o incremento de pH aumentou significativamente a clorose causada pelo herbicida às plantas de aveia em ambas as doses testadas.

TABELA 3 - ÍNDICE DE CLOROSE EM PLANTAS DE AVEIA-BRANCA TRATADAS COM TRIFLURALINA E FLUMETSULAN, APLICADOS EM SOLO COM DUAS CONDIÇÕES DE pH SUPERFICIAL - UFRGS, PORTO ALEGRE, RS (1996)

Tratamentos	Índice de clorose (%)	
	pH 5,1	pH 7,8
Trifluralina	a ¹ 62 a ²	a 69 a
Flumetsulan 24 g/ha	a 18 c	b 29 b
Flumetsulan 48 g/ha	a 32 b	b 56 a
testemunha	a 6 d	a 8 c

Coefficiente de variação = 13,4%

¹ Médias antecedidas pela mesma letra (comparação nas linhas, entre pH) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

² Médias seguidas pela mesma letra (comparação nas colunas, entre herbicidas) não diferem pelo teste da DMS a 5%.

Estudos indicam que a meia-vida de Flumetsulan varia de 1 a 3 meses, sendo que este parâmetro, na média de 18 solos estudados, situou-se em torno de 60 dias (1). Aplicando-se modelo cinético de primeira ordem (9), que descreve a dissipação de herbicidas no ambiente com base nas características do solo, na concentração e na taxa de degradação do herbicida, pode-se determinar a concentração do composto no solo após determinado período de tempo. Assumindo-se aplicação de Flumetsulan a 120 g/ha (dose recomendada para o controle de plantas daninhas na época de pré-semeadura da cultura da soja) estima-se que,

após 210 dias (período de tempo em que a campo ocorre a semeadura e emergência da aveia) haveria o equivalente a 10 g/ha do herbicida no solo. Este estudo revelou que concentração de 24 g/ha de Flumetsulan não provoca dano severo às plantas de aveia, principalmente sob solo com pH ácido, no qual o composto estaria adsorvido às argilas. Pode-se dizer que, resíduos deste herbicida utilizado na cultura de soja, provavelmente não trarão prejuízos à cultura da aveia branca após 210 dias, principalmente quando aplicado em solo com pH ácido.

Resíduos de Trifluralina podem permanecer no solo por tempo variável, com meia-vida de 45 a 120 dias, sendo que 10 % do herbicida ainda pode ser encontrado no solo um ano após sua aplicação (1). A quantidade de Trifluralina no solo 210 dias após sua aplicação seria equivalente a 71 e 535 g/ha, nas condições de meia-vida de 45 e 120 dias, respectivamente. Tal fato indica que condições que estendam a meia-vida de Trifluralina até 120 dias favorecerão a ocorrência de toxicidade à aveia cultivada posteriormente a sua aspersão ao solo. As condições que prolongam a meia-vida dos herbicidas são solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, baixo pH, baixa atividade microbiana, altas temperaturas e baixa umidade do solo (16).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste experimento permitem concluir que Flumetsulan tem sua eficiência afetada pelo pH do solo, permanecendo mais disponível em solução quando aspergido em solo com pH elevado. Pode-se prever que em campo, o efeito herbicida de Flumetsulan será mais pronunciado em solos que sofrerem correção superficial de acidez, podendo ocorrer maior persistência em solo com menor pH. O efeito do herbicida Trifluralina independe do pH do solo.

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of the soil pH on the performance of Trifluralin, a non-ionizable herbicide, and Flumetsulan, an ionizable herbicide. The treatments were conducted in a factorial model, where the factor A was the surface soil pH (5.1 and 7.8) and the factor B was the herbicides dosage (Trifluralin at 360 g/ha and Flumetsulan at 24 and 48 g/ha) including a control with no herbicides. The herbicides were applied after *Avena sativa* L. planting. Flumetsulan at 24 g/ha showed more phytotoxicity when sprayed on soil with pH 7.8, reducing the plant height. Lowest root length was obtained when the herbicides were applied to alkaline soil culture. Flumetsulan at 48 g/ha and Trifluralin reduced root length the most. Highest chlorosis was observed when Flumetsulan was applied on soil surface of pH 7.8. When Flumetsulan was used on acid soil, it was less effective than when applied to the alkaline soil. The performance of ionizable herbicides is enhanced when the soil pH is alkaline. Trifluralin has its performance not affected with changes in soil pH.

- 12 JOHNSON, D.H., TALBERT, R.E. Cotton (*Gossypium hirsutum*) response to imazaquin and imazethapyr soil residues. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 1, p. 156-161, 1996.
- 13 LEHNINGER, A.L., NELSON, D.L., COX, M.M. **Principles of Biochemistry**. 2.ed. New York : Worth Publishers, 1992. 1013 p.
- 14 MESSERSMITH, C.G., BURNSIDE, O.C., LAVY, T.L. Biological and non-biological dissipation of Trifluralina from soil. **Weed Science**, Champaign, v. 19, n. 3, p. 285-290, 1971.
- 15 MYERS, J.L., WAGGER, M.G., LEIDY, R.B. Chemical movement in relation to tillage system and simulated rainfall intensity. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 6, p. 1183-1192, 1995.
- 16 OLIVER, L.R. Factors affecting herbicide rate in soybeans: strategies for reduced herbicide rates. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE INVESTIGACIÓN EN SOYA, 4., Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires, 1989. p. 1613-1619.
- 17 REDDY, K.N., LOCKE, M.A. Prediction of soil sorption (K_{oc}) of herbicides using semiempirical molecular properties. **Weed Science**, Champaign v. 42, n. 3, p. 453-461, 1994.
- 18 SHEA, P.J. Role of humified organic matter in herbicide adsorption. **Weed Technology**, Champaign, v. 3, n. 1, p. 190-197, 1989.
- 19 SOCCOL, C.R., PINHEIRO, L.I., KREFTA, A.A.W. Degradação microbiana de pesticidas no solo: revisão bibliográfica. **Pesticidas: Revista Técnico-Científica**, Curitiba, v. 5, p. 1-18, 1995.
- 20 VIDAL, R.A. **Herbicidas: mecanismos de ação e resistência de plantas**. Porto Alegre, 1997. 165 p.
- 21 WRIGHT, W., WARREN, G.F. Photochemical decomposition of Trifluralina. **Weeds**, Champaign, v. 13, n. 4, p. 329-331, 1965.