



Circular Técnica

Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2007

Autores

Décio Karam
Eng. Agr., PhD Plantas
Daninhas. Embrapa Milho e
Sorgo. Cx. P. 151.
CEP 35701-970
Sete Lagoas, MG.
karam@cpnms.embrapa.br

Maurílio F. de Oliveira
Eng. Agr., DSc Sistema de
Produção e Ambiente.
Embrapa Milho e Sorgo.
Cx. P. 151.
CEP 35701-970
Sete Lagoas, MG.
maurilio.oliveira@cpnms.embrapa.br



Seletividade de Herbicidas na Cultura do Milho

Introdução

Um dos grandes entraves para a produção mundial de milho ainda é a presença de plantas daninhas na cultura, que pode, em certas situações, ocasionar perdas estimadas de rendimento da ordem de mais de 80% quando nenhum método de controle é aplicado.

Dentre os métodos disponíveis de controle de plantas daninhas, o químico é atualmente o mais utilizado, sendo estimado que os herbicidas estejam sendo aplicados em mais de 65% da área cultivada com milho no Brasil. A alta taxa de utilização deste método de controle de plantas daninhas permite identificar problemas enfrentados pelos agricultores como resultado da aplicação dos herbicidas, estando estes relacionados à própria aplicação, ao meio ambiente, à saúde humana e ao surgimento de plantas resistentes.

Quando da utilização do controle químico, o agricultor deve sempre empregar herbicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, bem como nas Secretarias Estaduais de Agricultura, pois o registro desses produtos significa que eles foram avaliados tanto para sua eficácia agrônômica e seletividade para a cultura como também quanto ao impacto ambiental e à toxicidade para a saúde humana.

Um dos grandes entraves de utilização do controle químico de plantas daninhas está associado à seletividade dos herbicidas para a cultura na qual se deseja fazer o controle. Níveis diferenciados de sensibilidade de plantas de milho têm sido observados, resultando em maior ou menor segurança no uso dos herbicidas. Estádio de desenvolvimento das plantas, morfologia, absorção, translocação, condições ambientais, época de aplicação e metabolismo são importantes fatores na determinação da seletividade do herbicida.

Classificação dos herbicidas

Os herbicidas são classificados primeiramente como seletivos ou não-seletivos à cultura do milho. Os seletivos são aqueles que podem ser aplicados na cultura do milho, pois o mesmo apresenta tolerância ou resistência baseada em algum modo de detoxificação do herbicida. Os considerados não-seletivos são aqueles herbicidas que podem ocasionar morte das plantas quando aplicados na cultura.

Os herbicidas podem ser classificados conforme a época de aplicação em relação às plantas daninhas e à cultura. Essa classificação tem por objetivo maximizar o controle e a seletividade dos herbicidas, dividindo-

os em três categorias: pré-plantio-incorporado, pré-emergência e pós-emergência. Os herbicidas de pré-plantio-incorporado são aplicados antes do plantio e necessitam ser incorporados ao solo para uma melhor eficiência no controle das plantas daninhas. Já os herbicidas de pré-emergência são aplicados após o plantio da cultura, mas antes da emergência das plantas daninhas e da cultura. Os herbicidas de pós-emergência são aplicados depois da emergência das plantas daninhas, antes ou depois da emergência do milho e das plantas daninhas presentes na área. Os herbicidas de pós-emergência, considerados dessecantes, são utilizados no manejo das plantas daninhas no sistema de plantio direto antes do plantio da cultura.

Além disto, os herbicidas também podem ser classificados como sistêmicos ou de contato. Os herbicidas sistêmicos necessitam ser absorvidos e translocados nas plantas para que o produto se torne eficiente no controle. Diferentemente, os herbicidas de contato atuam simplesmente pelo contato com essas plantas, não havendo translocação dos mesmos para dentro delas.

Fatores relacionados à seletividade das plantas de milho

A seletividade das plantas de milho está associada ao herbicida e aos fatores fisiológicos e morfológicos das plantas.

a. Fatores ligados ao herbicida

i. Dose

As plantas apresentam níveis diferenciados de intoxicação relativa à dose do herbicida aplicado, apresentando uma correlação positiva em relação ao aumento da dose aplicada com o aumento de fitotoxicidade observada.

ii. Modo de ação

1. Inibidores da enzima acetolactase sintase (ALS)

Este grupo de herbicidas apresenta inibição da síntese de aminoácidos essenciais (leucina, isoleucina e valina), interrompendo a síntese protéica e, assim, interferindo no crescimento celular. Os sintomas típicos de fitotoxicidade ocasionada pela aplicação de herbicidas deste grupo consistem da nescoloração da porção mediana da lâmina das folhas centrais da planta, que se encontra em fase de expansão no momento da aplicação (Figura 1).



Figura 1. Sintomas de fitointoxicação do herbicida nicosulfuron em planta de milho

2. Hormonais – mimetizadores da auxina (AUX)

Herbicidas com este modo de ação induzem mudanças metabólicas e bioquímicas, podendo causar a morte das plantas por inibição da ação da enzima RNA-polimerase e, conseqüentemente, na síntese de ácidos nucléicos e proteínas. Os sintomas de fitotoxicidade se expressam em epinastia das folhas, em interrupção do crescimento e em formação de necroses e raízes secundárias, impedindo o movimento de fotoassimilados das folhas para o sistema radicular. Os primeiros sintomas observados são o encarquilhamento das folhas, o encurvamento da folha sobre a face inferior, as hastes curvadas para o solo (pescoço de ganso) e os órgãos mal constituídos (Figura 2). As plantas perdem a coloração, tornando-se amareladas, e morrem.



Figura 2. Sintomas típicos de fitointoxicação de herbicida mimetizadores de auxina.

3. Inibidores da síntese de caroteno (CAR)

Os herbicidas inibidores da síntese de carotenóides resultam em acúmulo de precursores sem cor do caroteno (fitoeno e fitoflueno) nas plantas. O sintoma é o branqueamento das folhas, com posterior morte das mesmas, que geralmente ocorre nas bordas e nas pontas das folhas, sendo mais evidente em folhas novas (Figura 3). Entretanto, a produção de folhas albinas não implica em que este grupo de herbicidas esteja inibindo a síntese de clorofila; isto ocorre devido à oxidação pela luz causada pela falta de carotenóides que protegem a fotoxidação.



Figura 3. Sintoma de fitointoxicação do herbicida mesotrione em planta de milho.

4. Inibidores da divisão celular

Os herbicidas deste grupo químico possuem mecanismo de ação associado ao crescimento da parte aérea das plantas. Estes herbicidas são absorvidos durante o processo germinativo das sementes, inibindo a divisão

celular, a síntese de lipídios, ácidos graxos, ceras foliares, terpenos, flavonóides, proteínas e na regulação hormonal. O efeito tóxico deste grupo é observado após a emergência das plântulas, caracterizando-se pela não abertura do coleótilo e pelo enrugamento das folhas definitivas, causados pelo menor crescimento da nervura central em relação ao crescimento do limbo foliar (Figura 4).

5. Inibidores da enzima enol-piruvilshiquimato-fosfato sintase (EPSP)

A ação dos herbicidas inibidores da enzima EPSP leva à redução dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, que são precursores dos ácidos benzóicos,



Figura 4. Sintomas de fitointoxicação do herbicida s-metolachlor em planta de milho.

flavonóides, alcalóides e lignina, assim paralisando o crescimento das plantas tratadas com esses produtos. Os herbicidas deste grupo apresentam amplo espectro de ação, sendo classificados como não-seletivos, embora com o desenvolvimento de plantas transgênicas possam ser utilizados como herbicidas seletivos. A paralisação do crescimento das plantas, o amarelecimento dos meristemas e das folhas jovens, folhas com estrias ou avermelhadas com posterior necrose e morte das plantas são sintomas típicos da fitointoxicação deste grupo de herbicidas.

6. Inibidores da fotossíntese (FSII)

Estes herbicidas atuam inibindo o fotossistema II através da complexação com a proteína D1, interrompendo o fluxo de elétrons entre os fotossistemas. Os sintomas característicos da ação desses produtos são as cloroses internervurais e das bordas das folhas devido à fotoxidação da clorofila. Podem ocorrer, ainda, rompimentos na membrana citoplasmática celular em decorrência da peroxidação de lipídios, causada pelos radicais tóxicos (clorofila triplete e oxigênio singleto). Os sintomas aparecem primeiramente nas bordas, progredindo para o centro das folhas.

7. Inibidores da fotossíntese (FSI)

Característicos por serem herbicidas não-seletivos e de reduzida translocação, os herbicidas inibidores da fotossíntese (FSI) agem inibindo o fotossistema I através da captura de elétrons provenientes da fotossíntese. Neste processo, há a formação de radicais tóxicos instáveis, que sofrem oxidação e redução na presença de oxigênio celular formando radicais de superóxidos, que se transformam em peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A formação de radicais hidroxilas ($OH\cdot$) ocasiona o vazamento do conteúdo celular e a morte dos tecidos vegetais. Estes sintomas são observados poucas horas após a aplicação, quando há presença de luz.

8. Inibidores da enzima glutamina sintetase

O herbicida de contato não-seletivo glufosinato de amônia é o único herbicida classificado como inibidor da enzima glutamina sintetase. Com a inibição desta enzima pelo produto, há um acúmulo de amônia nas células, causando inibição da fotossíntese e conseqüente morte das mesmas. Os sintomas de intoxicação das plantas são visualizados por manchas cloróticas, resultantes da necrose das folhas atingidas pelo herbicida.

9. Inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox)

Este grupo de herbicidas inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox), que está envolvida na biossíntese da clorofila. Na presença de luz ocorre a formação de oxigênio reativo (singleto), que leva à peroxidação dos lipídios da membrana celular. Os primeiros sintomas de fitotoxicidade são manchas verde-escuras nas folhas, ocorrendo a necrose quando as plantas são expostas de 4 a 6 horas de luz solar após a aplicação (Figura 5). A morte das plantas pode ocorrer em uma semana.



Figura 5. Sintoma de fitointoxicação do herbicida carfentrazone-ethyl em planta de milho.

b. Fatores ligados às plantas

i. Absorção

A absorção é um fator importante na diferenciação de seletividade dos herbicidas entre as espécies. A seletividade dos herbicidas está diretamente relacionada à deposição e à retenção destes nas plantas. O ângulo do limbo foliar, o número de folhas e o arranjo do dossel influenciam a interceptação do herbicida pela planta. Ângulos do limbo foliar mais próximo ao plano horizontal (90°) permitem maior

retenção da calda, resultando em menor escorrimento. Quanto maior o número de folhas e mais aberto for o dossel das plantas, maior será a penetração do herbicida. Conseqüentemente, maior será o molhamento da planta.

ii. Translocação

Para que os herbicidas sistêmicos atuem de forma adequada, é fundamental que ocorra uma movimentação do produto no interior das plantas, após a absorção do mesmo. A translocação, movimentação de água e substâncias dentro da planta, é função direta da absorção, sem que o produto seja metabolizado ou imobilizado. Herbicidas de contato geralmente apresentam pouca mobilidade, causando efeito nas células epidérmicas e do parênquima.

Os herbicidas, após serem absorvidos, podem se movimentar dentro da planta por três caminhos: apoplasto, simplasto ou aposimplasto. O movimento apoplasto ocorre através dos tecidos não vivos e dos espaços intracelulares da planta, enquanto o movimento simplasto ocorre através do floema e de outras células vivas da planta em conjunto com o fluxo de açúcares e água. O movimento aposimplasto ocorre nos tecidos vivos ou não das plantas, mas sempre com predominância em um dos dois.

Os herbicidas sistêmicos podem ter principalmente translocação simplástica ou aposimplástica, enquanto os herbicidas aplicados ao solo apresentam principalmente o movimento apoplástico.

iii. Metabolismo

O metabolismo é o processo que contribui de forma mais efetiva para a seletividade dos herbicidas. As plantas apresentam mecanismos de ativação ou inativação dos herbicidas, sendo, portanto, capazes de modificar ou mesmo degradar a estrutura química do herbicida em substâncias não

tóxicas. A ativação dos herbicidas ocorre quando um determinado produto não tóxico sofre transformação em tóxico dentro da planta; isto pode ser verificado através do exemplo do 2,4 DB, que se transforma em 2,4D quando absorvido por plantas susceptíveis, o que não ocorre por plantas tolerantes. A inativação resulta da degradação do herbicida ou da conjugação das enzimas, tornando estes produtos menos tóxicos para a planta. Aquelas que não apresentam estes mecanismos são mortas, enquanto plantas dotadas deste mecanismo são consideradas tolerantes ou resistentes.

c. Fatores relacionados ao ambiente

i. Temperatura

Altas temperaturas do ar normalmente aumentam a eficiência dos herbicidas, tornando-os mais fitotóxicos para as plantas daninhas e para as plantas do milho. Entretanto, altas temperaturas no momento da aplicação promovem um aumento da possibilidade de volatilização dos herbicidas, bem como a possibilidade do produto secar muito rápido, não permitindo a absorção dos mesmos pelas plantas. Temperaturas extremas (alta ou baixa) podem interferir no crescimento e no desenvolvimento das plantas através da influência no metabolismo e, conseqüentemente, afetando de forma negativa a absorção dos herbicidas pelas mesmas. Normalmente, a aplicação de herbicidas deve ser realizada com temperaturas do ar entre 12°C e 35°C, podendo variar esse intervalo em alguns casos.

ii. Umidade relativa do ar

Altas umidades relativas do ar geralmente diminuem o estresse hídrico das plantas, atrasam a secagem do produto aplicado e favorecem a abertura dos estômatos, aumentando a penetração dos herbicidas nas plantas. Plantas que crescem em condições

de baixa umidade relativa geralmente apresentam cutícula mais espessa, o que as torna menos propícias a absorver os herbicidas. Assim, as aplicações de herbicidas de pós-emergência não devem ser realizadas com umidades relativas do ar inferiores a 50%.

iii. Vento

Aplicações de herbicidas realizadas em condições climáticas desfavoráveis apresentam o risco do produto não atingir o alvo na dose eficaz de controle, assim como atingir locais indesejáveis em certas situações, causando danos à saúde das pessoas e ao meio ambiente.

O vento pode ocasionar deriva dos herbicidas na hora da aplicação por diminuir a quantidade desejada ou carregando o produto para áreas vizinhas. Ventos fortes aumentam os problemas de fitotoxicidade e ineficácia observada nas derivas. Uma maneira de minimizar o efeito do vento é a utilização de bicos de pulverização apropriados às condições adversas e observar redução da altura de aplicação. Quanto mais alta for a barra de pulverização, maior será a deriva.

iv. Resíduo

É muito importante conhecer a persistência média no solo dos herbicidas utilizados nas culturas antecessoras, uma vez que o acúmulo de herbicidas no solo pode tornar-se um problema para os agricultores que trabalham com culturas de sucessão. O uso de fomesafem em feijão e diclosulan na soja para o sistema de cultivo de sucessão tem causado intoxicação em plantas de milho cultivadas após estas culturas aplicadas com estes herbicidas (Figura 6).



Figura 6. Sintoma de resíduo do herbicida fomesafem em planta de milho.

Tabela 1. Herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas na cultura do milho.

Princípio Ativo	Época de Aplicação	Modo de ação
acetolachlor	PRÉ	DV parte aérea
alachlor	PRÉ	DV parte aérea
ametryn	PÓS	FOTO II
amicarbazone	PRÉ e PÓS	FOTO II
atrazine	PRÉ	FOTO II
atrazine + simazine	PRÉ e PÓS	FOTO II
bentazon	PÓS	FOTO II
carfentrazone-ethyl	PÓS	PRO
cyazazine	PRÉ	FOTO II
2,4-D	PRÉ e PÓS	AUX
dimethenamid	PRÉ	DV parte aérea
foramsulfuron+ iodosulfuron methyl	PÓS	ALS
glufosinato de amônio	Jato dirigido	GLU
imazapic + imazapyr ¹	PÓS	ALS
isoxaflutole	PRÉ	CAR
linuron	PRÉ	FOTO II
mesotrione	PÓS	CAR
nicosulfuron	PÓS	ALS
paraquat	Jato dirigido	FOTO I
s-metolachlor	PRÉ	DV parte aérea
pendimethalin	PRÉ	DV raiz
simazine	PRÉ	FOTO II
trifluralin	PRÉ	DV raiz

¹Somente recomendado para o sistema de produção Clearfiels. Consultar a empresa responsável pelo produto para informações sobre as cultivares recomendadas

ALS – Herbicidas inibidores da enzima acetolato sintase

AUX - Auxina – Herbicidas hormonais – mimetizadores da auxina

CAR - Caroteno – Herbicidas inibidores da síntese de caroteno

DV - Divisão Celular – Herbicidas inibidores da divisão celular

EPSPs – Herbicidas inibidores da enzima enol-piruvil-shiquimato-fosfato sintase

FOTO - Fotossíntese – Herbicidas inibidores da fotossíntese (FSI e FSII)

GLU - Glutamina – Herbicidas inibidores da enzima glutamina sintetase

PRO - Prototox – Herbicidas inibidores da enzima protoporfirinogenio oxidase

Tabela 2. Herbicidas registrados para o manejo de plantas daninhas na cultura do milho em pré-plantio e em pós-colheita.

Princípio Ativo	Época de Aplicação	Modo de ação
glufosinato de amônio	Dessecante	GLU
2,4-D	Dessecante	AUX
glyphosate	Dessecante	EPSPs
paraquat	Dessecante	FOTO I
glyphosate potassium	Dessecante	EPSPs

AUX - Auxina – Herbicidas hormonais – mimetizadores da auxina

EPSPs – Herbicidas inibidores da enzima enol-piruvil-shiquimato-fosfato sintase

FOTO - Fotossíntese – Herbicidas inibidores da fotossíntese (FSI e FSII)

GLU - Glutamina – Herbicidas inibidores da enzima glutamina sintetase

Referências bibliográficas

- COLEN, D. J. Detoxification and activation of agrochemicals in plants. **Pesticide Science**, London, v. 42, p. 209-222, 1994.
- COUPLAND, D. Metabolism of glyphosate in plants. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Butterworth, 1985. p. 25-33
- DYER, W. E. Resistance to glyphosate. In: POWLES S. B.; HOLTUM J. A. M. (Ed.). **Herbicide resistance in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 229-241.
- KARAM, D. **Características do herbicida mesotrione na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 51). Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/Circ.Tec51.pdf> > Acesso em: 20 nov. 2007.
- KARAM, D.; CRUZ, M. B. **Características do herbicida foamsulfuron + iodosulfuron-methyl-sodium na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 58). Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/CircTec58.pdf> > Acesso em: 20 nov. 2007.
- KARAM, D.; LARA, F. R.; CRUZ, M. B.; MAGALHAES, P. C.; PEREIRA FILHO, I. A. **Características do herbicida carfentrazone ethyl na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 3 p. html. (Circular Técnica, 37). Disponível em: < <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul37.pdf> > 20 nov. 2007.
- KARAM, D.; LARA, F. R.; CRUZ, M. B.; PEREIRA FILHO, I. A.; PERERIRA, F. T. F. **Características do herbicida s-metolachlor nas culturas de milho e sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 3 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 36). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul36.pdf> > 20 nov. 2007.
- MEROTTO JUNIOR, A.; FISCHER, A. J.. Absorção e translocação de herbicidas nas plantas. In: VARGAS, L. ; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.89-104.
- RIZZARDI, M. A.; KARAM, D.; CRUZ, M. B. Manejo e controle de plantas daninhas em milho e sorgo. In: VARGAS, L. ; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 571-594.
- RIZZARDI, M. A.; VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; KISSMANN, K. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L. ; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p. 105-144.
- RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. Herbicide symptoms and selectivity. In: RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology: implications for management**. New York: J. Willey, 1997. p. 413 – 425.

**Circular
Técnica, 98**

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Milho e Sorgo
Endereço : Rod. MG 424 km 45 - Caixa Postal 151
Fone: (31) 3779-1000
Fax: (31) 3779-1088
E-mail : sac@cnpmis.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2007): 200 exemplares

**Comitê de
publicações**

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães
Membros: Carlos Roberto Casela, Flávia França
Teixeira, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade, José
Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

Expediente

Revisão de texto: Clenio Araujo
Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa