



XXIII Congresso
Brasileiro da Ciência
das Plantas Daninhas

Palestras

.5063

9p

2

GRAMADO • RS • 29 de JULHO A 1º de AGOSTO de 2002
HOTEL SERRANO

SyS 898566

XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

PALESTRAS

**Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil
29 de Julho a 1º de Agosto de 2002**

632.5063

C749P

2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 Km 78

Caixa Postal 403

Fone: (53) 275 8199

Fax: (53) 275 8219 - 275 8221

Home page: www.cpact.embrapa.br

E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

Endereço: Londrina - PR

Caixa Postal 231-86001-970

Fone/Fax: (43) 320-4175

E-mail: sbcpd@cnpsa.embrapa.br

Comissão Técnica

José Alberto Noldin - Epagri

Erivelton Scherer Roman - Embrapa Trigo

Giovani Theisen - Fundacep/Fecotrigo

Jesus Juarez Oliveira Pinto - UFPel

Domingos Sávio Eberhardt - Epagri

Sérgio Luis de Oliveira Machado – UFSM

Sylvio Henrique Bidel Dornelles – UFSM

Comissão Editorial

André Andres - Embrapa Clima Temperado

José Alberto Noldin - Epagri

Capa

Vinicius krüger da Costa - Embrapa Clima Temperado - Estagiário

Diagramação Eletrônica

Sérgio Ilmar Vergara dos Santos - Embrapa Clima Temperado

1ª edição

1ª impressão (2002): 1000

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002,
Gramado. **Palestras**. Londrina: SBCPD/Embrapa Clima Temperado, 2002.

128 p.

ISBN 85-85941-12-X

1. Planta daninha – Controle – Herbicida – Resíduo – Tolerância – Impacto Ambiental – Ecologia 2. Alelopatia. – Planta transgênica – Resistência – Biotecnologia. I. Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS).

CDD 632.5

© Embrapa 2002

**SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA
DAS PLANTAS DANINHAS**
Gestão 2000/2002

Diretoria

Presidente: João Baptista da Silva
1º Vice-Presidente: Pedro Jacob Christoffoletti
2º Vice-Presidente: Roberto José de Carvalho Pereira
1º Tesoureiro: Luiz Lonardoní Coloni
2º Tesoureiro: Edison Hidalgo
1º Secretário: Dionísio Luiz Pisa Gazziero
2º Secretário: José Carlos Vieira de Almeida

Conselho Consultivo

Robinson Antônio Pitelli
Ricardo Victória Filho
Aldo Alves
Cristiano W. Simon
Túlio Teixeira de Oliveira
Adelino Pelissari
Júlio Cezar Durigan

Conselho Fiscal

Nestor Gabriel da Silva
Maria Helena Tabim Mascarenhas
Benedito Noedi Rodrigues

Suplentes

José Alberto Noldin
Elifas Nunes de Alcântara
Vicente Tundisi

Representantes Regionais

Região Norte: José Ferreira da Silva
Região Nordeste: José Eduardo Borges de Carvalho
Região Centro-Oeste: Tarcísio Cobucci
Região Sudeste: Décio Karam
Região Sul: Jesus Juarez Oliveira Pinto

Relações Internacionais

Ribas Antônio Vidal
Robinson Antônio Pitelli

Boletim Informativo

Robert Deuber
Marcus Barifouse
José Claudionir Carvalho
Dionísio Luiz Pisa Gazziero

XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS

COMISSÃO ORGANIZADORA

Presidente

Erivelton Scherer Roman - Embrapa Trigo

Comissão Técnica

José Alberto Noldin - Epagri
Erivelton Scherer Roman - Embrapa Trigo
Giovani Theisen - Fundacep/Fecotrigo
Jesus Juares Oliveira Pinto - UFPel
Domingos Sávio Eberhardt - Epagri
Sérgio Luis de Oliveira Machado - UFSM
Sylvio Henrique Bidel Dornelles - UFSM

Comissão Editorial

André Andres - Embrapa Clima Temperado
José Alberto Noldin - Epagri

Capa

Vinicius krüger da Costa - Embrapa Clima Temperado - Estagiário

Diagramação Eletrônica

Sérgio Ilmar Vergara dos Santos - Embrapa Clima Temperado
Candi Noldin – Epagri
Fátima T. Rapelloti - Epagri

Captação de Recursos

André Andres - Embrapa Clima Temperado
Nilson Gilberto Fleck - UFRGS
Dionísio Luiz Pisa Gazziero - Embrapa Soja
Marçal Zuppi - ANDEF

Divulgação

Nelson Diehl Kruse - UFSM
Giovani Theisen - Fundacep/Fecotrigo
Mauro Antônio Rizzardi - UPF

Organização e suporte logístico

André Andres - Embrapa Clima Temperado
Valmir Gaedke Menezes - Irga
César Sperandio - UFPel

Tesouraria

Nilson Gilberto Fleck - UFRGS
Valmir Gaedke Menezes - Irga

Secretaria Executiva

Luis Vicente Basso - Office Marketing
Larissa Veiga - Office Marketing

APRESENTAÇÃO

É com satisfação que a Comissão Organizadora e a Diretoria da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas manifesta aqui, prezado congressista, nossos sinceras boas vindas ao XXIII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. O Congresso é o resultado do esforço de colegas pesquisadores, professores, de profissionais e de empresas ligadas ao agronegócio brasileiro. São 694 trabalhos submetidos, dos quais 132 foram selecionados também para apresentação na forma oral. Além disso, haverão 13 palestras cujos temas foram cuidadosamente escolhidos pela Comissão Organizadora.

Este Congresso constitui-se num marco, no momento em que novos paradigmas no manejo de plantas daninhas evidenciam-se nos sistemas de produção, constituindo-se em tema central das discussões. Cientistas nacionais e internacionais de grande experiência profissional apresentam, neste evento, palestras referentes a assuntos modernos e pertinentes, contribuindo para tornar o controle de plantas daninhas mais moderno, eficiente e ambientalmente seguro.

Agradecemos a todos que colaboraram com o evento. Sintam-se em casa!

João Baptista da Silva
Presidente da SBCPD

Erivelton Scherer Roman
Presidente da Comissão Organizadora

SUMÁRIO

	Pág.
<u>PALESTRA DE ABERTURA – NOVOS PARADIGMAS NO MANEJO DE PLANTAS DANINHAS</u> - <i>João Baptista da Silva</i> (Presidente SBCPD).....	2
<u>1º PAINEL – RESISTÊNCIA DE P. DANINHAS AOS HERBICIDAS</u>	3
<u>MODERADOR</u> – <i>Cláudio Puríssimo</i> , Coordenador do CBRPH/SBCPD, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR.	
RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS – O PAPEL DA INDÚSTRIA – <i>Paul Neve</i> , Western Australian Herbicide Resistance Initiative – Austrália	4
MANEJO DA RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS AOS HERBICIDAS - <i>Pedro Jacob Christoffoleti</i> , Professor Associado, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, USP/ESALQ. <i>Ramiro Fernando López Ovejero</i> , doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, USP/ESALQ, Piracicaba, SP.....	5
<u>2º PAINEL – CULTURAS RESISTENTES AOS HERBICIDAS</u>	29
<u>MODERADOR</u> – <i>Robinson Pitelli</i> , UNESP/Jaboticabal, SP.	
MÉTODOS DE SELEÇÃO DE CULTURAS RESISTENTES A HERBICIDAS – <i>Luiz Carlos Federizzi</i> , Professor Deptº Plantas de Lavoura, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.....	30
HERBICIDE TOLERANT CROP: BENEFITS, CONCERNS AND RISKS – <i>Stevan Z. Knezevic</i> , Assistant Professor, Integrated Weed Management Specialist. Haskell Agricultural Laboratory, University of Nebraska, USA.....	40
ANÁLISE DE RISCOS DE CULTURA GM – <i>Linda Hall</i> , University of Alberta – Canadá.....	112
WEED CONTROL STRATEGIES FOR ROUNDUP READY SOYBEANS – <i>Bill Deen</i> , Prof. Dept. Plant Agriculture, University of Guelph, Canadá. <i>Clarence J. Swanton</i> , Prof. Dept. Plant Agriculture, University of Guelph, Canadá. <i>Kevin Chandless</i> , Technician of the Dept. Plant Agriculture, University of Guelph, Canadá.....	49

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE 55

MODERADORA – *Jussara B. Regitano*, CENA/USP, SP

MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE HERBICIDAS NO AMBIENTE – *Claudio A. Spadotto*, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente..... 56

DESTINO DOS HERBICIDAS NO AMBIENTE – *Ronald Turco* Purdue University, USA. *Jussara Regitano* CENA/USP SP..... 66

IMPACTO DE HERBICIDAS EM ORGANISMOS NÃO ALVO – *Sérgio Luiz de Oliveira Machado*, Professor, Deptº de Defesa Fitossanitária, Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS..... 67

4º PAINEL – MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS 74

MODERADOR – *Erivelton Scherer Roman*, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS e Presidente da Comissão Organizadora do XXIII CBCPD

CULTIVARES DE ARROZ COMPETITIVOS CON MALEZAS - *Albert J. Fischer*. Weed Science Program, University of California, Davis, California, USA. *Kevin D. Gibson*, Botany Department, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA. *Aldo Merotto, Jr.*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil..... 75

INTEGRATED WEED MANAGEMENT - MAKING AN OLD CONCEPT PRACTICAL IN TODAY'S WORLD - *Jerry Doll*, Univ. of Wisconsin, Dept. of Agronomy, Madison, Wisconsin. USA..... 88

ECOPHYSIOLOGICAL MODELS AS A TOOL FOR DEVELOPING INTEGRATED WEED MANAGEMENT - *Lammert Bastiaans*, Crop and Weed Ecology Group, Department of Plant Sciences, Wageningen University and Research Centre. *D.T. Baumann*, Swiss Federal Research Station for Fruit-Growing, Viticulture and Horticulture. *M.J. Kropff*, Crop and Weed Ecology Group, Department of Plant Sciences, Wageningen University and Research Centre..... 95

NOTA DA COMISSÃO EDITORIAL

Alguns trabalhos enviados para inclusão neste volume não estavam enquadrados conforme as normas estabelecidas pela Comissão Organizadora. No entanto, fez-se um esforço para ajustá-los da melhor maneira possível. Mesmo assim, esta comissão reserva o direito de eximir-se de qualquer responsabilidade dos eventuais erros que possam ainda estar contidos nestes trabalhos.

Os trabalhos foram publicados conforme o material enviado pelos autores, sendo de inteira responsabilidade dos mesmos, eventuais falhas na redação e/ou apresentação.

Prof. Dr. Carlos A. B. de Faria

PALESTRA DE ABERTURA NOVOS PARADIGMAS NO MANEJO DE PLANTAS DANINHAS

Universidade Federal do Paraná
Instituto de Agronomia
Laboratório de Fitopatologia
Curitiba, Paraná

PALESTRA DE ABERTURA - NOVOS PARADIGMAS NO MANEJO DE PLANTAS DANINHAS

João Baptista da Silva¹

Desde o surgimento do herbicida 2,4-D no mercado, ocorrido há 60 anos, a história do manejo de plantas daninhas em áreas agrícolas e não agrícolas teve uma evolução fantástica. Tanto os estudiosos e pesquisadores da área de manejo de plantas daninhas quanto os próprios usuários de herbicidas, assistiram ao lançamento de um sem número de produtos novos de famílias químicas como as triazinas, uracilas, trifluralinas, cloroacetanilidas etc, até os chamados herbicidas modernos, a partir dos anos setenta. Os primeiros 40 anos foram dominados pelo uso crescente de herbicidas no manejo de plantas daninhas. O novo milênio trouxe novos paradigmas para o manejo de plantas daninhas. Ainda aparecem atualmente novos herbicidas no mercado mas os cientistas da área de plantas daninhas, além dos estudos de eficácia e seletividade, têm hoje outras preocupações e necessidades de pesquisa. Os estudiosos da área têm pela frente o desafio de avaliar o manejo de plantas daninhas nas novas culturas transgênicas com genes de resistência a herbicidas. O uso intensivo e contínuo de herbicidas do mesmo modo de ação ocasionou o aparecimento de biótipos resistentes em inúmeras espécies e hoje o manejo desses biótipos resistentes é mais um desafio para pesquisadores, extensionistas e técnicos de empresas. O manejo integrado de plantas daninhas é também um campo novo de trabalho para os estudiosos da área porque a presença simultânea de genes de resistência a herbicidas, pragas e doenças na mesma planta permitirá o manejo integrado múltiplo. Outras mudanças esperadas no manejo de plantas daninhas, tanto em áreas agrícolas quanto em áreas de manejo em áreas urbanas e industriais, ferrovias e ambiente aquático, estão relacionadas com a pulverização de herbicidas passando a ser realizada por empresas credenciadas, o monitoramento de resíduos de herbicidas nos alimentos e no meio ambiente e o uso de GPS e GIS pelos aplicadores o uso de GPS e GIS, e. Até mesmo o receituário agrônomo deverá evoluir para a certificação de profissionais qualificados em exames nacionais.

¹ Presidente – Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

**1º PAINEL – RESISTÊNCIA DE
PLANTAS DANINHAS AOS
HERBICIDAS**

1º PAINEL – RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS AOS HERBICIDAS

MODERADOR – Cláudio Puríssimo, Coordenador do CBRPH/SBCPD, Univ. Est. Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR.

RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS A HERBICIDAS – O PAPEL DA INDÚSTRIA

Paul Neve¹

MANUSCRITO NÃO DISPONIBILIZADO

¹ Western Australian Herbicide Resistance initiative - Austrália

1º PAINEL – RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS AOS HERBICIDAS

MANEJO DA RESISTÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS AOS HERBICIDAS

Pedro Jacob Christoffoleti¹

Ramiro Fernando López Ovejero²

Introdução

As comunidades de plantas daninhas infestantes dos agroecossistemas estão representadas por espécies, cuja composição florística responde a um ambiente comum proporcionado pelas condições agroecológicas da cultura. No entanto, devido à utilização intensiva de herbicidas, as mesmas, como seres biológicos em processo de coevolução com a agricultura (Ghersa et al., 1994), criam mecanismos de resposta ao distúrbio ambiental provocado pela pressão de seleção dos herbicidas através da mudança na flora específica (Fryer & Chancellor, 1979) ou seleção de biótipos resistentes de plantas daninhas aos herbicidas (Christoffoleti, 1998).

A ocorrência de biótipos resistentes de plantas daninhas aos herbicidas em uma área é um fenômeno espontâneo decorrente da variabilidade genética natural que ocorre em suas populações, não sendo, portanto o herbicida o agente causador, mas sim selecionador dos indivíduos resistentes que se encontram em baixa frequência (Christoffoleti et al., 1994). Sendo assim, a presença de biótipos resistentes em alta frequência é percebida quando existe alta pressão de seleção imposta pela aplicação repetitiva dos mesmos de herbicidas ou de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, situação que geralmente ocorre em sistemas intensivos de monocultivo, onde os herbicidas são aplicados com o objetivo de eliminar quase toda a comunidade de plantas daninhas incidentes. É importante também ressaltar que as plantas daninhas podem ser selecionadas para resistência não apenas ao controle químico, mas a qualquer método de controle não químico, desde que este seja usado de

¹ Professor Associado, Área de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas, Departamento de Produção Vegetal, Universidade de São Paulo, USP/ESALQ, Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 09, CEP - 13.418-900, Piracicaba - SP, e-mail - pjchrist@esalq.usp.br, fone - 19 3429 4190, fax - 19 3429 4385.

² Engenheiro Agrônomo, M.Sc., doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, USP/ESALQ.

maneira intensa, impondo uma pressão de seleção forte sobre tais espécies.

A observação de áreas agrícolas com incidência de plantas daninhas resistentes aos herbicidas foi pela primeira vez relatada em publicações científicas no final da década de 60, sendo que o número locais com plantas daninhas resistente aos herbicidas tem aumentado rapidamente nos últimos anos. Os registros apontam a existência de 253 locais com diferentes relatos de biótipos resistentes de plantas daninhas no mundo, distribuídos entre 154 espécies (HRAC, 2001). Até o ano de 2000, os casos documentados de plantas daninhas resistentes eram de 28% aos herbicidas cujo mecanismos de ação é a inibição da acetolactato sintase (ALS), 25% do grupo químico das triazinas, 10% aos inibidores da acetil coenzima A carboxilase (ACCCase), 8% às uréias e amidas, 8% aos biperidilos, 4% às dinitroanilinas e os demais casos distribuídos em diversas outras classes de herbicidas (HRAC, 2001).

No Brasil foram registrados até o momento áreas com infestação dos seguintes biótipos de plantas daninhas resistentes: capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) resistente aos herbicidas inibidores da ACCCase, picão-preto (*Bidens pilosa* e *Bidens subalternans*), amendoim-bravo (*Euphorbia Heterophylla*), sagitária (*Sagittaria montevidensis*) e *Cyperus difformis* aos herbicidas inibidores da ALS; caruru (*Amaranthus* sp.) aos herbicidas Inibidores da fotossíntese (fotossistema II - FS II) e capim-arroz (*Echinochloa* spp) a herbicidas mimetizadores das auxinas (HRAC-BR, 2002).

A extensão de áreas agrícolas atualmente detectada com presença de biótipos resistentes de plantas daninhas pode ser considerada de pequena escala, quando comparada com a área agrícola total, mas está aumentando em uma taxa elevada. Portanto, é importante que o assunto seja discutido, e que assim medidas de prevenção e manejo sejam adotadas para que o herbicida seja preservado para o controle eficaz e econômico na agricultura (Christoffoleti, 2002), no entanto, para aplicação destas medidas é necessário que o produtor utilize um procedimento adequado de identificação da existência de um biótipo resistente, para que assim não seja atribuída erroneamente falhas de controle de diversas como sendo casos de resistência de plantas daninhas aos herbicidas.

Formas de identificação da incidência de biótipos resistentes de plantas daninhas aos herbicidas

Caso sejam identificadas falhas no controle químico de uma ou mais espécies de plantas daninhas, após a aplicação de um herbicida normalmente recomendado para o controle destas espécies, é importante a investigação e seguir algumas ações seguindo uma série de etapas, descritas a seguir (CBRPH, 2000).

Diagnóstico da falha de controle

É freqüente ao agricultor confundir falha de controle por razões diversas com incidência de um biótipo de planta daninha resistente ao herbicida aplicado, sendo que as causas de falha no controle de uma ou mais espécies de plantas daninhas depois da aplicação do herbicida recomendado, pode ser resultante de diversos fatores. Por isso, é necessário realizar um diagnóstico inicial, pois através dele é possível identificar as mais diversas causas de falhas. Entre as informações a serem levantadas destacam-se: i) herbicida utilizado; ii) espécie daninha; iii) tecnologia de aplicação; iv) condições climáticas; v) condições edáficas; vi) dados da cultura e; vii) tipo de plantio. Assim, depois de checada todas as possibilidades de falha e não for identificada nenhuma destas possibilidades, pode-se suspeitar da incidência um biótipo resistente (CBRPH, 2000).

Na maioria dos casos, a infestação de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas deve ser esperada somente quando o mesmo herbicida ou herbicidas com mesmo mecanismo de ação são utilizados por vários anos consecutivos e, a espécie daninha suspeita era usualmente bem controlada nos primeiros anos de uso do herbicida, mas o controle decresceu nos anos recentes. A possibilidade de erros na aplicação também deve ser descartada, verificando se a dose correta foi empregada e se a falha de controle ocorreu num padrão distinto ao longo do campo, sendo assim, é mais provável que ocorreram problemas com a tecnologia de aplicação do herbicida. Certas condições ambientais também contribuem para um controle deficiente de espécies normalmente suscetíveis de plantas daninhas, como por exemplo, alguns herbicidas aplicados diretamente ao solo (pré-emergentes) requerem certa quantidade de chuva para sua incorporação e atividade, enquanto que herbicidas aplicados à folha (pós-emergentes) podem ser lavados da superfície foliar pela chuva, antes mesmos de serem absorvidos (CBRPH, 2000).

Sendo assim, é importante manter um histórico do manejo de plantas daninhas, especialmente dos herbicidas aplicados em cada talhão da propriedade para se identificar a evolução da população de determinadas espécies, pois, normalmente, a ocorrência dos biótipos resistentes não pode ser detectada durante os primeiros anos de aplicação do agente de seleção, ou seja, quando é percebida a falha de controle de uma espécie de planta daninha que normalmente era controlada por certo herbicida, já decorreram, na maior parte dos casos, anos do início da seleção dos biótipos resistentes (Christoffoleti, 2000). A percepção da presença de um biótipo resistente em uma área através de falhas da aplicação geralmente ocorre quando 30% das plantas na área constituem o biótipo resistente (Maxwell & Mortimer, 1994).

No caso de existirem indícios que a área apresenta infestação de biótipo(s) de planta(s) daninha(s) resistente ao(s) herbicida(s), será necessário estabelecer algumas ações imediatas e confirmar cientificamente a hipótese de resistência.

Ações imediatas a serem tomadas

Na área com falhas de controle de plantas daninhas deve-se deixar uma pequena parcela de plantas daninhas produzirem sementes, com a finalidade de coletá-las para realizar testes de confirmação de resistência. Se possível, erradicar o restante da população de plantas daninhas antes que produza sementes e procurar orientação técnica especializada para solução imediata das falhas de controle (CBRPH, 2000).

Confirmação da presença do biótipo resistente

Para confirmar a resistência de um biótipo a herbicidas são utilizados diferentes tipos de teste. A seguir são apresentados os testes mais utilizados, porém é importante salientar que na literatura existem diversos outros métodos relatados e que também podem ser utilizados com eficiência:

Coleta de sementes do biótipo resistente e teste em condições controladas

Segundo o HRAC (2001) o primeiro passo para a confirmação da seleção de um biótipo de planta daninha resistente a herbicidas no campo é a coleta de sementes no campo com suspeitas de resistência. Em seguida é feita a semeadura em vasos que são colocados em condições controladas (normalmente em casa de vegetação) para que as plântulas (pós-emergência inicial) resultantes sejam pulverizadas com os herbicidas suspeitos de resistência e assim avaliado comparativamente com biótipos suscetíveis da mesma espécie. A maior limitação deste teste é o tempo necessário para obtenção dos resultados finais pois o período entre a coleta das sementes suspeitas de resistência no campo e a avaliação final dos sintomas causados pelos herbicidas aplicados nas plântulas é relativamente longo (vários meses) e normalmente o agricultor necessita da informação rapidamente para que medidas de manejo sejam adotadas caso a seleção de biótipos resistentes seja confirmada. Outro problema que pode ocorrer com esse teste é no momento da coleta das sementes no campo não é possível a distinção entre plantas resistentes e susceptíveis que eventualmente emergiram após a aplicação do tratamento herbicida; sendo assim, no momento da coleta de sementes é possível que ocorra uma mistura de sementes de plantas resistentes e susceptíveis. Esta mistura de

biótipos resistentes e suscetíveis pode subestimar o nível real de resistência (Boutsalis, 2001).

Para a confirmação da resistência é importante enviar uma amostra da planta herborizada e uma quantidade mínima de sementes (normalmente sementes provenientes de 40 plantas e num total de pelo menos 100 sementes) para os órgãos responsáveis para a realização destes testes. É importante que a planta herborizada contenha flores, folhas, frutos e sistema radicular. Isto é essencial para a identificação taxonômica da espécie ou biótipo. As sementes são submetidas aos procedimentos apropriados de testes que variam de acordo com o herbicida em estudo, podendo ser testes em casa-de-vegetação ou em laboratório (CBRPH, 2000).

As sementes devem ser coletadas a partir de plantas maduras que sobreviveram ao tratamento herbicida, identificadas de forma apropriada, embaladas para armazenamento e transporte para os órgãos de pesquisa especializados. Para determinação do nível de resistência é importante que sementes do biótipo suscetível também sejam enviadas para teste. Estas sementes devem ser obtidas em áreas vizinhas que nunca receberam tratamento herbicida. Normalmente, são áreas próximas de residência ou hortas que nunca foram pulverizadas com o herbicida em estudo. As amostras de sementes devem ser armazenadas em condições apropriadas (8-15 °C, 30% de umidade relativa do ar), com a finalidade de manter o máximo poder de germinação (CBRPH, 2000).

Testes rápidos

Como o teste descrito no item anterior é inviável na prática para uma determinação da resistência de forma rápida e prática, em nível de produtor, são propostos testes rápidos para determinar problemas de resistência em forma rápida e após confirmação podem ser praticadas estratégias de manejo imediatamente na safra seguinte.

Bioensaio de determinação da sensibilidade da ALS a herbicidas inibidores desta enzima

Existem diversos métodos de pesquisa que estão sendo estudados com o objetivo de identificação da resistência de plantas daninhas aos herbicidas em forma rápida. Gerwick et al. (1993); Simpson et al. (1995) e Lovell et al. (1996), desenvolveram um diagnóstico rápido para se detectar a resistência aos herbicidas inibidores da ALS (imidazolinonas, sulfoniluréias, triazolpirimidinas e pirimidil-oxi-tiobenzoatos), através de um ensaio com a ALS no qual o ácido ciclopropanodicarboxílico (CPCA) é usado para inibir a cetoácido reductoisomerase (KARI), enzima que catalisa a reação seguinte do acetolactato na cadeia de biossíntese dos aminoácidos valina, leucina e

isoleucina. Desta forma, em três dias após a aplicação dos herbicidas é possível verificar se a planta é realmente resistente ou não aos herbicidas inibidores da ALS. O bioensaio é bastante simples, pois os reagentes podem ser facilmente obtidos em empresas que revendem produtos laboratoriais e os equipamentos necessários não são sofisticados (Monqueiro et al., 2001).

Syngenta Quick-Test (QT)

O teste rápido (Quick-Test - QT) supera os problemas do teste em condições controladas utilizando sementes coletadas no campo (teste descrito em item anterior) porque não precisa delas, utilizando em seu lugar diretamente as plantas que não foram controladas pelo herbicida no campo. Os resultados são possíveis de serem obtidos de 2 a 4 semanas após o início do teste. Até o momento este tipo de teste tem sido feito com herbicidas aplicados em condições de pós-emergência. Para plantas daninhas do tipo gramíneas pode-se utilizar plantas ainda não perfilhadas ou perfilhadas e, nesse caso, usam-se plantas com 2 ou 3 afilhos, descartando o resto da planta. Também para este teste rápido é necessário que sejam obtidas plantas consideradas suscetíveis da mesma espécie. De um modo geral tomam-se cerca de 50 plantas de cada biótipo (resistente – R e suscetível – S) em estágio vegetativo. Posteriormente a coleta das plantas no campo estas são transportadas para os locais onde será feito o teste (normalmente condições controladas) e transplantadas em vasos onde as plantas são preparadas para que ocorra o processo de formação de tecidos novos. Em poucos dias ocorre uma regeneração. Quando, no caso de gramíneas, as folhas novas atingirem de 5-7cm efetua-se um tratamento pulverizando com o herbicida em teste. As plantas irão demonstrar se são suscetíveis ou resistentes, por uma avaliação visual, usando uma escala de 0 a 100% (0 = sem dano; 100 = controle total) (Boutsalis, 2001). Para dicotiledôneas o teste também é possível (Walsh, 2001), mas a capacidade de recuperação varia de espécie para espécie e o tamanho das raízes e caule a serem deixados no momento de preparo da planta para transplantar devem ser ainda estabelecidos para as diferentes espécies. As vantagens desse método são de uma rápida resposta, sendo usadas as próprias plantas suspeitas de resistência, em forma regenerada. O problema é que o estágio da planta daninha na reaplicação é freqüentemente avançado o que pode afetar a resposta ao herbicida.

Após a confirmação de que em uma determinada área existe a presença de um biótipo resistente em níveis de infestação elevado que determinam a ineficiência do herbicida que normalmente controlava esta planta daninha, é importante que medidas de manejo e de prevenção da incidência de biótipos resistentes sejam adotadas.

Manejo e prevenção da infestação de biótipos resistentes de plantas daninhas a herbicidas

O manejo de plantas daninhas na agricultura é feito através da integração de diversos métodos, incluindo cultural, mecânico, físico e químico dentre outros. No entanto, nas últimas décadas a aplicação de herbicidas para o controle de plantas daninhas tem sido crescente. Atualmente, o controle químico das plantas daninhas é o principal método utilizado na agricultura, sendo que, no Brasil, as vendas de agroquímicos superaram no ano 2000 os 2.500 milhões de US dólares, dos quais 52% foram herbicidas (SINDAG, 2001).

Se um mesmo herbicida é aplicado de forma repetitiva em uma mesma área, a probabilidade de aumento da frequência de um biótipo deve ser levada em consideração (Christoffoleti, 1998). Sendo assim, é necessário alterar as práticas normalmente usadas para o controle de plantas daninhas visando evitar ou retardar o aparecimento de plantas daninhas resistentes (Gressel & Segel, 1989). Diversas estratégias devem ser adotadas no manejo da resistência aos herbicidas, com atuação tanto na prevenção ao surgimento da resistência, como também para o manejo destas nas situações onde já existam plantas daninhas resistentes. Existem vários trabalhos na literatura abordando o assunto destacando-se os de Christoffoleti et al., 1994; Powles & Holtum, 1994, Retzinger & Mallory-Smith, 1997; Merotto et al., 1998 e; SBCPD, 2000. Os princípios do manejo da resistência de plantas daninhas são similares, tanto na prevenção da resistência de uma população quanto na limitação da resistência após sua constatação.

Opções químicas para prevenção e manejo de plantas resistentes a herbicidas

As estratégias de manejo das plantas daninhas adotadas têm influência decisiva na velocidade de seleção do biótipo resistente e, portanto, o planejamento de escolha destas estratégias deve ser de forma criteriosa. O aspecto mais importante na prevenção e manejo da resistência é a recomendação de práticas e sistemas de produção em que a pressão de seleção de biótipos resistentes a determinado herbicida seja reduzida (HRAC-BR, 2002). As estratégias químicas podem ser utilizadas para reduzir essa pressão de seleção (Boerboom, 1999). Algumas dessas técnicas estão descritas a seguir:

Manejo de herbicidas

Algumas considerações no manejo de herbicidas para prevenção e manejo da seleção de biótipos resistentes de plantas daninhas são listados

a seguir: i) utilizar herbicidas com pouca atividade residual no solo; ii) otimizar a dose, época e número de aplicações; iii) aplicar herbicidas somente quando necessário, permitindo níveis mínimos de infestação que não causem danos significativos à cultura (nível de dano econômico - NDE); iv) minimizar a aplicação de herbicidas específicos, evitando o uso contínuo, no mesmo campo, de herbicida ou herbicidas com mesmo mecanismo de ação, a não se que integrado com outras práticas de controle; v) acompanhar os resultados das aplicações dos herbicidas, deixando pequenas área testemunhas sem aplicação, afim de detectar quaisquer tendências ou mudanças na densidade populacional das plantas daninhas presentes; vi) evitar a utilização de herbicidas para o qual a resistência foi confirmada, a menos que em mistura com outro(s) herbicida(s) de diferente(s) mecanismo(s) de ação, cujo espectro de controle das plantas daninhas inclua a espécie da população resistente. Estas recomendações reduzem a pressão de seleção, diminuindo os riscos de resistência e mantendo a diversidade de biótipos no banco de sementes do solo.

Rotação de herbicidas

A aplicação sucessiva de herbicidas com mecanismos de ação diferenciados, porém efetivos sobre o mesmo espectro de plantas daninhas, é uma estratégia que contribui para a redução da probabilidade de surgimento de biótipos resistentes. No entanto, a mudança de um herbicida para um alternativo com mecanismo de ação diferente pode também constituir um risco de seleção de biótipos resistentes ao herbicida alternativo, se este for aplicado como única opção de controle (Gould, 1995). Também, produtos que apresentem menor eficiência podem ser utilizados em rotação com herbicidas mais eficazes, porém de maior risco ao surgimento da resistência, pois com isso reduz a pressão de seleção ao biótipo resistente. Ainda, a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de detoxificação, evita a seleção de biótipos com resistência decorrente da metabolização dos herbicidas. A rotação de culturas permite o uso de outros herbicidas de forma a permitir controle de plantas daninhas em diferentes ocasiões durante a estação. É de fundamental importância o conhecimento da classificação dos herbicidas quanto ao seu mecanismo de ação para que possa planejar adequadamente a rotação do uso de herbicidas e de culturas visando evitar e retardar o aumento da frequência do biótipo resistente na área. Alternar herbicidas com mecanismo de ação similares porém de grupos químicos diferentes (por exemplo triazinas e uréias substituídas; sulfoniluréias e imidazolinonas, etc.) pode eventualmente ser utilizada sem risco de seleção de biótipos resistentes se o biótipo resistente não apresentar resistência cruzada da espécie daninha a esses herbicidas. Este fato é comum quando o mecanismo de resistência do biótipo é devido a uma alteração do sítio de ação do herbicida que não é

comum para os herbicidas de mesmo mecanismo de ação, porém de grupos químicos diferenciados.

Mistura de herbicidas

A alternativa de mistura de herbicidas no tanque de pulverização, misturas formuladas de herbicidas ou aplicações seqüências de herbicidas para o manejo e prevenção da resistência está baseada no fato de que os ingredientes ativos controlam eficientemente os dois biótipos da mesma espécie, ou seja, o biótipo resistente a um dos herbicidas é controlado pelo outro ingrediente ativo da mistura e vice-versa (Powles & Holtum, 1994). É importante ressaltar que a mistura de herbicidas de diferentes mecanismos de ação como forma de manejo e prevenção de resistência, é mais eficiente quando o sistema de reprodução da planta daninha é a autogamia, pois a recombinação gênica de diferentes alelos que conferem resistência tem menor probabilidade de ocorrer do que em relação às plantas alógamas (Gould, 1995). Os componentes das misturas em tanque ou aplicações seqüenciais devem atender os critérios de: diferentes sítios de ação, espectro de controle e persistência semelhantes; caso contrário, a resistência pode eventualmente ser selecionada, independente dos diferentes mecanismos de ação dos herbicidas aplicados na área.

Aprimorar a tecnologia de aplicação

Tecnologia de aplicação de herbicidas é a colocação de um produto biologicamente ativo no alvo, em quantidade adequada, de forma econômica e com riscos mínimos de contaminação ambiental. O sucesso de um tratamento depende da escolha de bons pulverizadores, bons produtos químicos e da capacidade técnica dos operadores. Aplicações mais precisas e mais uniformes podem reduzir a quantidade de ingredientes ativos requerida para um dado controle. Aplicações bem executadas reduzem os custos dos tratamentos e minimizam os efeitos poluentes.

Utilização de herbicidas não seletivos (aplicação de herbicidas na pré-colheita)

Esta prática permite a redução na produção de sementes das plantas daninhas de forma a evitar a dispersão (“chuva de sementes”) de possíveis plantas daninhas resistentes. Na colheita mecanizada de feijão a utilização de produtos dessecantes é fundamental objetivando a uniformização da maturação do feijoeiro e controle de plantas daninhas. No caso da soja, a dessecação em pré-colheita com paraquat ou diquat permite antecipar a colheita, uniformiza toda a lavoura, controle de plantas daninhas

facilitando a colheita e em muitas situações, serve como manejo para o Plantio Direto da safrinha, permitindo o controle de plantas daninhas.

Manejo de plantas daninhas pós-colheita

Nesta técnica são utilizados herbicidas de amplo espectro de ação para a dessecação das plantas daninhas que provocará a morte e impedirá a produção de sementes, reduzindo, ao longo do tempo, o banco de sementes no solo. Antes da aplicação sugere-se aguardar duas a três semanas após a colheita, permitindo a germinação da sementeira superficial e das plantas voluntárias resultantes da perda de sementes na colheita, o crescimento das plantas daninhas e a brotação ou recuperação daquelas cortadas na colheita. Essa recuperação da área foliar das plantas é fundamental pela necessidade de equilíbrio na relação entre raízes e área foliar para absorção e eficácia de herbicidas dessecantes. Outra alternativa é um ou dois dias após a colheita fazer a dessecação e semear alguma cultura de crescimento rápido como o nabo-forrageiro ou o milheto (Gassen, 2001).

Para algumas plantas daninhas não se consegue controle efetivo, apenas com a dessecação de primavera, sendo fundamental o manejo pós-colheita, no outono, fase de produção de sementes. O manejo pós-colheita é uma alternativa eficaz de controle de plantas daninhas em áreas com capim-amargoso (*Digitaria insularis*), capim-de-Rhodes ou coquerinho (*Chloris gayana* ou *Chloris distichophylla*), trapoeraba (*Comellina* sp), poaia-branca (*Richardia brasiliensis*) e de outras denominadas “plantas daninhas problema”.

O manejo de plantas daninhas após a colheita apresenta algumas vantagens: i) redução ou eliminação da produção de sementes; ii) manejo efetivo de plantas de difícil controle; iii) evita a formação de touceiras perenizadas; iv) melhora a eficiência da semeadura, pela ausência de touceira de plantas; v) aumenta a eficiência na dessecação de primavera; vi) elimina o risco de controle deficiente, causado pelo “efeito guarda-chuva” de plantas perenizadas; vii) reduz a ocorrência de pragas e de doenças, pela eliminação de hospedeiros intermediários (plantas daninhas e plantas guachas), “pontes-verdes” entre duas safras e viii) possibilidade de redução nas doses de herbicidas nas dessecações subseqüentes (Gassen, 2001).

Adoção de cultivares transgênicas

As cultivares resistentes aos herbicidas também proporcionam a adoção de mecanismos de ação diferentes daqueles usados em aplicações normalmente seletivas, possibilitando também o manejo de plantas daninhas resistentes. Segundo Powles et al (1997) se desconhece os reflexos dos herbicidas totais aplicados em culturas resistentes aos

herbicidas com relação aos efeitos sobre o surgimento de plantas daninhas resistentes. Estes autores apontam que, se esse herbicida total for utilizado na mesma intensidade que os ACCase e ALS, poderá acontecer o surgimento de plantas daninhas resistentes. Para Boerboom (1999) a rápida adoção de culturas transgênicas como soja e milho, supõe a utilização anual freqüente do glyphosate na rotação soja-milho em lugar da rotação com outros herbicidas.

Poucos são os casos observados de resistência de plantas daninhas aos herbicidas de ação total na agricultura, embora o glyphosate seja um dos herbicidas mais utilizados para o controle das mesmas. Desta forma, os riscos de desenvolvimento de biótipos de plantas daninhas resistentes a este herbicida são baixos, embora não impossíveis. Porém, é importante observar que nas áreas de aplicação sucessiva destes herbicidas pode ocorrer a seleção de espécies tolerante difíceis de serem controladas pelo herbicida. Espécies como *Commelina benghalensis*, *Borrelia alata* e algumas espécies de *Ipomoea* spp, são exemplos de plantas daninhas de difícil controle pelo herbicida (Christoffoleti et al., 2001).

Um exemplo disso é a Argentina (região de Rosário, Província de Santa Fé) onde há uma adoção massiva de cultivares transgênicas resistentes a glyphosate, observando excelente controle de plantas daninhas nessas áreas. Sendo assim, a repetida utilização do herbicida exerce uma forte pressão de seleção sobre aquelas que se comportam como tolerantes ao herbicida. Entre as plantas daninhas com certo grau de tolerância ao mesmo encontram-se *Cyperus rotundus*, *Anoda cristata*, *Wedelia glauca*, *Ipomoea* spp, *Commelina virginica*, *Convolvulus arvensis* e *Portulaca oleracea*. É provável que a importância dessas espécies aumente nessa região, de maneira que se deva recorrer a dosagens maiores do produto para conseguir controlá-las satisfatoriamente no futuro (Vitta et al, 1999).

Agricultura de precisão

A agricultura de precisão baseia-se no gerenciamento localizado de sistemas agrícolas, utilizando recursos como mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de suporte e decisão e aplicação localizada de insumos. A aplicação localizada de insumos compreende três etapas: coleta de dados (mapeamento), interpretação dos mapas (sistemas para suporte a decisão) e aplicação localizada (Antuniassi, 2001).

A determinação do posicionamento dos alvos é uma das etapas mais importantes dos sistemas de aplicação localizada. Conceitualmente, duas metodologias podem ser utilizadas para este propósito. A primeira opção considera a detecção do alvo e controle da aplicação em um sistema "on-line", onde o equipamento se desloca sobre o campo de aplicação, os alvos vão sendo identificados através de sensores (por reflexão) e a

aplicação é realizada somente sobre as áreas desejadas, tudo em uma única operação. A outra opção compreende a coleta de informações para a elaboração de mapas georeferenciados dos alvos através de caminhamento autônomo (pequenas áreas) ou em conjunto com outras atividades mecanizadas como a colheita (grandes áreas), os quais são processados com o auxílio de sistemas de suporte a decisão, gerando os mapas de tratamento ou aplicação. Na seqüência, tais mapas são utilizados pelo sistema de controle do equipamento aplicador para comandar a distribuição localizada dos defensivos (Antuniassi, 2001). Alguns sistemas utilizam pulverizadores para aplicar diferentes defensivos e/ou diferentes doses de maneira localizada, de acordo com informações de um mapa eletrônico dos alvos presentes na área o qual seria uma excelente ferramenta para o manejo ou prevenção de resistência a plantas daninhas.

Também é possível, através da utilização do GPS, mapear o solo quanto ao teor de matéria orgânica, e em cada parcela da propriedade aplicar determinada concentração de herbicida na calda. É claro que um equipamento deste ainda é trabalhado na, e têm um custo elevado, mas indica o rumo que a aplicação de produtos fitossanitários pode tomar no futuro (Torres, 2001).

Opções não químicas para prevenção e manejo de plantas resistentes a herbicidas

As estratégias não químicas afetam a dinâmica das populações suscetíveis e resistentes de plantas daninhas porque provocam elevada mortalidade de plantas e a pressão de seleção permanece sem alteração, a menos que exista diferença de adaptação ecológica (entre plantas resistente e suscetíveis) a praticas não químicas, a qual é improvável (Boerboom, 1999). Para uma predição mais exata dos benefícios e o sucesso final de sistemas alternativos de manejo, um amplo entendimento do processo demográfico das plantas daninhas e dos fatores que interferem na relação planta daninha-cultura são requeridos. Os modelos matemáticos podem assistir em determinar diferentes estratégias para demorar a evolução da resistência, mais a exatidão é limitada pela dificuldade de obter medidas exatas de vários fatores importantes (Jasieniuk, 1996). Algumas dessas técnicas estão descritas a seguir:

Rotação de culturas

A rotação de culturas, particularmente aquelas com diferentes ciclos de vida, reduz o sucesso intrínseco das plantas daninhas, que estão sincronizadas com a cultura, implicando na variação dos padrões de uso do solo e da interferência das plantas daninhas, e sua duração deve ser baseada no tamanho e taxa de declínio do banco de sementes de biótipos

resistentes presentes no solo. Técnicas que reduzem o banco de sementes de plantas daninhas podem ser aqui utilizadas: pastagem ou produção de forrageiras, períodos de pousio utilizando herbicidas não-seletivos, utilização de adubos verdes, queima de resíduos da cultura ou de plantas daninhas após a colheita (Powles & Holtum., 1994).

Para Boerboom (1999) a consequência da rotação de culturas são: i) algumas culturas não utilizam herbicidas diminuindo a pressão de seleção; ii) a utilização de diferentes mecanismos de ação e; iii) os diferentes ciclos de vida das culturas e praticas de produção, que poderiam afetar a dinâmica da população de plantas daninhas. A rotação de culturas é improvável que elimine o uso de herbicidas e a pressão de seleção em sistemas de cultivo, mas pode ser utilizado para reduzir a utilização de herbicida no decorrer dos anos.

Nível de dano econômico

A otimização de doses e número de aplicações de herbicidas, de forma que o controle das plantas daninhas seja feito somente após ter sido atingido o nível de dano econômico, reduz o uso desnecessário de herbicidas. Essa medida diminui a pressão de seleção imposta pelo herbicida e, além disso, permite a sobrevivência de plantas suscetíveis, proporcionando maior polinização cruzada entre indivíduos suscetíveis e resistentes.

Para utilizar essa técnica é necessário fazer levantamentos de plantas daninhas antes da aplicação de qualquer herbicida para determinar as espécies infestantes e se o nível de danos causados por estas plantas justifica a aplicação do mesmo. Também são recomendados levantamentos após a aplicação com o objetivo de determinar falhas na aplicação, mudanças na flora e a evolução da densidade das infestações de plantas daninhas nas áreas cultivadas. Ainda, é importante conhecer a biologia da planta daninha resistente para ser mais eficientes nas táticas utilizadas no seu manejo.

Na prática, no oeste americano o NDE (Nível de Dano Econômico ou “threshold”) é pouco utilizado pelos produtores. Por exemplo em Illions somente 9% dos produtores baseia-se no NDE para decidir o momento de controle, utilizando como justificativa que as plantas daninhas provocam problemas na colheita, pela produção de sementes das mesmas e pela aparência da lavoura (Czapar et. Al., 1995 e 1997).

Características relacionadas ao Sistema de cultivo

Sistemas de cultivos mínimo e plantio direto são amplamente utilizados por razões de conservação do solo e da água, porém favorecem alguns tipos de plantas daninhas, especialmente algumas variedades

anuais e perenes. Isso ocorre porque o desenvolvimento de populações de plantas daninhas é facilitado a partir de sementes produzidas na cultura anterior, que são mantidas na superfície do solo. Este processo acelera o desenvolvimento de plantas daninhas resistentes porque a porção do banco de sementes recrutada para germinação é menor (Madsen & Jensen, 1998). Essa maior emergência de plantas daninhas justifica a utilização de herbicidas residuais e pós-emergentes, o que incrementaria a pressão de seleção, sendo que no sistema convencional seria menor pelo menor utilização de herbicidas (Boerboom, 1999).

Utomo & Susanto³, citado por Mortimer & Hill (1999), demonstraram que diferentes sistemas de manejo conduzem à diferentes infestações de plantas daninhas. Comparando sistemas de plantio direto, cultivo mínimo e convencional, observaram uma grande diferença entre as espécies dominantes no final do estudo, onde a composição da população inicial era a mesma. No plantio direto, logo nos primeiros anos de cultivo, houve um grande aumento de folhas largas, mostrando claramente a adaptação destas plantas daninhas ao sistema. Tal adaptação também é observada em função do herbicida usado na área.

A aração rotacional, uma vez a cada quatro a cinco anos, pode ser uma alternativa viável, quando da ocorrência de plantas daninhas resistentes de difícil controle através das técnicas disponíveis no sistema de plantio direto, pois contribui para a diversificação da flora de plantas daninhas existentes. O cultivo nas entrelinhas e o uso de herbicidas apenas na linha de cultura são métodos que podem ser bastante interessantes para evitar o aparecimento de resistência em uma determinada área, proporcionando menor pressão de seleção.

Método biológico

O controle biológico é uma técnica bem estabelecida e altamente eficiente no manejo de comunidades infestantes. Envolve a utilização de organismos vivos para matar, controlar a expansão populacional ou reduzir a competitividade das plantas daninhas. Historicamente, expressivos sucessos têm sido conseguidos com o uso de artrópodos (especialmente insetos) e microorganismos no controle de plantas daninhas altamente problemáticas (Charudattan & DeLoach, 1988). Geralmente organismos que são específicos para a planta-alvo ou que têm uma gama estreita de hospedeiros, podem ser utilizados como agentes de controle biológico, desde que não constituam risco para outras espécies vegetais, cultivadas ou não.

³ UTOMO, M.; SUSANTO, H. Effect of long-term conservation tillage on soil properties and weed dynamics in Sumatra. *In.*: Proccendings 16 th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, 1997, p.336-339.

Métodos físicos

As capinas, roçadas e arranquio são excelentes ferramentas para a eliminação dos focos de infestação, principalmente no caso das espécies de difícil controle como os biótipos resistentes. Podem ser utilizadas em áreas pequenas.

Método mecânicos

Práticas de cultivo mecânico, tais como enxada rotativa e cultivadores seletivos, reduzem a pressão de seleção na população de plantas daninhas pelos herbicidas. O cultivo primário de preparo do solo também reduz a pressão de seleção por causa do enterrio das sementes de plantas daninhas recém produzidas (HRAC-BR, 2002). O cultivo mecânico pode substituir o manejo químico, principalmente quando as plantas daninhas ainda estão na fase jovem. O problema desta técnica é que não apresenta ação residual.

Método Cultural

Este método consiste na utilização de medidas e procedimentos objetivando a prevenção de infestações e disseminação de plantas daninhas (biótipos resistentes), bem como o fortalecimento da capacidade competitiva da cultura, representada pelo seu rápido estabelecimento e desenvolvimento. O uso de práticas alternativas de manejo de plantas daninhas tais como: i) Cultivo de culturas mais competitivas; ii) escolha de cultivares adaptadas a região junto com plantio na época, espaçamento e densidade adequadas; iii) ausência ou diminuição das épocas de pousio, preenchendo-as com culturas; iv) extremo cuidado no emprego de material orgânico como estrume (ou esterco) provenientes de locais infestados de plantas daninhas; v) uso de cobertura morta; vi) quando necessário espaçamento adensado ou retardamento do plantio; vii) uso de práticas de prevenção à introdução de propágulos de plantas daninhas resistentes como aquisição (sementes certificadas) ou uso de sementes de culturas isentas de sementes de plantas daninhas (especialmente de soja e culturas de inverno), limpar equipamentos antes de deixar um campo infestado ou com suspeita de plantas daninhas resistentes, quarentena de animais e utilização de quebra ventos; viii) limpeza de beiras de estrada, carreadores e terraços existentes nas áreas; ix) optar por culturas com maior produção de massa e de rápido crescimento inicial e em regiões que favorecem a rápida decomposição da palhada selecionar culturas com relação C/N altas; x) considerar os efeitos alelopáticos positivos, na escolha das culturas em rotação; xi) consórcios e plantas supressoras. Os mesmos são métodos não químicos de controle de plantas daninhas que podem, em algumas

situações, constituir-se em alternativas viáveis juntamente com os herbicidas.

É importante considerar que as espécies utilizadas na agricultura variam consideravelmente na sua habilidade de competição, o que poderia ter um efeito na necessidade de utilização de herbicidas (residuais ou de pós-emergência) e na subsequente produção de sementes. Cultura como milho, soja e trigo são relativamente fortes competidoras com as plantas daninhas. A dose ou frequência na utilização de herbicidas poderia ser potencialmente reduzida pela utilização de variedades ou híbridos com grande habilidade competitiva ou alternando as práticas de produção (arranjo espacial) aumentando a competição. O grau de habilidade de competição das variedades e híbridos não foi ainda muito estudada, mas notavelmente diferenças devem existir (Boerboom, 1999).

Manejo do banco de sementes

A densidade populacional potencial de plantas daninhas em uma área é determinada pelo número de sementes no solo (banco de sementes), as quais podem permanecer vivas e dormentes nos solos agrícolas por muitos anos. Uma maneira de reduzi-la é evitando a adição de novos propágulos (por exemplo de biótipos resistentes), através do controle da produção de sementes. Skora Neto (2001) desenvolveu um experimento durante dez anos em Ponta Grossa (Paraná), utilizando no verão a cultura do milho e no inverno a rotação com adubos verdes ou aveia preta. O controle de plantas daninhas foi feito por meio de capinas manuais (à exceção dos tratamentos com herbicidas). Esta pesquisa demonstrou que o controle das plantas daninhas durante todo o ciclo, evitando assim a produção de sementes durante dez anos, reduziu a densidade da planta daninha capim marmelada em mais de 99%. A aplicação de herbicidas em jato dirigido foi uma prática eficiente no controle da produção de novas sementes. Embora Powles et al. (1992), tenham verificado a possibilidade erradicação de *Hordeum vulgare* resistente ao paraquat através da total prevenção de produção de sementes por esta espécie durante três anos, os resultados demonstram que a busca da erradicação das plantas daninhas estudadas pode ser demorada e difícil de ser obtida sendo de pouca praticidade almejar este fim. Entretanto, pelo rápido declínio populacional, quando não se permite a produção de sementes, verifica-se a viabilidade da adoção de práticas de controle para redução da densidade de infestação a níveis que permitem melhor convivência com as plantas daninhas nos agroecossistemas e obtenção de maior eficiência e economicidade no seu controle.

É conhecido entre os agricultores que um ano de controle ineficiente de plantas daninhas em uma cultura é suficiente para restabelecer o banco de sementes original, mesmo depois de vários anos de controle eficiente em um programa de redução do banco de sementes. Sendo assim, é

importante que o produtor faça um planejamento a longo prazo de manejo de plantas daninhas visando reduzir o banco de sementes; no entanto, qualquer descuido no manejo em uma das etapas é suficiente para perda de todo o trabalho contínuo de desinfestação (Christoffoleti, 2001).

Análise de risco nas principais culturas

Entre as culturas que mais utilizam herbicidas no Brasil encontram-se o milho e a soja, principalmente em plantio direto. Na cultura da Soja existe um número satisfatório de mecanismos diferentes para aplicação em pré-emergência, demonstrando que o planejamento correto de herbicidas a serem utilizados permite a rotação de diferentes mecanismo de ação. O grande problema da cultura acontece para os herbicidas de pós-emergência. Para controle de ervas dicotiledôneas em pós existem três mecanismos mais pela eficiência dos herbicidas inibidores de ALS seu uso contínuo pode acarretar em plantas daninhas resistentes (Merotto Júnior et al., 1998). As recomendações de medidas de prevenção e manejo da resistência aos herbicidas inibidores da ACCase são mais complicadas que para os demais herbicidas, pois não existem herbicidas alternativos. Para o controle de gramíneas em condições de pós-emergência na cultura da soja não existem herbicidas efetivos desenvolvidos até o momento, restando portanto apenas alternativas em pré-emergência (Christoffoleti, 1998). Essa situação é responsável pela grande ocorrência de plantas daninhas resistentes a este mecanismo de ação no Brasil e em outros países. A realização do controle de gramíneas em pós-emergência durante vários anos com os herbicidas inibidores de ACCase é uma prática que representa alto risco na cultura (Merotto Júnior et al., 1998). Por isso, o manejo da resistência aos herbicidas inibidores da ACCase em uma propriedade deve ser levado em consideração a longo prazo, através de um sistema integrado de controle (Christoffoleti, 1998).

Segundo Christoffoleti (1998) as estratégias necessárias para minimizar os efeitos da resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ALS são bastante complexas. Dentre as estratégias destacadas na literatura ressaltam-se o uso de rotação de culturas, mistura ou rotação de herbicidas, cultivo e técnicas de manejo integrado de plantas daninhas, quando possível. Infelizmente uma série de aspectos econômicos e muitas vezes de regulamentação governamental limitam a implementação destas medidas. A rotação soja-milho constitui-se numa forma excelente de retardar o aparecimento de biótipos resistentes em regiões de cultivo de soja, pois na literatura mundial não existem relatos de desenvolvimento de biótipos resistentes às triazinas em áreas de rotação soja-milho. As triazinas são os herbicidas mais utilizados na cultura do milho. No entanto, nas áreas de cerrado, o cultivo do milho em rotação com soja é bastante restrito devido a condição climática, predominando portanto a monocultura da soja.

Na cultura do milho no Brasil, a utilização de herbicidas do grupo dos inibidores do fotossistema II (triazinas) em pré e pós-emergência é muito grande na maioria das propriedades, sendo aplicados em forma isolada ou em mistura. Apesar de no Brasil não foram relatados casos de resistência, a grande ocorrência de casos a nível mundial mostra o risco de surgimento do problema. Também, existe risco para os inibidores da ALS aplicado em pós-emergência devido a preferência do agricultor por este grupo pelo amplo espectro de espécies controladas e pela sua eficiência (Merotto Júnior et al., 1998).

Custos da resistência

A base para calcular o custo da resistência a herbicidas a um agricultor em particular é relativamente simples. O problema associado a tal exercício é obter as informações requeridas para chegar a uma conclusão concreta. Isso porque os fatores que afetam o desenvolvimento da resistência tem que ser identificados e, em alguns casos, devem ser obtidos para o cálculo do impacto econômico de práticas ou sistemas alternativos. Para calcular o custo econômico da resistência pode ser adotada a metodologia de Orson (1999) na qual são definidas três estratégias de manejo de plantas daninhas: Estratégia A: nenhuma estratégia para prevenção e manejo da resistência; Estratégia B: resistência completamente desenvolvida e Estratégia C: adoção de estratégia para prevenir a resistência. Sendo assim, a diferença na lucratividade entre situações A e C é o custo de prevenção do desenvolvimento de resistência, sendo que a diferença entre as situações A e B ou C e B é o custo do manejo da resistência.

Segundo Roush e Powles (1996), o custo anual da prevenção à resistência aos herbicidas é estimado em US\$ 30,00 a 60,00 por hectare e o custo do controle em US\$ 200,00 a 600,00 ao ano por hectare. Sendo assim, considerando um período de cinco anos para o surgimento da resistência e de cinco anos para o controle total, a economia proporcionada pela prevenção pode ser de 32 a 66%. De maneira global, a resistência tem levado a um gasto anual de US\$ 1 bilhão.

Cálculos complexos são requeridos quando mais de uma espécie de planta daninha e/ou mudanças importantes na forma de conduzir as culturas são envolvidos. Cálculos mais simples fornecem boa resposta quando apenas troca de práticas de herbicidas precisam ser adotadas para prevenir o desenvolvimento de resistência e controlar as plantas daninhas resistentes. Nesse caso os custos adicionais reduzem diretamente o lucro (Orson, 1999). Calcular o custo da resistência a herbicidas para o agricultor é um passo necessário para: adotar estratégias anti-resistência.

Medidas preventivas ou de manejo da resistência, muitas vezes, significa a necessidade de mudanças no sistema de produção ou nas recomendações de manejo para controle das plantas daninhas que,

eventualmente, podem representar custos adicionais ou até diminuição na eficácia de controle e dificuldades operacionais, mas tem suas compensações na manutenção da utilização dos herbicidas de forma racional e sustentável na agricultura (HRAC-BR, 2002).

Etapas para a elaboração de um programa de manejo integrado de plantas daninhas nas culturas

O planejamento de um sistema de manejo integrado de plantas daninhas nas culturas envolve seis etapas importantes e lógicas a serem seguidas (Zimdahl, 1993). Dentro deste planejamento pode ser considerado o manejo de biótipos de plantas daninhas resistentes.

Mapeamento da infestação das plantas daninhas mais importantes nas áreas de cultivo, sendo que o mesmo deve ser feito por espécie. É fundamental a identificação da existência de biótipos resistentes.

Priorização de controle das espécies de plantas daninhas a serem controladas. Apenas as infestantes que causarão prejuízos mais significativos é que receberão tratamento especial de controle, junto com o biótipo resistente que exigira um manejo especial.

Desenvolvimento de um sistema de manejo integrado das plantas daninhas, ou seja, deve ser observado todas as formas disponíveis de manejo de plantas daninhas e utilizar todas, da forma mais racional possível, de forma integrada.

Implementação do manejo sistemático das plantas daninhas, ou seja, a partir do mapeamento das ervas e do plano de manejo deve-se iniciar o programa, o qual deve ser sistemático, seguindo o planejamento previamente proposto.

Anotações de informações e manutenção de arquivos de dados sobre os resultados obtidos com o programa em anos anteriores; sendo que este arquivo de dados deve ser sistematicamente atualizado com novas informações e um histórico deve ser montado ao longo dos anos.

Persistência o sucesso do manejo de plantas daninhas não é conseguido com a aplicação isolada de uma tática de controle, mas sim exige atenção contínua e persistência.

Considerações finais

Os biótipos resistentes podem restringir ou inviabilizar a utilização futura dos herbicidas, pois a eficácia de controle fica reduzida a níveis abaixo dos aceitáveis pelo agricultor. Quando ocorrem plantas daninhas resistentes aos herbicidas em uma área, com densidade suficiente para limitar a produção das culturas agrícolas, há necessidade de mudanças nas práticas de manejo utilizadas.

O conhecimento das características das plantas daninhas, dos herbicidas e do sistema de produção, que favorecem o aparecimento de biótipos de plantas daninhas resistentes a herbicidas, é de fundamental importância para que técnicas de manejo sejam utilizadas para evitar ou retardar o aparecimento de plantas resistentes em uma área e, caso já esteja presente na área, evitar sua disseminação e reduzir sua presença na área. Desta forma, o controle de plantas daninhas em uma propriedade deve ser levado em consideração a longo prazo, através de um sistema integrado de controle em sistemas de produção que envolva métodos culturais, físicos, mecânicos, químicos além de outros.

Referências bibliográficas

ANTUNIASSI, U.R. Agricultura de Precisão: Precisão na Aplicação para Controle de Plantas Daninhas. In: III Seminário Nacional sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 2001, Passo Fundo, RS. **Resumo de Palestras**. Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. p.25-38, 2001.

BOUSALIS, P. Syngenta Quick-Test: A Rapid Whole-Plant Test for Herbicide Resistance. **Weed Technology**, v.15, p.257-263. 2001.

BOERBOOM, C.M. Nonchemical Options for Delaying Weed Resistance to Herbicides in Midwest Cropping Systems. **Weed Technology**, v. 13, p.636-642. 1999.

CBRPH (Comitê Brasileiro de Resistência de Plantas a herbicidas). Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas. É Melhor Prevenir do que Remediar. Londrina: SBCPD, 2000, 32 p.

CHARUDATTAN, R; DELOACH, C.J. Jr. Management of pathogens and insects for weed control in agroecosystems. In: M.A. Altieri & M. Libman, eds., **Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches**. CRC Press, Boca Raton, Fl. Pg 245-264. 1988.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Dinâmica de populações de plantas daninhas e manejo de herbicidas para a cultura da soja. In: CÂMARA, G.M.S. (editor). **Tecnologia da produção**. Piracicaba: Publique, 1998. p.121-138.

CHRISTOFFOLETI, P.J. Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. In: VICTORIA FILHO, R; CHRISTOFFOLETI, P.J. (Coord.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 41p.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; CORTEZ, M.G.; MONQUEIRO, P.A.. Bases da Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. In: III Seminário Nacional sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 2001, Passo Fundo, RS. **Resumo de Palestras**. Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. p.39-53, 2001.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; MEDEIROS, D.; MONQUEIRO, P.A.; PASSINI, T. Plantas Daninhas á Cultura da Soja: Controle Químico e Resistência a Herbicidas. **Soja: tecnologia da produção**/editado por Gil Miguel de Sousa Câmara.. Piracicaba:ESALQ/p.179-202. 2000.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; MENDONÇA, C.G. de. Controle de Plantas Daninhas na Cultura de Milho: Enfoque Atual. **Milho: tecnologia e produtividade**/Antonio Luiz Fancelli e Durval Dourado Neto. Piracicaba:ESALQ/p.60-95. 2001.

CHRISTOFFOLETI, P.J.; VICTORIA FILHO, R.; SILVA, C.B. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v.12, n.1, p.13-20, 1994.

CZAPAR, G.F., CURRY, M.P.; GRAY, M.E. Survey of integrated pest management practices in central Illinois. **J. Prod. Agric.**, vol. 8, p. 483-486. 1995.

CZAPAR, G.F., CURRY, M.P.; WAX, L. M. Growers acceptance of economic thresholds for weed management in Illinois. **Weed Technology**, vol. 11, p. 828-831. 1997.

FRYER, J.D.; CHANCELLOR, R.J. Evidence of changing weed population in arable land. In: **14th British Weed Control Conference**, pp. 958-964, 1979.

GASSEN, D.N.; HAASS, F.D. Manejo de Plantas Daninhas Pós-colheita. **Revista Plantio Direto**. Edição n 62. Março/Abril de 2001.Passo Fundo – RS. Aldeia Norte Editora Ltda.

GERWICK, B.C.; MIRELES, L.C.; EILERS, R.J. Rapid diagnosis of ALS/AHAS inhibitor herbicide resistant weeds. **Weed Technology**, v.7, p.519-524, 1993.

GHERSA, C.M.; ROUSH, M.L.; RADOSEVICH, S.R.; CORDRAY, S.M. Coevolution of agroecosystems and weed management. **BioScience**, v. 44, p.85-94, 1994.

GOULD, F. Comparisons between resistance management strategies for insects and weeds. **Weed Technology**, v. 9, p.830-839, 1995.

GRESSEL, J.; SEGEL, L.A. Modeling the effectiveness of herbicide rotation and mixtures strategies to delay or preclude resistance. **Weed Technology**, v.4, p.186-198, 1989.

HRAC – Herbicide resistance action committee – <http://www.PlantProtection.org/HRAC/>, 2001.

HRAC-BR (Associação Brasileira de Ação a Resistência de Plantas aos Herbicidas) – www.hrac-br.com.br/, 2002.

JASIENIUK, M.; BRULE-BABEL, A.L.; MORRISON, I.N. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. **Weed Science**, vol. 44, p. 176-193, 1996.

LOVELL, S.T.; WAX, L.M.; SIMPSON, D.M.; McGLAMERY, M. Using the *in vivo* acetolactate synthase assay for identifying herbicide-resistant weeds. **Weed Technology**, v.10, p.936-942, 1996.

MADSEN, K.H.; JENSEN, J.E. **Meeting and training on risk analysis of HRCs and exotic plants.** /Apresentado no Curso sobre análise de risco da introdução de cultivares exóticas e plantas daninha resistentes aos herbicidas. ESALQ-USP, Piracicaba, 1998/

MAXWELL, B.D.; MORTIMER, A.M. Selection for herbicide resistance. In: POWLES, S.B.; HOLTUR, J.A.M. **Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry.** Boca Raton, Lewis, p.1-26, 1994.

MEROTTO JÚNIOR, A.; VIDAL, R.A.; FLECK, N.G. Plantas daninhas resistentes aos herbicidas. In: I Seminário Nacional sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 1998, Passo Fundo, RS. **Resumo de Palestras.** Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. p.91-107, 1998.

MONQUEIRO, P.A.; CHRISTOFFOLETI, P.J. Bioensaio rápido de determinação da sensibilidade da acetolactato sintase (ALS) a herbicidas inibidores. **Scientia Agrícola**, v.58, n.1, p.193-196, jan./mar. 2001.

MORTIMER, A.M.; HILL, J.E. Weed species shifts in response to broad spectrum herbicides in sub-tropical and tropical crops. In: Brighton, 1999. **The 1999 Brighton Conference – Weeds. Proceedings.** Brighton: British Crop Protection Council, 1999. v.11, p.425-436.

ORSON, J.H. The Cost to the Farmer of Herbicide Resistance. **Weed Technology**, v. 13, p.607-611. 1999.

POWLES, S.B.; HOLTUM, J.A.M. **Herbicide resistance in plants: Biology and biochemistry**. Boca Raton: Lewis, 1994, 353 p.

POWLES, S.B.; PRESTON, C.; BRYAN, I.B.; JUTSUM, A.R. Herbicide resistance: Impact and management. **Advances in Agronomy**, v.58, p.57-93, 1997.

RETZINGER, E.J.; MALLORY-SMITH, C. Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. **Weed Technology**, 11, n.2, p. 383-393, abril-junho/1997.

ROUSH, R.T.; POWLES, S.B. Pesticide resistance: Why be concerned? In: BOURDÔT, G.W.; SUCKLING, D.M. Pesticide resistance: prevention and management. Lincoln, New Zealand Plant Protection Society, p.3-16.1996.

SIMPSON, D.M.; STOLLER, E.W.; WAX, L.M. An *in vivo* acetolactate synthase assay. **Weed Technology**, v.9, p.17-22, 1995.

SINDAG – Sindicato das indústrias de defensivos agrícolas – <http://www.sindag.com.br>, 2001.

SKORA NETO, F. Efeito da prevenção de produção de sementes pelas plantas daninhas e da aplicação de herbicida em jato dirigido na densidade de infestação na cultura do milho em anos sucessivos. **Planta Daninha**, v.19, n.1, p.1-10, 2001.

TORRES, F.P. Avanços tecnológicos no manejo de plantas daninhas. In: I Seminário Nacional sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 1998, Passo Fundo, RS. **Resumo de Palestras**. Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, RS. p.11-16,1998.

VITTA, J.; FACCINI, D.; NISESOHN, L.; PURICELLI, E.; TUESCA, D.; LEGUIZAMÓN, E. Las Malezas en la Region Sojera Núcleo Argentina: Situación Actual y Perspectivas. Catedra de Malezas. Faculdade de Ciências Agrárias. Universidade Nacional de Rosário. Rosário, Argentina. Agosto, 1999.

WALSH, M.J.; DUANE, R.D.; POWLES, S. B. High Frequency of Chlorsulfuron-Resistant Wild Radish (*Raphanus raphanistrum*) Populations across the Western Australian Wheatbelt. **Weed Technology**, v.15, p. 199-203. 2001.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of Weed Science**. California: Academic Press, 1993. 450 p.

**2º PAINEL – CULTURAS
RESISTENTES AOS HERBICIDAS**

2º PAINEL – CULTURAS RESISTENTES AOS HERBICIDAS**MODERADOR** – Robinson Pitelli, UNESP/Jaboticabal, SP**MÉTODOS DE SELEÇÃO DE CULTURAS RESISTENTES A HERBICIDAS****Luiz Carlos Federizzi¹****Introdução**

A domesticação das plantas pelas mulheres a cerca de 12000 mil anos marcou o início da agricultura. A domesticação e o cultivo das plantas como fonte de alimentos permitiram que o homem deixasse a vida nômade e se estabelecesse em locais de vida permanentes, como as vilas e cidades, podendo gastar menos tempo a procura de comida o que permitiu o rápido desenvolvimento e evolução cultural. Um dos problemas mais antigos encontrados pelos agricultores foi o controle de plantas não desejáveis que nasciam juntamente com aquelas semeadas. Portanto o controle de plantas invasoras é uma das mais antigas atividades do homem agricultor. Na agricultura moderna onde a uniformidade e qualidade dos produtos são fatores fundamentais para o sucesso, o controle das plantas daninhas tem ainda maior importância. O desenvolvimento de novas tecnologias que permitam o controle de forma mais eficiente das plantas invasoras são importantes para garantir a sustentabilidade dos agricultores e dos ambientes agrícolas.

A descoberta e introdução de genes de resistência a herbicidas nas principais culturas de importância agrícola tiveram uma rápida adoção pelos agricultores de todo o mundo e promoveram uma mudança no patamar tecnológico utilizado. Assim a seleção de genótipos resistentes aos herbicidas passou a ser um fator importante para a competitividade de todo o setor agrícola.

Várias técnicas podem ser utilizadas para o desenvolvimento de genótipos resistentes a herbicidas, desde as técnicas do melhoramento clássico até as técnicas mais recentes da biotecnologia. Portanto, este artigo tem por objetivo discutir as possibilidades das diferentes técnicas do melhoramento genético para a seleção de genótipos de espécies cultivadas resistentes a herbicidas.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Melhoramento genético

A partir de espécies silvestres o homem obteve as espécies que hoje cultiva, as quais acumularam modificações selecionadas para o uso agrícola. Essas modificações nas plantas silvestres para tipos cultivados foi praticamente toda inconsciente e somente no final do século XVIII é que surgiu o primeiro relato escrito da eficiência da seleção (escolha) consciente de plantas com o objetivo de melhorá-las. Porém, foi no século XIX que o melhoramento de plantas mais metódico tomou impulso.

O melhoramento de plantas é a arte e a ciência de modificar geneticamente as plantas em benefício do homem. Como arte, depende da intuição e das experiências passadas que são únicas de cada indivíduo. As atividades do melhorista se parecem com as atividades dos artistas, em dúvidas, ansiedade, tensão, emoção, realização, decepção e júbilo. A passagem do conhecimento artístico se dá de forma empírica através da convivência com os melhoristas mais experientes. Como ciência, o melhoramento depende dos conhecimentos de agronomia, dos princípios da genética e de outras ciências correlatas como botânica, bioquímica, fisiologia e estatística.

As estratégias utilizadas no melhoramento são bastante simples e os elementos principais dessas estratégias são (Phoelman,1987):

1. reconhecer as características morfológicas e fisiológicas das diferentes espécies que são importantes para a adaptação, rendimento e qualidade das diferentes culturas;
2. desenhar técnicas que permitam avaliar o potencial para as características de importância nas diferentes populações e genótipos;
3. procurar novas fontes de genes para as características desejadas;
4. desenvolver meios para combinar as características desejáveis em genótipos com potencial para ser uma nova variedade;

Por outro lado as técnicas utilizadas são bem conhecidas e estão todas direcionadas para a identificação, criação e recombinação da variabilidade presente na espécie de interesse. As técnicas podem ser diferenciadas quanto a utilização ou não da reprodução sexual e foram descritas por Paterniani (2002) como :

- 1.Com reprodução sexual
 - seleção – intra e interpopulacional
 - hibridação – intra e interespecifica
 - heterose – vigor híbrido

2. Sem reprodução sexual :

ploidia- alterações no número de cromossomos

mutagenese – indução artificial de mutações

variação somaclonal – reprodução de indivíduos a partir de células somáticas

hibridação somática – fusão de protoplastos

cibridos–citoplasma e organelas da espécie A e núcleo da espécie B

transgenia – transferência de genes exógenos

transplastomia – transferência de plastídeos exógenos

Destas técnicas aquelas com maior potencial e importância para a obtenção de plantas cultivadas resistentes a herbicidas serão abordados com mais detalhe a seguir.

Métodos para a obtenção de plantas resistentes a herbicidas

Neste trabalho uma planta suscetível é definida como aquela em que o produto aplicado causa alterações no seu crescimento e desenvolvimento e na maioria das vezes o efeito é tão pronunciado que leva a planta a morte. Uma planta é chamada resistente quando mantém seu crescimento e desenvolvimento mesmo quando foram aplicadas doses do produto bem mais altas das usadas comercialmente . Plantas resistentes podem revelar efeitos temporários que após algum tempo desaparecem. A resistência tratada neste trabalho é aquela devida a presença de genes nucleares ou dos cloroplastos , que é estável e transferida para as progênie nas próximas gerações.

1. Seleção dentro da variabilidade existente

Desde os primórdios da agricultura que o homem tem selecionado tipo diferentes que apareceram com o decorrer do desenvolvimento das populações. As mutações espontâneas são as fontes primárias de variabilidade genética e a recombinação de diferentes mutantes são a causa do aparecimento de novos genótipos. Portanto é possível que dentro da espécie de interesse existam genótipos que tenham já resistência a algum herbicida específico. Trabalhos em que ocorreram erros, com a aplicação de herbicidas sobre espécies cultivadas demonstraram que genótipos apresentaram diferenças quanto a resposta ao herbicida aplicado. Estes trabalhos demonstraram que mesmo sendo os produtos químicos de origem recente , pelo menos para alguns compostos já existiam mutações espontâneas para a resistência nos genótipos dentro das espécies cultivadas.

O primeiro passo para a identificação de genótipos resistentes é o teste de um grande número (milhares) de genótipos da espécie cultivada. Para isso são semeados em laboratório ou a campo uma pequena amostra

de cada genótipo fixo e sobre eles é aplicado o herbicida no estágio de plântula ou de planta adulta. Alguns genótipos podem ser resistentes e não apresentarão qualquer injúria com a aplicação do herbicida. Por outro lado, é possível que para alguns herbicidas não sobrevivam nenhuma planta, isto significa que não há variabilidade para a característica na espécie cultivada, e sem variabilidade não é possível ter progresso genético e selecionar plantas resistentes. Uma fonte importante de genótipos são os bancos de germoplasma, onde uma grande coleção de cultivares antigas e selecionados nos mais diferentes ambientes são mantidos e conservados. Para aquelas espécies que apresentam uma série poliplóide com aveia, trigo e brassicas é possível testar os diferentes genótipos nos diferentes níveis de ploidia e se identificado genes de resistência estes podem ser passados para as variedades adaptadas pelos métodos convencionais de cruzamento e retrocruzamentos.

Se não existir genes de resistência nos genótipos cultivados nem naqueles próximos é possível tentar identificar em espécies silvestres ou daninhas aparentadas genes de resistência a herbicidas. Uma vez identificados, genes de resistência, estes podem ser transferidos através das técnicas do melhoramento clássicos para as variedades convencionais. A grande maioria das mutações espontâneas são em um único ou poucos genes que podem ser facilmente introduzidos em genótipos com bom potencial agronômico.

O grande problema da busca de mutantes espontâneos é o grande número de genótipos que tem que ser testados, e pode não existir variabilidade para o herbicida específico o que impediria qualquer progresso na obtenção de plantas resistentes. Outro ponto importante é o tempo necessário para testar um grande número de genótipos, e o rápido desenvolvimento de outras técnicas de obtenção de plantas resistentes a herbicidas.

As mutações discutidas até aqui são aquelas com grande efeito no fenótipo, mas é possível que exista variabilidade com genes de pequeno efeito dispersos nos diferentes genótipos da população. Pode ser que para algum herbicida específico existam genes de pequeno efeito que isoladamente não garantam resistência ao genótipo, mas pela seleção especialmente seleção recorrente é possível juntar num mesmo genótipo muitos genes com pequeno efeito que podem garantir resistência suficiente para ser utilizada no campo.

2. Indução de variabilidade

Quando não são encontrados mutantes espontâneos existem técnicas que permitem aumentar a variabilidade genética dentro da espécie cultivada. O aparecimento de mutantes pode ser potencializado pela aplicação de um agente mutagênico. Normalmente são utilizadas radiações

ionizantes e diferentes produtos químicos. As técnicas de cultura de células e tecidos também tem gerado um grande número de variantes chamados variantes somaclonais. A freqüência que os genes mutam varia bastante e por causa do sistema de reparo do DNA, para alguns genes a freqüência de mutantes pode ser muito baixa.

Uma das formas mais tradicionais de produzir mutantes é através da aplicação de agentes mutagênicos em sementes. Milhões de sementes são submetidas ao agente mutagenico e após é realizado um teste para a identificação dos mutantes desejados. Exemplos da aplicação desta técnica foi a obtenção de plantas de arroz resistentes aos herbicidas do grupo imidazolinonas (Menezes e Ramirez, 2002). A resistência aos herbicidas é uma das formas mais fáceis de selecionar os tipos resistentes, pois basta a aplicação do herbicida e as plantas que sobreviverem serão as resistentes. Entretanto, é bem provável que o tipo mais freqüente de mutante vai ser similar ou nos mesmos genes que ocorrem com maior freqüência nas mutações espontâneas.

Para aumentar a probabilidade dos mutantes desejados após a aplicação do agente mutagenico, as sementes podem ser colocadas a germinar com o herbicida específico e após fazer sua aplicação direta sobre as plântulas e selecionar as que apresentam resistência. Exemplo deste tipo de trabalho foi realizado com trigo, por (Shaner et al. 1996) onde a mutagenese e a seleção foi realizada em 4 etapas distintas: 1. Tratamento de 5000 sementes com mutagênico químico (Azida sódica); 2. Sementes forma embebidas com herbicida 25 ml/l de 1 M imazethapyr por 3 dias; 3. Foi realizada irrigação e pulverização com 300g ha⁻¹ do mesmo herbicida; 4. Sementes que emergiram em até 4 semanas foram transplantadas para solo normal. Dum total de 120 000 plântulas testadas somente 4 foram resistentes (gene semidominante). Por outro lado, a aplicação de agente mutagênico em mais de um milhão de sementes de *A. thaliana* não apresentou nenhuma planta resistente ao glifosato. Já para grama (turf grass) vários ciclos de seleção seqüencial apresentaram plantas com resistência até 4 vezes aquele das plantas não selecionadas.

Alguns autores sugeriram a aplicação do agente mutagenico em grãos de pólen onde teoricamente seria mais provável a obtenção de mutantes, pois trata-se de tecido haplóide. Em milho pendões foram cortados dez dias antes da antese e colocados em meio liquido com e sem 40 mg/l de chlorsulfuron e o pólen apos foi utilizado para polinizar uma linhagem com genótipo conhecido. As sementes resultantes foram semeadas em casa de vegetação e pulverizados com chlorsulfuron (23 g/ha). Foi possível separar o pólen provenientes das plantas resistentes daquelas não resistentes ao herbicida (Frascaroli e Songstad, 2001).

A grande vantagem deste método é que pode ser aplicado em laboratório, utilizando pequeno espaço, sendo possível selecionar um

grande número de indivíduos, podendo ser aplicado diferentes agentes mutagênicos em uma única vez ou em forma seqüencial. Para cada espécie de planta e agente mutagênico existe uma dose ideal a ser aplicada. Por outro lado, as mutações provocadas são ao acaso e pode não ser atingida a parte do DNA que carrega os genes potenciais de resistência. Ainda é possível que ocorram várias mutações simultâneas afetando outras características desejadas.

3. Variação somaclonal

A cultura de células e tecidos em meios apropriados tem sido uma fonte importante de variantes. Quando as células são desorganizadas na forma de calo pode ocorrer uma reorganização do genoma, provocando o aparecimento de variabilidade genética que pode ser selecionada e transmitida para as progênies. As partes da planta utilizadas na cultura de tecidos são chamados explantes e que podem variar conforme a espécie. A freqüência de mutantes obtidos desta forma é bem mais alta que as demais, mas varia bastante entre as diferentes espécies de plantas. Também é possível selecionar para resistência 'in vitro', pela aplicação do agente seletivo no meio de cultura, assim é possível selecionar calos resistentes a determinado herbicida pela aplicação do mesmo no meio de cultura. Exemplos da utilização da variabilidade obtida pela variação somaclonal são a seleção de linhas de fumo, soja e linho resistentes a sulfonyluréis. Em calos de milho cultivados na presença do herbicida imidazolinone foram regeneradas varias linhas resistentes sendo que a resistência foi devida a um ou dois genes dominantes que foram depois introduzidos por sucessivos retrocruzamentos para linhas endogâmicas com bom potencial agrônomico.

O método tem uma limitação que não pode ser empregado em espécies, e dentro das espécies genótipos que são recalcitrantes e não podem ser regeneradas 'in vitro'. Normalmente aparecem grande variação em muitos caracteres que nem sempre são na direção desejada pelo melhorista. A probabilidade de aparecer mutantes para o caráter desejado vai depender da freqüência de mutação no gene, alguns genes apresentam uma freqüência muita alta de mutantes quando as plantas são regeneradas 'in vitro'.

4. Fusão de protoplastos

A fusão de células somáticas de duas espécies diferentes pode gerar plantas regeneradas e férteis, especialmente quando o cruzamento sexual é difícil de realizar. Também é possível aplicar no meio de regenerar o agente seletivo no caso um herbicida e obter plantas resistentes. Esta técnica também oferece a possibilidade de realizar cruzamentos interespecíficos de espécies distantes e portanto a transferência dos genes

de resistência de uma espécie para outra. A principal dificuldade é a de obter protoplastos que possam ser regenerados em plantas e que estes sejam férteis.

5. Transformação

Com a descoberta dos mecanismos de transferência de genes entre espécies diferentes se abriram novas possibilidades na seleção de plantas resistentes a herbicidas. A obtenção de plantas transgênicas com resistência a herbicidas tem sido muito importante no final dos anos noventa. Neste ano pela primeira vez vai ser plantada mais soja transgênica resistente ao herbicida do que a não transgênica (James,2002). O sucesso da adoção desta tecnologia pelos produtores despertou um grande número de trabalhos tentando identificar em bactérias e fungos genes que possam determinar resistência a herbicidas com base em um dos seguintes mecanismos: 1. alteração no sítio alvo do herbicida; 2. genes que possam detoxificar o herbicida; 3. previna o herbicida de chegar no alvo de ação; 4.superexpressar uma enzima que se sobreponha ao efeito do herbicida. Resistência a bromoxynil em Canola, incorporação do gene oxy tirado de uma bactéria de solo que confere a habilidade de metabolizar este grupo de herbicidas (Cuthbert et al., 2001).

A inclusão e expressão da fosfinotricina acetyltransferase em tecidos de plantas de melão, melancia, pepino e moranga proporcionou resistência ao herbicida glufosinate Shibolet et al. 2001). Como método de introdução foi utilizado como vetor um potyvirus.

A tendência atual é a de aumentar o número de genes clonados de diferentes organismos que possam ser transferidos através da biologia molecular para as plantas e aumentar muito nosso conhecimento das diferenças moleculares entre alelos resistentes e susceptíveis aos herbicidas. Comparação nas seqüências de aminoácidos revelaram que uma simples substituição de isoleucina por leucina discrimina a Acetil Coenzima A Carboxilase (ACCCase) resistente e sensível ao herbicida sethoxydim (Deile, Wang e Darmency, 2002). Também uma simples substituição de uma base e o correspondente aminoácido (troca da teonina por isoleucina) num gene (- tubulina) que diferencia algumas plantas resistentes e suscetíveis ao herbicida trifluralina (Anthony et al.,1998).

Uma forma também possível de obter mutantes é a utilização das técnicas da biologia molecular para eliminação de características específicas da planta pela inibição ou supressão da expressão gênica. Normalmente é utilizada mRNA sintetizado da fita não codificadora do DNA, chamada de antisense que modifica a expressão do gene podendo mudar completamente uma característica. Exemplo foi a obtenção de tomate longa vida. Pode ser obtido uma planta resistente ao herbicida pela alteração no sítio de atuação do herbicida.

Modificações de cloroplastos e mitocôndrias: Uma célula de uma planta pode conter mais de 100 cloroplastos e cada um pode ter mais de 900 cópias do DNA. Devido ao grande número de cópias do DNA os cloroplastos podem conter altos níveis de proteína externa. Outras vantagens são que ao contrário das outras formas de obtenção de plantas transgênicas, a inserção de genes é feita sempre no mesmo local. Como estas organelas possuem material genético, estes podem trazer genes de resistência a herbicidas e também podem ser inseridos genes que possam trazer variabilidade para a resistência aos herbicidas nas espécies cultivadas. A introdução de genes nas organelas permite diminuir um dos problemas de plantas transgênicas que é a dispersão de pólen para plantas indesejadas causando poluição genética, uma vez que o material genético das organelas tem herança materna, não é transmitida pelo pólen. Exemplo de transformação de cloroplasto para vários caracteres e também para a resistência aos herbicidas glifosato e bialaphos foram reportados por Daniell et al. (2002).

6. Efeitos pleiotrópicos

Quando da incorporação dos genes de resistência aos herbicidas é possível que ocorram modificações em outras características da planta, ou seja pode ocorrer uma forma de penalidade pela incorporação dos genes de resistência. Entretanto, estas penalidades não estão associados ao método de introdução do gene de resistência, mas pelas peculiaridades dos mecanismos de resistência a herbicidas do gene incorporado.

7. Considerações finais

O número de plantas cultivadas resistentes aos herbicidas é bastante grande e abrange resistência a grande maioria dos compostos utilizados na agricultura. A utilização na agricultura com grande sucesso de plantas transgênicas resistentes os herbicidas totais aumentou o interesse e o número de pesquisas visando a obtenção de plantas resistentes aos mais diversos compostos. Por outro lado o desenvolvimento de técnicas de transgenia mais seguras do ponto de vista ambiental, como a utilização da transformação de cloroplastos abrem novas perspectivas para a larga utilização deste tipo de resistência na agricultura do terceiro milênio. No Brasil há claramente um divórcio grande dos melhoristas e pesquisadores da área de plantas daninhas prejudicando desta forma o desenvolvimento de pesquisas mais consistentes nesta área. Esta mais que na hora de juntar estas duas áreas de tanta importância em equipes multidisciplinares para a realização de trabalhos conjuntos envolvendo os principais compostos e culturas de interesse nacionais.

Bibliografia Consultada

Anthony, R.G.; Waldin, T.R.; Ray, J.A.; Bright, S.W.J.; Hussey, P.J. 1998. Herbicide resistance caused by spontaneous mutation of the cytoskeletal protein tubulin. *Nature* 393, 260-263.

Cuthbert, J.L.; McVetty, P.B.E.; Freyssinet, G.; Freyssinet, M. 2001. Comparison of the performance of bromoxynil-resistant and susceptible near-isogenic populations of oilseed rape. *Canadian Journal of Plant Science* 81: (3) 367-372.

Daniell, H.; Khan, M.S.; Allison, L. 2002. Milestones in chloroplast genetic engineering: an environmentally friendly era in biotechnology. *Trends in Plant Science* 7 (2): 84-91

Deley, C.; Wang, T.Y.; Darmency, H. 2002. An isoleucine-leucine substitution in chloroplastic acetyl-CoA carboxylase from green foxtail (*Setaria viridis* L. Beauv.) is responsible for resistance to the cyclohexanedione herbicide sethoxydim. *Planta* 214: (3) 421-427.

Frascaroli, E.; Songstad, D.D.; 2001. Pollen genotype for a simply inherited qualitative factor determining resistance to chlorsulfuron in maize. *Theoretical and Applied Genetics* 102 : (2-3) 342-346.

James, C. ;2002. Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001. ISAAA Briefs n. 24. Preview. www.isaaa.org acessado em 22/01/2002.

Menezes, V.G.; Ramirez, H. 2002. Controle de arroz vermelho e de outras plantas daninhas em arroz irrigado com herbicidas Bas 68800 H (Imidazolinona) e sua seletividade às plantas de arroz. In: Seminário do Arroz Irrigado- uso intensivo e sustentável de varzeas. Santa Maria 4 a 5 de junho de 2002, p.92-100.

Paterniani, E.; 2002 Uma percepção crítica sobre técnicas de manipulação genética. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* (no prelo).

Poehlman, J.M. 1987. *Breeding Field Crops*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., Westport, USA ,p.724.

Shaner, D. Bascomb, N.F.; Smith, W. 1996. Imidazolinone-resistant crops: selection, characterization and Management. In : Ed. Duke, S.O. Herbicide Resistant Crops : Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory, and Technical Aspects. CRC Press, Inc. p.143-157.

Shiboleth, Y.M.; Arazi, T.; Wang, Y.Z.; Gal-On, A. 2001. A new approach for weed control in a cucurbit field employing an attenuated potyvirus-vector for herbicide resistance. Journal of Biotechnology 92: 37-46.

2º PAINEL – CULTURAS RESISTENTES AOS HERBICIDAS

HERBICIDE TOLERANT CROP: BENEFITS, CONCERNS AND RISKS

Stevan Z. Knezevic¹

Abstract

Herbicide tolerant crops (HTC) represent relatively new weed control technology that was readily integrated into crop production practices in US and Canada. HTC can be produced by either the insertion of a foreign gene or by regenerating herbicide tolerant mutants. The first ones are also commonly known as genetically modified organisms or GMOs, while the second ones are usually referred to as the non-GMOs. Examples of GMO crops include soybean, corn and canola tolerant to glyphosate and glufosinate. Examples of non-GMO crops include STS-soybean, Clearfield-corn and Clearfield-wheat. Glyphosate and glufosinate can also be used as an alternative tool for weed control thus playing an important role in the development of integrated weed management systems. HTC enhanced weed control options and greatly expanded the market demand for these herbicides. HTC provided many benefits to the producers and the companies that own this technology. However, the wide spread and repeated use of HTCs created many concerns about their impact on the environment and sustainability of cropping systems. Benefits, concerns and risks with widespread use of HTC-s are discussed.

Introduction

Herbicide tolerant crops (HTC) represent relatively new weed control technology. Since introduction, less than a decade ago, their use has been steadily growing. Examples of HTC include soybean, corn and canola tolerant to glyphosate and glufosinate (Moll 1997; Rasche and Gadsby 1997). Growers have readily integrated HTC into their crop production practices. For example, currently more than 60% of 25 million hectares of soybeans grown in the U.S. annually are glyphosate tolerant cultivars (USDA/NASS 2000). In some regions as much as 90% of soybeans are glyphosate tolerant varieties. Even though the use of herbicide tolerant crops may have advantages over regular herbicide programs, there are risks

¹PhD, Assistant Professor, Integrated Weed Management Specialist. Haskell Agricultural Laboratory, University of Nebraska, 57905 866 Rd., Concord, NE 68728-2828; sknezevic2@unl.edu

associated with their use. Therefore the objective of this paper is to provide a short overview of benefits, risks and concerns with widespread and repeated use of HTC.

HTC can be produced by either the insertion of a foreign gene or by regenerating herbicide tolerant mutants. The first ones are also commonly known as genetically modified organisms or GMOs, while the second ones are referred to as the non-GMOs. Examples of GMO crops include canola, soybeans and corn tolerant to glyphosate and glufosinate herbicides. Examples of non-GMO crops include ²STS-soybeans, ³Clearfield corn and ⁴Clearfield wheat. HTC is a common weed control tool in the North American cropping systems and their usage is steadily growing, especially in soybean crops. It is estimated that in the year 2001 more than 80% of soybeans planted in the United States were glyphosate tolerant varieties, compared to 70%, 54%, and 41% in 2000, 1999 and 1998, respectively. Similar increase in use was observed in canola and cotton. About 26% of cotton grown in 1998 was glyphosate tolerant, with an increase to 35%, 46% and 57% for 1999, 2000 and 2001, respectively (USDA/NASS, 2002). However, there is a much slower trend on the use of herbicide tolerant corn (eg. ⁵Roundup-Ready, ⁶Liberty-Link and Clearfield) than for soybean or cotton. It is estimated that only about 7% of corn hybrids planted in 1998 were herbicide tolerant hybrids compared to 8%, 12% and 15% in 1999, 2000 and 2001. Overall, the most common HTC in the United States is soybean tolerant to glyphosate. (USDA/NASS 2002). Since the HTC are a common part of our cropping system, it brings the question, "What is the next HTC?"

Development of new HTC is the goal of industry's research programs. For example, speculations are that glyphosate tolerant spring wheat will be available in 2004 and 2005 for Canadian and US market, respectively. The Clearfield winter wheat, which is tolerant primarily to imazamox herbicide, is likely to be released for South Central US in 2002 or 2003. Glyphosate tolerant alfalfa is currently being evaluated in the field variety testing trials, indicating potential for release within a few years, or sooner.

²STS-Soybean® by du Pont de Nemours & Co, Inc. 1007 Market Street, Wilmington, DE, 19898

³Clearfield corn® by BASF Corporation, 26 Davis Drive, Research Triangle Park, NC, 27709.

⁴Clearfield wheat® by BASF Corporation, 26 Davis Drive, Research Triangle Park, NC, 27709.

⁵Roundup-Ready® by Monsanto Company, 800 N. Linberg Boulevard, St. Louis, MO, 63167

⁶Liberty-Link® by Aventis CropScience, P.O. Box 12014, Research Triangle Park, NC, 27709.

The trend is also growing towards the use of several genes in a single hybrid or variety, as commonly referred as "stacked genes or stacked traits". There are also corn and cotton hybrids containing two genes, (eg. Bt/glyphosate, or Bt/liberty). As well as corn hybrids with three genes (Bt, liberty and Clearfield). In contrary, there are also several types of HTC that may likely be withdrawn from the market due to various reasons. Speculations are that these HTC may include: Liberty-Link corn (Star-Link), STS-soybean, Liberty-Link soybean, SR-Corn, as well as a High-Oil corn.

Benefits associated with the use of htc

Considering the fact that some US states have as much as 90% of soybean fields planted to glyphosate tolerant varieties, there must be benefits that the producers see from this technology. The list of most common benefits to the producers may include: (1) broadening the spectrum of weeds controlled, (2) increased margin of crop safety, (3) less herbicide carry over, (4) price reduction for 'conventional herbicides', (5) use of herbicides that are more environmentally friendly, (6) new mode of action for resistance management and (7) crop management flexibility and simplicity.

Non-selective herbicides such as glyphosate and glufosinate aid in broadening the spectrum of weeds controlled. The systemic activity of glyphosate also helps with the control of perennial weeds and their perennial vegetative structures such as stolons and rhizomes.

Crop safety in general is also improved with the use of HTC. Both glyphosate and glufosinate provide almost no crop injury, compared to some of traditional herbicides (eg. lactofen, clorimuron), especially in soybean crop.

Both compounds also have almost no soil residual activity, because they are tightly bound to the organic particles in the soil. This provides no restrictions for planting or replanting intervals nor injuries to the subsequent crops.

Introduction of HTC also resulted in a price reduction for conventional herbicides. For example, just few years ago the cost of weed control in soybeans ranged from \$100-140 per hectare compared to the current \$50-70. The price reduction is the result of the market adjustment and an attempt for companies to remain competitive with their herbicides.

Glyphosate and glufosinate also provide a new mode of action that can aid in resistance management. A single or multiple weed resistance is a serious problem in certain parts of the US and Canada, thus the use of HTC can help with this issue.

The technology associated with HTC is simple to use. It does not require special skills nor training. The technology does not have major restrictions and it is flexible, which is probably one of the reasons for such wide adoption by producers.

Finally the companies that own this technology have benefitted financially though the sales of their herbicides and seeds. Also, the companies save funds by breeding HTC, which is much cheaper than developing new herbicides.

Concerns about the widespread use of htc:

Major concerns with widespread use of HTC includes: (1) A shift in the philosophy of breeding programs (eg. breeding for herbicide resistance versus yields), (2) performance and quality of yields, (3) cost of planting HTC seeds (4) farming contracts, and (5) privacy of farmland.

With the introduction of HTC it seems that there is a shift in basic philosophy of many breeding programs. It looks like that the “driving force” is not the increased crop yield but the addition of specialty traits. In general, the traditional objective of a breeding program was to breed for higher yielding hybrids or varieties. However, most of the current breeding programs are actually “bio-tech driven” programs that produce new HTC, both the GMO and non-GMO types. The point is that the addition of these genes does not enhance yields. This raises simple questions: “Who breeds for higher yielding varieties?” and “Are the current corn/soybean yields at its maximum?” There was an overall yield increase of 1-3% per year from 1960-1990 in dryland corn and soybean. However, there was almost no yield increase in the past decade. It is likely the result of a shift in breeding philosophy, not breeding for higher yields but for specialty traits.

Performance and quality of crop yield is also of concern. In fact this resulted in new terms such as “yield drag” and “yield lag”. Yield drag is a yield reduction due to addition of foreign genes. Yield lag is the potential yield depression due to the age of the variety in which the gene is inserted. The University of Nebraska study by Elmore et al. 2001 concluded that soybean varieties with glyphosate-tolerant gene yielded 5 % less than the sister lines without the foreign gene indicating the yield drag. In the same study the glyphosate tolerant varieties yielded 10% less than the high yielding non-HTC indicating the yield lag. Public scientists, in most cases, do not have access to the private breeding programs, which is needed in order to conduct independent studies to determine if there is a yield lag or yield drag. This also raises a major public concern and the issue of trust (eg. can we trust large corporations).

There is also a higher cost for seeds of HTC compared to conventional hybrids, which raises the cost of crop production. Also, in order to plant HTC in US and Canada producers must sign contracts, which interferes with the privacy of the farm and it is against the principles of freedom to farm.

Risks associated with the widespread use of htc

Potential risks (ecological and economic) associated with the widespread use of HTC includes: (1) single selection pressure, (2) shifts in weed species, (3) gene escape, (4) gene flow and contamination of organic crops, (5) HTC as weeds, (6) promotion of chemical weed control mentality, (7) drift and mis-application, (8) attitudes of world market and food labeling and (9) ethics.

One of the major ecological concerns with wide spread use of the same HTC and repeated use of same herbicide creates a single selection pressure on weed population. This has been reported as the main reason for herbicide resistance. Examples include atrazine and ALS resistance in the US and Canada. The risk is that repeated use of glyphosate can result in weed resistance. There are already several weed species that are resistant to glyphosate. Examples include: rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia (Powels 1994), goosegrass (*Eleusine indica*) in Malaysia, ryegrass in California, and horseweed (*Conyza canadensis*) in Delaware and Tennessee (VanGessel, 2001). Resistance in the above cases resulted from repeated use of glyphosate.

Furthermore, despite the fact that glyphosate and glufosinate control many weed species, they do not control all plant species. It is well known that glyphosate controls many grasses. However, certain broadleaf species in field crops of US and Canada have shown tolerance to the label rates of glyphosate. Therefore repeated use of glyphosate can result in the shift of weed species. Examples of such species include: wild buckwheat (*Polygonum convolvulus*), Pennsylvania smartweed (*P. pensilvanicum*), lady's thumb (*P. lapathifolium*), ivyleaf morning glory (*Ipomea hederacea*), venice mallow (*Hibiscus trionum*), horseweed (*Conyza canadensis*), Yellow sweetclover (*Melilotus officinalis*), and field bindweed (*Convolvulus arvensis*).

Another risk with HTC is the potential for escape of resistant gene via pollen from HTC to other plant species, especially to closely related wild relatives. Gene escapes from HTC is not a new phenomenon, it has occurred before. Seefeldt (1998) reported that resistance gene was naturally transferred via pollen from herbicide tolerant IMI-wheat to jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*). Hall (2000) reported pollen flow as the main reason for naturally occurring multiple resistance of canola (*Brassica napus*) to glyphosate, glufosinate and imazethapyr. Recently, the Nature magazine recently reported that the *Bacillus thuringiensis* (Bt) and glyphosate resistant genes are contaminating wild corn in Mexico, which has > 60 of indigenous (wild) corn used as the "gene library". More than 80 scientists from 12 countries urged the Mexican government to stop genetic contamination of natural library of corn genes which reduces natural diversity. The chance of

gene flow increases further if the plant species are closely related (i.e. same genus) due to the possibility of cross pollination. The list of so called “high risk crops” and their weedy relatives includes: (1) sorghum and its weedy relatives shattercane and johnsongrass; (2) canola and mustards; (3) wheat and jointed goat-grass and quackgrass; (4) rice and red rice; (5) sunflower and wild sunflower.

Another concern related to gene flow is the contamination of non-GMO crops, especially organically grown crops. For example, organic soybean is a common crop in Nebraska and a good source of income to organic producers. However, the wide spread use of glyphosate tolerant soybean created major problems for the production of organic soybeans due to contamination by glyphosate resistant genes via pollination. Another risk is the control of HTC as volunteer crops. For example, glyphosate does not control volunteer glyphosate tolerant corn in glyphosate tolerant soybean, which requires additional herbicides and is an economic burden.

Eventhough the HTCs present a new weed control technology, in reality it is just another way of chemical weed control. Therefore the wide spread use of HTC represents a risk of promoting and continuing the same “chemical mentality” that has been around for the last 40 years, and made weed management rely exclusively on herbicides. Drift and non-target movement of non-selective herbicides such as glyphosate is also a risk, as well as misapplication and misidentification of fields planted with HTC compared to non-HTC.

Another risk to US producers is potential for losing part of the world’s food market, due to current anti-biotech sentiment in Europe and Japan. There is already an estimated 30% reduction in US exports of various products related to glyphosate tolerant soybeans, mostly due to worlds market opposition towards biologically engineered crops.

Biotechnology and biologically engineered crops also raised the issues of ethics in science (Zimdahl 1998, Radosevic 1998). In essence, there is a strong opposition around the world about the potential for gene transfer from one species to another. Some are asking if it is unnatural to genetically engineer the plants while others are concerned about using gene transfer for even animal and human research (Comstock 1998). Currently there are no international regulations on those issues.

Producers in the US have also experienced a risk with marketing strategies of some companies. For example, during 1999 and 2000 in order to favor their technology and penetrate the market, certain chemical companies were not selling their better yielding conventional soybean varieties in order to sell their HTC (Knezevic, personal communication). This is not surprising because the seed industry is now controlled by the chemical industry. However, such behavior is a serious breach of trust and ethics.

Conclusion

To maintain a positive attitude, excellent weed control tools are available regardless whether cropping systems are based on HTC or conventional crops. HTC is a valuable technology, but it will not solve weed control problems. The key is the management of this technology. HTC should be used as just another tool for weed control and only when it is needed. Their use should be only within the principles of integrated weed management in order to remain a valuable tool to producers. Despite the concerns and risks with this technology, many producers use HTC as the main weed control tactic. Understanding philosophies and attitudes of producers towards weed control can be challenging at times. Many times weed control decisions are based on the perceptions of weed populations rather than the actual economic losses from weeds. For example, despite the fact that many studies indicated that control of late emerging weeds may not be necessary they are perceived by producers as important because: (1) they are commonly used as indicators of their agronomic skills, (2) controlling all weed escapes is essential in order to renew the land leasing contracts and (3) marketing strategies of the herbicide industry have made season-long weed control as the industry standard. Currently, many herbicide companies market their weed control programs as guaranteed to provide weed-free fields regardless of environmental or agronomic conditions, and many fields are regularly resprayed free of charge. As a result, producers in the United States are less likely to use alternative control measures, which has become major obstacle for reducing herbicide use in agriculture.

Major references

Comstock G. 1998. Is it unnatural to genetically engineer plants. *Weed Sci.* 46:647-651.

Hall, L. , K. Topinka, J. Huffman, L. Davis, A. Good. 2000. Pollen flow between herbicide-resistant Brassica napus is the cause of multiple-resistant B.napus volunteers. *Weed Sci.* 48:688-694.

Elmore W.R., F. Roeth, L. Nelson, C. Shapiro, R. Klein, S. Knezevic and A. Martin. 2001. Glyphosate resistant soybean cultivar yields compared with sister lines. *Agronomy Journal.* Vol 93, No 2, 408-412 .

Moll, S. 1997. Commercial experience and benefits from glyphosate tolerant crops. The 1997 Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Proceedings 3:931-940.

Powles B. S, Lorraine-Colwill, J. J. Dellow, C. Preston. 1998. Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Sci.* 46:604-607.

Rasche, E. and M. Gadsby. 1997. Glufosinate amonium tolerant crops - international commercial

developments and experiences. The 1997 Brighton Crop Protection Conference - Weeds. *Proceedings* 3: 941-946.

Radosevich S. 1998. Weed ecology and ethics. *Weed Sci.* 46:642-646.

Seefeldt S.S., R.Zemetra, F. Young and S. Jones. 1998. Production of herbicide -resistance jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) x wheat (*Triticum aestivum*) hybrids in the field by natural hybridization. *Weed Sci.* 46:632-634.

USDA/NASS. 2000. Agricultural chemical usage: 1999 field crops summary. United States

Department of Agriculture: Ag Ch 1(00)a. 112 pp.

USDA/NASS. 2002. Agricultural chemical usage: 2001 field crops summary. United States

Department of Agriculture: Ag Ch 1(02)a. 145 pp.

VanGessel M. 2001. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci.* 49:703-705

Zimdahl R. 1998. Ethics in weed science. *Weed Sci.* 46:636-639.

2º PAINEL – CULTURAS RESISTENTES AOS HERBICIDAS

ANALISE DE RISCOS DE CULTURA GM

Linda Hall¹

MANUSCRITO NÃO DISPONIBILIZADO

¹ University of Alberta - Canadá

2º PAINEL – CULTURAS RESISTENTES AOS HERBICIDAS

WEED CONTROL STRATEGIES FOR ROUNDUP READY SOYBEANS

Bill Deen¹
Clarence J. Swanton¹
Kevin Chandler²

Abstract

Roundup can be used effectively to control a wide range of weed species in Roundup Ready soybeans. Timing of the Roundup application was critical for optimum soybean yields and gross return. Soybean yields and economic return confirmed the presence of the critical period for weed control in soybeans. Two weed control strategies were identified: 1) In fields with high weed pressure use two applications of Roundup, the first applied preplant to the unifoliate stage of soybean growth followed by a second application at the 1-to-3 trifoliate stage of soybean growth. 2) In fields with low weed pressure, apply Roundup at the unifoliate stage of soybean growth and apply a second application at the 1-to-3 trifoliate stage only if late emerging weeds exceed threshold densities.

Roundup has played an important role in the successful adoption of conservation tillage systems by providing effective non-selective control of established weeds. Through gene transfer, resistance to Roundup has been conferred to several agronomically important crops including corn and soybeans. Roundup can now be applied postemergence for broad spectrum weed control in Roundup Ready soybeans in Ontario.

The effectiveness of Roundup for weed control will be influenced by the timing of weed seedling emergence relative to the growth stage of the soybeans. The critical period for weed control in soybeans occurs from the 1-to-2 trifoliate stage of crop growth, approximately twenty days after crop emergence. Roundup should be applied at this stage of crop growth to optimize soybean yields. In order to test this yield window field studies were conducted to evaluate the agronomic and economic performance of weed control strategies in Roundup Ready no-till soybeans. Treatments consisted of : single applications of Roundup at 1L/ac applied: 1) preplant (2-to-5 days before planting), 2) at the unifoliate stage, and 3) at the 1-to-3 trifoliate

¹ Prof. Dept. Plant Agriculture, University of Guelph, Canada

² Technician of the Dept. Plant Agriculture, University of Guelph, Canada

stage of soybean growth; Treatments with two sequential applications of 1L/ac of Roundup: 1) preplant and at the unifoliate stage, and 2) at the unifoliate and 1-to-3 trifoliate stages; Additional treatments included a preplant tank-mix or sequential treatment of Roundup plus 0.125 or 0.168 L/ac of Pursuit which provided residual weed control, and an untreated control. Trials were conducted for four years at the Woodstock Research Station (1995-1998) and at Ridgetown College in 1998. In all trials, no-till Roundup Ready soybeans were grown in 76 cm (30") rows using recommended production methods.

We compared the efficacy, yield, and the economic gross return and risk associated with these control strategies in Roundup Ready soybeans. It was not our intention to compare weed control practices in Roundup Ready versus conventional soybean production. An economic analysis was conducted to determine the adjusted gross returns for each treatment. Adjusted gross returns were calculated as gross revenue (crop yield x crop price) minus the unique costs for weed control (cost of herbicide application + cost of herbicides). In order to help farmers make informed weed management decisions for the 1999 growing season we have used anticipated herbicide costs and soybean price for the 1999 season. The costs used were: \$7/ac to spray herbicides each time, \$7.95/L for Roundup (356g/L), \$167.35/L for Pursuit (240g/L), and \$7.80/L for Agral 90. Soybean were priced at \$6.70/bu (on February 26, 1999) for the November 1999 crop. We did not include fixed production costs, such as costs for planting, harvesting, or additional seed costs of \$0.35/kg associated with growing Roundup Ready soybeans as these costs were common to all treatments.

Timing of the Roundup application was critical for successful weed management.

Roundup is a non-residual herbicide and controls emerged weeds only. Timing of Roundup relative to weed emergence was critical in determining the level of weed control (Fig 1). In these trials, lambs-quarters, common ragweed, redroot pigweed, yellow foxtail, and barnyard grass were the dominant weed species. Lambs-quarters and common ragweed emerged in early May whereas redroot pigweed, yellow foxtail and barnyard grass emerged in early June. At the time preplant applications of Roundup were made, only lambs-quarters and common ragweed populations were present and as a result, later emerging weed species such as redroot pigweed, barnyard grass or yellow foxtail, were not controlled (Table 1). With later applications of Roundup (1-to-3 trifoliate stage of soybean growth), control of all species was improved, particularly later emerging redroot pigweed, yellow foxtail, and barnyard grass. In addition, Roundup provided good control of dandelion, fleabane (Canada and annual) and

annual sowthistle but poor to fair control of ladys-thumb, wild buckwheat, and black medic.

The yield window for Roundup Ready soybeans was the unifoliolate to 1-to-3 trifoliolate stage of soybean growth

Results from these studies were consistent with previous research which had identified the 1-to-2 trifoliolate stage of soybean growth as the critical period of weed control. In this study soybeans had up to 3 trifoliolate leaves at the latest timing of herbicide application. Competition from weeds emerging after a single preplant application of Roundup, reduced yields by 20 bu/ac compared to plots where Roundup was applied twice. (Table 2). Competition from early emerging weeds that were not controlled up to the 1-to-3 trifoliolate stage reduced soybean yields by 7 bu/ac. A combination of two Roundup applications were required to consistently prevent competition from early and late emerging weeds and optimize yields the first occurring as a preplant or at the unifoliolate stage of soybean growth followed by a second application at the 1-to-3 trifoliolate.

Two weed control strategies for Roundup Ready no-till soybeans were identified:

1) When weed competition was high, two applications of Roundup maximized average long-term yields and gross returns.

Highest average yields (41 to 42 bu/ac) and gross returns (\$249 to \$245) were obtained when Roundup was applied preplant or at the unifoliolate stage followed by a second application at the 1-to-3 trifoliolate stage of soybean growth (Table 2). The economic performance of the two Roundup application treatments was also more consistent across alternative soybean price scenarios. When the potential soybean price was varied by +/- 50% from the bench-mark price of \$6.70/bu, two applications of Roundup consistently outperformed all other treatments. Roundup in combination with Pursuit increased soybean yield compared to a single Roundup application, however, the cost of Pursuit was greater than the value of the additional crop yield obtained.

Under high weed pressure differences between the single and two Roundup application treatments were greatest. These conditions resulted in yields that were 7 to 12 bu/ac and gross returns \$32 to \$64/ac greater with the two applications of Roundup than with a single application at the unifoliolate or 1-to-3 trifoliolate stage (Table 2). **The most appropriate strategy for fields with high weed pressure is to apply Roundup twice. The first application should be made preplant to the unifoliolate stage of**

soybean growth and second application at the 1-to-3 trifoliolate leaf stage.

2) When weed competition was low, use of weed thresholds provided opportunities to maximize economic gross return and reduce unnecessary applications of Roundup.

In 4 out of 5 trials a single application of Roundup at the unifoliolate stage of soybean growth gave similar gross return as treatments with two applications of Roundup (individual year data not shown). Using the principles of integrated weed management (IWM), the need for an additional Roundup application at the 1-to-3 trifoliolate stage can be determined using weed density and economic thresholds. If these options had been employed in these trials, a second application of Roundup at the 1-to-3 trifoliolate stage would have been required in only one trial. This IWM treatment would have produced an average yield of 39 bu/ac and gross return of \$239/ac, an agronomic and economic performance similar to that obtained with the use of two applications. This would have required a total of 6 Roundup applications over 5 trials compared to 10 using the two application strategy, a 40% reduction in herbicide use. **Therefore, the most appropriate strategy for fields with low weed pressure is to apply Roundup at the unifoliolate stage of soybean growth and apply a second application at the 1-to-3 trifoliolate stage only if late emerging weeds exceed threshold densities.**

In summary two weed control strategies for Roundup Ready soybeans were identified based on the critical period for weed control in soybeans. In fields with high weed pressure use two applications of Roundup, the first applied preplant to the unifoliolate stage of soybean growth followed by a second application at the 1-to-3 trifoliolate stage of soybean growth. 2) In fields with low weed pressure, apply Roundup at the unifoliolate stage of soybean growth and apply a second application at the 1-to-3 trifoliolate stage only if late emerging weeds exceed threshold densities.

Table 1. Weed control in no-till Roundup Ready soybeans: (average of 5 trials, Woodstock 1995-1998, Ridgetown 1998).

Treatment (Time of Roundup application)	----- Weed species -----				
	Common ragweed	Lambs- quarters	Redroot pigweed	Barnyard grass	Yellow foxtail
	----- % Control ^a -----				
Preplant (pp)	65	53	13	9	3
pp; 1 to 3 trifoliolate	100	99	98	96	88
Unifoliolate	92	83	55	51	81
Unifoliolate; 1 to 3 trifoliolate	99	99	97	90	98
1 to 3 trifoliolate	92	96	98	94	89
Roundup + Pursuit ^b	94	99	91	62	99

^a Mid-season control, average of 2 or more trials

^b Sequential (preplant plus postemergence) application in 1995-1997, preplant tank-mix in 1998.

Table 2. Economics of weed control in no-till Roundup Ready soybeans: Cost of weed control, yield and gross return (average of 5 trials, Woodstock 1995-1998, Ridgetown 1998).

Treatment (Time of Roundup application)	Cost of weed control ^a	Yield	Gross return ^b
	(\$/ac)	(bu/ac)	(\$/ac)
Weedy	0	14	95
Preplant (pp)	15	22	131
pp; 1 to 3 trifoliolate	30	42	249
Unifoliolate	15	36	226
Unifoliolate; 1 to 3 trifoliolate	30	41	245
1 to 3 trifoliolate	15	35	218
Roundup + Pursuit ^c	48	38	209

^a Variable costs only (TUA not included).

^b Soybean price = \$6.70/bu (26 Feb, 1999).

^c Sequential (preplant plus postemergence) application in 1995-1997, preplant tank-mix in 1998.

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE

MODERADORA – Jussara B. Regitano, CENA/USP, SP

MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE HERBICIDAS NO AMBIENTE

Claudio A. Spadotto¹

Introdução

O consumo de herbicidas no Brasil foi de cerca de 174 mil toneladas de produtos formulados (comerciais) em 2000. Expresso em quantidade de ingrediente-ativo (i.a.), representa mais de 81 mil toneladas. O consumo desses produtos difere nas várias regiões do país, onde se misturam atividades agrícolas intensivas e tradicionais.

Os herbicidas têm sido mais usados nas regiões Sul (38,9% em 2000), Centro-Oeste (29,9%) e Sudeste (22,8%). O consumo de herbicidas na região Norte é, comparativamente, muito pequeno (2,0%), enquanto na região Nordeste (6,3%) o uso está principalmente concentrado nas áreas de agricultura irrigada e de cana-de-açúcar. O consumo de herbicidas na região Centro-Oeste aumentou nas décadas de 70 e 80 devido à ocupação dos Cerrados e continua crescendo pelo aumento da área plantada de soja e algodão naquela região. Destacam-se quanto à utilização de herbicidas os Estados: Paraná (18,5%), Rio Grande do Sul (16,8), São Paulo (14,1%), Mato Grosso (12,7%), Goiás (10,1%) Minas Gerais (7,4%), e Mato Grosso do Sul (7,0%). Quanto ao consumo de herbicidas por unidade de área cultivada, a média geral no Brasil foi de 3,8 kg p.c./ha, em 2000. Em termos de quantidade total de ingredientes-ativos, foram consumidos no Brasil 81,8 mil toneladas de herbicidas em 2000 e as culturas agrícolas nas quais mais se utiliza esses produtos são: soja (39,8%), milho (23,5%), cana-de-açúcar (12,9%), café (4,4%) e arroz irrigado (3,7%).

Pela elevada quantidade total de herbicidas usados, algumas culturas merecem atenção por ocuparem extensas áreas no Brasil, como é o caso da soja, do milho e da cana-de-açúcar que foram cultivadas, respectivamente, em 13,6; 11,6 e 4,9 milhões de hectares em 2000. O consumo geral de herbicidas por unidade de área foi de 1,8 kg i.a./ha,

¹ Pesq. da Embrapa Meio Ambiente, C. Postal 69, Jaguariúna (SP), 13.820-000, tel. (19) 3867-8700, fax (19) 3867-8740, E-mail: spadotto@cnpma.embrapa.br

sendo de 3,5 kg i.a./ha em cultura de algodão, 2,4 kg i.a./ha em soja, 2,2 kg i.a./ha em cana-de-açúcar, 1,7 kg i.a./ha em citros e 1,6 kg i.a./ha em café.

O potencial de impacto ambiental proveniente do uso de um herbicida, depende da sua toxicidade ao ser humano e da sua ecotoxicidade (a outros organismos), assim como, das suas concentrações atingidas nos diferentes compartimentos ambientais (solo, água, planta e atmosfera). As concentrações, por sua vez, dependem da carga contaminante e do comportamento e destino do herbicida no meio ambiente.

Comportamento e destino ambiental de herbicidas

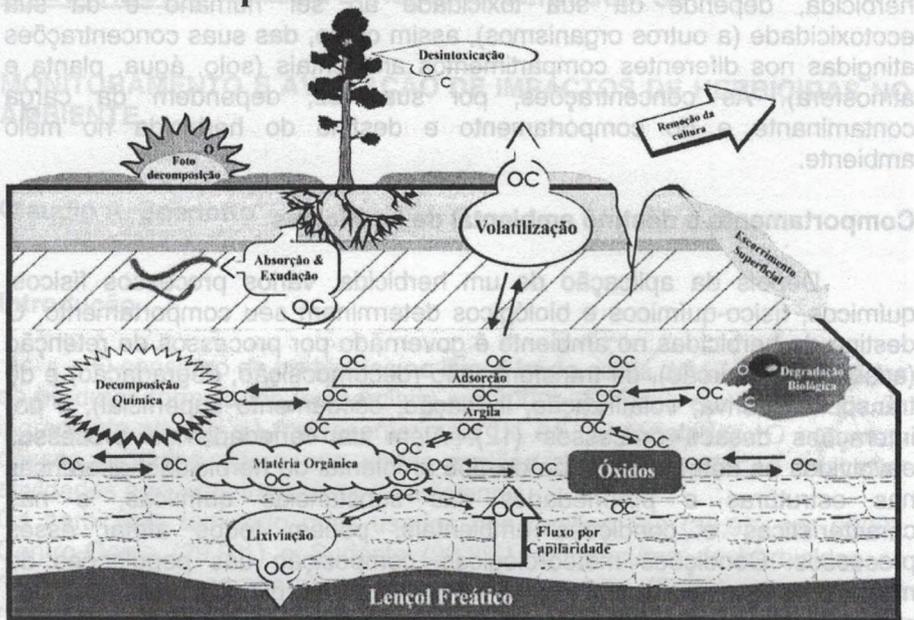
Depois da aplicação de um herbicida, vários processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos determinam seu comportamento. O destino de herbicidas no ambiente é governado por processos de retenção (adsorção, absorção), de transformação (decomposição, degradação) e de transporte (deriva, volatilização, lixiviação, escoamento superficial), e por interações desses processos (12). Além da variedade de processos envolvidos na determinação do destino ambiental de herbicidas, diferenças nas estruturas e propriedades das substâncias químicas, e nas características e condições ambientais, podem todos afetar esses processos. Condições meteorológicas, composição das populações de microrganismos no solo, presença ou ausência de plantas, localização do solo na topografia, e práticas de manejo dos solos podem também afetar o destino de herbicidas no ambiente. Além disso, a taxa e a quantidade de água movendo na superfície e através do perfil do solo têm um grande impacto no movimento do herbicida.

Um entendimento dos processos de retenção, transformação e transporte de herbicidas no ambiente, particularmente em condições brasileiras, é essencial para direcionar trabalhos de monitoramento e avaliação de impactos ambientais, nos quais é imprescindível que os atributos e indicadores ambientais de alteração e de impacto sejam conhecidos para que a avaliação seja possível.

A variedade de herbicidas usados representa muitas diferentes classes de substâncias químicas orgânicas. Os tipos de interações desses compostos com diferentes componentes do ambiente são enormes. Considerando os processos de transporte entre compartimentos ambientais, com os quais os herbicidas estão relacionados depois de aplicados em áreas agrícolas, a lixiviação e o escoamento superficial merecem destaque. O escoamento superficial favorece a contaminação das águas superficiais, com o herbicida sendo carregados adsorvidos às partículas do solo erodido ou em solução. A lixiviação dos herbicidas através do solo tende a resultar em contaminação das águas subterrâneas e neste caso, as substâncias químicas são carregados em solução juntamente com a água que alimenta

os aquíferos. A permanência dos herbicidas no solo agrícola é inversamente dependente da taxa de ocorrência dos processos de transporte (10).

Comportamento e Destino Ambiental



Adaptado de Weber e Miller (12).

Vários métodos têm sido desenvolvidos para o estudo e a previsão do comportamento e destino ambiental de agrotóxicos, e particularmente de herbicidas, que vão desde o uso de parâmetros pré-estabelecidos até modelos matemáticos. O uso de parâmetros, índices e modelos orientam tanto os trabalhos a campo como as análises laboratoriais. Parâmetros são valores para propriedades físico-químicas e de comportamento ambiental, tais como, solubilidade em água, pressão de vapor, coeficientes de distribuição entre compartimentos e tempo de meia-vida de degradação ou dissipação. O uso de índices tem sido também muito difundido para se estimar, por exemplo, o potencial de perdas de agrotóxicos por lixiviação e por escoamento superficial.

Modelos matemáticos para monitoramento são modelos funcionais que incorporam tratamento simplificado do fluxo de água e do transporte de solutos. Um modelo é uma representação de um sistema real que leva em consideração um ou vários processos. Um modelo matemático tem algum nível de simplificação e abstração, e o uso de modelos em trabalhos de monitoramento apresenta muitas etapas. Inicialmente o propósito do

monitoramento condicionará o uso de modelos e é necessário explicitamente definir o problema e os objetivos, assim como as escalas espacial e temporal. A informação requerida tem que ser especificada, e um levantamento inicial de modelos existentes é fortemente recomendado. Se nenhum modelo existente é adequado para o propósito do monitoramento, um trabalho de modelagem tem que ser conduzido.

Há uma variedade de diferentes modelos ambientais para pesticidas. Por exemplo, CREAMS é um modelo geral e flexível para avaliar efeitos relativos de práticas de manejo sobre qualidade de água. O modelo GLEAMS avalia efeitos de sistemas de manejo agrícola sobre o movimento de compostos químicos na e através da zona de raiz do solo. A finalidade do modelo OPUS é estudar efeitos de condições meteorológicas e práticas de manejo no movimento de água e contaminantes em pequenas bacias hidrográficas. PRZM é um modelo dinâmico para simular movimento de compostos químicos na zona vadosa do solo. O modelo LEACHM simula transporte e destino de substâncias químicas em condições de campo, assim como em colunas de laboratório, e tem uma sub-rotina (LEACHP) que estima o transporte de pesticidas. CMLS é um modelo que estima o movimento de compostos químicos em resposta à percolação da água no solo, e também estima a degradação e a quantidade remanescente no perfil do solo.

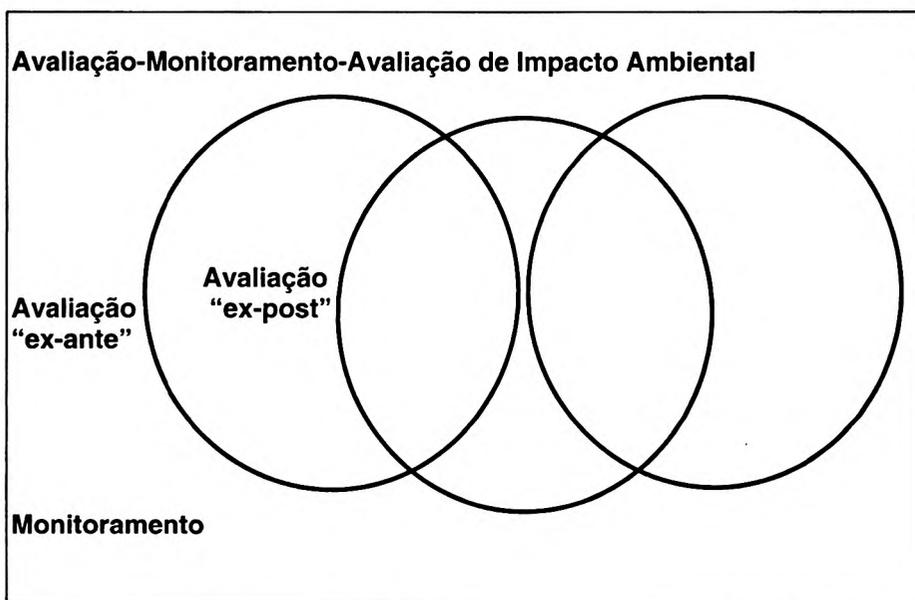
Classificação dos impactos ambientais

Impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e a qualidade dos recursos ambientais. Esta definição exclui o aspecto significância, já que considera como impacto ambiental “qualquer alteração...”, independente de ser ou não significativa (5).

Avaliação de impactos ambientais é um instrumento de política ambiental, formado por um conjunto de procedimentos, capaz de assegurar, desde o início do processo, que se faça um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta e de suas alternativas (6). Esta definição evidencia que a avaliação de impactos ambientais subsidia o processo de tomada de decisão e se atém às ações propostas – políticas, planos, programas, novas tecnologias. No entanto, não contempla o que é o desafio dos técnicos sobre o assunto, ou seja, a avaliação de impactos ambientais de ações repetitivas ou contínuas, já em transcurso, como as atividades da agricultura.

Assim, a avaliação de impactos ambientais pode ocorrer em dois momentos: antes da ação potencialmente impactante – avaliação “ex-ante”,

e depois dela – “ex-post”. A avaliação “ex-ante” de impactos ambientais de herbicidas é feita, por exemplo, quando do processo de registro de um novo produto, enquanto a avaliação “ex-post” pode ser feita depois do seu uso. A avaliação “ex-ante” para fins de registro de agrotóxicos vem sendo discutida e conduzida há anos e está agora sendo revisada com enfoque em análise de risco ambiental. O monitoramento ambiental pode ser parte integrante dos processos de avaliação. Nesse texto discutimos o monitoramento e avaliação “ex-post” de impactos ambientais de herbicidas, particularmente na sua dimensão ecológica.



Os métodos de avaliação de impactos ambientais são instrumentos utilizados para coletar, analisar, avaliar, comparar e organizar informações qualitativas e quantitativas sobre os impactos ambientais originados de uma determinada atividade modificadora do meio ambiente (1, 3, 4, 7). A avaliação de impactos ambientais não deve ser considerada apenas como uma técnica, mas como uma dimensão política de gerenciamento, educação da sociedade e coordenação de ações impactantes (2).

Magnitude e importância constituem os pontos principais dos impactos ambientais, uma vez que informam sobre a significância dos mesmos. A magnitude é a grandeza de um impacto em termos absolutos, podendo ser definida como a medida de alteração de um atributo ambiental, em termos quantitativos ou qualitativos. A importância é a ponderação do grau de significância de um impacto em relação ao fator ambiental afetado e

a outros impactos. Pode ocorrer que um certo impacto, embora de magnitude elevada, não seja importante quando comparado com outros, no contexto de uma dada avaliação de impacto ambiental (6).

Os impactos ambientais podem ser classificados qualitativamente segundo seis critérios: valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica (9). Assim, o uso de herbicidas pode causar impactos diretos e indiretos; locais, regionais e/ou globais; imediatos, de médio ou longo prazo; temporários, cíclicos ou permanentes; reversíveis ou irreversíveis. Em áreas agrícolas, os impactos podem ainda ser de fonte difusa, causados pela contaminação proveniente da aplicação regular, ou pontual, quando ocorre descarga (acidental ou não) durante o transporte e manuseio dos herbicidas. Os impactos podem ocorrer nos meios físico-químico (abiótico), biótico e sócio-econômico, portanto a avaliação de impactos ambientais dos herbicidas deve contemplar, sempre que possível, os aspectos ecológicos, sociais e econômicos mantendo estreita relação com o conceito de sustentabilidade agrícola (11).

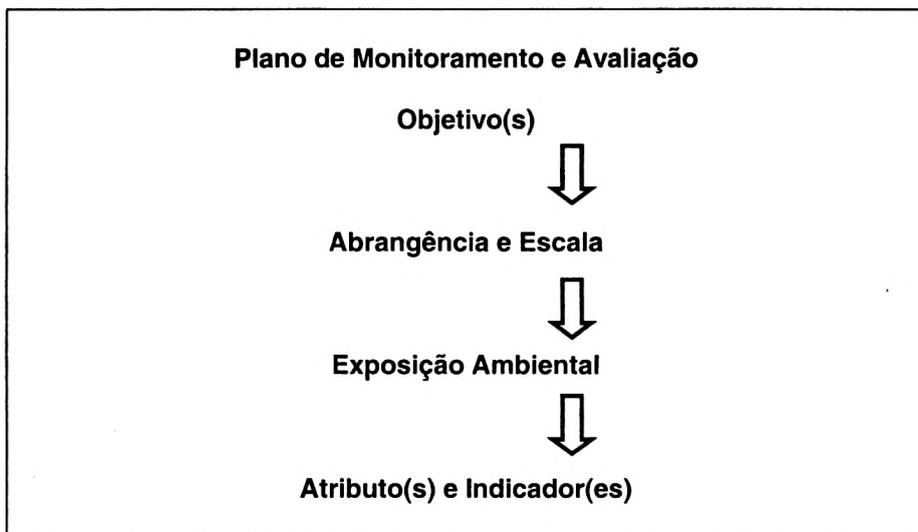
Os impactos, na dimensão ecológica, podem ser classificados segundo o compartimento afetado: solo, água, planta e atmosfera. No que diz respeito à classificação quantitativa dos impactos, é importante compreender que a mesma é feita para se ter uma visão da magnitude do impacto, ou seja, do grau de alteração de um atributo ambiental, em termos quantitativos. Porém, além da classificação dos impactos pela apresentação de informações exclusivamente numéricas, as avaliações de impactos ambientais podem apresentar informações que possibilitam a visão de magnitude. Assim sendo, o impacto do uso de herbicida pode ser inexistente, desprezível, pequeno, médio, alto, muito alto.

Os impactos ambientais provocados pelo uso de herbicidas podem ainda ser intrínsecos e extrínsecos. Como exemplo de impacto intrínseco negativo de herbicidas pode ser citado o problema de residual prolongando no solo comprometendo a sucessão de culturas agrícolas. Quanto aos impactos extrínsecos, pode ser citada como exemplo, a contaminação de águas superficiais e subterrâneas usadas para abastecimento populações urbanas.

Plano de monitoramento e avaliação

Antes de se executar um plano de monitoramento e avaliação dos impactos ambientais de agrotóxicos é necessário que sejam definidos os objetivos e a abrangência e escala do trabalho que, já no seu início, deve ter os compartimentos ambientais mais expostos identificados e os atributos e indicadores estabelecidos. Os objetivos do trabalho precisam ser claramente definidos. É de fundamental importância definir qual, ou quais os compartimentos ambientais ou recursos naturais de interesse, e alguns questionamentos são necessários como, por exemplo, se pretende-se

estudar a contaminação de corpos d'água superficiais com respeito a potabilidade e/ou toxicidade a organismos aquáticos.



A abrangência, tanto geográfica como temporal, e as respectivas unidades básicas, precisam ser previamente definidas, assim como, a escala de trabalho. Outra necessidade é a definição da frequência de coleta de dados e/ou informação. Por exemplo, um monitoramento anual feito abrangendo toda uma grande bacia hidrográfica em escala 1:100.000 não terá o mesmo detalhamento de um trabalho de frequência mensal feito em uma microbacia em escala 1:10.000.

A identificação inicial dos compartimentos ambientais e dos locais naturalmente mais vulneráveis e mais expostos à contaminação pelo uso real ou potencial de cada herbicida de interesse precisa ser feita. Para tanto, o levantamento das propriedades e condições do meio (solo, geologia, clima etc), assim como a estimativa da carga potencialmente contaminante pelo uso de herbicidas, e o conhecimento de suas propriedades físico-químicas, ambientais, toxicológicas e ecotoxicológicas são fundamentais.

Também logo no início do trabalho de monitoramento é imprescindível que os atributos e indicadores ambientais de alteração e de impacto sejam conhecidos para que a avaliação seja possível. Por exemplo, os resultados analíticos de um monitoramento de resíduos de herbicidas em um corpo d'água podem não dar uma idéia de sua significância sem os indicadores de impacto ambiental.

Indicadores de impactos ambientais

Depois que os compartimentos ambientais de interesse e seus atributos forem conhecidos, é necessária a definição dos indicadores de alterações e de impactos ambientais. Por exemplo, se a água superficial é escolhida como o compartimento de estudo e a ocorrência de herbicidas como seu atributo, os níveis de herbicidas na água podem ser considerados como indicadores de alteração e de impacto.

Para distinguir entre indicadores de alteração e indicadores de impacto é necessário se estabelecer padrões ou limites para cada herbicida em cada compartimento ambiental segundo o objetivo do monitoramento e baseados em dados toxicológicos e/ou ecotoxicológicos. Assim, por exemplo, se o interesse é monitorar a potabilidade de água para consumo humano o indicador de impacto pode ser o valor máximo permitido para cada herbicida segundo o Ministério da Saúde.

Padrões de potabilidade de água para consumo humano

	Valor Máximo Permitido ($\mu\text{g/L}$)
Alaclor	20
Atrazina	2
Bentazona	300
2,4-D	30
Glifosato	500
Metolacoloro	10
Molinato	6
Pendimetalina	20
Propanil	20
Simazina	2
Trifluralina	20

Fonte: Portaria 1469/2000 do Ministério da Saúde.

Por outro lado, se o interesse é monitorar a qualidade da água para organismos aquáticos pode-se usar padrões químicos para esse fim como os propostos pela FWR Foundation (UK), que propôs, por exemplo, valores de 0,1 e 1,0 $\mu\text{g/L}$ como padrões provisórios para trifluralina com respeito a toxicidade crônica e aguda, respectivamente. O padrão provisório de qualidade ambiental (PpQA) de cada agrotóxico é proposto baseado na aplicação de um fator de segurança à concentração de não-efeito para uma espécie aquática sensível com dados ecotoxicológicos disponíveis para

aquela substância química. O fator de segurança é arbitrário e leva em consideração a possível maior sensibilidade de outros organismos aquáticos. Os valores de PpQA podem ser expressos como concentrações médias anuais, baseadas em dados de toxicidade crônica, e como concentrações máximas para proteger contra eventos de pico de concentração, baseadas em dados de toxicidade aguda. Dados ambientais ainda insuficientes estão disponíveis para confirmar os padrões provisórios apresentados, e os limites analíticos de detecção que podem ser atualmente atingidos são inadequados para monitorar alguns agrotóxicos.

Indicadores biológicos também podem ser usados em trabalhos de monitoramento e avaliação de impacto ambiental de herbicidas. Assim, por exemplo, organismos aquáticos como crustáceos e peixes podem ser selecionados como bioindicadores de alteração e de impacto, e suas populações podem ser monitoradas a campo. No entanto, cuidado especial deve ser tomado pois mudanças nas populações desses organismos podem ser causadas por outros contaminantes e por diversos fatores ambientais como temperatura e pH da água, disponibilidade de alimento e outros. Na prática, a combinação de indicadores químicos e biológicos é sempre recomendável em programas de monitoramento e avaliação e na formação de um sistema de informação de impactos ambientais de herbicidas e demais agrotóxicos.

Literatura citada

CANTER, L. **Environmental impact assessment**. New York: McGraw Hill, 1997. 331 p.

CLAUDIO, C. F. B. R. Implicações da avaliação de impacto ambiental. **Ambiente**, v. 1, p. 159-162, 1987.

FIRKOWSKI, C. Metodologias e técnicas para avaliação de impactos ambientais. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1., 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/UFPR, 1990. p. 18-27.

HARDT, L. P. A.; LOPES, J. A. U. Interpretação e síntese de resultados em estudos e relatórios de impacto ambiental. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1., 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/UFPR, 1990. p. 162-165.

LIMA, R. E. Estudos geomorfológicos na avaliação de impacto ambiental. In: SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL, 1., 1990, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF/UFPR, 1990. p. 73-80.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1985. 34 p.

MUNN, R. E. **Environmental impact assessment - principles and procedures, SCOPE 5**. Toronto, 1979. 190 p.

RUEGG, E. F.; PUGA, F. R.; SOUZA, M. C. M. de; ÚNGARO, M. T. S.; FERREIRA, M. de S.; YOKOMIZO, Y.; ALMEIDA, W. F. Impactos dos agrotóxicos sobre o ambiente e a saúde. In: MARTINE, G.; GARCIA, R.C. (Ed.). **Os impactos sociais da modernização agrícola**. São Paulo: Caetés, 1987. p. 171-207.

SILVA, E. **Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994. 309 p. Tese (Doutorado) - UFV, Viçosa, 1994.

SPADOTTO, C. A.; GOMES, M. A. F.; RODRIGUES, G. S. Uso de agrotóxicos nas diferentes regiões brasileiras: subsídio para a geomedicina. **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 8, p. 111-126, 1998.

SPADOTTO, C. A.; LIGO, M. A. V. Classificação dos impactos ambientais de herbicidas. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE MALEZAS, 12., 1995, Montevideo. **Conferencias y Trabajos...** Montevideo: ALAM: INIA, 1995. p. 389-391. Editado por A. Rios e G. Fernández.

WEBER, J.B.; MILLER, C.T. Organic Chemical Movement over and through soil. In:SAWHNEY, B.L.; BROWN, K. (Ed.). **Reactions and movement of organic chemicals in soils**. (SSSA special publication; nº 22), Madison: SSSA/ASA, 1989. p. 305-334.

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE

DESTINO DOS HERBICIDAS NO AMBIENTE

Ronald Turco¹
Jussara Regitano²

MANUSCRITO NÃO DISPONIBILIZADO

¹ Purdue University, USA
² CENA/USP SP

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE

IMPACTO DE HERBICIDAS EM ORGANISMOS NÃO ALVO

Sérgio Luiz de Oliveira Machado¹

Entre os ecossistemas, o aquático destaca-se como um ambiente extremamente vulnerável a diversas contaminações. A água constitui-se num dos elementos fundamentais para a sobrevivência dos organismos. Se ela estiver contaminada por agrotóxicos, os demais elementos bióticos e abióticos do ecossistema também estão ou ficarão contaminados. Os aspectos negativos, decorrentes do uso inadequado desses produtos, como toxicidade, ecotoxicidade e a contaminação do meio, precisam ser controlados para que não ocorram efeitos adversos (Kingman, 1993).

Os recursos hídricos agem como integradores dos processos biogeoquímicos de qualquer região. Sendo assim, quando os herbicidas e outros defensivos agrícolas são introduzidos, os recursos hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, aparecem como destino final principal destes compostos (Ferraz, 1996). As moléculas dos herbicidas constituem-se em fonte não-pontual de contaminantes, e uma vez aplicados excedem a função de combate específico, espalhando-se por todo o meio, sendo difícil conter sua dispersão e inativar sua ação sobre organismos não alvo. O fato da concentração dos herbicidas em água ser, em geral, extremamente baixa, não exclui a possibilidade de que concentrações elevadas ocorram após chuvas de grande intensidade, especialmente quando áreas próximas a pequenos mananciais de águas tenham sido recentemente tratadas com altas doses de herbicidas.

Em solos alagados, a biodisponibilidade dos herbicidas está principalmente relacionada à concentração real destes produtos na água. A adsorção dos herbicidas às partículas de sedimento diminui a sua disponibilidade para os peixes e outros organismos não-alvo, inclusive para sua decomposição. Na lavoura arrozeira, é inegável a importância dos herbicidas no controle de plantas daninhas para garantir maior produtividade, porém os impactos do uso desses produtos são pouco conhecidos, particularmente nos países em desenvolvimento, onde a infraestrutura e os recursos para monitoramento de águas são escassos. Estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo têm mostrado que a quantidade de agroquímicos utilizados na agricultura e que atingem os ambientes aquáticos é geralmente baixa; em parte devido a baixa solubilidade dos produtos em água e também devido ao efeito da diluição (Higashi, 1991). Entretanto, agroquímicos persistentes e com grande

¹ Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria (RS)

mobilidade no ambiente têm sido detectados em águas subterrâneas e de superfície (Nohara e Iwakuma, 1996; Huber et al., 2000).

Os estudos ecotoxicológicos fornecem os resultados que representam a base para o desenvolvimento de testes de toxicidade, levando-se em conta que nem todos os efeitos biológicos observados nos organismos vivos podem ser utilizados com um objetivo prático, pois, para que isso aconteça, torna-se necessário que os efeitos observados tenham significado ecológico bem definidos. Nesse sentido, efeitos sobre os aspectos biológicos mostram-se objetivamente práticos na aferição das respostas ecológicas, pois evidenciam globalmente as características das comunidades considerando suas interrelações bióticas e abióticas (Wang, 1991; Vandergaag, 1992; Baird, 1993). Schmidt (1993) salienta a importância dos bioensaios para identificar e conhecer diferentes propriedades de herbicidas. Com a descoberta de novas classes de herbicidas ou modos de ação, a escolha de novos métodos de bioensaios torna-se indispensável (Outridge e Noller, 1991). Os bioensaios para monitoramento de herbicidas no meio permitem utilizar diferentes organismos para determinar respostas adequadas na avaliação da toxicidade (Streibig e Kudsk, 1993a, 1993b).

Os estudos ecotoxicológicos fornecem os resultados que representam a base para o desenvolvimento de testes de toxicidade, levando-se em conta que nem todos os efeitos biológicos observados nos organismos vivos podem ser utilizados com um objetivo prático, pois, para que isso aconteça, torna-se necessário que os efeitos observados tenham significado ecológico bem definidos. Nesse sentido, efeitos sobre os aspectos biológicos mostram-se objetivamente práticos na aferição das respostas ecológicas, pois evidenciam globalmente as características das comunidades considerando suas inter-relações bióticas e abióticas (Wang, 1991; Vandergaag, 1992; Baird, 1993).

As bases científicas para a predição da toxicidade de produtos químicos para organismos aquáticos têm sido muito debatidas. Diferentes critérios de testes foram estabelecidos por organizações internacionais, sempre enfatizando a utilidade dos testes agudos (curto período de duração da espécie teste); dos testes sub-crônicos (cobrem pelo menos 10% de uma geração e devem ser aplicados a organismos com tempo de vida de pelo menos um ano); e os testes crônicos (acompanham o organismo teste por pelo menos uma geração) (Knie, 1992).

A USEPA (1989) menciona três critérios como relevantes para a seleção de organismos testes para uso laboratorial: a) representatividade ecológica em termos de taxonomia, nível trófico ou nicho; b) ser membro da cadeia trófica, relacionado direta ou indiretamente ao homem; c) disponibilidade e adequação a testes laboratoriais.

Na comunidade zooplantônica, os crustáceos (Daphnideos) desempenham importante papel na cadeia trófica aquática, como

consumidores primários e fonte de alimento para predadores invertebrados e vertebrados. Dentre as espécies do gênero *Daphnia*, o uso de *Daphnia magna*, popularmente conhecida como pulga d'água têm sido freqüentemente proposto pelas seguintes razões: a) é um organismos de mais fácil manuseio, sendo adequado para testes estatísticos, contínuos ou intermitentes (Berge, 1978), b) reproduzem-se partenogeneticamente, assegurando uniformidade de resposta; c) dispõem de período de vida e de reprodução relativamente curto, de forma a permitir a realização de testes crônicos com facilidade; d) apresentam tamanho pequeno e cultura de baixo custo se comparado com peixes, moluscos e macrocrustáceos (CETESB, 1990). Outros crustáceos como *Thamnocephalus platyrus* e *Artemia salina*, microalgas (*Raphidocelis subcapitata*), bactérias marinhas (*Vibrio fischeri*) e peixes são utilizados permitindo uma comparação dos níveis de efeito com os níveis de exposição detectados dos pesticidas.

Estudos de Charpentier e Garnier (1985) demonstraram que concentrações subletais do herbicida 2,4-D provocavam decréscimo no crescimento de espécies da família Lemnaceae, na qual se inclui *Spirodela punctata*. Porém, observando o comportamento dessa espécie ao ser submetida às concentrações de 40, 60, 80 e 100 mg L⁻¹ de 2,4-D, verificou-se que não ocorreu diminuição no número de frondes. Waithaka (1979) relatou que, apesar de retardar o crescimento caulinar, o 2,4-D ocasiona reincidência do crescimento com a formação de novas frondes. É possível que *Spirodela punctata* absorva menos 2,4-D do que *Salvinia minima*, embora Fernández et al. (1972) tivessem verificado que as raízes de Lemnaceae absorviam esse herbicida muito rapidamente. Também ressaltaram que tanto as raízes quanto a superfície inferior das frondes podem absorver 2,4-D. Entretanto, Landolt (1986) e Landolt e Kandeler (1987) descreveram que as raízes são mais estabilizadoras das estruturas da espécie do que auxiliares na absorção de substâncias. Os resultados encontrados com *Spirodela punctata* estão próximos dos encontrados por Sahai et al. (1980), que observaram acentuada tolerância de outra espécie de *Spirodela* (*S. polyrrhiza*) ao herbicida.

A significativa sensibilidade ao 2,4-D por *Salvinia minima* mostra discordância ao comportamento encontrado em outras espécies de *Salvinia* (*S. natans* e *S. molesta*) que são resistentes à ação do produto, tanto em baixas concentrações, 5 mg L⁻¹ (Sinha e Verma, 1992), como em altas, de 50 a 1000 mg L⁻¹ (Waithaka, 1979). Mas, os resultados encontrados nesta estão de acordo com Axelsen e Julian (1988), que declararam que o 2,4-D pode controlar satisfatoriamente o crescimento de espécies de *Salvinia*. Esse produto é relatado como muito eficiente para macrófitas aquáticas (Bird, 1993).

De um modo geral, o herbicida glyphosate controla eficientemente macrófitas aquáticas (Almeida e Rodrigues, 1988) e, em espécies de *Salvinia*, Prusty et al. (1990) verificaram efeitos de elevada toxicidade. Em

Spirodela punctata tais efeitos não ocorreram, corroborando os resultados de Santos (1992). Também, Richardson (1985) salientou que, quando diluído em água, o herbicida declina em seus efeitos tóxicos, causando menor toxicidade às plantas.

Em estudos de O'Neal e Lembi (1983), com algas verdes, foi constatado que os herbicidas do grupo das triazines, ao qual pertence o atrazine, não causavam quaisquer efeitos fitotóxicos, mesmo após 45 dias. Todavia, Beaumont et al. (1976, 1978) observaram que, após 20 dias em concentrações subletais (0,02 e 0,025 mg.L⁻¹), *Lemna minor* (espécie de Lemnaceae) apresentou alterações fisiológicas, com acentuada inibição do crescimento. Liu & Cedeño-Maldonado (1979) e Sahai et al. (1980) declararam que, em Lemnaceae, concentrações baixas das triazines podem causar efeitos antagônicos de toxicidade, ora apresentando inibição ora estimulação do crescimento das espécies. Alguns autores (Almeida e Rodrigues, 1988; Abou-Waly et al., 1991; Hubner, 1993) afirmaram ser baixa a toxicidade do produto para peixes e, deste modo, é seguro utilizá-lo no controle de plantas daninhas em ambientes aquáticos.

De particular interesse nos estudos de toxicidade estão os peixes, pois ocupam o topo da cadeia alimentar. Nos peixes, os pesticidas podem reduzir o crescimento e a reprodução, alterar o metabolismo, por estimulação ou inibição de enzimas (Reddy e Philip, 1994). Em doses letais, a maioria dos peixes apresenta motilidade natatória na superfície da água, além de pouco reagirem a estímulos externos. Em alguns casos podem apresentar pontos hemorrágicos pelo corpo. Já em doses subletais, geralmente não ocorrem alterações morfológicas externas e nem comportamentais. Assim, os diversos trabalhos demonstram que os efeitos letais dos herbicidas variam com o produto utilizado. Johnson e Maia (1998) verificaram que para clomazone, os efeitos agudos em *Hyphessobrycon scholzei* só se manifestam em concentrações superiores a 16,2 mg L⁻¹. Inicialmente, os peixes apresentam letargia e nado errático no transcorrer do tempo, perda total do equilíbrio e morte. Já os organismos expostos a doses menores não demonstraram sinais aparentes de intoxicação. Neste estudo, de acordo com o valor de CL₅₀₋₉₆ calculado, a toxicidade aguda de clomazone para *H. scholzei* é semelhante aquela observada para a microalga *Selenastrum capricornutum* e para a macrófita *Lemna valdiviana*; e duas vezes maior para o microcrustáceo *Daphnia minor*.

Os resultados levam-nos a concluir da necessidade de uma seleção correta dos herbicidas a utilizar, tendo por base a integração das suas características ecotoxicológicas, potencial de distribuição nos compartimentos ambientais e eficácia do tratamento, de forma a reduzir o impacto negativo sobre o ambiente, e em particular sobre o maio aquático.

Referências bibliográficas

ABOU-WALY, H.; ABOU-SETTA, M.M.; NIGG, H.N.; MALAORY, L.L. Dose response relationship of *Anabaena-flos-aquae* and *Selenastrum capricornutum* to atrazine and hexazinone using chlorophyll (a) content and C-14 uptake. **Aquatic Toxicology**, v.20, n.3, p.195-204, 1991.

ALMEIDA, F.S. de; RODRIGUES, B.N. **Guia de Herbicidas**. 4.ed. Piracicaba: Livrocere, 1998, 548p.

AXELSEN, S.; JULIAN, C. Weed control in small dams. Part II. Control of salvinia, azolla and of water hyacinth. **Queesland Agricultural Journal**, v.114, n.5, p.291-298, 1988.

BEAUMONT, G.; BASTIN, R.; THERRIEN, H.P. Effets physiologiques de l'atrazine à doses sublétales sur *Lemna minor* L. III. influence sur les protéines solubles et les acides nucléiques. **Naturaliste Canadien**, Quebec, v.105, p.103-113, 1978.

BERGE, T.W.F. Breeding *Daphnia magna*. **Hidrologia**, São Paulo, v. 59, n.2, p. 121-123, 1978.

BIRD, K.T. Comparisons of herbicide toxicity using in vitro cultures of *Myriophyllum spicatum*. **Journal of Aquatic Plant Management**, v.31, p.43-45, 1993.

CETESB. **Métodos de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos**. São Paulo, 1990.250p.

CHARPENTIER, S.; GARNIER, J. Etude de la multiplication et la formation des colonies de *Spirodela polyrrhiza* L. **Comptes Rendu de l'Académie des Sciences**, v.15, p.587-590, 1985.

FERRAZ, E.S.B. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, estrutura e processos. In: WORKSHOP DO PROJETO PiraCena, 2., Piracicaba, 1996. Anais... Piracicaba, CENA, 1996. p. 7.

HARTMAN, W.A.; MARTIN, D.B. Effect of suspended bentonite clay on the acute toxicity of glyphosate to *Daphnia pulex* and *Lemna minor*. **Bulletin Environmental Contamination Toxicology**, v.33, p.355-361, 1984.

HUBER, W. Ecotoxicological relevance of atrazine in aquatic systems. **Environment Toxicological Chemical**, v.12, p.1865-1881, 1993.

HUBER, A., BACH, M., FREDE, H.G. Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.20, p. 191-204, 2000.

JOHSSON, C.M., MAIA, A. de H. N. Toxicidade do herbicida clomazone no peixe *Hyphessobrycon scholzei*: Avaliação da concentração letal mediana e de alterações no conteúdo de nutrientes. **Pesticidas: Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 8, p. 101-110, 1998.

KNIE, J. **Métodos utilizados para testes de toxicidade**. Curitiba, 1992. Comunicação pessoal.

KINGMAN, A.B. The environmental impact of the use of herbicides at the global level. **Boletim da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas**, v.1, n.2, p.22-25, 1993.

LANDOLT, E. **The family of Lemnaceae - a monographic study**: morphology; karyology; ecology; geographic distribution; systematic position; nomenclature; descriptions. Zurich: Stiftung Rubel: Veroffenteichungendes Geobotanischen Institutes der ETH, 1986. v.2, 566p.

LANDOLT, E.; KANDELER, R. **The family of Lemnaceae - a monographic study**: phytochemistry, physiology, application, bibliography. Biosystematic investigation of the family of duckweeds. Zburich, Stiftung Rubel: Veroffenteichungendes Geobotanischen Institutes der ETH, 1987. v.4, 638p.

LIU, L.C.; CEDEÑO-MALDONADO, A. A bioassay method for detecting herbicide concentrations in water. **Jornal de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico**, v.63, n.1, p.80-83, 1979.

NOHARA, S., IWAKUMA, T. Pesticide residues in water and an aquatic plant (*Nelumbo nucifera*) in a river mouth lake Kasumiguara, Japan. **Chemosphere**, v.33, n.7, p.1409-1416, 1996.

O'NEAL, S.W.; LEMBI, C.A. Relative tolerance of filamentous green algae to simazine. In: MEETING OF WEED. SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1983. **Proceedings...** West Lafayette: Purdue Univ., 1983. v.44.

OUTRIDGE, P.M.; NOLLER, B.N. Accumulation of toxic trace elements by freshwater vesicular plants. **Reviews of Environmental and Toxicology**, v.121, p.1-63, 1991.

PRUSTY, J.C.; LENKA, D.; BEHERA, B.; MISHRA, R.K. Efficacy of glyphosate in controlling floating aquatic weeds. **Indian Journal of Weed Science**, v.22, n.3/4, p.86-88, 1990.

Reddy, P.M., Philip, G.H. In vivo inhibition of AchE and ATPase activities in the tissues of freshwater fish (*Cyprinus caprio*) exposed to technical grade cypermethrin. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 52, p. 619-626, 1994.

SAHAI, R.; ROY, P.S.; WAJHI, S.A. Effect of certain herbicides on the growth performance of *Spirodela polyrrhiza*. **Indian Journal of Weed Science**, v.12, n.1, p.87-92, 1980.

SANTOS, D.M.M. **Toxicidade dos herbicidas butachlor, glyphosate e propanil em *Spirodela punctata* (G.F.W. Meyer) Thompson (Lemnaceae)**. Rio Claro: UNESP, Instituto de Biociências, 1992. 296p. Tese de Doutorado.

USEPA "UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY". Equidance for premanufacture testing: discussing of police issues, alternatives approaches and test methods. **Federal Register**, v. 44, p. 160-240, 1989.

WAITHAKA, J.M. Studies of herbicidal control of *Salvinia molesta*. In: EAST AFRICAN WEED SCIENCE CONFERENCE. 7., **Proceedings...** Nairobi: Kenyatta Univ. Coll., [S.l: s.n.], 1979. p.100-113.

**4º PAINEL – MANEJO INTEGRADO
DE PLANTAS DANINHAS**

4º PAINEL – MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS

MODERADOR – Erivelton S. Roman, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

CULTIVARES DE ARROZ COMPETITIVOS CON MALEZAS

Albert J. Fischer¹

Kevin D. Gibson²

Aldo Merotto, Jr.^{3,4}

Introducción

El arroz alimenta a millones de seres humanos y se lo cultiva en una amplia gama de ambientes y sistemas de cultivo (Evans, 1998; IRRI, 1993). La competencia de malezas es un serio problema en arroz al causar pérdidas de rendimiento y su control eleva los costos de producción (Moody, 1996). Incrementando la capacidad del cultivo para suprimir malezas mediante la modificación de características específicas del tipo de planta, es posible desarrollar una nueva herramienta para el control integrado de malezas poco costosa y de bajo impacto ambiental que permita reducir significativamente el periodo crítico de competencia y el uso de herbicidas. Se obtendría así una herramienta adicional no química para suprimir biotipos de malezas resistentes a herbicidas que escapan al control. Este concepto ya ha tenido éxito para reducir la necesidad de control manual de malezas con arroz de secano en la Costa de Marfil, donde muy pocos agricultores tienen acceso al uso de herbicidas (Johnson *et al.*, 1998). Cultivares competitivos de arroz serían fácilmente adoptados por los productores e integrados a las prácticas agronómicas usuales. Se han documentado variedades de diversos cultivos altamente competitivas con

¹ Weed Science Program, University of California, Davis, California, USA

E-mail-ajfischer@ucdavis.edu

² Botany Department, Purdue University, Lafayette, Indiana, USA

E-mail-gibson@btony.purdue.edu

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, Brazil E-mail-amerotto@ucdavis.edu

⁴ Current address, Weed Science Program, University of California, Davis, CA, USA

malezas (Jordan 1993; Callaway 1992; Pester 1999). La gran variabilidad genética y fenotípica del arroz ha permitido documentar diferencias en competitividad con diversas malezas entre cultivares en diversos sistemas de cultivo y áreas geográficas (Dingkuhn *et al.*, 1999; Fischer *et al.*, 1997 & 2001; Gibson *et al.*, 2001b; Johnson *et al.*, 1998; Ntanos and Koutroubas, 2000; Ni *et al.*, 2000). También se han documentado efectos alelopáticos sobre las malezas con ciertos cultivares (Olofsdotter, 1996), pero en este artículo enfocaremos nuestro análisis en la competencia por factores de crecimiento.

Características de la planta

Rápida emergencia y desarrollo de raíces, elevadas tasas de crecimiento juvenil y de expansión foliar, número de macollas, altura de planta, ángulo de inserción foliar y tasa de absorción de nutrientes del suelo son características asociadas a la capacidad de los cultivos para competir con malezas (Jordan 1993, Pester 1999). La capacidad competitiva del arroz ha sido en general asociada con características relacionadas a la captura de luz (Khush, 1996) tales como altura de planta, macollaje, morfología de la hoja y área foliar. En Costa de Marfil, Dingkuhn *et al.*, (1999) concluyeron que la expresión temprana de elevada área foliar específica ($\text{mm}^2 \text{g}^{-1}$) era una característica que contribuía significativamente a la capacidad competitiva del arroz. Garrity *et al.*, (1992) hallaron que la altura del arroz estaba altamente asociada con la supresión de malezas.

Nuestros trabajos con arroz compitiendo con especies como *Echinochloa colona*, *E. phyllopogon*, *E. oryzoides*, *Brachiaria brizantha*, o *B. decumbens* (Fischer *et al.* 1995, 1997, 2001) nos permiten concluir que no es necesario desarrollar cultivares de porte alto (susceptibles al volcamiento) para obtener niveles significativos de competitividad. Es posible desarrollar modernos cultivares semi-enanos de alto rendimiento potencial que a la vez sean altamente competitivos. En estos estudios, la competencia por luz fue un factor crítico en la interferencia entre el arroz y las malezas. Características como área foliar, y número de macollas (Fig. 1), estaban directamente correlacionadas con la capacidad del cultivo para interceptar luz y suprimir el desarrollo de las malezas (Tabla 1). Lo cual sugiere la importancia de combinar características para maximizar la interferencia por luz y la competitividad del arroz. Muchas malezas poseen, sin embargo, mecanismos plásticos que les permiten escapar en cierta medida los efectos del sombreado. Estudios con malezas de arroz en California demuestran que ciertas especies responden al sombreado alocando más fotosíntatos hacia el aparato foliar. De esta forma incrementan su habilidad para capturar luz mediante mayor área foliar. En muchos casos el incremento de área foliar va acompañado de un aumento

en el área foliar específica (cm^2/g), es decir, se producen hojas más grandes pero delgadas lo cual representa un uso eficiente de la biomasa aérea. Gibson & Fischer, 2001; Gibson et al., 2001b). En algunos casos, ciertas malezas (*Ammannia coccinnea*) tienen una elongación tardía que les permite atravesar el follaje del arroz luego de completar un periodo inicial de porte bajo y de sombreado parcial. Las hojas que merced al elongamiento caulinar consiguen ser reexpuestas a una iluminación completa, registran tasas fotosintéticas más altas que las hojas que han estado siempre expuestas al sol (Gibson et al., 2001a). Esta es otra forma de adaptación al sombreado que resulta en un incremento de la habilidad competitiva de la maleza. Sin embargo estos estudios indican que dicha plasticidad en beneficio del crecimiento foliar se logra en detrimento de la adjudicación de fotosintatos para el crecimiento radical (Fig. 2). Esto significa que a medida que malezas como *E. phyllopogon*, *E. oryzoides*, y *A. coccinnea* comienzan a ser sombreadas por el dosel del arroz, éstas se volverían más vulnerables a la competencia por nutrientes. De allí la importancia de desarrollar cultivares de arroz con elevada capacidad precoz para capturar nutrientes, antes de que su dosel se “cierre” y pueda ejercer un sombreado completo que inhiba el establecimiento de nuevas malezas y establezca el final del período crítico de competencia del arroz (Fischer et al., 1993).

Actualmente se especula sobre los efectos de la alteración de la calidad de luz en relación con la competencia interespecífica. La alteración de la calidad de luz está relacionada con los efectos de la relación luz roja-oscura/luz roja y puede concebirse como una señal de la presencia de plantas en la comunidad (Ballare & Casal, 2000) que es utilizada para determinar la plasticidad del crecimiento de las plantas en competencia. En este sentido, Merotto Jr. et al. (2002) encontraron un efecto aislado de calidad de luz proveniente de la presencia de malezas sobre el desarrollo del arroz ya a los 15 días posteriores a la emergencia (Table 2). El estudio de los procesos básicos relacionados con la calidad de la luz representa un tópico de actualidad en biología vegetal. Varios de estos estudios utilizan al cultivo del arroz como modelo para comprender los procesos fisiológicos y bioquímicos de la fotorregulación (Takano et al, 2001). La aplicación de estos conocimientos podría resultar en cultivares de arroz más competitivos a través de la disminución de la sensibilidad a los efectos de la calidad de luz o por el incremento de la capacidad de emisión de luz rojo-oscura de forma de aumentar la supresión de las malezas. Alternativamente, el conocimiento de los procesos relacionados con la calidad da luz podría ser utilizado en el desarrollo de métodos más precisos para determinar el inicio de la competencia interespecífica o para modificar prácticas culturales a fin de alterar el patrón de distribución de luz en una comunidad.

Cultivares de maduración tardía pueden recobrase mejor de la competencia de malezas precoces (Dingkuhn et al., 1999). Pero, por otra

parte, ciertos cultivares de maduración temprana son capaces de mantener sus rendimientos frente a la competencia de malezas de emergencia tardía o establecimiento lento. Fischer *et al.*, (2001) estudiaron la competencia entre cultivares de arroz con pasturas forrajeras perennes sembradas en asociación con arroz de secano. El cultivar más precoz fue el que mejor toleró la competencia de *Brachiaria brizantha* debido a que pudo completar su llenado de grano antes de que el desarrollo de la pastura le permitiera maximizar su competitividad.

La competencia con malezas por nutrientes es importante (Aspinall, 1960; Irons and Burnside, 1982; Satorre and Snaydon, 1992), sin embargo, la interferencia subterránea ha recibido menos atención que la competencia por luz. Fofana and Rauber (2000) estudiando la competencia del arroz y la especie relacionada *O. glaberrima* con malezas en Africa Occidental hallaron que la biomasa de malezas estaba negativamente correlacionada con el crecimiento temprano de las raíces de arroz, y con el crecimiento del follaje y las raíces en etapas más tardías del cultivo. Otros estudios demuestran que las interacciones subterráneas son quizás más importantes de lo que generalmente se supone. Según Gibson *et al.*, (1999), la interferencia solamente por luz del arroz tenía un efecto relativamente menor en el crecimiento de *Echinochloa phyllopogon*, mientras que la competencia por luz y nutrientes reducía severamente el crecimiento de dicha maleza. Existe considerable variabilidad entre cultivares de arroz en cuanto al crecimiento morfología y fisiología de las raíces (Slaton *et al.*, 1990). Un desarrollo radical vigoroso permite incrementar la competitividad del cultivo en etapas tempranas, cuando la cobertura del follaje aún no es completa como para eliminar el crecimiento de malezas por sombreado.

Competitividad y rendimiento potencial

Algunas veces se ha asociado la alta competitividad de una variedad con menores rendimientos potenciales (Callaway 1992). Incrementos en altura, biomasa vegetativa y área foliar representan una elevación de las tasas respiratorias, sombreado interno de la planta, y un desvío de fotosíntesis hacia el desarrollo vegetativo en detrimento de la producción de grano (Peng *et al.*, 1994). Por lo que la selección por estas características para incrementar la competitividad del arroz podría afectar su productividad. Pero esto no necesariamente es así. Por ejemplo, este tipo de argumento surgió de trabajos conducidos hace años con arroz, donde se comparaba la performance de modernos cultivares semi-enanos con la de ancestros tradicionales de porte alto y mucho follaje. Tales trabajos concluyeron que la habilidad competitiva del arroz estaba negativamente correlacionada con su rendimiento potencial (Jennings and Aquino, 1968, Jennings and De Jesús, 1968; Jennings and Herrera, 1968; Kawano *et al.*, 1974) y que no valía la pena desarrollar cultivares de arroz competitivos

mientras hubiera herbicidas disponibles. Este panorama ha cambiado radicalmente dada la dispersión alarmante de malezas del arroz resistentes a herbicidas y a los elevados costos del control químico en áreas donde el control de malezas por inundación permanente no es posible. El resultado de tales conclusiones es haber trabado por mucho tiempo el desarrollo de cultivares de arroz competitivos con malezas. Sin embargo, estudios más recientes han demostrado que es posible obtener variedades de arroz altamente competitivas sin mermas significativas en el rendimiento potencial (Fischer *et al.* 1995, 1997, 2001, Ni *et al.* 2000; Garrity *et al.* 1992, Johnson *et al.* 1998; Fofana and Rauber 2000). Incluso, si cierta merma de productividad pudiera ocurrir, es posible que esto sea altamente compensado por los beneficios resultantes de reducir la competencia de malezas, el uso de herbicidas, los costos de control, y de manejar el desarrollo de resistencia a herbicidas.

Criterios de selección

Este es un trabajo en el que malherbólogos y genetistas deben colaborar estrechamente. La selección de líneas competitivas basadas en su comportamiento bajo condiciones de enmalezamiento (mecanismo de selección directa) es un proceso costoso y laborioso que, además, debe conducirse en fases avanzadas de un programa de mejoramiento cuando exista suficiente semilla disponible de cada genotipo para efectuar las pruebas a campo (Wall, 1993). Un mecanismo indirecto es la selección basada en características específicas de la planta que le confieren habilidad competitiva (Lemerle *et al.* 1996), lo que permitiría efectuar la selección en fases tempranas del mejoramiento. Este tipo de selección indirecta requiere que las características que confieren competitividad sean identificadas previamente, permitiendo así conducir los experimentos posteriores de selección en ausencia de malezas. Sin embargo, Fischer *et al.* (1995, 1997) en Colombia demostraron que si las características morfológicas que conferían competitividad a cultivares de arroz de secano y riego eran medidas en ausencia de enmalezamiento, éstas no se correlacionaban bien con la competitividad de un cultivo enmalezado. Los autores sugirieron que probablemente los programas de selección deberían conducirse bajo competencia con malezas. Este tipo de conclusiones compromete la factibilidad de un programa de selección indirecta basado en características evaluadas bajo monocultivo. Sin embargo, en otros casos ha sido posible identificar características bajo condiciones de monocultivo que se correlacionaban bien con la competitividad del arroz en condiciones de enmalezamiento (Dingkuhn *et al.*, 1998). Trabajando con soja, Jannink *et al.*, (2001) hallaron correlaciones genéticas negativas entre ciertas características de la planta y su capacidad para suprimir el crecimiento de *Brassica hirta* Moench. Los autores sugirieron que la altura de la soja en

época temprana sería un excelente criterio de selección indirecta. La introgresión de genes de arroz salvajes representa una oportunidad adicional para incrementar la competitividad del arroz cultivado. Una vez superada la barrera de esterilidad, la hibridación de *O. sativa* con *O. glaberrima* permitió combinar la competitividad de *O. glaberrima* con el rendimiento potencial del arroz de secano en África Occidental (Jones et al., 1997; Dingkuhn et al., 1998). *O. rufipogon* puede ser también otra fuente de introgresión de características agronómicas en arroz. Moncada, et al. (2001) trabajando con cruza de *O. rufipogon* y un cultivar de arroz de secano, demostraron que 56% de los QTLs asociados con el incremento de características agronómicas en arroz de secano provenían de *O. rufipogon*. P. Neves y D. Mackill (comunicación personal), trabajando con cruza de *O. nivara* y *O. sativa*, identificaron QTLs para características de vigor inicial y desarrollo precoz de área foliar.

Conclusión

El empleo de cultivares de arroz competitivos permitiría reducir el uso de herbicidas (Christensen 1994; Salonen 1992; Lemerle et al. 1996) y la presión de selección hacia biotipos de malezas resistentes a herbicidas. Esto contribuiría a la sustentabilidad y compatibilidad ambiental del control de malezas en arroz. La competitividad del arroz al reducir la producción de semillas de malezas disminuiría sus efectos a largo plazo. Esta tecnología permitiría reducir costos y se podría incorporar fácilmente a las prácticas de cultivo del agricultor. Sin embargo, aún se requiere más investigación sobre la heredabilidad de las características de competitividad, las correlaciones genéticas entre estas características y la supresión de malezas, y su relación con otras características agronómicas. Es necesario profundizar en estudios mecanísticos de competencia y de la adaptación de las malezas al estrés competitivo.

SL

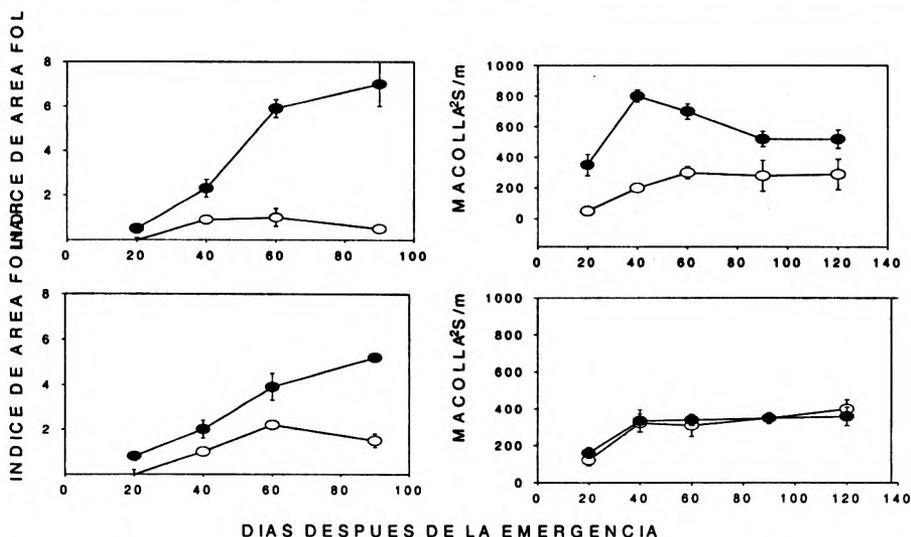


Figura 1. Índice de área foliar y número de macollas de *Echinochloa colona* (símbolos blancos) y de un cultivar de arroz (símbolos negros) competitivo (cuadros superiores) y poco competitivo (cuadros inferiores), cuando ambas especies crecieron en competencia.

Adaptado de Fischer et al. (1997)

Agron. J. 89:516-521

Tabla 1. Coeficientes de correlación (r) entre parámetros de arroz y *Echinochloa colona*, 90 días después de la emergencia, cuando ambas especies crecieron en competencia (Adaptado de Fischer et al. (1997) Agron. J. 89:516-521)

Característica	<i>E. colona</i>	Intercepción de RFA†
Intercepción de RFA	-0.81**	-
Índice de área foliar	-0.71*	0.77**
Número de macollas	-0.80*	0.58*
Altura	0.1 ns	0.043ns
Biomasa	-0.72*	0.79**

*,** Significativo al 0.05 y 0.01 respectivamente.

† Radiación fotosintéticamente activa.

Tabla 2. Materia seca de la parte aérea (mg planta¹), estado de desarrollo del culmo principal (escala Haun) y porcentag de plantas de arroz con macollo a los 15 días después de la emergencia afectados por la competencia de malezas (*Brachiaria plantaginea* y *Bidens pilosa*). Porto Alegre (RS). FA/UFRGS, 2000.

Tratamientos	Interferencia ¹	Materia seca (mg)	Estado de desarrollo	Plantas con macollo (%)
Arroz	Ninguna	98 a ²	5,0 a	19 a
Arroz con tabique de separación	Ninguna /testigo	92 a	5,0 a	20 a
Arroz + malezas en toda el área	Cantidad y calidad de luz, agua y nutrientes	64 b	4,3 c	3 c
Arroz + malezas en la entrefila	Calidad de luz, agua y nutrientes.	68 b	4,6 b	10 b
Arroz + malezas en en la entrefila con tabique de separación	Calidad de luz	73 b	4,5 b	6 bc
CV (%)		25	14	17

¹ Se refiere a los efectos esperados de los tratamientos en relación a la interferencia interespecífica sobre las plantas de arroz.

² Medias seguidas por la misma letra en una columna no difieren entre sí según la prueba de Duncan al 5 % de probabilidad.

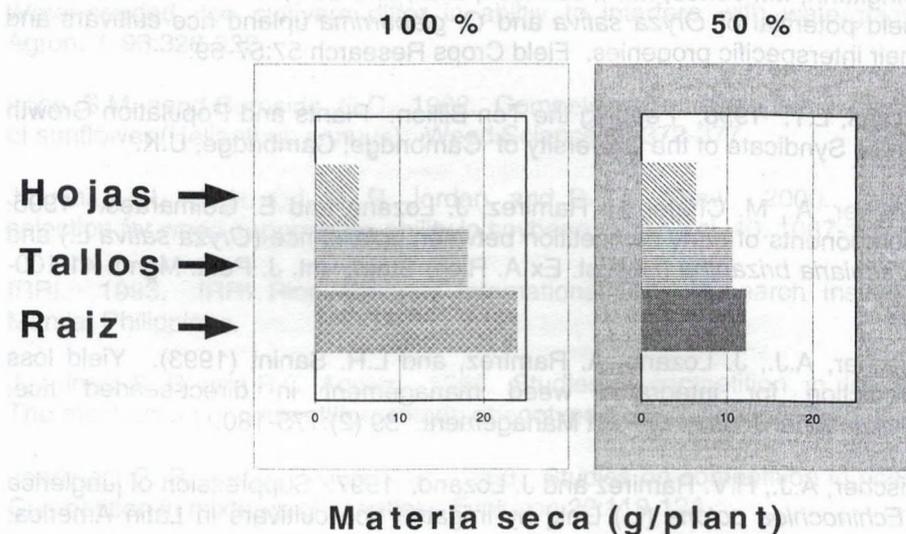


Figura 2. Partición de materia seca de *Echinochloa oryzoides* en respuesta a dos niveles de irradiación (50% y 100%).

Adaptado de Gibson & Fischer (2001).

Referencias

Aspinall, D. 1960. An analysis of competition between barley and white persicaris. II. Factors determining the course of competition. *Annals of Applied biology* 48:637-654.

Ballaré, C. L.; Casal, J. J. 2000. Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crops Res*, 67:149-160.

Callaway, M.B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *Am. J. Altern. Agric.* 7:169-180.

Christensen, S. 1994. Crop weed competition and herbicide performance in cereal species and varieties. *Weed Res.* 34:29-36.

Dingkuhn, M., Johnson, D.E., Sow, A. and Audebert, A.Y. 1999. Relationships between upland rice canopy characteristics and weed competitiveness. *Field Crops Research* 61:79-95.

Dingkuhn, M., Jones, M.P., Johnson, D.E., and Sow, A. 1998. Growth and yield potential of *Oryza sativa* and *O. glaberrima* upland rice cultivars and their interspecific progenies. *Field Crops Research* 57:57-69.

Evans, L.T. 1998. *Feeding the Ten Billion: Plants and Population Growth* Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, U.K.

Fischer, A., M. Châtel, H. Ramirez, J. Lozano and E. Guimarães. 1995. Components of early competition between upland rice (*Oryza sativa* L.) and *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich) Stapf. *Int. J. Pest. Mgmt.* 41:100-103.

Fischer, A.J., J. Lozano, A. Ramirez, and L.R. Sanint (1993). Yield loss prediction for integrated weed management in direct-seeded rice. *International Journal of Pest Management.* 39 (2):175-180.

Fischer, A.J., H.V. Ramirez and J. Lozano. 1997. Suppression of junglerice [(*Echinochloa colona* (L.) Link] by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agron. J.* 89:516-552.

Fischer, A.J., H.V. Ramirez, K.D. Gibson, and B. Da Silveira Pinheiro (2001). Competitiveness of semidwarf upland rice cultivars against palisadegrass (*Brachiaria brizantha*) and signalgrass (*B. decumbens*). *Agron. J.* 93:967-973.

Fofana, B. and R. Rauber. 2000. Weed suppression ability of upland rice under low-input conditions in West Africa. *Weed Res.* 40:271-280

Garrity, D.P., M. Movillon and K. Moody. 1992. Differential weed suppression ability in upland rice cultivars. *Agron. J.* 84: 586-591.

Gibson, K. D., T. C. Foin, and J. E. Hill. 1999. The relative importance of root and shoot competition between water-seeded rice and watergrass. *Weed Res.* 39:181-190.

Gibson, K. D. and A. J. Fischer (2001). Relative Growth and Photosynthetic Response of Water-Seeded Rice and *Echinochloa oryzoides* (Ard.) Fritsch to Shade. *International Journal of Pest Management* 47: 305-309.

Gibson, K.D, A.J. Fischer, and T.C. Foin (2001a). Shading and the growth and photosynthetic responses of *Ammannia coccinea*. *Weed Research* 41:59-67.

Gibson, K.D., J. E. Hill, T.C. Foin, B.P. Caton, and A.J. Fischer (2001b). Water-seeded rice cultivars differ in ability to interfere with watergrass. *Agron. J.* 93:326-332.

Irons, S.M. and Burnside, O.C. 1982. Competitive and allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Science* 30:372-377.

Jannink, J.-L., J. H. Orf, N. R. Jordan, and R. G. Shaw. 2000. Index selection for weed suppressive ability in soybean. *Crop Sci.* 40. 1087-1094.

IRRI. 1993. IRRI Rice Almanac International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Jennings, P. R. and R.C. Aquino. 1968. Studies on competition in rice: III. The mechanism of competition among phenotypes. *Evolution* 22:529-542.

Jennings, P. R. and J. DeJesus, Jr. 1968. Studies on competition in rice:I. Competition in mixtures of varieties. *Evolution* 22:119-124.

Jennings, P. R. and R.M. Herrera. 1968. Studies on competition in rice:II. Competition in segregating populations. *Evolution* 22:332-336.

Johnson, D.E., M. Dingkuhn, M.P. Jones and M.C. Mahamane. 1998. The influence of rice plant type on the effect of weed competition on *Oryza sativa* and *Oryza glaberrima*.

Jones, M.P., M. Dingkuhn, G.K. Aluko, and M. Semon. 1997. Interspecific *Oryza sativa* L. x *O. glaberrima* Steud. progenies in upland rice improvement. *Euphytica* 94:237-246.

Jordan, N. 1993. Prospects for weed control through crop interference. *Ecol. Appl.* 3:84-91.

Kawano, K., H. Gonzalez and M. Lucena. 1974. Intraspecific competition, competition with weeds, and spacing response in rice. *Crop Sci.* 14:841-845.

Khush, G. S. 1996. Genetic improvement of rice for weed management. Pages 201-207 in R. Naylor, ed. *Herbicides in Asian rice: Transitions in weed management.* Inst. for Int. Stud., Stanford Univ., Palo Alto, CA and IRRI, Manila Philippines.

Lemerle, D., B. Verbleek, R.D. Cousens, and N.E. Coombes. 1996. The potential for selecting wheat cultivars strongly competitive against weeds. *Weed Res.* 36:505-513.

Merotto Jr, A., Vidal, R. A., Fleck, N. G., Almeida, M. L. 2002. Qualidade da luz como um fator de interferência das plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja e arroz. *Planta Daninha*, 20: in press.

Moncada, P., C.P. Martínez, J. Borrero, M. Châtel, H. Gauch, E. Guimarães, J. Thome, and S.R. McCouch. 2001. Quantitative trait loci for yield and yield components in an *Oryza sativa* x *O. rufipogon* BC2F2 population evaluated in an upland environment. *Theoretical and Applied Genetics* 102, 41-52.

Moody, K. 1996. Priorities for Weed Science Research.. Pages 277-290 in R. E. Evenson, Herdt, R. W. and Hossain, eds. *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*. CAB International, Wallingford, UK. .

Ni, H., K. Moody, R.P. Robles, E.C. Paller and J. S. Lales. 2000. *Oryza sativa* plant traits conferring competitive ability against weeds. *Weed Sci.* 48:200-204.

Ntanos, D.A. and Koutroubas, S.D. 2000. Competition of barnyardgrass with rice varieties. *Zeitschrift für Acker und Pflanzenbau* 184: 241-246.

Olofsdotter, M., Navarez, D., 1996. Allelopathic rice for *Echinochloa crus-galli* control. Proceedings of the Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, pp. 1175-1181.

Pester, T.A., O.C. Burnside and J.H. Orf. Increasing crop competitiveness to weeds through crop breeding. In D. Buhler, ed. *Expanding the context of weed management*. The Haworth Press, pp. 59-76.

Peng, S., Khush, G.S., and Cassman, K.G. 1994. Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential. In: *Breaking the Yield barrier*. Edited by K.G. Cassman. IRRI, Los Baños Philippines. pp. 5-20.

Salonen, J. 1992. Efficacy of reduced herbicide doses in spring cereals of different competitive ability. *Weed Res.* 32:483-491.

Slaton, N.A., Beyrouthy, B.R. wells, B.R., Norman, R.J., and Gbur, E.E. 1990. Rot growth and distribution of two short-season rice Genotypes. *Plant and Soil* 121, 269-278.

Satorre, E.H. and Snaydon, R.W. 1992. A comparison of root and shoot competition between spring cereals and *Avena fatua* L. *Weed Research* 32, 45-55.

Takano, M.; Kanagae, H.; Shinomura, T.; Mikao, A.; Hirochika, H. Isolation and characterization of rice phytochrome A mutants. *Plant Cell*, 13:521:534.

Wall, P. C. 1983. The role of plant breeding in weed management in the advancing countries. *In* Improving weed management. Proc. FAO/IWSS Expert Consultation on Improving Weed Management in Developing Countries. Rome. 6-10 Sept. 1982. FAO, Rome. pp. 40-46.

4º PAINEL – MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS

INTEGRATED WEED MANAGEMENT - MAKING AN OLD CONCEPT PRACTICAL IN TODAY'S WORLD

Jerry Doll¹

Weed science pioneers understood and strongly recommended integrated weed management practices but did not call it by this term. The preventive, cultural and mechanical/physical weed management methods available before the advent of selective herbicides were simply part of a sound cropping systems program. A 1944 extension bulletin from the Univ. of Wisconsin gave these “Ten Commandments” for weed management:

1. Don't let weeds go to seed.
2. Buy only weed-free seeds and feeds.
3. Clean home-grown seeds carefully.
4. Grind or screen weedy feed grains.
5. Don't let machinery spread weeds.
6. Renovate run-down weedy pastures.
7. Use good rotations and cultural practices.
8. Cultivate intensively and use smother crops.
9. Eradicate perennials with sodium chlorate.
10. Eradicate mustard and other broadleaved annuals with Sinox (DNBP).

It is a nice mix of preventive, cultural, mechanical and chemical suggestions and certainly most of these were practiced more routinely then than today.

A return to emphasizing the use of all appropriate weed management practices has occurred but have producers responded? The status of integrated weed management adoption is difficult to determine but clearly we have much work to do in both research and outreach to achieve higher levels of integration. The continued appearance of herbicide resistant weeds is proof of this statement.

Perhaps a useful reference point in discussing integrated weed management is to review the practices used by organic producers. Because they cannot use herbicides, they must employ a diverse and integrated mix of practices to contain weeds. How many of these do we see on most non-organic farms today?

¹ Univ. of Wisconsin, Dept. of Agronomy, Madison, Wisconsin. USA.

- staggered planting dates
- diverse rotations, including forages and at times fallowed land
- row spacing that allows for multiple mechanical weeding operations
- cover crops, allelopathic crops
- hand weeding
- specialized row cultivation tools and attachments
- seed separators on harvest equipment
- innovativeness practices, such as using allelopathic crops
- flame weeding

Sustainable agriculture is a relatively new term. The goal of sustainable weed management is to integrate the appropriate mix of practices into effective, economical and environmentally friendly programs. Long before sustainable agriculture emerged, weed scientists and agricultural educators and consultants encouraged the implementation of cultural, chemical, mechanical and biological controls as components of integrated weed management systems. However, we often find that growers prefer simplicity to complexity. As a way to foster greater understanding and adoption of integrated practices, I propose that we change the name from “integrated” to “diversified” weed management. I believe this will be better understood and producers will, therefore, more seriously consider more holistic systems as they develop their weed management programs. Organic producers use “many little hammers” to keep weeds in check. The monetary and philosophical motivations in organic systems inspire producers to spend considerably more time per unit area to suppress weeds. Nevertheless, the concept of “many little hammers” is one that all producers should consider and implement as possible and practical.

Farm size continues to increase in many regions of the Americas. This disfavors the adoption of diversified weed management programs because producers often seek simplicity over complexity. Particularly in North America, farm survival has focused on efficiency and increasing gross income by farming more land because the profit per hectare has remained steady or declined in many cases. Often the increase in the land base occurs by renting additional fields, not by purchasing them. The increase in land area and the absentee landlord situation work against diversifying and fine-tuning the weed management within a field and in many cases producers with large areas want one basic system that fits many fields. In the process of expansion, employing measures to prevent weed introduction, careful field monitoring, localized weed management (spot treatments, hand roguing, field border mowing/spraying, etc.), detailed weed maps and records, implementing diverse rotations, fine-tuning herbicide rates and selection, and careful attention to resistance management are less likely to be practiced.

Another consequence of renting land is that the visual appearance of the crop during the growing season is perceived to be an important factor in maintaining the land rental agreement with the owner. Weedy fields would be perceived by the land owner to be the result of poor crop management when in reality the appearance of some weeds may be due to the implementation of weed thresholds that indicate the best economic decision is to not control escaping weeds. Such social dynamics that basically establish a weed threshold of zero are difficult to counteract by simply educating producers on the validity of integrating the threshold approach to weed management into their systems.

Integrated pest management emerged in the entomology discipline. The key components of IPM include careful crop/pest monitoring and making management decisions based on economic threshold criteria. For many reasons, few producers use such an approach in weed management. Many weed scientists are working to refine our understanding of the complex weed-crop interactions, particularly at the multispecies level. This will further enhance our ability to predict the impact of weed interference, including effects of this year's decisions on next year's weed and crop conditions.

Weed scientists have worked to adapt the IPM concepts into integrated weed management programs and various computer models have been developed. An example of such an effort is WeedSOFT, a comprehensive computer aided weed management decision support system. Conceived and born in North Carolina as HERB, raised in the state of Nebraska as NebraskaHERB, WeedSOFT has matured into a robust decision-aided program that has been adapted to and adopted in seven Midwestern states of the USA. This program considers soil physical and chemical characteristics, rotational crops, the relative density or number of individual weed species, crop row spacing, relative heights of crops and weeds, effectiveness and cost of available herbicides at conventional and reduced rates, the relative risk of developing herbicide resistance, the impact of selected treatments on the weed seed bank, and whether or not cultivation will be done to predict the impact of escaping or uncontrolled weeds on crop yield and economic returns.

To help growers assess their level of using integrated measures, we developed an IPM scorecard (Anon. 2001). This instrument asks producers to think of their weed management practices and consider ways they could modify their production practices to achieve more holistic and sustainable systems. Each question has several options to choose from and each option has a point value. The points increase as the practice is more integrated or sustainable. For example, producers consider this question:

You generally plant corn:

- a. in the same field every year - 3 points
- b. on a two-year rotation with another crop + 2 points
- c. on a three-year rotation with other crops + 6 points
- d. on a four-year or more rotation + 8 points

As you can see, there is a significant value in the cultural practice of crop rotation as a component of integrated weed and pest management. Other questions are more directly related to weed management. For example:

Do you rotate herbicide modes of action to avoid resistance development?

- a. no 0 points
- b. yes + 6 points

Other questions ask about sprayer calibration, herbicide selection criteria, spray tank cleaning, mechanical weeding practices, preventing the spread of weeds, weed maps and weed monitoring practices. Growers total the points and are then told where they fall on a scale of low or high levels integration. This serves as a base line for similar assessments in future years.

Some changes in weed management bring with them a more integrated system. The labeled rates of herbicides are designed to control weeds in a wide and diverse set of environments. Once producers understand the principles of controlling weeds with lower rates, they can consistently achieve excellent control. The basic principles of using reduced rates differ between preemergence and postemergence herbicides. Applying reduced rates of preemergence products means that weed control will decline sooner than normal. The producer's response to this situation is to mechanically cultivate or use other means to compensate for the shorter duration of control.

For postemergence products, the key to successfully lowering the use rate is to treat weeds when they are relatively small and when the environmental conditions are favorable for rapid growth and development. Because postemergence herbicides in North America are relatively cheaper than soil applied products and because it isn't possible to treat large areas when weeds are relatively small, producers have shown less interest in using reduced rates of postemergence products. In soybean, we face the added fact that most this crop is usually planted in narrow rows which eliminates the possibility of row cultivation and producers fear that an earlier application than usual may require a second treatment. If true, then the total cost is considerably more than using the normal rate once.

In Wisconsin, we have worked extensively with maize producers and have consistently demonstrated the practicality and low risk nature of using

20 to 50% less preemergence herbicide and then cultivating once when maize is 30 to 40 cm tall. Beyond this point in time, the crop canopy will provide sufficient shade to minimize the appearance of new weeds. For producers who already use row cultivation after planting, this requires no changes in practices at all. For those with minimal weed seed bank populations, the risk of failure is low. By promoting reduced rates, we are also promoting integrated weed management because growers must use mechanical weeding to complement this practice, especially with soil-applied products. However, reduced rates will not perform well on perennial species nor on weeds that are hard to control with conventional rates.

We have also discovered that reduced rates of some postemergence products are highly effective on *Elytrigia repens* (quackgrass). The initial recommended rate of glyphosate to control this perennial grass was 1.7 kg ae/ha. The current recommended rate is 0.85 kg ae/ha if applied in reduced water volumes of 100 L/ha or less of water. We also found that nicosulfuron consistently controls quackgrass in maize at half the labeled rate, even without a subsequent cultivation. In contrast, primisulfuron did not give full season quackgrass control unless a cultivation followed the application of a half rate.

Cash grain producers should strive to have more weed suppressing potential and impact from their cropping system. Perhaps we should challenge them to reach the point often seen in well managed forage fields and pastures (Figure 1). Once established, we seldom need to use herbicides in forages and pastures because the work horse is the competitive stand of legumes and/or grasses that usually maintain the upper hand.

Good Management Gives 90 % of Your Forage and Pasture Weed Control

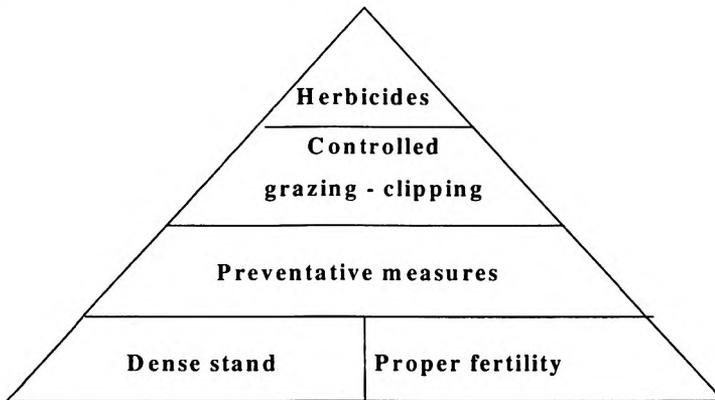


Figure 1. An illustration of how integrating cultural and mechanical practices into well-managed and established forages and pasture systems minimize the need for herbicides.

A recent book chapter, "Development of Weed IPM: Levels of Integration" (Cardina et al, 1999), describes the challenge of moving through five levels of integration:

1. The weed control level - what kills this weed?
2. The weed management level - can we coordinate the use of multiple tools to prevent economic losses due to weeds?
3. The cropping systems level: can seed banks be reduced? Can we limit the spread of weeds across the landscape? What is the best mix of crops to grow?
4. The landscape and regional level: what are the downstream effects of management practices? How are communities affected? Can we minimize new and herbicide resistant weeds at these levels?
5. The agro-eco region level: regional and global impacts on weeds such as climate changes, international trade, etc.

Some of these concepts and questions are similar to those posed by Radosevich et al. (1997) in the book, "Weed Ecology." The following table (adapted from Table 2.2, p. 49 of the book) gives the key concepts for the industrial, current IPM and agroecological approaches to pest management.

We can certainly consider them from a weed management perspective to assess where we are on the spectrum of integration.

Table 1. A comparison of three approaches to pest management.

	Industrial	IPM	Agroecology
Goal	Eliminate/ reduce pest	Maximum \$	Several economic, social & ecological goals
Target	Single pest	Several pests	Fauna/flora of an area
Principle method	Pesticide	Prevention, scouting multiple strategies	System to minimize outbreaks; mixed strategies
Diversity	Low	Low to medium	High
Spacial scale	Field	Farm or region	Agrogeographpic region
Time frame	Now	Season	Long-term
Research goal	Better pesticide	Better systems	Minimize need to intervene

How can we enhance the adoption of more diversified weeding systems? Will we be able to make the “carrot” look sufficiently attractive on the merits of primarily long-term benefits (more sustainable systems that are more environmentally friendly, keeping seed banks low, preventing weed shifts or resistance development, etc.)? Or should we look to government policies that penalize producers who do not rotate herbicide modes of action, do not have diversified rotations, do not make decisions based on timely and regular field monitoring? Or do only farmers who have and implement and integrated weed management program receive government support? Only time will tell.

References

Anonymous. 2001. Pest Management Assessment for Field Corn. Univ. Wisconsin. Integrated Pest Management Program. 12 pages.

Cardina, J., T.M. Webster, C.P. Herms and E.E. Regnier. 1999. Development of weed IPM: Levels of integrations for weed management. *In*: D.D. Buhler, ed. Expanding the Context of Weed Management. Binghamton, NY: Hawthorne Press. pp. 239-268.

Radosevich, S., J. Holt and C. Ghera. 1997. Weed Ecology: Implications for Management. 2nd edition. John Wiley & Sons. New York. 589 pages.

Schwendimann, A. and G. Briggs. 1944. Fight weeds - it will pay. 1944. Univ. of Wis. Agricul. Exten. Ser. Bull. 345. 12 pages.

WeedSOFT. 2002. Software program available from <http://weedsoft.unl.edu>.

4º PAINEL – MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS

Ecophysiological models as a tool for developing integrated weed management

Lammert Bastiaans¹
D.T. Baumann²
M.J. Kropff¹

Summary

Sustainability in agricultural production systems demands for weed management with a reduced dependency on herbicides. This can only be realised if suitable alternative weed management options, be it preventive measures or curative weed control techniques, are available. Insight in processes related to crop-weed interactions and weed population dynamics might help in the development of preventive measures and to identify new opportunities for weed control. Furthermore this insight can be used to improve operational and tactical decision-making and to design and explore long-term strategies for weed management. The complexity of the processes involved in crop-weed interactions and the long-term character of weed population dynamics hints at the use of simulation models. In this paper the contribution of crop-weed competition models to the development of sustainable agriculture by improving present-day weed management systems is illustrated and discussed.

Introduction

Before the introduction of herbicides, weed management was one of the major factors determining the design of cropping systems in most agricultural systems. Crop management practices were adjusted such that crop-weed interactions were altered to the benefit of the crop. These cultural methods included some of the oldest weed control practices, such as transplanting of rice. The systematic use of herbicides had a major influence on the perception of the weed problem. Weeds came to be regarded as solvable side problems rather than being regarded as an important factor in

¹Crop and Weed Ecology Group, Department of Plant Sciences, Wageningen University and Research Centre, P.O. Box 430, 6700 AK Wageningen

²Swiss Federal Research Station for Fruit-Growing, Viticulture and Horticulture, P.O. Box 185, CH-8820 Wädenswil, Switzerland E-mail: lammert.bastiaans@wur.nl

the design of cropping systems. The introduction of herbicides has therefore been one of the major factors enabling intensification of agriculture. Currently, concerns on environmental side-effects of herbicides combined with fear for public health has resulted in the banning of several herbicides and an increasing pressure on farmers to reduce the use of chemical means. This has led to the need for development of strategies for integrated weed management (IWM). In line with this, increased interest has been devoted to non-chemical control strategies, which might be made more effective than in the past by combining the former holistic approach, with improved knowledge on the eco-physiology of crops and weeds.

Weed management aims at reducing the negative effect of weeds on crop production. Using the hyperbolic yield loss-weed density curve as a basis, Figure 1 outlines the various ways in which this can be achieved. Fig. 1a represents curative weed control, where weed seedlings are killed through for instance a herbicide treatment or a mechanical intervention. For prevention, three key mechanisms can be distinguished: a reduced recruitment of seedlings from the soil seed bank (1b); an alteration of crop-weed competitive relations to the benefit of the crop (1c); and a reduction of the weed seed bank (1d). This last option corresponds to a long-term strategy, realised by various interventions in all possible life cycle stages of the weed that ultimately result in a reduced input or increased output of seeds from the soil seed bank. The use of a cover-material, like mulches, might result in a reduced recruitment of seedlings, either through physical impediment or phyto-toxic (allelopathic) effects. An improved competitiveness of the crop can be realised in many different ways, like transplanting, the use of competitive cultivars, an increased sowing rate, and a more uniform spatial arrangement of the crop.

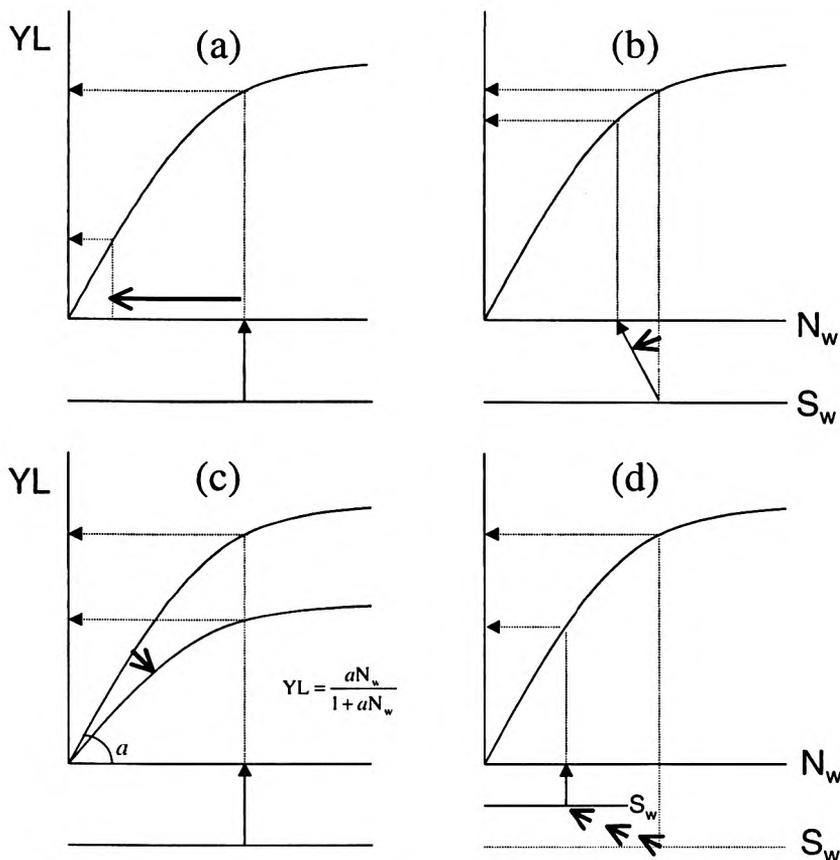


Figure 1. The hyperbolic yield loss-weed density relation used to illustrate various options for reducing yield loss due to weeds. (a) Killing or removal of weed plants; (b) reduced recruitment of weeds from the seed bank; (c) alteration of crop-weed competitive relations; (d) gradual reduction or depletion of the weed seed bank. Thick lines represent the major effect of a specific intervention (YL = relative yield loss due to weed competition; S_w = seed bank density; N_w = weed plant density).

In Fig. 2 a simplified scheme for the relations between weed problems and weed management options is presented. If only the short-term perspective is considered, decision making mainly involves operational decisions on if, when, where and how weeds should be controlled. For this type of questions quantitative insight into crop-weed interactions is highly relevant, when another threshold than zero is used. If weed problems are examined on a

longer-term perspective, the first step in the decision making process deals with strategic decisions, which set the framework for tactical and operational decisions. Apart from the effect of the weeds in the present crop, the potential consequences for future crops are accounted for. For such considerations knowledge on the dynamics of weed populations in space and time becomes pertinent. Irrespective of the time dimension of the analysis, it is clear that attempts to reduce the present dependency on herbicides should focus on (i) prevention, on (ii) the development of better curative control techniques and on (iii) better long- and short-term decision making. This becomes even more important when precision farming techniques enable us to control weeds site and development stage specifically. Quantitative insight into both crop-weed interactions and the dynamics of weed populations in space and in time forms the basis for

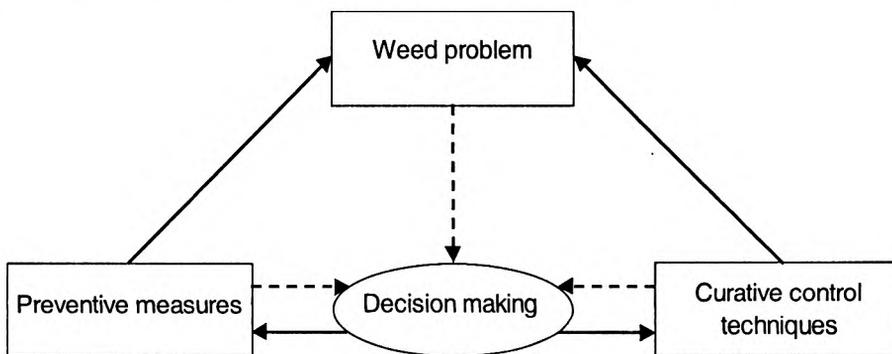


Figure 2. A simplified schematic representation of the relations between weed problem and options for weed control. Weed management can be enhanced through improved preventive and curative control measures or improved decision making. Broken lines represent flows of information, solid lines indicate operations.

such explorations of opportunities to improve weed management. Because of the complexity of the processes and the long-term aspects in population dynamics, models are required to obtain such quantitative insight and to make the knowledge operational.

This paper describes how models can be used to analyse crop-weed competitive relations and how these analyses might be used to design improved weed management systems that add to the development of more sustainable agricultural production systems.

Integrating ecophysiological understanding of crop-weed interactions

Competition is a dynamic process that encompasses the capture and utilisation of shared resources (i.e. light, water, nutrients) by the crop and its associated weeds. In case of crop-weed competition, focus is on the effect of resource capture by weeds on crop growth and production. Those resources of which supply cannot meet demand are of major interest, as they determine the attainable yield of the crop. If weeds capture such resources, crop growth will be reduced resulting in yield loss. Quantitative understanding of crop-weed interactions seems a solid basis for the improvement of weed management systems in different ways. Ecophysiological models that simulate the uptake and use efficiency of resources by the competing species provide insight into the outcome and the dynamics of competition and may aid in seeking options to manipulate competitive relations in agro-ecosystems.

The ecophysiological crop-weed competition model INTERCOM, described by Kropff and Van Laar (1993) consists of a set of individual growth models (one for each competing species), that calculate the rates of growth and development for species based on environmental conditions (Fig. 3). The growth models are expanded to account for morphological processes that are only relevant in competition situations and coupled to account for the simultaneous absorption of available resources by the different species in a mixed vegetation. Under favourable conditions, light is the main factor determining the growth rate of the crop and its associated weeds. In INTERCOM, the quantity of photosynthetically active radiation absorbed in mixed canopies by each species is a function of the amount and vertical distribution of photosynthetic area within the canopy, and the light extinction coefficient of the species. A water balance for a free draining soil profile is attached to the model, tracking the available amount of soil moisture during the growing season. When available soil moisture drops below a critical level, transpiration and growth rates of each species are reduced. Since transpiration is driven by the absorbed amount of radiation and the vapour pressure deficit inside the canopy, competition for water is closely linked to aboveground competition for light. The more light a species absorbs, the more water is required for transpiration. Direct competition for water as a result of differences in rooting density is not accounted for. An extension of the model for simulation of competition for nitrogen has been described, but has not yet been implemented.

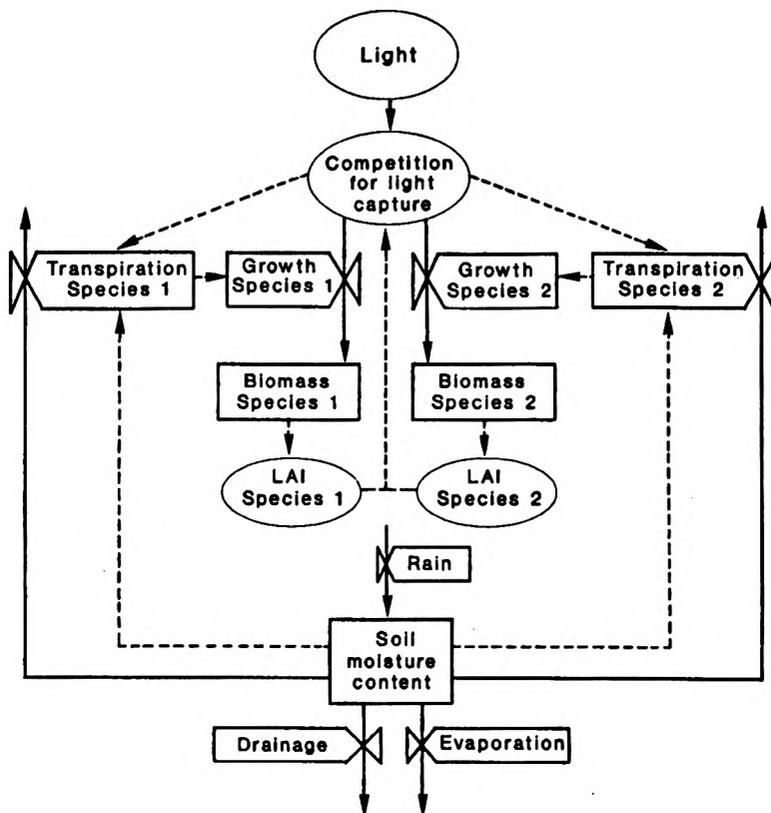
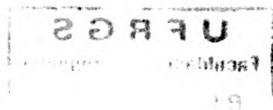


Figure 3. General structure of the eco-physiological model for interplant competition (INTERCOM).

The ecophysiological competition model has been tested with data from various competition experiments like maize (*Zea mays* L.) versus yellow mustard (*Sinapis arvensis* L.) and barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.), tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) versus pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) and eastern black nightshade (*S. americana*), sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) versus fat hen (*Chenopodium album* L.) and rice versus *E. crus-galli*. The results of these studies indicate that interplant competition for light and water can be well understood from the underlying physiological processes. The main gaps in knowledge are related to morphological development and especially the phenotypic plasticity of weeds with respect to these morphological features (e.g. Caverro et al., 2000). *C. album* for example demonstrated an impressive capacity to overtop a sugarbeet crop



in spite of an unfavourable starting position due to late weed emergence by minimising its specific stem length.

Applications of crop-weed competition models can be found in the analysis and extrapolation of experimental data. Other examples are the analysis of the impact of sub-lethal control measures (like low-dosages of herbicides and bio-herbicides), the development of new simple predictive models for yield loss due to weeds, the design of new plant types for weed suppression and optimisation of intercropping systems. Some of these applications will be briefly discussed.

Development of tools for early-season prediction of yield loss due to weeds.

The most widely used regression model to describe effects of weed competition on crop production is the hyperbolic yield-loss weed density model (Cousens, 1985):

$$Y_L = \frac{aN_w}{1 + \frac{a}{m} N_w} \quad (1)$$

where Y_L gives the yield loss, N_w is the weed density, a describes the yield loss per unit weed density as $N_w \rightarrow 0$ and m represents the maximum yield loss. This hyperbolic yield-density equation fits well to data from experiments where only weed density is varied. However, parameters a and m are not constant for a specific crop-weed combination, but vary strongly from site to site and year to year. This instability is due to the effect of factors other than weed density on the competitive relationship between crop and weeds. Experimental results and analyses with the ecophysiological model identified the prominent role of the period between crop and weed emergence on the outcome of competition. This indicates that a more robust prediction of yield loss on the basis of early observations would only be feasible if this factor would be accounted for. For this purpose, some workers introduced an additional variable in the hyperbolic yield-density equation that represents the effect of differences in the period between crop and weed emergence. However, in practice weeds often emerge in successive flushes, making it difficult to apply a descriptive model that accounts for the effect of both weed density and the relative time of weed emergence: every flush has to be regarded as if it was a different weed species.

Supported by the analyses of an ecophysiological model for competition and based on the well-tested hyperbolic yield-density model, an alternative

descriptive regression model for early prediction of crop losses by weed competition was derived (Kropff & Spitters, 1991). This model relates yield loss to relative weed leaf area (L_w expressed as the share of the weed species in total (crop and weed) leaf area) shortly after crop emergence, using the 'relative damage coefficient' q as the main model parameter next to the maximum yield loss m :

$$Y_L = \frac{qL_w}{1 + \left(\frac{q}{m} - 1\right)L_w} \quad (2)$$

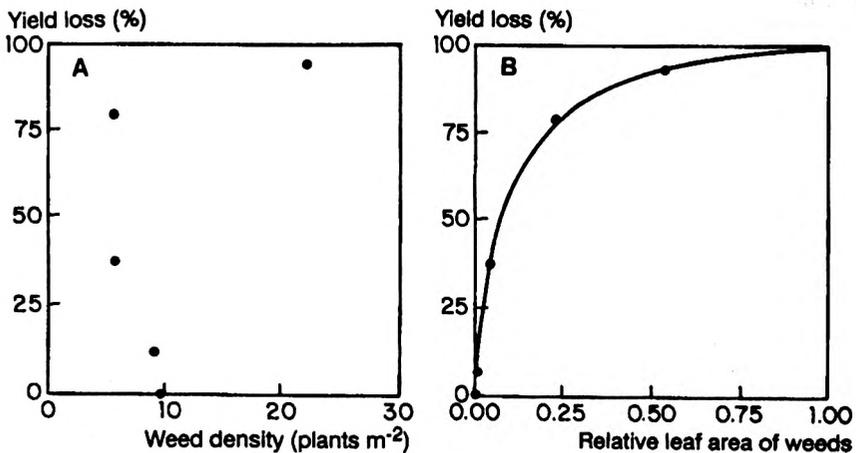


Figure 4. (A) Relationship between weed density and yield loss for five field experiments with sugar beet and *Chenopodium album*; (B) relationship between relative leaf cover of the weeds 30 days after sowing and yield loss for the same five experiments (Kropff and van Laar, 1993).

Because leaf area accounts for density and age of the weeds, this regression model accounts for the effect of weed density and the effect of the relative time of weed emergence. The example in Fig. 4 clearly demonstrates the superiority of relative weed leaf area over plant density as an explanatory variable in descriptive yield loss models, especially if results from more than one site and year are simultaneously examined. However, a simple model like this, of course, can not explain the complexity of effects of environmental factors on yield loss by weeds. Lotz *et al.* (1996) found that the relative leaf area model was superior to the density model but could not explain yield loss differences across sites exactly.

Designing cultivars that are more competitive against weeds

The development and introduction of crops or cultivars with an improved competitive ability might help reduce the present dependence on herbicides. Procedures for selecting genotypes with an improved competitive ability can be categorised into two main classes. One involves direct selection of genotypes in the presence of weeds. This type of selection can only be applied in the later stages of a breeding program when sufficient seed is available. Furthermore, experimental analysis of the competitive ability of a wide range of genotypes is very labour intensive and expensive. Indirect selection is an alternative in which selection is aimed at attributes, such as plant height, that are associated with competitive ability. Selection can thus be started early in the breeding program and can be carried out in the absence of weeds. Traits contributing to competitive ability need to be identified prior to the actual selection, and the contribution of different traits and their trade-off with yielding ability should be determined. This is where ecophysiological models for crop-weed interactions can contribute.

Bastiaans et al. (1997) discussed the usefulness and limitations of ecophysiological competition models in designing more competitive cultivars, using rice as an example. Differences in competitive ability between two contrasting rice cultivars (IR8 and Mahsuri) were experimentally determined at the lowland research site of the International Rice Research Institute (IRRI) in Los Baños, Philippines. Mahsuri is a native cultivar that originates from Malaysia. It is a late-maturing, tall growing cultivar, with fast growth at early stages. IR8 is the first IRRI-bred semi-dwarf rice cultivar. It is a medium-maturing cultivar, with low stature and a high harvest index relative to Mahsuri. Both cultivars were grown in monoculture for quantification of various phenological, physiological and morphological traits, which were then translated into parameters that fit into INTERCOM. In monoculture IR8 had a lower shoot dry weight (-15%), but a higher grain yield (+36%) than Mahsuri. Growing the cultivars in competition with purple rice, which was used as a model-weed, and comparing the performance of cultivars in mixture and monoculture was used to determine the competitiveness of each cultivar. In mixture, dry matter production of IR8 was far more affected than the dry matter production of Mahsuri, demonstrating the higher competitive ability of the latter cultivar. The accurate simulation of competitive ability of both cultivars indicated that the observed differences in phenology, physiology and morphology between both cultivars were able to explain their differences in competitive ability (Fig. 5). Analysing the experimental results with the help of INTERCOM resulted in an estimation of the contribution of various traits to overall competitive ability. The importance of each trait was determined by constructing hypothetical isolines of IR8; for each isoline the original value of a single trait of IR8 was replaced by the

value measured for Mahsuri. Model analysis revealed that the greater competitive ability of Mahsuri was mainly due to a greater relative growth rate of leaf area early in the season and larger maximum plant height.

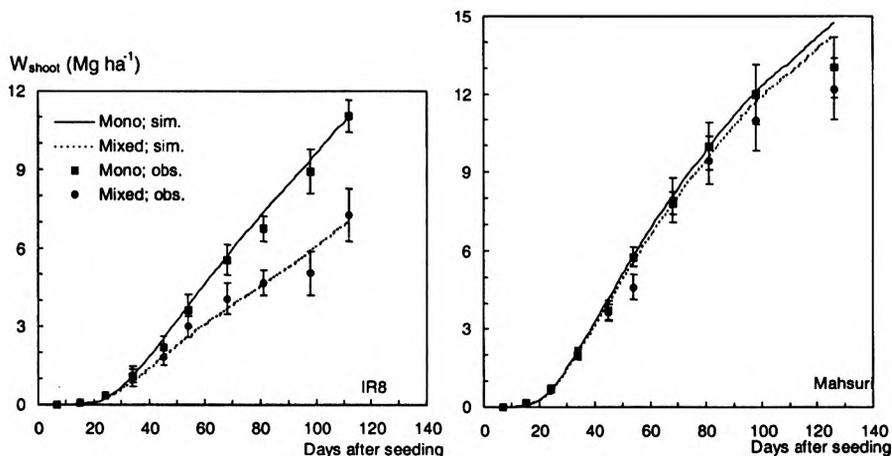


Figure 5. Observed and simulated shoot dry weight (W_{shoot}) of rice in monoculture or in mixture with purple rice for IR8 and Mahsuri rice. Vertical bars represent standard errors of the mean (Bastiaans et al., 1997).

Competitive ability of rice has often been reported to be negatively correlated with yield potential and the presently used cultivars confirmed this finding; Mashuri, being the cultivar with the highest competitive ability, was lower yielding than IR8. INTERCOM was used to estimate the trade-off between competitive and yielding ability by quantifying the effect of single traits on both yielding (simulations in weed-free conditions) and competitive ability (simulations in weedy conditions). This approach demonstrated for instance that a more or less identical increase in the ability to suppress weeds could be obtained through an increase in either specific leaf area or light extinction coefficient. Under weed-free conditions, grain yield responded quite different to an increase in one of those traits. An increase in light extinction coefficient caused a poor light penetration and poor distribution of radiation within the canopy, resulting in a reduced radiation-use efficiency and accordingly in a decrease in simulated grain yield. An increase in SLA on the other hand, led to earlier canopy closer and accordingly to an increase in simulated grain yield. This example shows that trade-off between competitive and yielding ability differs per trait and

moreover that the model is an appropriate tool for designing competitive, high-yielding ideotypes.

Cash crops as cover crop

Many field vegetables such as leek (*Allium porrum* L.) are weak competitors against weeds, causing high costs for labour intensive weed management practices. An intercropping system using celery (*Apium graveolens* L.) as a companion cash crop was developed to improve the weed suppression of leek (Baumann et al., 2000). In glasshouse and field experiments it was shown that the increased competition of light by the intercrop canopy compared to a leek monoculture significantly reduced the biomass and the seed production of late-emerging *Senecio vulgaris* L., an important annual weed in vegetable production (Baumann et al., 2001a). Analysis using an eco-physiological competition model showed that intra- and interspecific competition in the intercropping system was largely determined by the morphological characteristics of the species. Next a methodology was developed with the objective to utilise the competition model for the design of a leek-celery intercropping system with high potential for yield, quality and weed suppressive ability.

An adapted version of the eco-physiological competition model INTERCOM was used to simulate interplant competition between leek, celery and *S. vulgaris* in pure and mixed stands for various conditions and a wide range of crop densities and different relative times of weed emergence (Baumann et al., 2002). After calibration of the eco-physiological competition model with data from monocultures, simulations for the intercrop resulted in accurate predictions of leek and celery biomass and quality and *S. vulgaris* biomass. Moreover a high correlation between number of seeds and above-ground per plant dry weight of *S. vulgaris* was found (Baumann et al, 2001a).

With non-linear regression using a hyperbolic yield-density model (Spitters, 1983) it was shown that the relative competitive ability of leek versus late-emerging *S. vulgaris* was clearly lower than the relative competitive ability of celery. Increasing the proportion of celery in the crop mixture would thus result in an improved weed suppressive ability of the intercrop, but at the same time cause a severe reduction in the quality of leek. It was found that the stem diameter of leek appeared to be the limiting factor for crop quality in the optimisation process; celery plants of sufficient size could be produced at a much wider range of density combinations. By plotting the isoline for crop mixtures producing a leek-stem diameter of 20 mm a solution space indicating crop stands with acceptable quality was determined (Fig 6a). By combining isolines for financial yield with the quality isoline for leek the mixture with the highest financial yield was determined. For the intercropping

system with 19 leek and 9.4 celery plants m^{-2} , indicated by the point where the isoline for financial yield touches the leek quality isoline (Arrow, Fig. 6b), the financial yield was 7% higher than for the highest yielding leek monoculture and 9% higher than the maximum financial yield of a celery monoculture. The effect of this cropping system on the reproductive potential of 50 *S. vulgaris* plants m^{-2} , emerging 40 days after crop establishment, is indicated by a third set of isolines (Fig 6c).

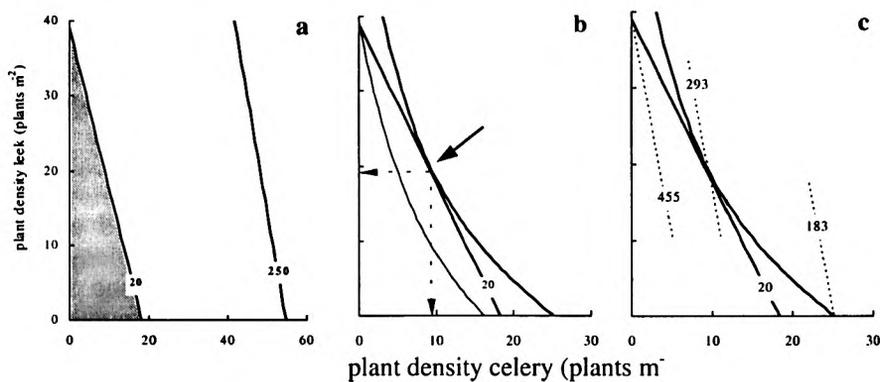


Figure 6. Isolines for crop stands producing (a) leek (minimum quality: 20 mm stem diameter) and celery (minimum celery quality: 250g fresh plant weight) with marketable quality; (b) maximum financial yield (arrow) and crop mixtures with financial yield similar to the highest yielding leek monoculture (thin line); and (c) combined isolines for minimum required leek quality, financial yield and seed production of *S. vulgaris* (seeds m^{-2} ; dotted lines). The hatched area indicates the solution space for crop mixtures with marketable yield for both leek and celery.

Lower densities are usually planted in practice to ensure high plant quality and to enable efficient and labour-saving cultivation and harvesting processes. It was clearly shown that the intercropping system of leek and celery contributes to an improvement of the economical potential of a highly developed agricultural production system. At the same time the sustainability of the system was improved by reducing the need for labour and cost intensive weed control measures and environmental exposure to potentially harmful chemicals.

Long term-aspects and strategic decision making

Late-emerging weeds, though not very competitive, are likely to become a more important component in the long-term development of weed

populations in future. Particularly in weed management systems that do not rely on herbicides, seed production of late-emerging weeds represents an important determinant in population development. Firstly, because mechanical weed control, often used as an alternative to chemical weed control, induces weed emergence flushes late in the season. Secondly, because in low-chemical input systems the density of the weed seed bank largely determines the amount of time, labour and money spent on weed control. A clear example comes from the Netherlands where an innovation project for arable and vegetable farming was conducted as a joint activity of the DLO-Institute for Agrobiological Sciences and Soil Fertility in Wageningen and 10 organic farms in the central clay area in the Netherlands. A multifunctional 6-year crop-rotation model was designed as a basis for achieving objectives related to various matters such as soil fertility and the environment, product quality, economics, and energy efficiency. The multifunctional crop rotation involved developing a well-balanced “team” of crops so that inputs necessary to maintain soil fertility and crop health could be minimised. With respect to weed management, an alternation of highly competitive mown crops (e.g. cereals) with less competitive lifted row crops (e.g. carrot, onion) was expected to have benefits for weed management in the row crops. Because of the alternation of crops, the cultivation method would change with each crop, achieving as complete a pressure as possible on the weeds. This, strengthened with the intrinsic competitive ability of the mown crops, was expected to suppress reproductive output and lead to low equilibrium densities of weeds.

Evaluation of this concept at the organic farms showed that weeds remained one of the major problems. For adequate management of the weeds, the hours of hand weeding varied between 490 and 3100 hours per farm, mainly spent in carrot and onion, whereas 500 hours per farm had been set as the target. A detailed survey revealed that a shift in weed flora composition had occurred on organic farms, and weeds such as *Stellaria media* (L.) Vice, and to a lesser extent *Poa annua* L. and *Capsella bursa-pastoris* (L.) Med., had become major constituents. Furthermore, the survey showed that the enormous amount of hand weeding in crops like onion and carrot was mainly caused by seed production of poorly competing, hardly detrimental, weeds down in the canopy of the preceding cereal crop. This example clearly illustrates that in cropping systems that do not rely on herbicides, long term aspects and particularly the population dynamics of weeds becomes increasingly important. Rather than for their immediate effect on grain production, weeds in the cereals should be regarded for their seed producing-potential. Consequently, more attention should be given in crop-weed interaction research to the effect of the crop on growth and development of the weed (e.g. Mortensen et al., 2000).

An important role of crop-weed competition models in the future might thus be to support models of weed population dynamics, mainly through generating adequate quantitative information on weed seed production. Particular interest will be in weeds that grow under high levels of competitive stress; not being harmful for the current crop, but a potential threat for future crops through their reproductive output. Weeds growing under these circumstances generally demonstrate a high level of plasticity, mainly in morphological adaptations such as an increased allocation of dry matter to the leaves, an increased specific leaf area, and a more skewed vertical leaf area distribution (e.g. Bastiaans and Drenth, 1999; Cavero et al., 2000). In the current version of INTERCOM, most processes related to the morphological development of weeds are introduced in a dynamic, but descriptive way. Dry matter allocation patterns for instance are introduced as a function of the phenological development stage of the species, but are not related to the level of competitive stress experienced by the weeds.

Epilogue

For the development of weed management systems, which are effective at minimum cost, safe for the environment and adaptable to individual situations, an integrated weed management approach has to be developed. Options to improve weed management systems with a minimum herbicide use exist in all its components: prevention, decision-making and control technology (Fig. 2). Future research should focus both on technology development as well as on prevention, and operational and strategic decision making. Quantitative insight in weed ecology and crop-weed interactions is essential for that purpose and further increase of eco-physiological insight in these processes as well as integration of this knowledge in manageable models should be one of the main targets for future weed ecological research.

Ecophysiological models for interplant competition were first developed in the early 1980s to obtain a better understanding of the harmful effect of weeds on crop productivity. Initially, the models were used for the construction of more robust damage relationships to support rational decision making on the use of herbicides. However, soon it was realised that such comprehensive models are inappropriate for prediction purposes due to their large input requirements. The strength of these models is their ability to analyse crop-weed subsystems, and therefore they have great potential to contribute to the identification and evaluation of tactical and strategic options for improving current weed management. Models are never complete and should continuously be updated and improved to meet the needs for newly defined applications. Some of the current needs are a better mechanistic understanding of early growth. This is particularly relevant since alteration of

crop-weed competitive relations to the benefit of the crop holds huge potential as a major component of an integrated weed management strategy. Competitive relations are largely determined early in the growing season, and therefore an accurate simulation of early growth seems crucial for evaluation of the various options (e.g. competitive cultivars, increased sowing rate).

Also more attention should be given to the accuracy with which growth, morphological development and seed production of weed species are being simulated, as the long term development of weed populations is particularly important in systems with a reduced reliance on chemical control. In this way a functional link will be established between crop-weed competition research and research on weed population dynamics. Continuous interaction between modelling and experimental research will help determine the required level of detail in crop-weed competition models and will also provide leads for focusing future weed ecological research.

Relevant literature

Bastiaans, L., M.J. Kropff, N. Kempuchetty, A. Rajan & T.R. Migo, 1997. Can simulation models help design rice cultivars that are more competitive against weeds? *Field Crops Research* 51, 101-111.

Bastiaans, L. & H. Drenth, 1999. Late emerging weeds; phenotypic plasticity and contribution to weed population growth. In: *Proceedings of the 11th EWRS Symposium*, Basel: 3

Bastiaans, L., M.J. Kropff, J. Goudriaan & H.H. van Laar, 2000. Design of weed management systems with a reduced reliance on herbicides poses new challenges and prerequisites for modeling crop-weed interactions. *Field Crops Research* 67, 161-179.

Bastiaans, L., H.H. van Laar & M.J. Kropff, 2000. Modelling interactions: developments and applications. In: *Abstracts of the 3rd International Weed Science Congress*, 6-11 June 2000, Foz do Iguaçu, Brasil: 71.

Bastiaans, L., R. Paolini & D.T. Baumann, 2002. Integrated Crop Management: Opportunities and limitations for prevention of weed problems. In: *Proc. 12th Symposium European Weed Research Society*, Wageningen 24-27 June 2002; pp. 8-9.

Baumann, D.T., M.J. Kropff & L. Bastiaans, 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. *Weed Research* 40, 359-374.

Baumann, D.T., L. Bastiaans & M.J. Kropff, 2001a. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late-emerging *Senecio vulgaris* L., with special reference to competition for light. *Annals of Botany* 87, 209-217.

Baumann, D.T., L. Bastiaans & M.J. Kropff, 2001b. Competition and crop performance in a leek-celery intercropping system. *Crop Science* 41, 764-774.

Baumann, D.T., L. Bastiaans, J. Goudriaan, H.H. Van Laar & M.J. Kropff, 2002. Analysing crop yield and plant quality in an intercropping system using an eco-physiological model for interplant competition. *Agricultural Systems* 73, 173-203.

Baumann, D.T., L. Bastiaans & M.J. Kropff, 2002. Optimization of weed suppression, yield and quality in an intercropping system. In: Proc. 12th Symposium European Weed Research Society, Wageningen 24-27 June 2002, pp. 12-13.

Cavero, J., C. Zaragoza, L. Bastiaans, M.L. Suso & A. Pardo, 2000. The relevance of morphological plasticity in the simulation of competition between maize and *Datura stramonium*. *Weed Research* 40, 163-180.

Cousens, R, 1985. An empirical model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. *J. Agric. Sci.* 105, 513-521.

Kropff, M.J. & C.J.T. Spitters, 1991. A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. *Weed Research* 31, 97-105.

Kropff, M.J. & H.H. van Laar, 1993. *Modelling Crop-Weed Interactions*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 274 pp.

Kropff, M.J. & L. Bastiaans, 1997. Advances in weed-crop ecophysiological research and their contributions towards attaining sustainability in agricultural production systems. In: *Integrated weed management towards sustainable agriculture*. Ed. A. Rajan. Proceedings of the Sixteenth Asian-Pacific Weed Science Conference (APWSS), Malaysian Plant Protection Society, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.14-22.

Kropff, M.J., L. Bastiaans & L.A.P. Lotz, 1998. Systems approaches in weed management and the design of weed suppressing crop varieties. In: Report of the Expert Consultation on Weed Ecology and Management. Rome, 22-24 September 1997. Plant Production and Protection Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, Rome), pp. 79-92.

Kropff, M.J. L. Bastiaans & R.D. Cousens, 1999. Approaches used in the prediction of weed population dynamics. In: The Brighton Conference – Weeds, 15-18 November 1999, British Crop Protection Council, Farnham, UK. Conference Proceedings Volume 2, pp. 399-408.

Kropff, M.J., D.T. Baumann & L. Bastiaans, 2000. Dealing with weeds in organic agriculture: Challenge and cutting edge in weed management. In: IFOAM 2000 - The world grows organic. Eds T. Alföldi, W. Lockeretz & U. Niggli. Proceedings 13th International IFOAM (Int. Federation of Organic Agriculture Movements) Scientific Conference, 28-31 August 2000, Basel, pp. 175-177. (ISBN 3 7281 2754 X)

Lotz, L.A.P., S. Christensen, D. Cloutier, C. Fernandez Quintanilla, A. Légère, C. Lemieux, P.W. Lutman, A. Pardo Iglesias, J. Salonen, M. Sattin, L. Stigliana & F. Tei, 1996. Prediction of the competitive effects of weeds on crop yields based on the relative leaf area of weeds. *Weed Research* 36, 93-101.

Mortensen, D.A., L. Bastiaans & M. Sattin, 2000. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research* 40, 49-62.

Spitters, C.J.T., 1983. An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. 1. Estimation of competition effects. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 31, 1-11.

3º PAINEL – INTEGRAÇÃO HERBICIDAS X AMBIENTE

ENVIRONMENTAL IMPACT OF HERBICIDE-RESISTANT *BRASSICA NAPUS* (CANOLA) IN CANADA

L. M. Hall¹, K. Topinka¹,

Herbicide resistant *Brassica napus* has been widely adopted since its introduction in 1996. It was sown on over 80% of the canola area cropped in western Canada in 2002. Potential environmental risks have been examined, including herbicide resistant gene movement between species and between types of canola, and the effect of modified herbicide use patterns and agronomic practices. Cruciferous weeds, *B. rapa*, *Raphanus raphanistrum*, *Erucastrum gallicum* and *B. kaber*, with some potential to introgress, co-exist in or adjacent to *B. napus* crops. Screening has not yet detected herbicide resistant weed biotypes conferred by introgression. However, herbicide use has already selected many resistant and multiple herbicide resistant weed species in western Canada. The risk of introgression of herbicide tolerant genes into weedy biotypes must be viewed in relation to risk of natural selection. Depending on the species, weed density and herbicide, risk of natural selection may be higher than from introgression. *B. napus* has approximately 20% out-crossing rates and volunteer multiple herbicide resistant *B. napus* due to gene movement via pollen have been identified in farm fields. Control of volunteer *B. napus* prior to and in subsequent crops has therefore become more complex. However, total herbicide use has declined in herbicide resistant canola, an estimated reduction of 6,000 tonnes in each of 1999 and 2000, with a consequent reduction of 40% in herbicide costs. Reduced tillage for weed control and incorporation of soil-applied herbicides in herbicide resistant *B. napus*, resulted in 31.2 million liters less fuel used in 2000. Additionally, reduced tillage decreased soil degradation and erosional losses. Farm profits are greater in herbicide resistant canola, by an average of \$14.32 (Canadian) per ha. On balance, it appears that herbicide resistant canola has the potential to enhance the environmental and economical sustainability of *B. napus* production

Introduction

In western Canada, the major canola growing region in Canada, 75,000 growers produced an average of 4.7 million ha of canola over the past three years. Two species, *B. rapa* and *B. napus*, were bred and are used

¹ University of Alberta/Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton, Canada and A. Good, University of Alberta, Edmonton, Canada

commercially to produce canola quality oil, but, because of the higher yield of *B. napus*, that species is grown on approximately 90% of canola acreage. Four types of herbicide resistant *B. napus* are currently grown (Table 1) and make up over 80% of the *B. napus* grown in western Canada in 2002 (M. Hartman, personal communication). Herbicide resistance to glyphosate, glufosinate and bromoxynil was conferred by recombinant DNA technologies while resistance to imidazolinone herbicides was selected following mutagenesis. In Canada, all herbicide resistant canola types are regulated as plants with novel traits (PNT's). They are regulated by the Canadian Food Inspection Agency (CFIA) who state "plants in Canada are regulated on the basis of the traits expressed and not the basis of the method used to introduce the trait. PNTs may be produced by conventional breeding, mutagenesis or recombinant DNA techniques." International concern, however, has focused on plants containing transgenes. Producers have rapidly and readily adopted herbicide resistant technologies in canola (Canola Council of Canada). This paper will outline the impact of these new technologies on the environment in Canada.

Super Weeds – introgression of herbicide resistance into weedy or native taxa

Brassicaceae, like most domestic taxa, mate with wild or weedy relatives and have a potential to influence the evolution of wild plants (Ellstrand et al. 1999). Introgression of transgenes (the stable incorporation of a gene into the genome) and the creation of 'super weeds' are frequently raised as a concern in the public forum.

Brassica napus contains an A genome from *B. rapa* and the C genome from *B. oleracea*. *B. rapa*, one of the parental species, is bred as a canola crop in Canada, and is a widely distributed weedy species in many parts of the world (reviewed in Warwick et al. 2000). *B. napus* and *B. rapa* spontaneously hybridize. Jørgensen and Andersen (1994) found *B. napus*-specific allozyme alleles in two wild *B. rapa*-like plants in Denmark - evidence of past hybridization and introgression.

B. napus co-exists in Canada with several weedy relatives with potential to cross pollinate, including wild radish (*Raphanus raphanistrum*), dog mustard (*Erucastrum gallicum*), and wild mustard (*B. kaber*) (Warwick et al. 2000). The potential for hybridization and introgression depends on a myriad of factors, including species, hybridization frequency, distribution and abundance of weeds, coincidence of flowering time, fitness of hybrids and subsequent selection by herbicides. The interactions of these factors generally reduce the likelihood of introgression. Surveys are currently being conducted in Canada to assess the presence of transgenes in weeds,

including *B. rapa*. However rare, the scale of potential pollen flow and the evolutionary time frame allow us to predict these events may occur. Super weeds – existing herbicide resistant weeds in western Canada

Western Canadian agronomic practices have selected for a wide range of herbicide resistant weeds, including several broadleaf weeds resistant to ALS inhibitors (Beckie et al. 2000a) and green foxtail (*Setaria viridis*) resistant to DNA herbicides (Table 2). Currently in Western Canada there are over 10 herbicide resistant and multiple resistant weed species (International Survey of Herbicide Resistant Weeds, 2002) including wild oat (*Avena fatua*) resistant to herbicides in four distinct herbicide mode of actions (ACCCase inhibitors, ALS inhibitors, VLC fatty acid biosynthesis inhibitors, and flumetypic-methyl with an unknown mode of action). Management of herbicide resistant weeds has relied on herbicide mixtures, herbicides with alternative modes of action and non-chemical methods. For producers with these weeds, cropping options are limited, and weed control becomes the focus of agronomic practice.

Herbicide rotation options, within conventional canola, are limited. Herbicide tolerant canola provides growers with additional herbicide options. For example, wild oat can be controlled by glyphosate or glufosinate in tolerant canola, and wild oat resistant to these products has not been reported anywhere in the world.

The proclivity of an herbicide to select for herbicide resistance depends primarily on its mode of action (Beckie et al. 2000a). For example, ALS inhibitors and ACCCase inhibitors select rapidly for herbicide resistance. Herbicide resistant canola has provided growers with the use of two new herbicide groups, glyphosate and glufosinate which are less prone to select for resistance. Their use will delay the selection of additional weeds resistant to conventional herbicides, while offering chemical options for control of existing resistant species.

Volunteer canola as a weed

Volunteer canola (both *B. napus* and *B. rapa*) is one of the more common weeds in subsequent crops in Western Canada. In a recent survey in Alberta, volunteer canola ranked as the 16th most abundant weed in all crops (Leeson et al. 2002). It should be noted that because of the difficulties in differentiating volunteer from planted canola, volunteer canola in canola crops is underestimated in weed surveys. The frequency of volunteer canola decreases with time after the initial crop (Légère et al. 2001). However four years after planting canola, volunteer canola was still present at low densities of 0.2 to 0.5 plants m⁻². The presence of volunteer canola extends the potential for cross-pollination with other herbicide resistant canola varieties and introgression with weedy species spatially and temporally.

Herbicide resistant and conventional *B. napus* can all be controlled by auxinic herbicides in most subsequent crops (Beckie et al. 2001b). In some legume crops, auxinics cannot be used and control is limited to non-chemical means. Glyphosate resistant volunteers cannot be controlled by glyphosate applied alone pre-seeding or in chemical fallow. Should more glyphosate resistant crops become available, weed control will become more complex. Imidazolinone-resistant canola cannot be controlled by ALS inhibitors alone in foliar applications. Glufosinate resistant canola does not restrict subsequent glufosinate use, as this herbicide is not currently used in other crops.

Gene flow between canola crops

B. napus is a partially outcrossing species, with plant to plant outcrossing rates of approximately 20% (Rakow and Woods 1987). When herbicide resistant varieties were released, it was predicted that cross pollination would occur and these volunteers might be resistant to more than one type of herbicide. However, the extent and distance of potential pollen flow was not well defined.

During an investigation of the causes of unexpected herbicide resistance in a field in Alberta, it was determined that glyphosate resistant volunteers could be found over 500 meters away from the pollen source and that these volunteers, having continued to propagate could have seed resistant to three different types of herbicides (Hall et al. 2001). Further work conducted in Western Canada (Beckie et al. 2001b) and in Australia (Reiger et al. 2002) has confirmed *B. napus* genes can move long distances with pollen and that frequency of outcrossing is not easily correlated with distance. Frequency did not diminish linearly with distance, nor was a low frequency maintained consistently over a long distance.

Pollen flow between canola fields, in conjunction with long term volunteer survival suggests that gene flow may be extensive. Unlike introgression and the formation of 'super weeds', there is ample evidence that multiple resistant canola volunteers are present in measurable frequencies and would be very difficult to eradicate within a canola field. This is not a concern within fields destined for commercial production; however such volunteers are not acceptable when certified seed production or organic certification is required.

Agronomic practices in conventional and herbicide resistant canola

Prior to the release of herbicide resistant *B. napus*, weed control in canola was perceived by growers as the primary factor limiting canola yield and acreage. Few herbicides could be safely applied (Table 1).

Soil applied dinitroaniline herbicides necessitated tillage for incorporation and their use in spring delayed seeding, thus reducing yield potential. The

required tillage slowed the adoption of soil conservation practices, thereby increasing soil erosion and the loss of organic matter. DNA's had a limited weed spectrum and efficacy was subject to environmental influences. These herbicides are applied at relatively high rates, and have relatively long residual activity in the soil. They are not toxic to humans but are toxic to fish. Broadleaf herbicide options (Table 1) in conventional canola were limited because of crop tolerance, and those available, clopyralid and ethametsulfuron methyl had a narrow weed spectra. Weed control necessitated a three year crop rotation prior to canola. Both products are non-toxic, but clopyralid has higher use rates and a longer half life in soil. Grass herbicides used in canola are moderately toxic, but most have a short residual time and relatively low use rates.

The introduction of herbicide tolerant canola has allowed for greater sustainability, in terms of greater weed control, more environmentally friendly agronomic practices, and a decrease in herbicide usage and costs. Total herbicide use in canola was estimated to decrease by 6,000 tonnes in each of 1999 and 2000 (Devine and Buth 2001) because of herbicide resistant canola.

The introduction of herbicide tolerant canola facilitated producers adopting direct seeding. Producers who grow herbicide resistant canola are more likely to use conservation practices than producers who grow conventional canola (Canola Council of Canada 2001). The benefits of reducing soil and water loss, and subsequent degradation of soil fertility contribute to environmental sustainability.

Reductions in the use of tillage for weed control and incorporation of soil-applied herbicides in herbicide resistant *B. napus*, resulted in an estimated reduction of 31.2 million liters less fuel used by farm machinery in 2000. On balance, herbicide tolerant canola increased grower return per ha by \$14.32.

A recent extensive survey identified producers' rationale for growing herbicide tolerant canola (Canola Council of Canada). They stated the following reasons (multiple responses were given):

- **50% wanted easier and better weed control**
- **19% anticipated a better yield and better return and more profit**
- **18% expected better grassy weed control**
- **15% expected better broadleaf weed control**
- **10% did so to reduce costs**
- **9% did so to compare varieties**
- **7% did so to clean up their fields**
- **7% wanted to reduced the number of herbicide applications**
- **5% wanted better perennial broadleaf weed control**
- **3% wanted to reduce tillage**
- **3% did it for herbicide rotation**

- **2% wanted to be able to seed earlier and save soil moisture**

Conclusions

The balance between ecological gains and losses must account for the probability of occurrence and the ecological consequences of both current and new practices. The low risk of introgression and creation of 'super weeds' should be balanced with the current reality of multiple herbicide resistant weeds. The potential for gene flow between crops and volunteers must be weighed against the gains in sustainable practices and reduced fuel and herbicide usage. Finally, the sustainability of farming practices must encompass economic sustainability and the viability of an agricultural industry.

References

Beckie, H. J., L. M. Hall and F. J. Tardif. 2001a. Impact and management of herbicide-resistant weeds in Canada. British Crop Protection Conference, Weeds, 747-754.

Beckie, H. J., L. M. Hall and S. I. Warwick. 2001b. Impact of herbicide-resistant crops as weeds in Canada. British Crop Protection Conference, Weeds: 135-142.

Canola Council of Canada, 2001. An agronomic and economic assessment of transgenic canola. January 2001.

Crop Protection. 2002. Ed. S. Ali, ed. Alberta Agriculture, Food and Rural Development AGDEX 606-1.

Devine, M. D. and J. L. Buth 2001. Advantages of genetically modified canola. A Canadian perspective. British Crop Protection Conference, Weeds: 367-372.

Ellstrand N.C., H.C. Prentice and J.F. Hancock. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. Ann. Rev. Ecol. Syst. 30: 539-563. Palo Alto, Annual Reviews.

Hall, L., K. Topinka, J. Huffman, L. Davis and A. Good. 2000. Pollen flow between herbicide resistant *Brassica napus* (Argentine canola) is the cause of multiple resistant *B. napus* volunteers. Weed Sci. 48:688-694.

International Survey of Herbicide Resistant Weeds. <http://www.weedscience.org>. July 3, 2002.

Jørgensen R.B. 1999. Gene flow from oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. In: Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops. Proceedings of a symposium held at Keele, UK April 12-14, 1999.

BCPC Symposium Proceedings No 72 (pp. 117-124). British Crop Protection Council, Farnham, UK

Jørgensen, R. B. and B. Andersen. 1994. Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus* and weedy *B. campestris* (Brassicaceae): a risk of growing genetically modified oilseed rape. *Am. J. Bot.* 81: 1620-1626

Leeson, J. Y., A. G. Thomas and L. M. Hall. 2002. Alberta weed survey of cereal, oilseed and pulse crops in 2001. Weed Survey Series Publication 02-1. Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon Research Centre, Saskatoon, Saskatchewan.

Légère, A. 2001. Presence and persistence of volunteer canola in Canadian cropping systems. The BCPC Conference – Weeds 2001:143-148.

Rakow, G. and D. Woods. 1987. Out-crossing in rape and mustard under Saskatchewan prairie conditions. *Can. J. Pl. Sci.* 67:147-151.

Rieger, M. A., L. Michael, C. Preston, S. B. Powles, and R. T. Roush. 2002. Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. *Sci* 296: 2386-2388.

Thomas, A. G., J. Y. Leeson, L. M. Hall, J. Huffman, T. Kloeck, R. Horvey and R. Dunn. 2001. Recent weed population shifts in Alberta. . Expert Committee on Weeds, Quebec.

Warwick S. I., A. Francis and J. La Fleche. 2000. Guide to wild germplasm of *Brassica* and allied crops (tribe Brassiceae, Brassicaceae) 2nd Edition. Agriculture and Agri-Food Research Branch Publication, ECORC Ottawa, Canada. Contribution No. 991475. [<http://res2.agr.ca/ecorc/cwmt/tech.htm#guide>]

Weed Science Society of America. 1994. *Herbicide Handbook*, Seventh Edition. Champaign, Illinois.

Table 1. Herbicide-resistant *B. napus* currently grown in Western Canada

Initiated	Herbicide	Resistance	Seed Protection	Control Measures	Market* (%)
1995	glufosinate	<i>pat</i> or <i>bar</i> transgene	Some hybrid varieties	Like conventional canola	15
1996	glyphosate	<i>epsps</i> + <i>gox</i> transgenes	Contracts prohibited seed use	Chem-fallow and pre-seeding treatments require modification	55
1996	imidazolinones	ALS modified via mutagenesis	Growers free to re-seed	Cannot use ALS inhibitors alone in-crop	15
2000	bromoxynil	nitrilase transgene	Growers free to re-seed	Like conventional canola	<1

*2002, estimated (M. Hartman, personal communication)

Table 1. Herbicide-resistant *B. napus* currently grown in Western Canada.

Initiated	Herbicide	Resistance	Seed Protection	Control Measures	Market* (%)
1995	glufosinate	pat or bar transgene	Some hybrid varieties	Like conventional canola	15
1996	glyphosate	epsps + gox transgenes	Contracts prohibited seed use	Chem-fallow and pre-seeding treatments require modification	55
1996	imidazolinones	ALS modified via mutagenesis	Growers free to re-seed	Cannot use ALS inhibitors alone in-crop	15
2000	bromoxynil	nitrilase transgene	Growers free to re-seed	Like conventional canola	<1

***2002, estimated (M. Hartman, personal communication)**

Table 2. Herbicides used on conventional and herbicide resistant canola. Environmental impact is a function of the amount of product applied, the half life of the product in soil and oral toxicity.

Product	Mode of Action	Spectrum	Resistant Weeds Present	Use Rate (gal ha ⁻¹) *	Average Half - life in Soil *	Toxicity (Oral LD ₅₀) *
Conventional Canola Production						
Trifluralin	Mitotic Inhibitor	Grass and some broadleaf control	Yes	560-830	45	>5000
Ethalfuralin	Mitotic Inhibitor	Grass and some broadleaf control	Yes	845-1380	60	>5000
Metsulfuron methyl	ALS inhibitor	Limited broadleaf weed control	One	15-22	20	>5000
Clopyralid	Auxinic herbicide	Primarily Canada thistle control	None	150-200	40	4300



SABi



UFRGS 07084535

Impressão:

GRÁFICA EDITORA
Pallotti
IMAGEM DE QUALIDADE

Fone: (55) 222.3050 - Santa Maria - RS
E-mail: graficasm@pallotti.com.br

Realização



Organização



Apoio



Patrocínio



Bayer CropScience



Os milagres da ciência



Melhorando a qualidade de vida



sempre com você

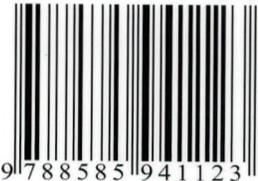


Tecnologia de resultados

Secretaria Executiva



ISBN 85-85941-12-X



9 788585 1941123