Ferrugem da soja

Rupe, J. and L. Sconyers. 2008. Ferrugem asiática da soja, Ferrugem da soja. Portuguese translation by Rubens Cherubini Alves and Emerson M. Del Ponte, 2008. *The Plant Health Instructor*. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-1015-01

DOENÇA: **Ferrugem asiática da soja, Ferrugem da soja**

PATÓGENOS: **Phakopsora pachyrhizi and P. meibomiae**

HOSPEDEIROS: **Soja e kudzu são os hospedeiros principais, porém existem mais de 90 outros hospedeiros conhecidos de P. pachyrhizi. Alguns destes hospedeiros estão listados na Tabela 1.**

Autores
John Rupe
University of Arkansas
Layla Sconyers
University of Georgia

Tradutores
Rubens Cherubini Alves
Emerson M. Del Ponte
Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Soja infectada e não infectada com a ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em um teste de fungicidas em Attapulgus, Georgia, 2006.

A ferrugem asiática da soja, causada por *P. pachyrhizi* é uma séria doença que ocorre na Ásia por várias décadas. Foi encontrada na África em 1997 e nas Américas em 2001. Antes de ser encontrada na área continental dos EUA no final de 2004, provavelmente trazida em uma atividade de um furacão, foi considerada uma séria ameaça, sendo listada como possível arma de bioterrorismo. A ferrugem da soja não pode sobreviver no inverno em regiões com temperaturas no ponto de congelamento. No entanto, o fungo tem a capacidade de se disseminar rapidamente pelo vento a longas distâncias e a

doença pode se desenvolver de forma explosiva causando rápida desfolha nas folhas, características que a elevam à posição de mais temida doença nas áreas produtoras de soja no mundo.

Sintomas e sinais

Os primeiros sintomas da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* iniciam com diminutas manchas de cor marrom (castanha, pt) ou vermelho-tijolo nas folhas (Figura 2). Sintomas causados por *P. meibomiae* similares aos causados por *P. pachyrhizi*, porém esta lição enfoca *P. pachyrhizi* porque a maioria das pesquisas e as observações foram realizadas para esta espécie. No campo, estas manchas inicialmente aparecem nas folhas mais baixas do dossel (canópia, pt) durante ou após a floração, embora plântulas podem ser infectadas sob certas circunstâncias. Freqüentemente, as primeiras lesões aparecem na base do folíolo perto do pecíolo e das nervuras da folha. Esta região do folíolo provavelmente retém a umidade por um tempo mais longo, proporcionando condições mais favoráveis à infecção. As lesões permanecem pequenas (2-5 mm de diâmetro), porém crescem em número com o progresso da doença. Pústulas (Figura 3), que são as urédias, são formadas nas lesões principalmente na face inferior das folhas e podem produzir uma grande massa de uredósporos. Pústulas maduras podem ser vistas a olho nu, especialmente durante a esporulação (Figura 4). Mesmo pequena, cada lesão possui grande quantidade de pústulas (urédias) (Figura 5). As lesões podem ser completamente cobertas por uredósporos quando as pústulas estão ativas (Figura 6). Uredósporos do fungo causador da ferrugem da soja possuem uma coloração amarelo-amarronzada (amarelo-acastanhada, pt) pálida a descolorida, com uma superfície equinulada e ornamentada (pequenos espinhos) (Figuras 7 and 8). Esta coloração difere de outros patógenos que causam ferrugem, cuja coloração é, em sua maioria, vermelho-amarronzada (coloração de ferrugem). A germinação dos uredósporos de *P. pachyrhizi* ocorre através de um poro equatorial (central), com a produção de um tubo germinativo que termina em um apressório, que o fungo utiliza para penetrar o hospedeiro diretamente ou através dos estômatos (estomas, pt) (Figura 9).

Figura 1

Figura 2

Figura 3

Figura 4

Figura 5

Figura 6

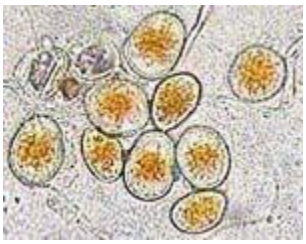

Figura 7

Figura 8

Figura 9

À medida que mais lesões são formadas nos folíolos, as áreas infectadas começam a amarelar e, eventualmente, os folíolos caem das plantas (Figura 1). Apesar da ferrugem da soja iniciar nas folhas mais baixas do dossel, a doença rapidamente progride para as folhas mais altas até que todas as folhas apresentem os sintomas da doença. Muitas plantas doentes podem tornar-se completamente desfolhadas. A perda de tecidos foliares resulta na redução de produtividade devido à diminuição do tamanho e número de grãos. Danos na produtividade de 30 a 80% já foram relatados, porém o volume dos danos depende de quando a doença iniciou e quão rápido ela progrediu. Além das folhas, a ferrugem da soja também pode aparecer em pecíolos, hastes e até em cotilédones, porém a maioria das lesões da ferrugem ocorre nas folhas.

As lesões podem ser castanhas (Figura 10) ou marrom-avermelhadas (Figura 11). Lesões castanhas possuem muitas pústulas que produzem um grande número de uredósporos. Acredita-se que as lesões marrom-avermelhadas são resultado de uma reação de resistência moderada, possuindo apenas poucas lesões que produzem poucos uredósporos. Como será abordado na seção Controle da Doença, essas lesões dependem da raça do patógeno, e podem aparecer na mesma folha como lesões castanhas, ou as lesões castanhas podem tornar-se marrom-avermelhadas com a idade. Sintomas e sinais em outros hospedeiros, como em kudzu, são similares, embora as lesões possam ter tamanhos diferentes.

Figura 10

Figura 11

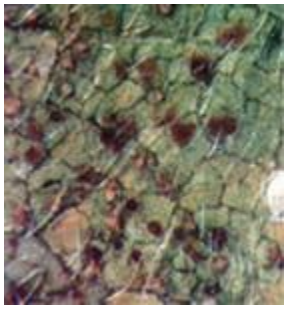

Figura 12

Figura 13

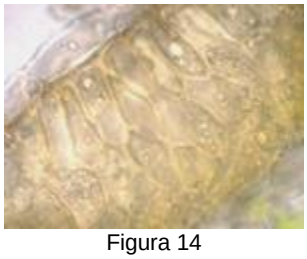

Figura 14

Com a idade, as pústulas podem tornar-se escuras (Figura 12). Isto é devido à formação de uma camada de teliósporos, modificando as pústulas de urédia para télia (Figura 13 and 14). Os teliósporos têm duas

funções: sobrevivência do fungo na ausência de um hospedeiro vivo (na entressafra) e reprodução sexual. A grossa parede dos teliósporos protege o fungo de adversidades ambientais e do ataque de outros organismos. Nas ferrugens, os teliósporos germinam formando um basídio e quatro basidiósporos durante a recombinação sexual. A germinação dos teliósporos de P. pachyrhizi foi observada apenas em laboratório e não parece contribuir significativamente para a persistência do patógeno no campo.

Biologia do Patógeno e Ciclo da Doença

Existem duas espécies de fungo do mesmo gênero que causam a ferrugem da soja: *Phakopsora pachyrhizi*, às vezes chamada de patógeno da ferrugem asiática ou australiana, mas que agora também ocorre no ocidente, e *P. meibomiae*, também chamada de patógeno da ferrugem do novo mundo ou americana, que foi encontrada somente no ocidente. Com exceção de algumas poucas características, os dois fungos são morfologicamente idênticos, porém *P. pachyrhizi* é muito mais agressivo na soja do que *P. meibomiae*. Até o momento não foram registradas perdas significativas nas Américas Central e do Sul causadas por, *P. meibomiae* As duas espécies podem ser distinguidas pela análise de DNA. Como em outras ferrugens, os patógenos da ferrugem da soja são parasitas obrigatórios que necessitam de um hospedeiro vivo para se desenvolver e reproduzir. Eles podem sobreviver fora de um hospedeiro, como uredósporos, por apenas alguns dias sob condições naturais.

Ambos patógenos da ferrugem da soja, até onde se sabe, produzem apenas dois tipos de esporos: uredósporos e teliósporos (Figura 15). o que contrasta com outras ferrugens, que podem produzir mais de cinco estágios na formação de esporos (por exemplo: ferrugem do colmo do trigo). Para a ferrugem da soja, como em muitas outras ferrugens, o estágio uredial é o estágio que se repete. Isso significa que uredósporos podem infectar o mesmo hospedeiro em que foram produzidos na mesma safra (estação de cultivo, pt). Epidemias podem rapidamente se desenvolver a partir de poucas pústulas pois a produção de esporos ocorre em apenas 7 a 10 dias após a infecção e cada pústula pode produzir centenas de uredósporos.

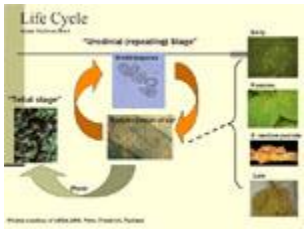

Figura 15

Teliósporos são produzidos em lesões mais antigas, porém eles parecem não germinar sob condições naturais e não são conhecidos seus hospedeiros alternativos, e nem aécia e espermogônia são conhecidas. Sem a germinação dos teliósporos não há reprodução sexual. A falta da reprodução sexual deveria limitar a variabilidade dos fungos da ferrugem, mas mesmo assim há uma variabilidade considerável em *P. pachyrhizi* no que diz respeito à virulência. Isso tem limitado o uso de um único gene para resistência da soja porque em pouco tempo surgem novos isolados do patógeno que vencem a resistência da planta com o gene de resistência. Não é conhecida a origem da variabilidade em *P. pachyrhizi*. A ferrugem estriada do trigo, *Puccinia striiformis*, possui um ciclo de vida similar à *P. pachyrhizi* sem um estágio telial funcional e sem, portanto, reprodução sexual, embora também possua

muitas raças. Pode ser que a causa esteja relacionada ao gene de resistência ser tão específico que uma única mutação no gene correto do fungo o permita ser virulento no hospedeiro com o novo gene de resistência.

Epidemiologia

Para informações sobre o ciclo da doença, vá até a página da Biologia do Patógeno.

Epidemias de ferrugem iniciam com a chegada de inóculo (uredósporos) pelo ar. Este patógeno (agente patogénico, pt) é único entre as ferrugens, pois possui muitos hospedeiros alternativos (Tabela 1) que podem servir como fonte de inóculo. *Hospedeiros alternativos* são outras plantas que podem ficar infectadas com o mesmo patógeno, porem, não são necessários para completar o ciclo de vida deste patógeno. Hospedeiros alternativos não podem ser confundidos com *alternate host*, que são outras plantas, além do hospedeiro principal, que são necessárias para completar ociclo de vida. Em áreas livres de temperaturas de congelamento, como a América do Sul, América Central, a bacia do Caribe, Sul do Texas e Flórida, a fonte de inóculo pode estar próxima, em plantas de soja voluntárias, kudzu, ou algum outro hospedeiro alternativo. Em regiões de clima temperado, como o meio oeste dos Estados Unidos (planícies centrais como Iowa, Illinois, etc), o inóculo pode ser transportado pelo vento e vir de fontes de inóculo localizadas a centenas de kilómetros de distância. A reintrodução de patógenos obrigatórios em regiões distantes ocorre com diversas outras doenças, como ferrugem do colmo e oídios, por exemplo, mofo azul do fumo. Pelo fato de os esporos d *P. pachyrhizi* serem sensíveis à radiação ultravioleta, as viagens de longas distâncias provavelmente ocorrem em sistemas de tempestades onde as nuvens protegem os esporos da luz solar.

Tabela 1. Hospedeiros conhecidos de ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*. Informação cortesia de Kent Smith, USDA/ARS.

NOME COMUM	NOME CIENTÍFICO
Feijão-comum* *	*Phaseolus vulgaris* var. *vulgaris*
Fava	*Vicia faba*
Labe-labe, Feijão-mangalô *	*Lablab purpureus*
Feijão-de-lima* *	*Phaseolus lunatus* var. *lunatus*
Feijão-broto *	*Vigna radiata*
Feijão-da-espanha, Feijão-trepador, Feijão-flor *	*Phaseolus coccineus*
Feijão-alado, Feijão-de-asa	*Psophocarpus tetragonolobus*
Jacatupé, Ahip *	*Pachyrhizus ahipa, P. erosus*
Feijão-fradinho, Fejão-caupi, Feijão-macassa, Feijão-de-corda, Feijão-miudo Caupi *	*Vigna unguiculata*
Calopogônio	*Calopogonium mucunoides*
Trevo	*Alysicarpus vaginalis*
Trevo-encarnado	*Trifolium incarnatum*
Trevo, Trevo-dourado	*Trifolium aureum*

Trevo-lapa	*Trifolium lappaceum*
Trevo-branco	*Trifolium repens*
Manduvira, Crotalária *	*Crotalaria anagyroides, C. spectabilis*
Crownvetch (nome comum desconhecido em português)	*Securigera varia*
Feno-grego	*Trigonella foenum-graicum*
Pega-pega, Carrapicho beiço-de-boi, Desmódio *	*Desmodium tortuosum*
Kudzu *	*Pueraria montana* var. *lobata*
Lespedeza	*Lespedeza* spp., *Kummerowia striata, K. stipulaceae*
Tremoço	*Lupinus* spp.
Alfafa	*Medicago* spp.
Alcaçuz-selvagem	*Astragalus cicer, A. glycyphyllos*
Ervilha	*Pisum sativum*
Sesbania	*Sesbania exaltata*
Guandu, Guando, Feijão-andu *	*Cajanus cajan*
Siratro *	*Macroptilium atropurpureum*
Soja *	*Glycine max*
Feijão-espada *	*Canavalia gladiata*
Cornichão *	*Lotus* spp.
Feijão-mungo, Grão-preto *	*Vigna mungo*
Soja-perene *	*Neonotonia wightii*
Ervilhaca-peluda	*Vicia villosa* subsp. *varia*
Trevo-cheiroso, Trevo-doce	*Melilotus officinalis*
* Inclui observações de infecções naturais no campo além de infecção sob condições artificiais	

Uma vez que o esporos viáveis se depositam na superfície de um hospedeiro suscetível, a infecção e o subseqüente desenvolvimento da epidemia são dependentes das condições ambientais. Usualmente, a infecção ocorre quando as folhas estão molhadas e as temperaturas apresentam-se entre 8°C e 28°C, sendo o ótimo de 16°C a 28°C. A 25°C, algumas infecções ocorrem quando há no mínimo 6 horas de molhamento foliar, sendo o ótimo de 12 horas. Após a infecção, lesões e pústulas com uredósporos podem aparecer em 7 ou 8 dias, e o próximo ciclo de infecção pode ter início. Este curto ciclo de vida significa que, sob condições favoráveis, epidemias de ferrugem da soja podem progredir rapidamente de baixos níveis de detecção para desfolha da planta dentro de um mês. Epidemias parecem progredir até mais rapidamente, já que infecções precoces ocorrem em folhas baixas da planta e são difíceis de identificar. Além do ambiente, a idade das plantas afeta as epidemias de ferrugem da soja. Normalmente, lesões de ferrugem não são encontradas antes do florescimento da soja, a não ser que se tenham altos níveis de inóculo no início da estação. Isso pode ser devido à alta suscetibilidade das plantas à ferrugem assim que o hospedeiro entra no estágio reprodutivo, ou porque em partes mais baixas do dossel os esporos estão mais protegidos da radiação UV, ou então porque condições de maior umidade ocorrem assim que o dossel se fecha. Em qualquer ocasião, as lesões podem se formar

em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, mas geralmente não há um grande incremento dos níveis da doença antes da floração.

Manejo da Doença

Existem três táticas básicas de manejo que podem ser aplicadas a fim de se controlar epidemias de ferrugem da soja: fungicidas, resistência genética e práticas culturais. Atualmente, o uso de fungicidas é a única tática altamente efetiva (Figura 16), porém o manejo de longo prazo irá provavelmente depender mais da resistência, em combinação com fungicidas e mudanças nas práticas culturais.

Controle Químico

Atualmente, a mais efetiva maneira de manejar a ferrugem asiática da soja é pelo uso de fungicidas (Figura 1). Entretanto, para ser eficiente, a seleção do fungicida correto e a sua aplicação no momento certo são cruciais. Vários fungicidas estão registrados nos EUA para o controle da ferrugem asiática, e a maioria pode ser classificada em três grupos: clorotalonitrilas, estrobilurinas e triazóis (Figura 17). Clorotalonil é um fungicida derivado de cloronitrila registrado para o controle da ferrugem. Seu modo de ação protetor afeta várias rotas bioquímicas no patógeno, mas o clorotalonil não é translocado pela planta, nem mesmo pela cutícula. Como resultado, o clorotalonil é mais sujeito à lixiviação do que as estrobilurinas ou os triazóis, e a completa cobertura das folhas é um fator crítico. Para ser eficiente, clorotalonil pode precisar ser reaplicado várias vezes quando há novo crescimento na planta ou quando ocorre lixiviação.

Figura 16

Figura 1

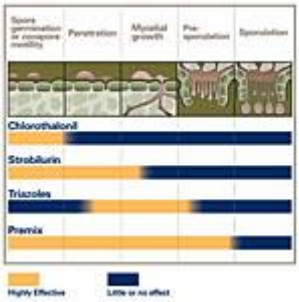

Figura 17

Fungicidas da classe das estrobilurinas são derivadas de um composto natural antifúngico, estrobilurina, produzido por certos cogumelos. Estrobilurinas (também conhecida como fungicidas QoI) inibem a respiração mitocondrial do patógenoe são tipicamente absorvidas pela cutícula, agindo como fungicidas protetores (http://admin.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Pages/StrobilurinFungicides.aspx). Um fungicida protetor previne a ocorrência de infecções, mas tem pouco efeito no desenvolvimento da doença uma vez que a infecção tenha ocorrido (Figura 17). Entretanto, para serem efetivos, protetores como as estrobirulinas devem ser aplicados antes da ocorrência da infecção. Dependendo da dose aplicada, as estrobilurinas são efetivas por até 2 semanas após uma aplicação, mas não irão proteger novas folhas em desenvolvimento. Estrobilurinas controlam uma ampla gama de patógenos da soja. Os triazóis inibem a produção de esterol, o qual desativa a função da membrana no patógeno. Triazóis são absorvidos e translocados acropetalmente na planta. Embora geralmente não previnam a infecção, os triazóis podem matar o fungo na planta e prevenir a formação de pústulas e esporos (Figura 17). A

extensão com que estes químicos são translocados dependem do tipo de triazol, mas todos eles se movem acropetalmente na planta, em um determinado grau, para onde há novo crescimento. Porém, a sistemicidade de triazóis na planta é incompleta e não se aproxima do nível de sistemicidade de certos herbicidas e inseticidas. Triazóis são efetivos por 3 a 4 semanas após a aplicação e dão alguma proteção ao novo crescimento da planta. Embora altamente efetivos contra ferrugem, os triazóis não são tão efetivos como as estrobilurinas contra outros patógenos da soja. Alguns produtos comerciais (pré-misturas) contêm tanto um triazol como uma estrobilurina. As pré-misturas fornecem proteção contra um espectro amplo de patógenos e reduzem a possibilidade dos patógenos desenvolverem resistência a ambos os produtos.
O número de aplicações necessário para o controle da doença depende do produto usado, de quando a epidemia de ferrugem teve início e da favorabilidade das condições ambientais. Até mesmo para triazóis, que são efetivos por um maior período de tempo, duas aplicações são normalmente necessárias para o controle da ferrugem da soja. Em alguns locais no Brasil, altos níveis de inóculo no início da safra (estação de cultivo, pt) resultam em epidemias que se iniciam ainda antes do florescimento, fazendo com que sejam necessárias até 5 aplicações para o controle da doença. Tal época de estabelecimento e o uso precoce de fungicidas são pouco prováveis nos EUA. Entretanto, a ferrugem pode iniciar no florescimento (R1) e requerer uma aplicação adicional antes da colheita. É consenso que uma vez que as plantas atingem o estágio de crescimento R6 (quando a semente está formada na vagem), a produção está completa e o controle da doença depois deste estágio é antieconômico. Uma preocupação com aplicações múltiplas do mesmo fungicida é a seleção de populações resistentes do patógeno (fungus patogénicos, pt). Embora a resistência a fungicidas em *P. pachyrhizi* não tenha sido relatada, outros patógenos fúngicos podem ser afetados e os agricultores deveriam evitar pulverizar o mesmo fungicida consecutivamente. Os registros de fungicidas podem restringir o número de vezes em que um composto ou classe em particular pode ser aplicado em uma safra para reduzir a chance de desenvolvimento de resistência.

A chave para um controle efetivo da ferrugem da soja com fungicidas é a época de aplicação. Isso é especialmente importante em áreas dos EUA em que o patógeno da ferrugem tem de ser reintroduzido todo o ano. A introdução ou reintrodução irá provavelmente ocorrer em diferentes áreas e em diferentes anos ou, ainda, não ocorrer em alguns anos. Todos os fungicidas, até mesmo o triazol sistêmico, são mais efetivos quando aplicados mesmo antes que a epidemia de ferrugem se inicie no campo. Testes na América do Sul mostraram que se a incidência da doença alcançar 10% nas partes baixas do dossel antes da primeira aplicação, os fungicidas não irão controlar completamente a ferrugem da soja, e algumas perdas de produtividade irão ocorrer se houver condições ambientais favoráveis. Baixos níveis da doença são difíceis de detectar, por isso os produtores necessitam um sistema de alerta que prediga o inicio da doença suficientemente cedo para poderem aplicar o fungicida em toda a área. As decisões, os equipamentos, e as técnicas da aplicação podem provocar um grande impacto nos níveis de controle da ferrugem.

Até o momento, o método de previsão mais confiável são as parcelas sentinelas. Estas são pequenas parcelas (preferencialmente soja, mas kudzu ou outro hospedeiro suscetível também pode ser usado) plantadas algumas semanas antes do cultivo comercial, e algumas vezes utilizando cultivares precoces.

Tanto a semeadura precoce e a utilização de cultivares de ciclo precoces, resultam em uma parcela sentinela florescendo uma a três semanas antes da cultura comercial. Uma vez que a ferrugem da soja normalmente se desenvolve após a floração, a doença pode ser observada nas parcelas sentinelas uma ou duas semanas antes de ser encontrado em campos comerciais adjacentes. Este sistema de previsão oferece aos produtores da região o tempo para aplicar o tratamento de fungicidas protetores. Parcelas sentinelas são estabelecidas em todas as regiões de produção de soja e feijão dos EUA. As informações obtidas nestas parcelas são adicionadas semanalmente no site da USDA (www.sbrusa.net) aonde são gerados os mapas que mostram a atividade da ferrugem no país (Figura 18). Neste site também são incluídos comentários por estado e para todo o país, previsões da doença e outras informações pertinentes.

Figura 18

Além dos resultados das sentinelas, a assistência técnica de cada região também inclui comentários específicos sobre a situação da ferrugem da soja e as medidas de controle necessárias. Além disso, informações sobre o diagnóstico de plantas com ferrugem de todos os estados americanos estão conectadas, e novas ocorrências da ferrugem da soja são incluídos no site. Informações provenientes do site do USDA podem ser utilizadas por produtores e cientistas para se observar locais onde a ferrugem está ativa e determinar se estão ameaçados pela doença. Além do site do USDA, informações também estão disponíveis em muitos sites de serviços de extensão de cooperativas dos estados e de indústrias agrícolas. Informações sobre a ferrugem da soja na Argentina podem ser encontradas no http://www.sinavimo.gov.ar/ e no Brasil no http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/. Uma lista de páginas na Internet pode ser encontrada na secção de bibliografia desta lição.

Muitos sistemas experimentais de previsão e de alerta da doença estão em desenvolvimento. Estes modelos relacionam as condições do tempo, da cultura e da doença com o movimento, deposição e infecção pelos esporos. Alguns dos fatores inclusos nestes modelos são as fontes de inóculo, direção e velocidade do vento, temperatura, umidade, molhamento das folhas, intensidade da radiação solar e estágio de desenvolvimento da cultura. Estes modelos vêm sendo freqüentemente usados para indicar aonde e quando os esforços para o controle devem ser intensificados.

Outro método de previsão da ferrugem da soja é a captura de esporos, aonde duas estratégias vêm sendo utilizadas. Numa, o vento carrega os esporos até placas de vidro revestidas com vaselina (Figura 19). Os esporos são examinados em microscópios e a presença ou ausência de esporos de ferrugem da soja é observada. O exame com microscópio só pode identificar esporos que se assemelham com os da ferrugem da soja, pois não é possível identificar *P. pachyrhizi* pelo simples exame dos uredósporos.

Identificações mais conclusivas dos uredósporos de *P. pachyrhizi* estão sendo desenvolvido pelo uso de anticorpos e protocolos de reação de polimerase em cadeia (PCR).

Figura 19

Figura 20

Outra forma de capturar esporos envolve coletar e filtrar a água da chuva e usar PCR para determinar se há presença de *P. pachyrhizi* nos filtros (Figura 20). Sabe-se que a propagação a longas distancia dos uredósporos ocorrem quando as tempestades carregam os esporos e então os depositam via gotas de chuva em locais distantes. Uma vez que esta técnica utiliza marcadores moleculares específicos, os resultados positivos são provavelmente de maior confiabilidade. Em 2005 e 2006, foram encontrados esporos de *P. pachyrhizi* ou com aparência de *P. pachyrhizi* em amostras coletadas no ar e após as chuvas, sobre uma grande área distante de onde a ferrugem da soja estava em atividade. Mesmo sem poder determinar se estes esporos chegaram vivos, isto indica que o patógeno possui a capacidade de se disseminar extensa e rapidamente.

Resistência Genética

As plantas de soja respondem às infecções de *P. pachyrhizi* produzindo lesões castanhas ou marrom-avermelhadas ou mesmo não as produzindo. Lesões castanhas produzem muitas pústulas com muitos esporos (Figura 10). Lesões marrom-avermelhadas produzem poucas pústulas com uma produção de esporos limitada, e não ocorre a produção de pústulas e esporos onde lesões não se formam (Figura 11). Sabe-se que essas respostas representam suscetibilidade ou reações de resistência moderadas ou altas, respectivamente. Altos níveis de resistência são comumente associados com um ou poucos genes dominantes. Existem quatro genes dominantes conhecidos de resistência à ferrugem da soja, *Rpp1* through *Rpp4*. Apesar de estes genes dominantes conferirem altos níveis de resistência e terem uma relativa facilidade de incorporação em novas cultivares de soja, eles não são efetivos contra todas as raças de *P. pachyrhizi*. O uso de variedades com novos genes de resistência é comumente seguido da emergência de novas raças de *P. pachyrhizi* virulentas a estas variedades em poucos anos. Este alto grau de variabilidade do patógeno da ferrugem da soja é comum em muitas ferrugens [veja a ferrugem estriada do trigo] e requerem a freqüente descoberta e incorporação de novas fontes de resistência. Atualmente, existem isolados de *P. pachyrhizi* virulentos a cada um dos quatro genes de resistência conhecidos.

Figura 10

Figura 11

Outra forma de manejo genético é o uso de resistência horizontal. Resistência horizontal é conferida normalmente por um grande número de genes, cada um contribuindo um pouco na soma da resistência do cultivar. Este tipo de resistência muitas vezes é efetivo contra todas as raças de um patógeno, mas é mais difícil de incorporar em novas cultivares e permite a ocorrência da doença e perdas de produtividade. Cultivares com resistência horizontal já foram desenvolvidas na Ásia, porém variedades adaptadas com este tipo de resistência ainda não estão disponíveis nos EUA e na América do Sul. Ultimamente, a resistência horizontal pode ser usada em combinação com práticas culturais e fungicidas, quando necessários.

Práticas Culturais

Existem diversas práticas culturais que podem ajudar no manejo da ferrugem da soja. Na maioria das regiões dos EUA aonde a ferrugem precisa ser introduzida todos os anos para que uma epidemia ocorra, mudanças nas datas de plantio e colheita podem evitar a doença. Plantio antecipado com variedades precoces pode evitar a ferrugem até que a cultura tenha sido colhida ou até um ponto maturidade em que a doença cause um pequeno impacto na produtividade. Períodos de plantio também podem ser atrasados fazendo com que o período reprodutivo vulnerável ocorra durante condições secas que não são favoráveis à ferrugem. Em regiões em que o clima é marginal para o desenvolvimento da ferrugem, maior espaçamento entrelinhas associado com uma menor população de plantas pode acelerar a seca do dossel, assim reduzindo o período de orvalho o bastante para prevenir ou pelo menos desacelerar o desenvolvimento da doença. Isto também pode permitir a melhor penetração do fungicida no dossel, aumentando a eficiência do controle químico. Pesquisas ainda são necessárias para confirmar esta hipótese. Contudo, devido à maior abertura do dossel fornecer uma menor supressão de ervas daninhas, problemas com ervas daninhas são maiores com esta estratégia, e este método provavelmente não afeta significativamente a ferrugem quando as condições climáticas são altamente favoráveis à doença. A melhoria da fertilidade do solo, particularmente os níveis de potássio e fósforo, pode ajudar no aumento da resistência à doença, porem ainda há pouca pesquisa nesta área. Apesar de ser improvável que o controle cultural utilizado isoladamente seja suficiente para controlar a ferrugem da soja, ele pode aumentar a eficiência da resistência do hospedeiro a aplicações dos fungicidas.

Importância

A ferrugem da soja é uma das doenças de soja mais importantes do mundo. A soja, uma das grandes culturas nos EUA e no mundo, possui altos níveis de óleo vegetal e proteína (aproximadamente 20 e 40%, respectivamente) e corresponde a 57% do óleo vegetal consumido no mundo e 68% da proteína

vegetal. De acordo com a Associação Americana da Soja, os EUA foram responsáveis por 38% da produção mundial de soja no ano de 2006, correspondendo a US$ 19 bilhões, e o Brasil e a Argentina foram responsáveis por 24% e 19% da produção mundial, respectivamente. Devido à carência de resistência da planta, a natureza explosiva da doença e o alto potencial de perdas de produtividade (30 a 80%), a ferrugem da soja vem há tempos sendo vista como uma séria ameaça a produção de soja nas Américas do Sul e do Norte. A ameaça da ferrugem da soja foi tão seria que *Phakopsora pachyrhizi* foi incluída na lista de 'agentes selecionados' no ato de bioterrorismo dos EUA no ano de 2002, junto com outros agentes biológicos como os que causam o Anthrax e a Febre Hemorrágica. Agentes selecionados são patógenos de humanos, animais e plantas que possuem o potencial de serem usadas como armas biológicas de terrorismo.

A ferrugem da soja causada por *P. pachyrhizi* foi descrita pela primeira vez em 1902 no Japão e era limitada a Ásia e Austrália até 1997 quando foi encontrada em Uganda. Da Uganda se disseminou para o Zimbábue (1998) e depois para a África do Sul (2001). Em 2001, a ferrugem da soja foi encontrada no Paraguai. Uma vez que a maior produção de soja do mundo está localizada nas Américas do Sul e do Norte, a introdução da ferrugem no Paraguai representou uma ameaça significativa. A ferrugem da soja foi relatada no Brasil e no norte da Argentina em 2002. Em 2003, a ferrugem da soja ocorreu na maioria das regiões produtoras de soja do Brasil e da Bolívia. No verão de 2004, a ferrugem da soja foi encontrada na Colômbia, e em novembro desse ano foi relatada pela primeira vez nos EUA continental na Louisiana e então, em um curto espaço de tempo, em outros 8 estados americanos (Figura 21). A ferrugem da soja provavelmente entrou nos EUA continental com o furacão Ivan, que esteve em terra firme em Setembro de 2004. A Figura 22 ilustra a concentração estimada de esporos carregados pelo furacão Ivan e a distribuição geográfica de deposição dos esporos. Desde então, *P. pachyrhizi* aparentemente se estabeleceu permanentemente em plantas de kudzu na Flórida, e a área onde é encontrada durante a estação de cultivo vem crescendo. Em 2005, a ferrugem da soja esteve primeiramente ativa no sudoeste dos EUA (Figura 23), porém algumas descobertas tardias ocorreram em kudzu ao norte de Kentucky e da Carolina do Norte. A ferrugem da soja foi encontrada no México no início da primavera de 2006 em um campo isolado perto de Brownsville, no Texas. Durante toda a primeira metade do período de cultivo de 2006, a ferrugem da soja esteve confinada ao sudoeste dos EUA, porém não esteve muito ativa devido ao clima invulgarmente quente e seco. De qualquer forma, assim que aumentaram as chuvas, também aumentou a ferrugem, especialmente na Louisiana e pela costa do sudeste dos EUA. No final da safra, a ferrugem da soja foi encontrada ao longo do rio Mississipi até o sul de Illinois e ao norte de West Lafayette, em Indiana (Figura 24). Em 2007, a seca no sudoeste dos EUA limitou o desenvolvimento da ferrugem da soja durante toda a estação, porém chuvas intensas em Lousinana, Texas, Oklahoma e Kansas favoreceram a ferrugem nestas regiões (Figura 25). A ferrugem apareceu pela primeira vez no norte de Iowa em 2007. Embora estas detecções tardias não causaram perdas de produtividade, mostraram que, sob certas condições, a ferrugem da soja pode se disseminar rapidamente permanecendo como uma ameaça à maioria das regiões produtoras de soja dos EUA.

Figura 21

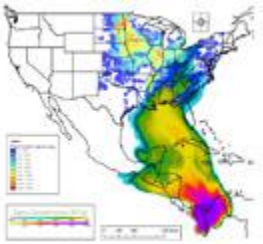

Figura 22

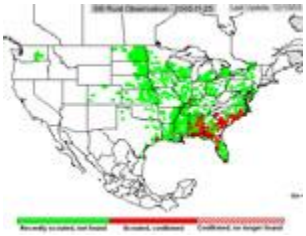

Figura 23

Figura. 24

Figura. 25

Nota: a primeira introdução da ferrugem asiática da soja causada por *P. pachyrhizi* nos EUA ocorreu no Havaí em 1994, porem não causou grande impacto na região produtora dos EUA continental. Além disso, a ferrugem da soja foi encontrada em Porto Rico nos anos de 1970, porém analises mostraram que esta ferrugem foi causada por *P. meibomiae* e não por *P. pachyrhizi*.

A introdução da ferrugem asiática da soja na área continental dos EUA iniciou um esforço nacional de cientistas e agentes da extensão para se prepararem para as epidemias de ferrugem. Estes esforços incluem a rede de parcelas sentinelas que mapeiam a ocorrência nacional da ferrugem da soja com dados semanais, um esforço coordenado para registrar os fungicidas para a ferrugem da soja, treinamento de detectores (ou “ferrugeiros” no Brasil) para reconhecimento da ferrugem da soja e outras atividades de extensão e pesquisa. Como resultado, esta doença causou um imenso interesse da mídia. Algumas manchetes a seguir.

“Soybean Checkoff Builds Defense Against Rust”

Soy News: http://www.arspb.org/publications/soynewspdfs/SoyNews09-04.pdf

“RUST BELT CINCHES UP”

AgWeb.Com: http://www.agweb.com/get_article.aspx?src=&pageid=108090

“Sen. Feingold urges action against Soybean Rust”

CropChoice.com: http://www.cropchoice.com/leadstry9205.html?recid=2337

O trabalho da ferrugem asiática da soja que foi conduzido nos Estados Unidos até a presente data não seria possível sem o aval e esforços cooperativos das universidades, do Departamento de Agricultura dos EUA (USDA), das associações estaduais de produtores de soja e da indústria.

Bibliografia Consultada

APS Press Release. 2004. Plant Pathologists Offer Soybean Rust Identification and Management Tips. http://admin.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SoybeanRustIdentification.aspx.

Bromfield, K.R. 1984. Soybean Rust. Monograph 11. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.

Dorrance, A.E., M.A. Draper, and D.E. Hershman, Editors. 2007 (revised). Using Foliar Fungicides to Manage Soybean Rust: http://www.oardc.ohio-state.edu/SoyRust/index.htm

Dunphy, J., D. Holshouser, D. Howle, P. Jost, B. Kemerait, S. Koenning, J. Mueller, P. Phipps, S. Rideout, L. Sconyers, E. Stromberg, P. Wiatrak, and A. Wood. 2006. Managing Soybean Rust in the Mid-Atlantic Region: http://cipm.ncsu.edu/ent/SSDW/RUSTX3.pdf

Hernández, J.R. 2004. Systematic Botany & Mycology Laboratory, ARS, USDA. Invasive Fungi. Asian Soybean Rust. Retrieved October 2, 2007, from http://nt.ars-grin.gov/sbmlweb/fungi/index.cfm

Miles, M.R., R.D. Frederick, and G.L. Hartman. 2003. Soybean Rust: Is the U.S. Soybean Crop At Risk? http://admin.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SoybeanRust.aspx.

Sinclair, J.B., and G.L. Hartman. 1999. Soybean Rust. Pages 25-26. In Compendium of Soybean Diseases, Fourth Edition. Eds. G.L. Hartman, J.B. Sinclair, and J.C. Rupe, APS Press, St. Paul, MN.

Sconyers, L.A., R.C. Kemerait, J. Brock, D.V. Phillips, P.H. Jost, E.J. Sikora, E. Gutierrez-Estrada, J.D. Mueller, J.J. Marois, D.L. Wright, and C.L. Harmon. 2006. Asian Soybean Rust Development in 2005: A Perspective from the Southeastern United States. http://admin.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/SoybeanRustDev.aspx.

Páginas na Internet

Nacional - públic

Aerobiology at Penn State: http://www.ceal.psu.edu/

APHIS Site: http://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/soybean_rust/index.shtml

APS site: http://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust/

USDA PIPE: http://www.sbrusa.net/

Internacional - público

Argentine website: http://www.sinavimo.gov.ar/

Brazilian website: http://www.cnpso.embrapa.br/alerta/

Estadual e regional - público

Extension Disaster Education Network: http://www.eden.lsu.edu/Issues_View.aspx?IssueID=E614E265-F3EE-4777-BC3B-9B20DE9C2120

North Central Plant Diagnostic Network: http://www.ncpdn.org/DesktopDefault.aspx

Plant Health Initiative: http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/search/topsearch.asp?page=http://planthealth.info/rust_basics.htm

Southern Extension: http://www.ces.ncsu.edu/depts/pp/notes/Soybean/soy008/soy008.htm

Southern Plant Diagnostic Network: http://spdn.ifas.ufl.edu/soybean_rust.htm

Indústria

American Soybean Association: http://www.soygrowers.com/rust/default.htm

BASF: http://www.soybeanrustinfo.com/

StopSoybeanRust: http://www.stopsoybeanrust.com/mc_home.asp

Syngenta Crop Protection. http://www.farmassist.com/soybeanrust/