

Indução de resistência contra patógenos: definição e perspectivas de uso

Sérgio F. Pascholati, Thiago A. de Melo e Ronaldo José Durigan Dalio *

A indução de resistência (IR) tem por objetivo ativar os mecanismos latentes de resistência de um hospedeiro vegetal suscetível ou moderadamente resistente, por meio do uso de agentes abióticos ou bióticos (eliciadores/indutores), de modo que o mesmo tenha sucesso na defesa contra o ataque de patógenos como fungos, oomicetos, bactérias, vírus e nematoides (Figura 1). A IR pode ser empregada no manejo integrado de doenças e contribuir para que genótipos de alto valor agrônomico continuem ou passem

a ser utilizados no campo (Pascholati & Cia, 2009).

A ativação das respostas de defesa das plantas se inicia pelo reconhecimento do agente indutor ou do patógeno. No caso do patógeno, o reconhecimento pode ser mediado por receptores de reconhecimento (PRRs) de padrões moleculares associados aos patógenos/microrganismos (PAMPs/MAMPs) ou pela interação entre os genes de resistência (R) da planta e efetores do microrganismo. Após o reconhecimento, uma série

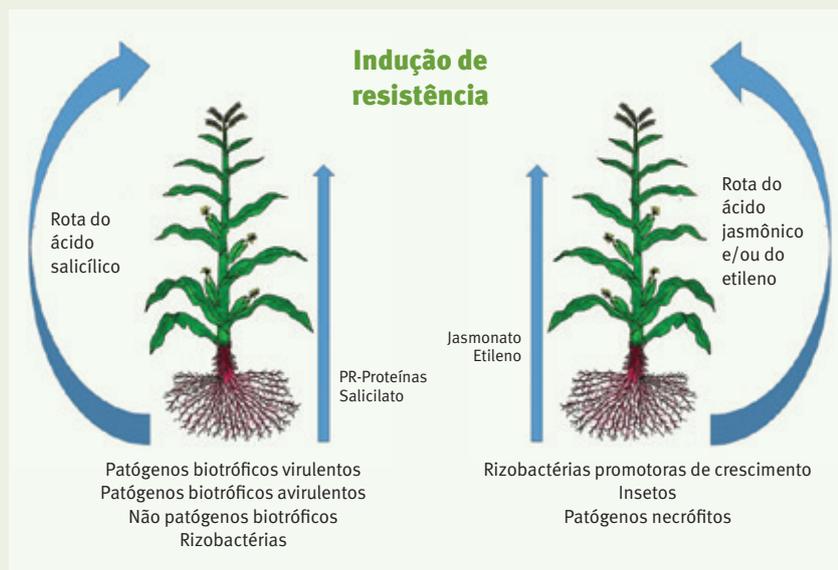
de mudanças nos padrões transcricionais da célula vegetal ocorre, visando à defesa. Alguns dos mecanismos de defesa ativados podem envolver: produção de espécies reativas de oxigênio, ocasionando a explosão oxidativa na célula desafiada, constituindo o que se conhece como reação de hipersensibilidade (RH); ativação de genes de defesa; síntese de compostos tóxicos como as fitoalexinas; síntese de compostos capazes de promover mudanças estruturais na parede celular. Adicionalmente, sinais podem



FREEMAGES / PAOLO ZANNONI

Pesquisas podem elucidar mecanismos de defesa (e sua ativação), na cultura do milho, aumentando a produção e reduzindo uso de pesticidas

FIGURA 1 | AGENTES BIÓTICOS INDUZINDO RESISTÊNCIA SISTÊMICA EM PLANTAS CONTRA FITOPATÓGENOS E PRAGAS



Obs.: Em função da natureza dos eliciadores diferentes, as rotas de sinalização e metabólicas podem ser ativadas.

Adaptado de Camarço, 2011.

ser translocados para partes distantes do sítio onde o eliciador foi percebido, incrementando os níveis de resistência da planta de maneira sistêmica.

A cultura do milho está sujeita à ocorrência de várias doenças que podem trazer perdas de produtividade, afetando a qualidade e o valor nutritivo de grãos e da forragem. Dentre as doenças foliares que ocorrem na cultura, merecem destaque a cercosporiose (*Cercospora zea-maydis* e *C. sorghi* f. sp. *maydis*), a ferrugem polissora (*Puccinia polysora*), a ferrugem comum (*Puccinia sorghi*), a helmintosporiose (*Exserohilum turcicum* e *Bipolaris maydis*), a mancha foliar de diploidia (*Diplodia macrospora*) e a antracnose (*Colletotrichum graminicola*). Além das doenças foliares, as podridões do colmo e das raízes da planta são a causa de enormes prejuízos na cultura. Dentre os patógenos que causam este tipo de doença, encontram-se os fungos (*Diplodia macrospora*, *Fusarium moniliforme*, *F. moniliforme* var. *subglutinans*, *Colletotrichum graminicola* e *Ma-*

crophomina phaseolina), oomicetos (*Pythium aphanidermatum*) e várias bactérias dos gêneros *Pseudomonas* e *Erwinia*. Ainda, sérios danos podem ser causados por doenças de etiologia viral, além de fitoplasma, espiroplasma e, especialmente, por nematoides (Figura 2).

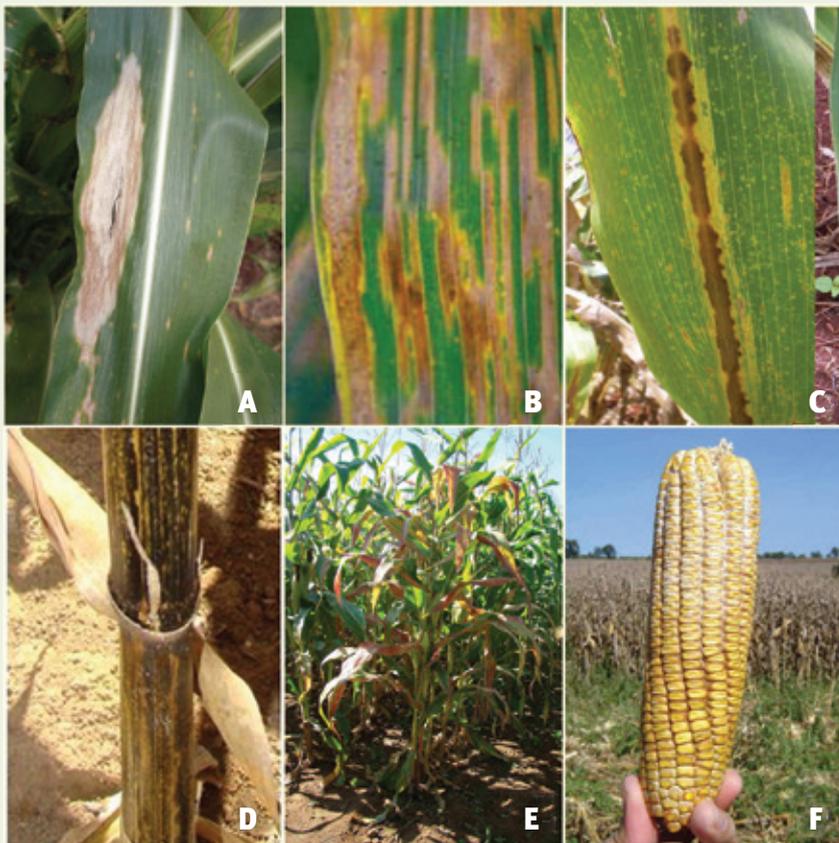
O manejo das doenças na cultura do milho é baseado no uso de variedades resistentes com rotação de genótipos e no emprego da rotação de culturas. Além disso, sendo o milho um importante produto agrícola para o agronegócio brasileiro, há enorme demanda por medidas de controle de doenças que sejam rápidas e eficazes. Esta busca imediatista e capitalista por respostas às infecções no campo colocou o Brasil no posto de maior consumidor de agrotóxicos do mundo. O país gasta, anualmente, cerca de 2,5 bilhões de dólares com agroquímicos, sendo responsável por 50% do consumo desses produtos em toda a América Latina (Mapa, 2014). Como consequências, graves desequilíbrios ambientais podem ocorrer, como a contaminação de alimentos, animais e reservas hídricas,

ocasionado a redução na qualidade e na expectativa de vida da população mundial. Além disso, a pressão de seleção exercida no ambiente pelo uso de defensivos e pelo estreitamento da base genética das culturas tem provocado o surgimento de novos isolados patogênicos mais agressivos, aumentando consideravelmente as perdas e os custos na produção.

Neste cenário, favoreceria a manutenção da sustentabilidade do sistema de produção de milho no país o uso racional dos agroquímicos, realizado de forma integrada com outras medidas de controle, como as rotações de culturas, a resistência genética. Mais recentemente, surgiram medidas promissoras como a indução de resistência, tendo em vista que, sem o uso de agroquímicos, a cadeia produtiva do milho não é viável (Barros, 2011). A IR é eficiente contra diversos patógenos devido à ação de diferentes mecanismos de defesa da planta. Além disso, tem caráter sistêmico, persistente e natural, podendo, inclusive, ser transmitida por enxertia. Como desvantagem, trata-se de uma resistência parcial, incompleta e que pode requerer reativações sucessivas.

Poucos pesquisadores têm se dedicado ao estudo da indução de resistência em milho contra fitopatógenos. Silva (1989) usou a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para o controle da antracnose em plântulas de milho, procurando evidenciar a ocorrência ou não da resistência induzida. Demonstrou-se a ocorrência do controle biológico, porém, não da resistência induzida sistemicamente. Barros (2011) avaliou a aplicação foliar de acibenzolar-S-metilico (ASM), um indutor de resistência disponível comercialmente no Brasil e não registrado para o milho, para a indução de resistência à cercosporiose e verificou que em nenhum dos experimentos conduzidos foi possível a observação dos benefícios da utilização do ASM, tanto isoladamente quanto em mistura com fungicidas, para o controle da doença em milho.

FIGURA 2 | SINTOMATOLOGIA CARACTERÍSTICA DE DOENÇAS IMPORTANTES PARA A CULTURA DO MILHO



(A) *Helminthosporiose* (*Exserohilum turcicum*); (B) *Cercosporiose* (*Cercospora zeae-maydis* e *C. sorghi* f. sp. maydis); (C e D) *Antracnose na folha e no colmo* (*Colletotrichum graminicola*); (E) *Enfezamento vermelho* (*Fitoplasma*); (F) *Podridão branca da espiga* (*Stenocarpela maydis* e *Stenocarpela macrospora*).

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo.

Diferentemente, Kumar et al. (2009) verificaram que plântulas de milho inoculadas com *Piriiformospora indica*, simultaneamente ou 10 dias após a infecção por *Fusarium verticillioides*, apresentaram redução significativa na suscetibilidade ao patógeno quando comparadas às plantas somente infectadas com *F. verticillioides*. Os autores atribuíram a resistência às alterações na capacidade antioxidante induzida por *P. indica*, apontado na literatura como um fungo endofítico que apresenta ampla gama de plantas hospedeiras e exibe interessantes habilidades biológicas, como promoção de crescimento e aumento da

produtividade da planta, além de induzir resistência contra fitopatógenos e estresses abióticos (Pascholati et al., 2012).

Dependendo da rota metabólica ativa e da natureza do agente indutor (Figura 1), a indução de resistência pode exibir menor ou maior sucesso na proteção da planta, como observado nos relatos acima. Portanto, faz-se necessário o engajamento de pesquisadores na condução de experimentos que elucidem tanto os mecanismos de defesa quanto a melhor forma de ativá-los, na cultura do milho, o que levaria a aumentos na produção e à diminuição no uso de pesticidas (Balmer et al., 2013). ☺

* **Sérgio F. Pascholati** é professor titular do Departamento de Fitopatologia e Nematologia da USP/ESALQ (sfpascho@usp.br), **Thiago Anchieta de Melo** é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da USP/ESALQ (thiagoanchieta@usp.br) e **Ronaldo José Durigan Dalio** é pós-doutorando do Centro Apta Citros Sylvio Moreira, IAC/Cordeirópolis, SP (ronaldobio@hotmail.com).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALMER, D.; PAPAJEWSKI, D. V. de; PLANCHAMP, C.; GLAUSER, G.; MAUCH-MANI, B. Induced resistance in maize is based on organ-specific defense responses. *The Plant Journal*, v. 74, p. 213-225, 2013.
- BARROS, R. Estudo sobre a aplicação foliar de acibenzolar-S-metil para a indução de resistência à ferrugem asiática em soja e cercosporiose em milho. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 78, n. 4, p. 519-528, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Segurança Química: Agrotóxicos*, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/agrotoxicos>. Acesso em: 14 set. 2015.
- CAMARGO, L.E.A. Genética da interação patógeno-hospedeiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. *Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos*. 4. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, p.119-132, 2011.
- KUMAR, M.; YADAV, V.; TUTEJA, N.; JOHRI, A. K. Antioxidant enzyme activities in maize plants colonized with *Piriiformospora indica*. *Microbiology*, New York, v. 155, p. 780-790, 2009.
- PASCHOLATI, S. F.; CIA, P. Uso de indutores de resistência: conceito, realidade e perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. *Milho: manejo e produtividade*. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2009. p. 177-181.
- PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D.; CARDOSO FILHO, J. A.; BRAND, S. C.; PINTO, L. R.; OSSWALD, W. *Piriiformospora indica* – indutor de resistência em plantas contra patógenos. In: RODRIGUES, F. A.; FORTUNATO, A. A.; RESENDE, R. S. *Indução de resistência em plantas a patógenos*. Viçosa: UFV, 2012. p. 79-112.
- SILVA, S. R. da. Aspectos do controle da antracnose em plantas de milho (*Zea mays* L.), mantidas em casa-de-vegetação, pelo emprego de *Saccharomyces cerevisiae* Meyen. Piracicaba: USP/ESALQ, 1989. 81 p. (Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia).