

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 15 (7)

July 2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/15720221568>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1568>



Indutores de resistência incrementam a produtividade e reduzem severidade da ferrugem na cultura do milho

Resistance inducers increase productivity and reduce the severity of corn rust

Anderli Divina Ferreira Rios

Faculdade Evangélica de Goianésia, Brasil

Corresponding author

Marcos Paulo dos Santos

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul

marcos.santos@ifms.edu.br

Wilian Henrique Diniz Buso

Instituto Federal Goiano

Resumo. A ativação de respostas defensivas de plantas é uma ferramenta promissora para o controle de doenças na agricultura convencional. Os mecanismos de defesas da planta envolvem muitas mudanças físicas e bioquímicas nas células vegetais como espessamento de cutícula, extensão das células e aumento na atividade enzimática. A incorporação de indutores de resistência em programas de manejo de doenças, isoladamente ou em combinação com métodos clássicos, pode ser um método confiável para reduzir a quantidade de resíduos químicos no meio ambiente. Neste estudo avaliou-se o desempenho agrônomo e a susceptibilidade à doenças fúngicas de plantas de milho submetidas à aplicação de indutores de resistência de modo exclusivo e em combinação com fungicidas. Um experimento de campo foi conduzido em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições. A aplicação dos indutores de resistência combinados ou não com fungicidas (tratamentos) foi realizada em dois momentos: a primeira quando as plantas apresentavam 4 folhas desenvolvidas (V4) e a segunda em pré-pendoamento. Ganhos entre 25 a 40% na produtividade de grãos foram obtidos com a aplicação de indutores de resistência combinados com fungicidas em comparação ao manejo da cultura sem fungicidas. A aplicação do indutor de resistência MASTER PROTECTION na dose de 0,5 L ha⁻¹ de forma exclusiva permite reduzir o uso de fungicidas no cultivo do milho, mantém a produtividade acima de 100 sacas ha⁻¹ e reduz significativamente a severidade da ferrugem.

Palavras-chaves. defesa de plantas, fitotecnia, Zea mays L.

Abstract. The activation of plant defensive responses is a promising tool for disease control in conventional agriculture. Plant defense mechanisms involve many physical and biochemical changes in plant cells such as cuticle thickening, cell extension and increase in enzyme activity. The incorporation of resistance inducers into disease management programs, alone or in combination with classical methods, can be a reliable method to reduce the amount of chemical residues in the environment. In this study, the agronomic performance and susceptibility to fungal diseases of maize plants subjected to the application of resistance inducers exclusively and in combination with fungicides were evaluated. A field experiment was carried out in a complete randomized block design, with four replications. The application of resistance inducers, combined or not with fungicides (treatments) was carried out in two moments: the first when the plants had 4 developed leaves (V4) and the second in pre-tanning. Gains of 25 to 40% in grain yield were obtained with the application of resistance inducers combined with fungicides compared to crop management without fungicides. The application of MASTER PROTECTION resistance inducer at a dose of 0.5 L ha⁻¹ in an exclusive way allows reducing the use of fungicides in corn cultivation, maintaining productivity above 100 bags ha⁻¹ and significantly reducing the severity of rust.

Keywords: plant defense, phytotechnics, Zea mays L.

Introdução

A produtividade de milho no Brasil na última safra, segundo dados da Companhia nacional de abastecimento (Conab 2022) variou de 581 a 8.218 kg ha⁻¹ dependendo da região de produção. A média brasileira foi de 5.391 kg ha⁻¹. Esta grande variação entre os cultivos, e principalmente, as baixas produtividades é devido principalmente ao amplo cultivo do milho em diferentes locais e épocas no Brasil, deficiências nutricionais e a suscetibilidade da cultura à diversos patógenos. Entre os problemas fitossanitários do milho se destacam as doenças foliares (Dudienas et al. 2013, Brito et al. 2007).

Para o controle dessas doenças, recomendam-se por exemplo a utilização de resistência genética, fungicidas, rotação de cultura e adubação equilibrada. O uso complementar de fungicidas na parte aérea das plantas, tem se mostrado economicamente viável principalmente em lavouras bem conduzidas e com elevado potencial produtivo, sobretudo quando instaladas em área de risco de epidemias (Fantin 2006). Além do controle químico, a utilização da resistência genética é um dos meios de controle mais viáveis, pois, é compatível com outras práticas de manejo e não prejudica o meio ambiente.

A resistência das plantas, pode ser definida como a capacidade de atrasar ou evitar a entrada e a subsequente atividade de um patógeno em seus tecidos. As plantas podem se defender através de mecanismos pré-formados como por exemplo: aumento da espessura das cutículas, diferentes tipos de estômatos, aumento da espessura da parede celular, produção de compostos fenólicos, saponinas, glicosídeos, proteínas e peptídeos antimicrobianos e fototoxinas e como mecanismos pós formados pode-se citar o aparecimento dos halos, papilas, agregação citoplasmáticas, camadas de cortiças, tiloses, fitoalexinas e proteínas relacionadas a patogênese (Pascholati & Dalio 2018).

A indução de resistência torna-se uma alternativa importante, pois, ativa os mecanismos latentes de resistência da planta com o uso de agentes bióticos ou abióticos (Kuhn et al. 2006, Llorens et al. 2017). Em condições controladas de laboratório os indutores com fosfitos e fungicidas, juntos ou isolados, mostraram-se promissores na

redução do crescimento micelial dos fungos *Fusarium verticillioides* e *F. graminearum*, aumentando a sanidade de sementes de milho (Borin et al. 2017). A ação fungistática proporcionada pelo uso dos fosfitos possibilita redução de incidência de fungos em sementes, o que é interessantíssimo. Ainda, em laboratório, resultados semelhantes foram encontrados com indutores de resistência no controle de fungos pós-colheita de frutos de banana por Furtado et al. (2010) utilizando Ecolife® e Acibenzolar-S-metil (ASM). Os resultados apresentados demonstraram a eficácia dos produtos nas concentrações de 5 mL L⁻¹ (Ecolife) e 0,50 g L⁻¹ (ASM) para o controle da antracnose da bananeira.

Na cultura do milho a aplicação via foliar do indutor acibenzolar-S-methyl (ASM) mostrou-se como estratégia promissora para o controle de helmintosporiose e mancha branca (Neumann et al. 2016). Aliado a promoção da resistência às doenças, o emprego de indutores pode promover incrementos na produtividade (Pavezi et al. 2017). Resultado contraditórios, no entanto, foram verificados por Oliveira et al. (2013), avaliando a interação dos indutores e a salinidade da água de irrigação em cultivos do feijão caupi. No estudo, todos os parâmetros fisiológicos avaliados foram afetados pela salinidade e, nas formas de aplicação adotadas, os indutores não proporcionaram melhorias no desenvolvimento das plantas de feijão caupi quando submetidas ao estresse salino. Diante desses relatos, objetivou-se avaliar em condições de campo o desempenho produtivo e a resistência à doenças fúngicas de plantas de milho submetidas à aplicação de indutores de resistência com e sem fungicidas.

Métodos

O trabalho foi realizado em condições de campo na Fazenda Experimental do Instituto Federal Goiano Campus Ceres – GO, (S 23°56'88", W 34°45'07" e altitude de 623 m) em regime de irrigação pelo sistema de pivô central. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é Aw, definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Alvares et al. 2014). Para fins de avaliação da fertilidade foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 – 20 cm para análises físico-químicas, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo na camada de 0–0,20 m, Ceres, GO, 2018.

Areia	Silte	Argila	pH em H ₂ O	M.O.	Ca	Mg	Al
	g kg ⁻¹			g dm ⁻³		cmol dm ⁻³	
482	400	478	5,82	22	3,85	1,94	0,00
H+AL		K	T*	K	P	V*	
		cmol dm ⁻³		mg dm ⁻³			
3,80		0,56	10,15	180,00	30,00	62,57%	

*T = CTC do solo e V = Saturação por bases.

O preparo de solo foi realizado com duas gradagens pesadas e uma nivelagem no dia anterior a instalação do experimento. A semeadura foi

realizada no dia 27/05/2019 com semeadora adubadora, cujo espaçamento foi de 0,50 m, com distribuição de 2,8 sementes m⁻¹ para

estabelecimento da população de 56.000 plantas ha⁻¹. As sementes foram tratadas com Tiametoxam (Cruiser® 350 FS) e Thiran®, na dose de 200 mL de cada produto para 100 kg de sementes. A adubação realizada concomitante a semeadura foi de 16 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O.

Para controle das plantas daninhas aplicou-se S-Metalachlor no dia seguinte a semeadura (1 L ha⁻¹) e em pós emergência foram aplicados os herbicidas atrazina (3 L ha⁻¹) e glyphosate (3 L ha⁻¹). O controle de pragas e doenças seguiram as recomendações para a cultura. O manejo de irrigação foi realizado com tanque classe A e a

lâmina a ser aplicada foi corrigida pelo Kc da cultura de acordo com os seus estádios fenológicos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados composto por oito tratamentos com aplicação de indutores de resistência (Tabela 2), com quatro repetições. O híbrido utilizado foi LG 3055 PRO3. A adubação de cobertura foi realizada aos vinte dias após a emergência (V4), com 90 kg ha⁻¹ de N (Ureia). Em todos os tratamentos que foram aplicados fungicidas adotou-se a combinação Azoxistrobina + Ciproconazol (Priori xtra®) na dose de 300 mL ha⁻¹.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados com aplicação de indutores de resistência em um híbrido de milho. Ceres, 2019.

Treatamentos	Descrição
T1	Testemunha
T2	Somente fungicida
T3	Master Protection 0,5 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento
T4	Master Protection 0,3 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida
T5	Master Protection 0,4 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida
T6	Master Protection 0,5 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida
T7	Prototipo A: 0,5 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida
T8	Prototipo A: 0,5 L ha ⁻¹ em V4 e pré pendoamento

Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de cinco metros espaçadas de 0,5m. As avaliações foram realizadas nas duas linhas centrais desprezando-se 0,50 m em cada extremidade. As doenças que se manifestaram naturalmente na área foram a cercosporiose ou mancha foliar de cercospora (*Cercospora zeae-maydis* Tehon & E.Y. Daniels) e a ferrugem polissora (*Puccinia polysora* Underw.). As avaliações de severidade dessas doenças foram realizadas coletando-se em quatro plantas por parcela, duas folhas, sendo a primeira folha, logo abaixo da espiga e a segunda, a primeira folha acima da espiga. A primeira avaliação para cercosporiose foi realizada em estágio V8 (estádio vegetativo) e a segunda avaliação em estágio R4 (grãos farináceos). A Escala diagramática para a determinação da severidade de cercosporiose foi expressa pela porcentagem de área foliar lesionada, com notas de 1%, 5%, 25% e 50% (Azevedo 1997).

Para as avaliações de severidade da ferrugem, a primeira leitura foi realizada em estágio R1 (pendoamento) e a segunda em R4 (grãos farináceos). A escala diagramática para determinação da severidade foliar da ferrugem foi de acordo com Fantin (1997), com notas variando de 0,1%; 0,3%; 0,7%; 2%; 5%; 12%; 27% e 50%.

A colheita foi realizada aos 120 dias após a emergência (30/09/2019) partir da retirada de todas as espigas das duas linhas centrais de cada parcela. As variáveis avaliadas foram: altura de planta (aferindo-se a região de transição solo-planta até a folha bandeira), altura da primeira espiga, comprimento da espiga (aferida em cinco espigas por parcela com o auxílio de régua graduada), número de fileira de grãos por espiga, número de grãos por fileira, massa de 1000 grãos (obtida de

três sub amostras de 1000 grãos) e a produtividade (kg ha⁻¹) que foi determinada pela trilha de todas as plantas da parcela útil com auxílio de trilhadeira tratorizada.

Análises estatísticas

As notas de severidade de cercosporiose e ferrugem do milho foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de ScottKnot com nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software SASM AGRI (Canteri et al. 2001). As variáveis agrônômicas foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software R, com os pacotes easynova (Arnhold 2013).

Resultados e discussão

O resumo da análise de variância com os valores referentes aos quadrados médios das fontes de variação para cada caractere agrônômico analisado é apresentado na Tabela 3. As variáveis altura de planta (AP), altura da primeira espiga (AE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (NGF) e massa de mil grãos (M1000) não foram influenciadas pela aplicação de indutores de resistência visando resposta de defesa com ou sem a adição de fungicidas. A variável produtividade foi a que apresentou a maior variabilidade (Coeficiente de variação [CV] = 18,33%) dentre todos os caracteres avaliados (Tabela 4). De modo geral pode-se considerar que a precisão experimental foi alta, pois, 85,7% dos caracteres agrônômicos determinados apresentaram CV inferior a 10%,

conforme proposta de classificação da precisão experimental descrita em Scarpim et al. (1995).

O número de fileira de grãos por espiga (NFG) diferiu entre os tratamentos deste estudo. A aplicação isolada de fungicida, do indutor MASTER PROTECTION na dose de 0,5 L ha⁻¹ combinada ou não com fungicidas, bem como a aplicação de PROTIPO A nesta mesma dosagem em

combinação com fungicida, mostraram-se mais eficientes que a aplicação do indutor PROTIPO A na dose de 0,5 L ha⁻¹ isoladamente (Tabela 4). Além da dependência genética o NFG também é afetado pelas condições de cultivo como estresse hídrico, déficit nutricional, compactação do solo e injúrias sofridas pela cultura (Ramadhan 2021).

Tabela 3. Quadrados médios das variáveis: altura de planta (AP), altura de espiga (AE), comprimento de espigas (CE), número de fileira de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (M1000) e produtividade (PROD) de milho com aplicação de indutores de resistência.

Variáveis	Quadrado médio do erro		
	Tratamentos	Blocos	Resíduo
AP	0,0019 ^{ns1}	0,0211	0,0058
AE	0,0046 ^{ns}	0,0115	0,0073
CE	80,8998 ^{ns}	18,4513	71,0832
NFG	1,5780 [*]	0,9961	0,5086
NGF	5,6453 ^{ns}	3,7692	5,0076
M1000	1616,5024 ^{ns}	364,9554	1007,9271
PROD	2970714 [*]	375000	1068333
GL ²	7	3	21

¹ns = não significativo, ^{*}significativo a 5%. ²GL= graus de liberdade

O número de fileira de grãos por espiga (NFG) diferiu entre os tratamentos deste estudo. A aplicação isolada de fungicida, do indutor MASTER PROTECTION na dose de 0,5 L ha⁻¹ combinada ou não com fungicidas, bem como a aplicação de PROTIPO A nesta mesma dosagem em combinação com fungicida, mostraram-se mais eficientes que a aplicação do indutor PROTIPO A na dose de 0,5 L ha⁻¹ isoladamente (Tabela 4). Além da dependência genética o NFG também é afetado pelas condições de cultivo como estresse hídrico, déficit nutricional, compactação do solo e injúrias sofridas pela cultura (Ramadhan 2021).

A planta de milho começa a definir o NFG por espiga na fase V5 e, dependendo do ciclo de crescimento da planta, a definição do NFG pode se estender até o estágio V12. Mas, normalmente, esse componente já está definido em V8 (Magalhães & Durães 2006). Neste estudo a aplicação dos indutores ocorreu em V4 e os resultados obtidos para o NFG indicam que a aplicação exclusiva do indutor MASTER PROTECTION na dose de 0,5 L ha⁻¹ pode ser uma alternativa para redução da aplicação de fungicidas, garantindo o mesmo número de fileiras de grãos por espiga. Isso é interessante pois permite reduzir pelo menos uma aplicação de fungicidas durante o cultivo, resultando em redução dos custos de produção. Associado a isso convém ressaltar que estratégias que otimizem o número de fileiras de grãos são importantes, influenciando diretamente sobre a produtividade de grãos. De acordo com Lana et al. (2009) a utilização de indutores de resistência a partir do tratamento de sementes até a fase reprodutiva, pode estimular o crescimento radicular,

atuando na recuperação mais acelerada das plântulas em condições desfavoráveis, tais como déficit hídrico, temperaturas elevadas e aparecimento de doenças.

Diante dos resultados obtidos, o uso de indutores de resistência vem como uma alternativa para auxiliar as plantas na superação de vários tipos de estresses (bióticos e abióticos), pois atuam como incremento hormonal e nutricional. A redução destes tipos de estresses influencia positivamente na fase de formação do NFG contribuindo para o aumento deste importante componente de produção que pode resultar em ganhos de produtividade, conforme observado neste estudo (Tabela 4).

A produtividade diferiu apenas entre os tratamentos T1 (testemunha) e o T7 (indutor de resistência + fungicida). Essa diferença foi da ordem de 2.800 kg ha⁻¹, o que equivale a aproximadamente 47 sacas ha⁻¹. A produtividade é o saldo final dos processos que ocorreram ao longo do ciclo de uma cultura. Nos ambientes de cultivo de milho no Brasil, por exemplo, produtividades acima de 6000 kg ha⁻¹ são buscadas constantemente e nesse intuito estratégias de indução que fortaleçam o metabolismo de defesa das plantas e mantenham produtividades elevadas tornam-se interessantíssimas. Ocorre que a aplicação de indutores de resistência altera o metabolismo das plantas e muitas das vezes promove realocação de fotoassimilados para a defesa da planta podendo reduzir a taxa líquida de assimilação de carbono, a condutância estomática ao vapor de água e a taxa de transpiração (Cacique et al. 2020).

Tabela 4. Componentes agronômicos: altura de planta (AP), altura da primeira espiga (AE) e de produção: comprimento da espiga (CE), número fileira de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (M1000) e produtividade (PROD) de híbrido de milho com aplicação de indutores de resistência.

TRAT	Características agronômicas						
	AP	AE	CE	NFG	NGF	M1000	PROD
T1	2,04 a	1,23 a	140,28 a	14,50 ab	24,75 a	363,20 a	4.000,00 b
T2	2,09 a	1,28 a	138,73 a	16,00 a	24,58 a	411,72 a	5.250,00 ab
T3	2,05 a	1,23 a	149,60 a	15,34 a	25,75 a	424,68 a	6.100,05 ab
T4	2,10 a	1,31 a	143,75 a	15,50 ab	25,17 a	400,68 a	6.050,80 ab
T5	2,08 a	1,29 a	138,75 a	14,83 ab	24,58 a	419,55 a	5.500,70 ab
T6	2,04 a	1,25 a	149,18 a	15,83 a	27,92 a	410,62 a	6.250,09 ab
T7	2,07 a	1,22 a	146,73 a	15,08 a	25,77 a	421,51 a	6.800,80 a
T8	2,06 a	1,22 a	146,65 a	14,33 b	26,83 a	420,55 a	5.150,21 ab
CV (%)	3,68	6,85	5,85	4,74	8,72	7,76	18,33

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. TRAT = tratamentos, T1 = testemunha, T2 = somente fungicida, T3 = Master Protection 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento, T4 = Master Protection 0,3 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T5 = Master Protection 0,4 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T6 = Master Protection 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T7 = Protótipo A: 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida e T8 = Protótipo A: 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento.

A realocação de fotoassimilados ao mesmo tempo em que beneficia a planta com a síntese de proteínas (enzimas) ligadas à patogênese, como quitinases, peroxidases, etc., (Cavalcanti et al. 2006, Ishida et al. 2008) desencadeia um processo de competição, em termos de custo energético, com as demais proteínas que são necessárias ao metabolismo primário, às atividades normais de crescimento e desenvolvimento da planta (Barros 2011), podendo não surtir efeito na produtividade. Esse comportamento já foi observado em plantas de feijoeiro (Kuhn 2007) e também no milho. Neumann et al. (2016) aplicaram via foliar o indutor de resistência acibenzolar-S-methyl (ASM) em plantas de milho nos estádios V7 e V10 em experimentos conduzidos em condições de campo e observaram a redução das doenças fúngicas foliares helmintosporiose e mancha branca, sem, contudo, aumentar o rendimento de grãos. Em nosso estudo foi observado que a presença de indutores de resistência combinados ou não com fungicidas incrementaram a produtividade (Tabela 4). Isso demonstra o potencial dos indutores de resistência utilizados serem associados com fungicidas para potencialização dos processos fisiológicos e/ou bioquímicos da planta, uma vez que ganhos de produtividade foram obtidos.

Para a severidade da ferrugem do milho não houve diferença entre os tratamentos na primeira avaliação (R1) (Tabela 5). Já na segunda avaliação (R4), os tratamentos T1, T2 e T8 (testemunha, somente fungicida e protótipo A, respectivamente) mostraram-se menos eficientes no controle da doença. Além disso, observou-se que nesses tratamentos houve aumento do percentual de planta acometidas em relação à primeira avaliação. Nos tratamentos com Master Protection sozinho (T3), Master Protection com fungicidas em diferentes dosagens (T4, T5 e T6) e Protótipo A com fungicida (T7), observou-se as menores severidades e redução da doença em comparação a primeira avaliação. Os indutores mostraram-se eficientes no controle da ferrugem, porém sobre estratégias diferentes de aplicação. Para surtir efeito positivo no controle da ferrugem a aplicação do PROTÓTIPO A precisa ser combinada com fungicidas. Já o MASTER PROTECTION dispensa a combinação. Observadas estas especificidades, o uso dos indutores analisados surge como uma alternativa promissora para o controle da ferrugem. Esses resultados reforçam e encorajam para o uso de protocolos de indução de resistência em plantas, resultando, portanto, em um aumento da resistência do milho a ferrugem.

Tabela 5. Valores médios de severidade da ferrugem e cercosporiose do milho. Ceres, 2019.

Tratamentos	Ferrugem polissora (%)		Cercosporiose (%)	
	1 ^a ava	2 ^a ava	1 ^a ava	2 ^a ava
T1	11,2a	28,3a	3a	29,3a
T2	12,1a	19,6a	3,1a	11a
T3	8,3a	5b	2,8a	9a
T4	11,3a	8,5b	3,2a	14,5a
T5	8a	7,3b	3a	15,6a
T6	6,7a	5,8b	2,9a	20,2a
T7	7,1a	5,3b	3,1a	12,5a
T8	8,6a	25,8a	3,1a	21,2a
CV%	26,4	28,1	17,7	44,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knot. Os dados foram transformados em log X na base 10. T1 = testemunha, T2 = somente fungicida, T3 = Master Protection 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento, T4 = Master Protection 0,3 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T5 = Master Protection 0,4 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T6 = Master Protection 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida, T7 = Protótipo A: 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento junto com fungicida e T8 = Protótipo A: 0,5 L ha⁻¹ em V4 e pré pendoamento

Resultados semelhantes foram evidenciados por Borin et al. (2017) em estudo de condições controladas de laboratório com fosfitos (cobre, potássio e manganês) e fungicidas (Fludioxonil, Metalaxyl, Carbendazim e Thiram). Avaliou-se em dois experimentos, o crescimento micelial dos fungos *Fusarium verticillioides* e *F. graminearum* e a sanidade de sementes de milho através do tratamento de sementes com os fosfitos e os fungicidas, juntos ou isolados. As sementes tratadas, foram infestadas por vários gêneros de fungos (*Fusarium*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Cercospora*). O crescimento micelial dos fungos sofreu efeito fungistático com o uso dos fosfitos de potássio e Manganês. As sementes tratadas com fosfitos em associação com os fungicidas, demonstraram melhor efeito na sanidade das sementes, reduzindo a incidência dos fungos em relação aos tratamentos com os produtos isolados. Cacique et al. (2020) observaram que a prévia inoculação de isolados de *F. verticillioides* promove um metabolismo antioxidante (CATALASE e PEROXIDASE) mais robusto para remoção de espécies reativas de oxigênio em associação com uma eficiente e forte atividade de enzimas de defesa (QUITINASE E GLUCANASE), o que ajuda a minimizar os danos celulares causados pela infecção por *F. verticillioides*.

Os tratamentos com as maiores severidades de ferrugem (T1, T2 e T8) apresentaram as menores produtividades com taxas de redução da ordem 41%, 22% e 24%, respectivamente, em comparação ao T7 que foi o mais produtivo. Isso evidencia forte correlação linear negativa entre a severidade da ferrugem e a produtividade (Figura 1).

Essa relação entre o aumento da severidade da ferrugem e a redução da produtividade na cultura do milho já foi constatado por outros pesquisadores. Dudienas et al. (2013) avaliando 72 híbridos de milho quanto a severidade da ferrugem polissora e seu efeito na produtividade, em quatro municípios do Estado de São Paulo e cinco épocas diferentes de plantio, observaram que a redução da produtividade do milho em função da severidade da Ferrugem polissora pode chegar a 20% quando as lesões ocorrem em torno de 39% da área foliar. A causa disso decorre do fato de que plantas com menor área foliar apresentam limitação no aporte de compostos para o enchimento de grãos, impactando diretamente a produtividade (Santos et al. 2017).

Para cercosporiose, na primeira avaliação a severidade foi baixa (< 4,0%) e não diferiu entre os tratamentos. Na segunda avaliação também não houve diferença entre os tratamentos e o percentual de severidade da doença aumentou em todos os tratamentos. Observou-se alta variabilidade (elevados valores de CV) para a severidade das doenças, especialmente na segunda avaliação de cercosporiose.

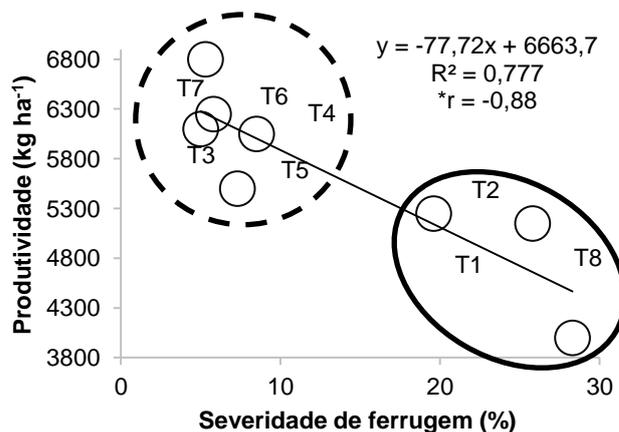


Figura 1. Decréscimo da produtividade em razão do aumento da severidade de ferrugem em plantas de milho. Ceres, 2019.

*r = coeficiente de correlação linear.

O estudo também confirma a suscetibilidade da cultura do milho aos fungos *Puccinia polysora* e *Cercospora zea-maydis*, mesmo quando aplicado fungicidas. Patógenos como *P. polysora* e *C. zea-maydis* que infectam as folhas das plantas podem prejudicar substancialmente a fotossíntese como resposta direta às alterações fisiológicas causadas no transporte de água e solutos (Bispo et al. 2015, Wang et al. 2015). Assim, o uso de estratégias que permitam aumentar a defesa natural das plantas como a aplicação de indutores (associados ou não com fungicidas), tendem a contribuir para menores impactos desta doença na produtividade da cultura, uma vez que não ausência destas práticas observou-se redução média de 32% da produtividade. Efeitos da cercosporiose no rendimento de híbridos comerciais de milho foram observados por Brito et al. (2007) em experimentos de campo em Lavras, Minas Gerais com plantios de doze híbridos nos meses de novembro e dezembro. Os autores constataram que o nível de dano varia entre as épocas de semeadura e os híbridos avaliados, sendo em média de 13%, a cercosporiose é uma doença que reduz a produtividade de grãos de milho, principalmente para a semeadura tardia.

Casela & E Ferreira (2003) relatam que os danos causados pela cercosporiose são pequenos, quando a doença é introduzida pela primeira vez em uma determinada área. Contudo, as perdas podem ser mais significativas quando as condições ambientais forem favoráveis ao desenvolvimento da doença e quando, a cultura for plantada em áreas com plantios anteriores de milho com infestação da doença. Os restos culturais infectados propiciam uma fonte de inóculo de grande importância para a geração de epidemias severas na cultura subsequente, caso da área do presente estudo que é cultivado milho sob milho durante todo o ano. De modo geral, constatou-se que a associação de indutores de resistência e fungicidas resultam em boa alternativa para manejo de doenças, contribuem para aumento no NFG das plantas e aumento da produtividade.

Conclusões

A aplicação de 0,5 L ha⁻¹ de PROTOTIPO A em combinação com fungicidas promove incremento de 41% na produtividade do milho em comparação ao manejo da cultura sem fungicidas.

Uma alternativa para redução no uso de fungicidas no cultivo do milho é a aplicação do indutor de resistência MASTER PROTECTION na dose de 0,5 L ha⁻¹ aplicado de forma exclusiva, pois esta estratégia assegura a mesma eficiência do uso exclusivo de fungicidas ou da combinação destes com os indutores avaliados, no controle da ferrugem e na produtividade.

Referências

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.D.M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift. Vol. 22, p. 711–728, 2014.

ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science. Vol. 50, p. 488-492, 2013.

AZEVEDO, L.A.S. de. Manual de quantificação de doenças de plantas. São Paulo, 1997, 114p.

BARROS, R. Estudo sobre a aplicação foliar de acibenzolar-S-metil para indução de resistência à ferrugem asiática em soja e cercosporiose em milho. Arquivos do Instituto Biológico. Vol. 78, p. 519-528, 2011.

BISPO, W.M.S., ARAÚJO, L., BERMÚDEZ-CARDONA, M.B., CACIQUE, I.S., DAMATTA, F.M., RODRIGUES, F.A. *Ceratocystis fimbriata*-induced changes in the antioxidative system of mango cultivars. Plant Pathology. Vol. 64, p. 627–637, 2015.

BORIN, R.C., POSSENTI, J.C., SANTOS-REY, M., BERNARDI, C., MAZARO, S.M. Fósfitos associados a fungicidas para controle de doenças e sanidade de sementes de milho. Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science. Vol. 10, p. 83-92, 2017.

BRITO, A.H., VON PINHO, R.G., POZZA, E.A., PEREIRA, J.L.A.R., FARIA FILHO, E.M. Efeito da cercosporiose no rendimento de híbridos comerciais de milho. Fitopatologia Brasileira. Vol. 32, p. 472-479, 2007.

CACIQUE, I.S., PINTO, L.F.C.C., AUCIQUE-PÉREZ, C.E., WORDELL FILHO, J.A., RODRIGUES, F.A. Physiological and biochemical insights into the basal level of resistance of two maize hybrids in response to *Fusarium verticillioides* infection. Plant Physiology and Biochemistry. Vol. 152, p. 194-210, 2020.

CANTERI, M.G., ALTHAUS, R.A., VIRGENS FILHO, J.S., GIGLIOTI, E.A., GODOY, C.V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scoft - Knott, Tukey e Duncan. Revista Brasileira de Agrocomputação. Vol. 1, p. 18-24, 2001.

CASELA, C.R., FERREIRA, A.S.A Cercosporiose na Cultura do Milho. Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica 24, 2003. 5p.

CAVALCANTI, F.R., RESENDE, M.L.V., ZACARONI, A.B., RIBEIRO JÚNIOR, P.M., COSTA, J.C.B., SOUZA, R.M. Acibenzolar-S-metil e Ecolife na indução de respostas de defesa do tomateiro contra a mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*). Fitopatologia Brasileira. Vol. 31, p. 372-380, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, v. 9, n. 4, quarto levantamento, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 05 de fevereiro de 2022.

DUDIENAS, C., FANTIN, G.M., DUARTE, A.P., TICELLI, M., BÁRBARO, I.M., FREITAS, R.S., LEÃO, P.C.L., CAZENTINI FILHO, G., BOLONHEZI, D., PÂNTANO, A.P. Severidade de ferrugem polissora em cultivares de milho e seu efeito na produtividade. Summa Phytopathologica. Vol. 39, p. 16-23, 2013.

FANTIN, G.M. Avaliação de resistência do milho a ferrugem causada por (*Puccinia polissora* UNDERW). Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

FANTIN, G. M. Milho: tratar ou não das doenças. Revista Cultivar Grandes Culturas. Vol. 8, p. 28-31, 2006.

FURTADO, L.M., RODRIGUES, A.A.C., ARAÚJO, V.S., SILVA, L.L.S., CATARINO, A.M. Use of Ecolife® and Acibenzolar-S-metil (ASM) on the control of antracnosis in banana post-harvest. Summa Phytopathologica. Vol. 36, p. 237-239, 2010.

ISHIDA, A.K.N., SOUZA, R.M., RESENDE, M.L.V., CAVALCANTI, F.R., OLIVEIRA, D.L., POZZA, E.A. Rhizobacterium and acibenzolar-S-methyl (ASM) in resistance induction against bacterial blight and expression of defense responses in cotton. Tropical Plant Pathology. Vol. 33, p. 27-37, 2008.

KUHN, O.D., PASCHOLATI, S.F., FILHO, J.A.C., PORTZ, R.L., OSWALD, W. Indução de resistência sistêmica em plantas: aspectos gerais, efeitos na produção e sobre microrganismos não-alvo. Revisão Anual de Patologia de Plantas. Vol. 14, p. 251-302, 2006.

KUHN, O.J. Indução de resistência em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) por acibenzolar-S-metil e *Bacillus cereus*: aspectos fisiológicos, bioquímicos e parâmetros de crescimento e produção. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LANA, A.M.Q., LANA, R.M.Q., GOZUEN, C.F., BONOTTO, I., TREVISAN, L.R. Aplicação de reguladores de crescimento na cultura do feijoeiro. Bioscience Journal. Vol. 25, p. 13-20, 2009.

LLORENS, E., GARCÍA-AUGUSTIN, P., LAPEÑA, L. Advances in induced resistance by natural compounds: towards new options for woody crop protection. Scientia Agrícola. Vol. 74, p. 90-100, 2017.

MAGALHÃES, P.C., DURÃES, F.O.M. Fisiologia da produção de milho. Embrapa Milho e Sorgo – Circular Técnica 76, 2006. 10p.

NEUMANN, M.M., SPADOTTO, D.V., CRESTANI, N., ACUNHA, J.G. Efeito do indutor de resistência acibenzolar-S-methyl (ASM) associado a fungicidas no controle de doenças foliares em milho. *In: XXXI Congresso Nacional de Milho e Sorgo "Milho e Sorgo: inovações mercados e segurança alimentar"*. Bento Gonçalves, RS. **Anais...**2016.

OLIVEIRA, F.A., MEDEIROS, J.F., OLIVEIRA, M.K., SOUZA, A.T., FERREIRA, J.A., SOUZA, M.S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 17, p. 465–471, 2013.

PASCHOLATI, S.F., DALIO, R.J.D. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. *In: AMORIM, L., REZENDE, J. A. M., BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos*. 5. ed. Ouro Fino, MG: Ceres, 2018. v. 1, cap. 35, p. 423-450.

PAVEZI, A., FAVARÃO, S.C.M., KORTE, K.P. Efeito de diferentes bioestimulantes na cultura do feijoeiro comum. *Revista Campo Digit@l*. Vol. 12, p. 30-35, 2017.

RAMADHAN, M.N. Yield and yield components of maize and soil physical properties as affected by tillage practices and organic mulching. *Saudi Journal of Biological Sciences*. Vol. 28, p. 7152–7159, 2021.

SANTOS, M.P., ZANON, A.J., CUADRA, S.V., STEINMETZ, S., CASTRO, J.R., HEINEMANN, A.B. Yield and morphophysiological indices of irrigated rice genotypes in contrasting ecosystems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. Vol. 47, p. 253-264, 2017.

WANG, M., SUN, Y., SUN, G., LIU, X., ZHAI, L., SHEN, Q., GOU, S. Water balance altered in cucumber plants infected with *Fusarium oxysporum* f. sp. cucumerinum. *Scientific Reports*. Vol. 5, p. 7722, 2015.