

Controle da mancha parda, pigmentos fotossintéticos e o dano celular em plantas de arroz submetidas à elevação da concentração do CO₂ atmosférico

Control of brown spot, photosynthetic pigments and cell damage in rice plants submitted to the increasing the concentration of atmospheric CO₂

Keilor da Rosa Dorneles¹
Emanuelli Bizarro Furtado²
Leandro José Dallagnol³

Resumo: O incremento de CO₂ atmosférico é uma das principais variáveis ambientais que podem afetar a produtividade das plantas cultivadas, assim como na interação destas com fitopatógenos. Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar os efeitos da elevação da concentração do CO₂ atmosférico no controle da mancha parda e sua ação resultante na concentração dos pigmentos fotossintéticos e dano celular em plantas de arroz. Para tal, plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL foram cultivadas sob duas concentrações de CO₂ (400 ou 700 ppm) e ao cinquenta (50) dias após a semeadura, no estágio fenológico V₉-V₁₀, foi aplicado fungicida trifloxistrobina + tebuconazol na dose de 0,75 litros.ha⁻¹. Aos cento e quatorze (114) dias após semeadura foram avaliadas as variáveis: clorofila *a*, *b*, total e carotenoides, extravasamento de eletrólitos (EE) e a severidade da mancha parda por ocorrência natural. A elevação da concentração de CO₂ atmosférica de 400 ppm para 700 ppm, reduz a severidade da mancha parda e influência na concentração dos pigmentos fotossintéticos e no dano celular. A eficiência do fungicida no controle da mancha parda a 700 ppm, foi melhor na cultivar considerada suscetível a doença. A 700 ppm o fungicida, também elevou a concentração da clorofila nas plantas de arroz de ambas as cultivares. Dessa forma, concluiu-se que o aumento na concentração da clorofila total, *a* e *b* e carotenoides, estão relacionados a mitigação dos danos celulares pelo *B. oryzae* nas plantas de arroz a 700 ppm de CO₂.

Palavras-chave: Clorofila; Dano celular; Mudanças climáticas

- 1 Doutorando em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas.
- 2 Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas
- 3 Prof. Dr. Adjunto, Universidade Federal de Pelotas.

Abstract: *The increase in atmospheric CO₂ concentration is one of the main environmental variables that can affect the yield of the cultivated plants, as well as the plant-pathogen interaction. Thus, the objective in this study was to evaluate the effects of increase in the atmospheric CO₂ concentration on chemical control of brown spot (*Bipolaris oryzae*), on the concentration of photosynthetic pigments and cellular damage in rice plants. For this purpose, rice plants of cultivars BRS Querência and Inov CL were cultivated under two CO₂ concentrations (400 or 700 ppm). At fifty (50) days after sowing, during the phenological stage of V₉-V₁₀, was applied trifloxystrobin + tebuconazole fungicide (0.75 liters. ha⁻¹). At one hundred and fourteen (114) days after sowing, the following variables were evaluated: concentration of chlorophyll (a, b and total) and carotenoids, electrolytes leakage (EE) and brown spot severity. The increase in atmospheric CO₂ concentration from 400 to 700 ppm reduced brown spot severity and influenced positively the concentration of photosynthetic pigments and negatively the cell damage. The fungicide efficiency on the control of brown spot at 700 ppm was higher on the cultivar susceptible than on resistant one. At 700 ppm, fungicide treatment also increased the chlorophylls concentration of rice plants regardless of cultivars. Thus, it was concluded that the increase in the concentration of chlorophylls total, a and b, and carotenoids, are related to the mitigation of the cellular damages caused by *B. oryzae* in the rice plants under 700 ppm of CO₂.*

Keywords: Chlorophyll; Cell damage; Climate changes.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) tem aumentando gradativamente nos últimos tempos e é amplamente aceito que as principais causas deste aumento estão associadas às atividades antrópicas, além dos eventos naturais (GHINI et al., 2008; IPCC, 2014). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas-IPCC, estima que até o fim do século XXI as alterações climáticas globais, causadas pela constante emissão de gases de efeito estufa, levarão a um aumento da concentração do CO₂ atmosférico para mais de 800 ppm (IPCC, 2014).

Os efeitos biológicos decorrentes do aumento do CO₂ podem ser refletidos no comportamento de algumas espécies vegetais e microrganismos de interesse agrícola. Pelo fato que o CO₂ é um componente básico da fotossíntese, em alta concentração, pode causar alterações na morfologia e nos processos fisiológicos das plantas, assim

como na interação destas com fitopatógenos (CHAKRABORTY, 2005; GHINI et al., 2008).

Com uma produção anual de cerca de 756,5 milhões de toneladas, o arroz é o segundo cereal mais produzido e o mais consumido no mundo. Desse montante, o Brasil é responsável por 11,50 milhões de toneladas, sendo o nono maior produtor mundial do cereal, sendo a região Sul do país como a principal zona orizícola, correspondendo por aproximadamente 80% da produção nacional de arroz (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2018). Ademais, embora a produtividade da cultura tenha aumentado principalmente na última década, a incidência de doenças continua a ser um dos fatores limitantes, principalmente as que correm na folha, uma vez que podem causar danos que variam de 20 a 100% em condições epidêmicas, principalmente por afetarem a capacidade da planta de sintetizar fotoassimilados (SUNDER, 2014).

Os patógenos foliares, como o *Bipolaris oryzae* Breda de Haan, agente causal da mancha-parda, que apresenta relação parasitária necrotrófica, utiliza como mecanismo de parasitismo enzimas de degradação da parede celular e toxinas que atuam em pontos específicos na célula do hospedeiro, principalmente no fotossistema, o que resulta no estresse oxidativo, levando a foto-oxidação da clorofila e a ocorrência da morte celular, que, por sua vez, resulta no sintoma de clorose e necrose evidenciado no tecido vegetal (SUNDER, 2014; CHOWDHURY et al., 2017).

Para o manejo dessa doença, seguido do uso de cultivares resistentes, o controle químico, através da aplicação de fungicidas é umas das alternativas mais eficientes e economicamente viáveis disponíveis aos produtores de arroz (SUNDER, 2014; BORDIN, 2016). De acordo com Celmer et al. (2007), o controle químico, nas cultivares IRGA 417 e El Passo L 144, reduziu significativamente a severidade das manchas foliares, refletindo no aumento da produtividade de ambas as cultivares.

No entanto, variações de fatores climáticos, como o aumento do CO₂ pode impactar na eficácia das práticas atualmente empregadas no manejo das doenças. Segundo Ghini (2008) e Delcour et al. (2015) propõem que o CO₂ por induzir aumento na taxa de crescimento vegetal, pode resultar na diluição da concentração do fungicida absorvido pela planta. Bem como, pela alteração no metabolismo, o ingrediente ativo pode acabar sendo metabolizado de maneira mais rápida, afetando o seu residual no tecido.

Diante, da carência de informações sobre esses fatores e suas combinações, nesse estudo foi avaliado o efeito da elevação da concentração do CO₂ atmosférico no controle da mancha parda e sua ação resultante na concentração dos pigmentos fotossintéticos e dano celular em plantas de arroz.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL (“OPEN-TOP CHAMBERS”, OTC) E CULTIVO DO ARROZ

As cultivares de arroz BRS Querência (Embrapa) e Inov CL (Ricetec) foram utilizadas nos experimentos. Essas cultivares foram selecionadas devido a suscetibilidade contrastante para a mancha parda, sendo escolhida a cultivar BRS Querência por ela apresentar suscetibilidade e a cultivar Inov CL por ser resistente à mancha parda. A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade 2 litros, contendo aproximadamente 1,5 kg de solo peneirado. Ao solo foi adicionado fertilizante químico NPK (05 - 20 - 20) conforme as indicações técnicas para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2016). Logo após a semeadura, os vasos foram alocados em estufas de topo aberto (“open-top chambers”, OTC).

As OTCs tinham formato quadrangular e estrutura de madeira (4 m² e 2 m de altura) com as laterais protegidas por um filme plástico transparente de polietileno, equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e, assim, prevenir a diluição da concentração desejada de CO₂ dentro da estufa. A transferência do CO₂ puro contido no cilindro para

os OTCs, ocorreu através de uma tubulação até atingir o controlador de fluxo, que faz a regulação a quantidade de CO₂ distribuído em cada OTC. As concentrações utilizadas foram 400 ppm CO₂ [considerada como atual no ambiente (teste controle)] e 700 ppm CO₂ [concentração prevista para no ano de 2050 (IPCC, 2014)]. As OTCs estão situadas na área experimental do campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, localizada na cidade de Capão do Leão/RS (latitude 31° 81' sul, longitude 52° 41' W. Gr.).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram organizados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Para avaliação dos pigmentos e extravasamento de eletrólitos, foi considerado o esquema fatorial 2 x 2 x 2, cujos fatores consistiram em duas cultivares (BRS Querência e Inov CL), duas concentrações de CO₂ (400 e 700 ppm CO₂) e plantas submetidas ou não a aplicação de fungicida.

2.3 APLICAÇÃO DO FUNGICIDA

Cinquenta (50) dias após a semeadura no estágio fenológico V₉-V₁₀ (segundo escala de COUNCE, 2000), foi aplicado fungicida trifloxistrobina (100 g. L) + tebuconazol (200 g. L) na dose de 0,75 litros. ha⁻¹. A aplicação foi realizada pelo período da manhã com temperatura 27°C, utilizando um pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra com 4 bicos contendo pontas de jato plano em leque, série 110.02, espaçadas em 50 cm, calibrado para aplicar volume de calda de 200 L. ha⁻¹.

2.4 AVALIAÇÃO DE PIGMENTOS

Aos cento e quatorze (114) dias após semeadura as folhas bandeira de duas plantas de arroz, por repetição, foram coletadas e armazenadas em ultrafreezer a -70 °C, até a realização das avaliações de clorofila *a* e *b*, total e carotenoides.

A determinação de pigmentos foi realizada conforme metodologia descrita por Dallagnol et al. (2011), com algumas modificações. As amostras foram pesadas e, em seguida, homogeneizadas em 5 mL de acetona 80% com carbonato de cálcio (Synth, Brasil). O extrato bruto foi centrifugado a 28 x *g* (centrifuga, modelo Sirius 4000) e retirado o sobrenadante. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (modelo UV-UM51- Bel[®]) a 470 nm para carotenoides e a 647 e 663 nm para a concentração de clorofilas. Os resultados obtidos foram expressos em mg g⁻¹ matéria fresca (MF) de clorofila *a*, *b*, total ou de carotenoides.

2.5 EXTRAVASAMENTO DE ELETRÓLITOS (EE)

A quantificação da concentração de eletrólitos extravasados foi determinada conforme metodologia descrita por Lima et al. (2002), com algumas modificações. Foram coletados 16 discos foliares (7 mm) da folha bandeira do colmo principal de plantas aos cento e quatorze (114) dias após a semeadura. Os discos foliares obtidos foram lavados duas vezes em água deionizada imediatamente após o corte. Em seguida, os discos foram incubados em 30 mL de água deionizada a 25°C. Após quatro horas, foi realizada a primeira leitura da condutividade elétrica (C_{E1}) em condutímetro (Tecnonon mCA-150 - MS Tecnonon Instrumentação Científica). Logo em seguida, as amostras foram incubadas a 90°C, por duas horas, sendo na sequência, determinada a condutividade elétrica novamente (C_{E2}). O valor do extravasamento de eletrólitos foi obtido pela porcentagem de eletrólitos extravasados em relação aos eletrólitos totais conforme a seguinte fórmula:

$$EE(\%) = \left(\frac{C_{E1}}{C_{E2}} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que: EE= extravasamento de eletrólitos, em %; C_{E1}= leitura da condutividade elétrica a 30 °C; C_{E2}= leitura da condutividade elétrica a 90 °C.

2.6 SEVERIDADE DA MANCHA PARDA

A ocorrência da doença foi devido ao inoculo presente no ambiente, não sendo realizada inoculação das plantas. Aos cento e quatorze (114) dias após a semeadura, a severidade final (SF) foi avaliada em duas plantas por repetição, nas folhas do colmo principal. A SF (%) foi estimada, utilizando-se a percentagem ou proporção da área das folhas atacadas pela doença de acordo com a escala diagramática proposta por Schwanck; Del ponte (2014).

2.7 ANÁLISES DOS DADOS

Para evidenciar a homogeneidade dos dados foi aplicado o teste de Shapiro Wilk, para todas as variáveis avaliadas nos experimentos. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Student (teste-t) no software SAS (SAS Institute, 1989, Cary, NC).

3. RESULTADOS

3.1 PIGMENTOS

Plantas da cv. Inov CL, sem fungicida, à 400 ppm de CO₂, apresentaram maior concentração em 24, 17 e 44%, respectivamente de clorofila total, clorofila *a* e *b* quando comparado a plantas da cv. BRS Querência (Tabelas 1 e 2). No entanto, à 700 ppm de CO₂, a concentração de clorofila total, *a* e *b*, foram 94, 83 e 130%, respectivamente maior na cv. BRS Querência quando comparado a cv. Inov CL (Tabelas 1 e 2). Com fungicida, a 400 ppm de CO₂, a cv. Inov CL apresentou concentração de clorofila *b* 32% maior quando comparada a cv. BRS Querência (Tabela 2).

Tabela 1. Carotenoides e clorofila total na folha bandeira de plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente enriquecido (700 ppm) ou não (400 ppm) com CO₂, sem (-F) e com (+F) aplicação de fungicida trifloxistrobina + tebuconazol.

Cultivares	Carotenoides (mg g ⁻¹ MF)				Clorofila (Total) (mg g ⁻¹ MF)			
	400 ppm		700 ppm		400 ppm		700 ppm	
	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F
BRS Querência	1,23 aA	1,2 aA	1,5 aA	1,5 aA	3,2 bB	4,4 aA	6,7aA*	5,4aB*
Inov CL	1,56 aA	1,2 aB	1,0aB*	1,5aA*	4,3 aA	4,7 aA	3,4bB*	5,9aA*
CV%	25,0				18,0			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) comparando cultivares. Letras maiúsculas na linha, compara as médias da aplicação ou não do fungicida trifloxistrobina + tebuconazol, dentro de cada concentração de CO₂ pelo teste *t* ($p \leq 0,05$). * refere-se a diferença significativa, pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) em relação ao tratamento, entre as concentrações de CO₂.

Tabela 2. Clorofila *a* e *b* na folha bandeira de plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente enriquecido (700 ppm) ou não (400 ppm) com CO₂, sem (-F) e com (+F) aplicação de fungicida trifloxistrobina + tebuconazol.

Cultivares	Clorofila <i>a</i> mg g ⁻¹ MF				Clorofila <i>b</i> mg g ⁻¹ MF			
	400 ppm		700 ppm		400 ppm		700 ppm	
	-F	+F	-F	+F	-F	+F	-F	+F
BRS Querência	2,71bB	3,27aA	4,81aA*	4,05aB*	0,59bB	1,23bA	1,91aA*	1,34B
Inov CL	3,28aA	3,26aA	2,62bB*	4,31aA*	1,07aB	1,62aA	0,83bB	1,63aA
CV%	30,0				18,0			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) comparando cultivares. Letras maiúsculas na linha, compara as médias da aplicação ou não do fungicida trifloxistrobina + tebuconazol, dentro de cada concentração de CO₂ pelo teste *t* ($p \leq 0,05$). * refere-se a diferença significativa, pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) em relação ao tratamento, entre as concentrações de CO₂.

Plantas à 400 ppm de CO₂ que receberam aplicação do fungicida apresentaram concentração da clorofila total, clorofila *a* e *b*, 36, 20 e 108%, respectivamente, maiores na cv. BRS Querência, enquanto que para cv. Inov CL ocorreu redução de 23% para os carotenoides, aumento de 51% na clorofila *b*, quando comparado a plantas que não receberam aplicação do fungicida (Tabelas 1 e 2). Para as plantas à 700 ppm de CO₂ tratadas com fungicida ocorreu, para cv. BRS Querência, redução na clorofila total, clorofila *a* e *b*, respectivamente, em 19, 16 e 30%, e para cv. Inov CL, aumento na concentração de carotenoides, clorofila total, clorofila *a* e *b*, respectivamente de 48, 71, 64 e 96% (Tabelas 1 e 2).

Quando comparado o efeito do CO₂, plantas sem fungicida, à 700 ppm de CO₂, da cv. BRS Querência, apresentaram aumento de 104, 77 e 200% na concentração da clorofila total, clorofila *a* e *b*. Enquanto, para cv. Inov CL ocorreu redução na concentração da clorofila total, carotenoide e clorofila *a*, respectivamente de 20, 32 e 20%, quando comparado a plantas cultivadas à 400 ppm de CO₂ (Tabelas 1 e 2). Nas plantas tratadas com fungicida, à 700 ppm de CO₂, da cv. BRS Querência, a concentração foi 21 e 24% maior, respectivamente para clorofila total e clorofila *a*, e da cv. Inov CL o aumento foi 26, 30 e 32% para clorofila total, carotenoides e clorofila *a* (Tabelas 1 e 2), quando comparado à 400 ppm de CO₂.

3.2 EXTRAVASAMENTO DE ELETRÓLITOS

Plantas da cv. BRS Querência, sem fungicida, à 700 ppm de CO₂, apresentaram aumento de 2% quando comparado a cv. Inov CL (Tabela 3).

Comparando o efeito do fungicida, à 400 ppm de CO₂, para cv. Inov CL à aplicação do fungicida reduziu a porcentagem de extravasamento de eletrólitos em 2,6%, quando comparado a plantas sem fungicida (Tabela 3).

Tabela 3. Extravasamento de eletrólitos na folha bandeira de plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente enriquecido (700 ppm) ou não (400 ppm) com CO₂, sem (-F) e com (+F) aplicação de fungicida trifloxistrobina + tebuconazol.

Cultivares	Extravasamento de eletrólitos (%)			
	400 ppm		700 ppm	
	-F	+F	-F	+F
BRS Querência	74,36 a A	73,46 a A	69,28 a A*	69,52 a A*
Inov CL	75,61 a A	73,64 a B	67,79 b A*	69,55 a A*
CV%	16,0		22,0	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) comparando cultivares. Letras maiúsculas na linha, compara as médias da aplicação ou não do fungicida trifloxistrobina + tebuconazol, dentro de cada concentração de CO₂ pelo teste *t* ($p \leq 0,05$). * refere-se a diferença significativa, pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) em relação ao tratamento, entre as concentrações de CO₂.

Em relação ao efeito do CO₂, plantas da cv. BRS Querência, sem fungicida, à 700 ppm de CO₂, apresentaram decréscimo de 7% e para cv. Inov CL a redução foi de 10% no extravasamento de eletrólitos. Enquanto, para plantas tratadas com fungicida a 700 ppm a redução no extravasamento de eletrólitos foi de 5% e de 6%, respectivamente, para

cv. BRS Querência e cv. Inov CL (Tabela 3), quando comparado a plantas sem fungicida cultivadas à 400 ppm de CO₂.

3.3 MANCHA PARDA

A mancha parda foi afetada negativamente pela elevação da concentração do CO₂ atmosférico (Tabela 4). Plantas da cv. BRS Querência, sem fungicida, a 400 ppm de CO₂, apresentaram acréscimo na severidade de 41% quando comparado a cv. Inov CL (Tabela 4). Com aplicação do fungicida, a 400 ppm de CO₂, plantas da cv. BRS Querência apresentaram a severidade 27% maior quando comparado a cv. Inov CL. Enquanto que plantas a 700 ppm de CO₂ tratadas com fungicida, a severidade foi 46% menor para cv. Inov CL comparada a cv. BRS Querência.

Tabela 4. Severidade da mancha parda em plantas de arroz das cultivares BRS Querência e Inov CL cultivadas em ambiente enriquecido (700 ppm) ou não (400 ppm) com CO₂, sem (-F) e com (+F) aplicação de fungicida trifloxistrobina + tebuconazol.

Cultivar	Severidade (%)			
	400 ppm		700 ppm	
	-F	+F	-F	+F
BRS Querência	24,25 b A	16,25 b B	17,75 a A*	13,50 b B*
Inov CL	34,25 a A	20,62 a B	22,25 a A*	19,75 a A
CV%	24,0			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) comparando cultivares. Letras maiúsculas na linha, compara as médias da aplicação ou não do fungicida trifloxistrobina + tebuconazol, dentro de cada concentração de CO₂ pelo teste *t* ($p \leq 0,05$). * refere-se a diferença significativa, pelo teste *t* ($p \leq 0,05$) em relação ao tratamento, entre as concentrações de CO₂.

Quando comparado com o efeito do fungicida, plantas a 400 ppm de CO₂, que receberam a aplicação do fungicida, reduziram a severidade em 40% e 33% para cv. BRS Querência e cv. Inov CL, respectivamente, comparado a plantas sem fungicida. Plantas a 700 ppm de CO₂, a aplicação do fungicida, reduziu a severidade em 24% para cv. Inov CL (Tabela 4).

Quando comparado o efeito do CO₂, plantas sem fungicida, à 700 ppm de CO₂, apresentaram decréscimo na severidade de 35% e 27% na cv. BRS Querência e cv. Inov CL, respectivamente comparado a plantas cultivadas a 400 ppm de CO₂. Plantas com fungicida, à 700 ppm de CO₂, da

cv. Inov CL apresentaram redução de 17% na severidade, comparado a plantas cultivadas a 400 ppm de CO₂ (Tabela 4).

4. DISCUSSÃO

A concentração dos pigmentos fotossintéticos, o extravasamento de eletrólitos e a severidade da mancha parda foram alterados nos genótipos de arroz quando cultivados a 700 ppm de CO₂ atmosférico. O aumento na concentração da clorofila total, *a* e *b* e carotenoides foram relacionados a mitigação dos danos celulares causados pelo *B. oryzae* nas plantas de arroz a 700 ppm de CO₂.

Os pigmentos fotossintéticos desempenham função importante na fotossíntese, sendo as clorofilas responsáveis pela captação de energia luminosa (STREIT et al., 2005). Contudo, a planta de arroz afetada por *B. oryzae* tem a concentração de clorofila reduzida, afetando negativamente a fotossíntese (DALLAGNOL et al., 2011; PANDEY, 2018). *Bipolaris oryzae* tem como característica durante as etapas da sua patogênese desencadear a produção de espécies reativas de oxigênio (SUNDER, 2014). Estas moléculas, altamente reativas, reagem com os lipídios formadores das membranas, resultando em peroxidação lipídica, que, danificam irreversivelmente as membranas celulares, desencadeando o extravasamento do conteúdo celular, para o meio que estiver envolvendo os tecidos danificados, desestruturando diversos processos fisiológicos e metabólicos das plantas (CHOWDHURY et al., 2017).

Em nosso estudo, de maneira geral, ambas as cultivares de arroz em condições de 700 ppm de CO₂ apresentaram concentrações mais elevadas de clorofila total, *a*, *b* e carotenoides, bem como, menor extravasamento de eletrólitos, correlacionando com os menores valores de severidade da doença. A forma de atuação do CO₂ pode estar relacionada ao aumento na produção e concentração de compostos com ação direta ao patógeno ou indireta atenuando os seus danos resultantes (MHAMDI; NOCTOR, 2016).

Estudo realizado por Goufo et al. (2014) observaram que plantas de arroz a 550 ppm de CO₂ apresentaram aumento na concentração de

compostos fenólicos em resposta a infecção de *Pyricularia oryzae*. Os compostos fenólicos são considerados antifúngicos e estão envolvidos no reforço da parede celular, além, de atuarem como antioxidantes (SHALABY; HORWITZ, 2014). Ademais, o efeito do CO₂ no aumento da atividade de enzimas que atuam, mantendo a homeostose celular, vem sendo reportado em uma gama de culturas (XU et al., 2015).

Em relação ao fungicida, a sua aplicação de maneira preventiva ou curativa, evita ou retarda a ocorrência das doenças, assim, preservando a sanidade do tecido vegetal (BORDIN, 2016). A 700 ppm de CO₂ a severidade da mancha parada foi reduzida em resposta ao fungicida, principalmente na cv. BRS Querência, classificada como mais suscetível ao *B. oryzae*. As informações sobre as interações entre pesticidas e o aumento do CO₂, ainda são sucintas na literatura, mas conforme Gilardi et al. (2017) relataram que a eficácia do mancozebe e da azoxistrobina no controle de *Phoma betae* em beterraba, foi significativamente melhorada em 15,3% e 20,6%, respectivamente, sob 800-850 ppm de CO₂ e 22-26°C, em comparação com a eficácia observada sob condições atual de CO₂. Ademais, a aplicação do fungicida demonstrou influenciar na concentração da clorofila, efeito observado principalmente em condições de elevação do CO₂.

Os fungicidas do grupo das estrobirulinas, além da função primordial de combate aos patógenos, tem demonstrado a capacidade de promover alterações fisiológicas positivas nas plantas (VENANCIO et al., 2003). Um dos exemplos dessas alterações é o aumento na concentração de clorofila, resultante do aumento da atividade da enzima nitrato redutase, responsável por incorporar nitrogênio inorgânico a moléculas de nitrogênio orgânico, o que realça a cor verde das folhas e colabora também com o atraso da senescência das mesmas pela diminuição da produção de etileno (GLAAB et al., 1999; VENANCIO et al., 2003). Esse efeito, porém, tem a sua intensidade variada, sendo dependente do estágio fenológico da cultura, da dose do produto e método de aplicação, e também das

condições do ambiente em que as plantas são submetidas após a aplicação dos fungicidas (MARTINAZZO et al., 2016).

Em nosso estudo, mesmo as avaliações terem sido realizadas 64 dias após a aplicação do fungicida ainda foi possível verificar o seu efeito positivo, especialmente nas plantas a 700 ppm de CO₂. As maiores concentrações de clorofilas, menor danos celulares, medidos por meio do extravazamento de eletrólitos, são resultado do atraso do início da mancha parda e seu menor desenvolvimento nas plantas tratadas com fungicida, bem como do maior acúmulo de açúcares nos tecidos foliares, conforme já demonstrado para outras culturas (XU et al., 2015), condição que é desfavorável para *B. oryzae* (DALLAGNOL et al., 2013).

5. CONCLUSÕES

A elevação da concentração de CO₂ atmosférica de 400 ppm para 700 ppm reduz a severidade da mancha parda e influência na concentração dos pigmentos fotossintéticos e no dano celular.

A eficiência do fungicida no controle da mancha parada a 700 ppm foi melhor na cultivar de arroz mais suscetível a doença.

Plantas de arroz a 700 ppm de CO₂ e tratadas com fungicida apresentam maior concentração das clorofilas em ambas as cultivares.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento à CAPES pela bolsa do Keilor (Projeto edital Capes/Embrapa n. 15/2014. Ref. Proposta: 144). Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa (Chamada de projetos MEC/MCTI/CAPES/CNPQ/FAPS - Bolsa pesquisador visitante especial - PVE 2014 - Processo 400897/2014-8). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

BORDIN, L. C.; CASA, R. T.; MARCUZZO, L. L.; BOGO, A.; ZANCAM, R. L. Efeito da aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares de arroz irrigado e sua relação com o rendimento industrial. **Summa Phytopathologica**. Botucatu, v.42, n.1, p.85-88, mar. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/2012>.

CELMER, A.; MADALOSSO, M. G.; DEBORTOLI, M. P.; NAVARINI, L.; BALARDIN, R. S. Controle químico de doenças foliares na cultura do arroz irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.42, n.6, p.901-904, jun. 2007.

CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**. Collingwood, v.34, p.443-448, december. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1071/AP05084>

CHOWDHURY, S.; BASU, A.; KUNDU, S. Biotrophy-necrotrophy switch in pathogen evoke differential response in resistant and susceptible sesame involving multiple signaling pathways at different phases. **Scientific Reports**, v.7, n.1, p.17251, december. 2017. DOI:10.1038/s41598-017-17248-7.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Sétimo levantamento, abril 2018 – safra 2017/2018**: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.139p, 2013.

DALLAGNOL, L. J.; RODRIGUES, F. A.; MARTINS, S. C. V.; CAVATTE, P. C.; DaMATTA, F. M. Alterations on rice leaf physiology during infection by *Bipolaris oryzae*. **Australasian Plant Pathology**. Clayton, v.40, p.360-365, July. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-011-0048-8>

DALLAGNOL L. J.; RODRIGUES, F. A.; CHAVES, A. R. M.; VALE, F. X. R.; DaMATTA, F. M. Photosynthesis and sugar concentration are impaired by the defective active silicon uptake in rice plants infected with *Bipolaris oryzae*. **Plant Pathology**. Oxford, v.62, p.120-129, march. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02606.x>

DELCOUR, I.; SPANOGHE, P.; UYTENDAELE, M. Literature review: Impact of climate change on pesticide use. **Food Research International**. Essex, v.68, p.7-15, February. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.65, p.98-107. december. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>

GILARDI, G.; GISI, U.; GARIBALDI, A.; GULLINO, G.M. Effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on the chemical and biological control of powdery mildew of zucchini and the phoma leaf spot of leaf beet. **European Journal of Plant Pathology**. London, v.148, p.229-236, may. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1078-4>

GLAAB, J.; KAISER, W. M. Increased nitrate reductase activity in leaf tissues after application of the fungicide Kresoxim-methyl. **Planta. Berlin**. v.207, p.442-448, january. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1007/s004250050503>

GOUFO, P.; PEREIRA, J.; PEREIRA, J. M.; CORREIA, C. M.; FIGUEIREDO, N.; CARRANCA, C.; ROSA, E. A. S.; TRINDADE, H. Rice (*Oryza sativa* L.) phenolic compounds under elevated carbon dioxide (CO₂) concentration. **Environmental and Experimental Botany**. Elmsford, v.99, p. 28-37, march. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.021>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151p.

LIMA, A. L. S.; DaMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany, Elmsford**. v. 47, p.239-247, may. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(01\)00130-7](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(01)00130-7)

MARTINAZZO, E.; GARBIN, P.; ANELISE, T.; TEJADA, M. T.; POSSO, D. A.; GALDINO, A. C. S.; BACARIN, M. A. Efeito da aplicação de nitrogênio e de piraclostrobina em plantas de tomateiro cultivar Micro-Tom. **Revista Ceres**. Viçosa, v.63, n.5, p.676-682, set/out. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201663050012>

MHAMDI, A.; NOCTOR G. High CO₂ primes plant biotic stress defences through redox-linked pathways. **Plant Physiology**. Lancaster, v.172, n.2, p.929–942, october. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.16.01129>

SCHWANCK, A. A.; DEL PONTE, E. M. Accuracy and reliability of severity estimates using linear or logarithmic disease diagram sets in true colour or black and white: a study case for rice brown spot. **Journal of Phytopathology**. v.162, p.670-682, march. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/jph.12246>

SHALABY, S.; HORWITZ, B. A. Plant phenolic compounds and oxidative stress: integrated signals in fungal–plant interactions. **Current Genetics**. New York, v.61, p.347–357. august. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0458-6>

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, may/june. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000300043>

SOSBAI. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SUNDER, S.; SINGH, R.; AGARWAL, R. Brown spot of rice: an overview. **Indian Phytopathology**. v. 67, n. 3, p. 201-215, 2014.

VENANCIO, W. S.; RODRIGUES, M. A. T.; BEGLIOMINI, E.; SOUZA, N. L. D. Physiological effects of strobilurin fungicides on plants. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. v.9, n.3. p.59-68, dez. 2003.

XU, Z.; JIANG, Y.; ZHOU, G. Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidante systems to elevated CO₂ with environmental stress in plants. **Frontiers in Plant Science**. v.6, p.701, september. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00701>