

***Boletim de Pesquisa* 57**
e Desenvolvimento ISSN 1516-4675
Maio, 2011

**Impacto do aumento da concentração de
CO₂ atmosférico sobre a ferrugem asiática
e o desenvolvimento de plantas de soja**



ISSN 1516-4675

Maio, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 57

Impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja

Ricardo Contreira Lessin
Raquel Ghini

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2011

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3311-2700 Fax: (19) 3311-2640
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membro Nato: *Adriana M. M. Pires*

Membros: *Lauro Charlet Pereira, Vera Lúcia S. S. de Castro,
Maria Conceição P. Y. Pessoa, Nilce Chaves Gattaz e Luiz
Alexandre Nogueira de Sá*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre R. da Conceição*

1ª edição eletrônica
(2011)

Todos os direitos reservados.

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

Lessin, Ricardo Contreira.

Impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja / Ricardo Contreira Lessin, Raquel Ghini. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011.
19 p. – (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 57).

1. Doença de planta. 2. Dióxido de carbono. 3. Mudança climática. I. Lessin, Ricardo Contreira. II. Ghini, Raquel. I. Título. II. Série.

CDD 632.3

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo	05
Abstract	06
Introdução	07
Material e Métodos	09
Resultados e Discussão	11
Conclusões	15
Referências.....	16

Impacto do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja

Ricardo Contreira Lessin ¹

Raquel Ghini ²

Resumo

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera tem aumentado significativamente nas últimas décadas e as previsões indicam que os valores atuais podem dobrar até o final do século. O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico na severidade da ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, e no desenvolvimento da planta. O experimento foi conduzido em estufas de topo aberto (OTC), com e sem injeção de CO₂, e teve como testemunha o tratamento sem estufa, correspondendo, em média, às concentrações de 664 ppm, 463 ppm e 448 ppm, respectivamente. A alta concentração de CO₂ reduziu a severidade da doença, mas não alterou a quantidade de uredósporos produzidos; estimulou o crescimento e a nodulação das plantas; no entanto, a massa seca das plantas não diferiu significativamente entre os tratamentos. Os resultados indicam que o aumento da concentração de CO₂ atmosférico resultará em uma tendência de redução da importância da doença.

Palavras-chave: mudança climática, dióxido de carbono, *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*

¹Engenheiro Agrônomo, Mestre em Proteção de Plantas, Bolsista Embrapa Meio Ambiente, Projeto - 01.07.06.002.02-11

²Engenheira Agrônoma, Doutora em Fitopatologia, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, Cep.13.820-000, Jaguariúna, SP. raquel@cnpma.embrapa.br

Impact of elevated atmospheric carbon dioxide concentration on soybean rust and plant development

Abstract

The atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentration is rising significantly in recent decades and projections indicate that current values may double by the end of the century. This study aimed to evaluate the effect of increased atmospheric CO₂ concentration on the severity of Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi*, and plant development. The experiment was conducted in open-top chambers (OTC) with and without CO₂ injection and a control treatment without OTC, corresponding to concentrations of 664 ppm, 463 ppm and 448 ppm, on average, respectively. The high concentration of CO₂ reduced the severity of the disease, but not the amount of uredospores produced; stimulated the growth and nodulation of the plants; however, the plants dry weight did not differ significantly. The results indicate that the increase in CO₂ atmospheric concentration can reduce the importance of the disease.

Key-words: climate change, carbon dioxide, *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine max*

Introdução

A concentração de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera tem apresentado aumento expressivo nas últimas décadas. A partir do início da Revolução Industrial, o valor médio sofreu um aumento de 280 ppm para 379 ppm em 2005, excedendo as taxas dos últimos 800 mil anos (180 a 300 ppm) (IPCC, 2007; LÜTHI et al., 2008). Há uma quantidade relativamente grande de trabalhos sobre o efeito benéfico da elevação da concentração de CO₂ atmosférico no crescimento de plantas, embora diferenças entre espécies possam existir (PRITCHARD; AMTHOR, 2005). Para a soja, Heinemann et al. (2006), em experimentos realizados sobre o efeito do ambiente enriquecido com 400 e 700 ppm de CO₂ sob diferentes regimes de temperaturas do dia/noite (20/15, 25/20 e 30/25°C), verificaram aumento no crescimento e no peso das sementes produzidas em ambiente com 700 ppm quando associadas às temperaturas mais baixas. Finn e Brun (1982), ao estudar o efeito do aumento de CO₂ em plantas de soja, verificaram aumento no peso da matéria seca e carboidratos não estruturais das folhas, caule e pecíolos, tanto em curto (36 horas) como em longo prazo (16 dias). A massa da matéria seca de raízes, nódulos e atividade total de nódulos sofreram aumento somente após 16 dias de exposição das plantas ao ambiente enriquecido com CO₂.

Poucos trabalhos foram realizados para estudar os efeitos do aumento da concentração de CO₂ do ar sobre a ocorrência de doenças de plantas (GHINI et al., 2008). Apesar dos benefícios às plantas, as alterações podem ser favoráveis ou não às doenças. Chakraborty e Pangga (2004), revisando estudos sobre o aumento de CO₂ em 26 doenças, verificaram que houve aumento na severidade de 13, redução em nove e não houve efeito em quatro. Quanto às doenças da soja, Eastburn et al. (2010) realizaram avaliações de doenças de 2005 a 2007 em experimento FACE (Free Air CO₂ Enrichment) e verificaram que o aumento da concentração de CO₂ e de O₃ resultou em redução da severidade do míldio (*Peronospora manshurica*); pequeno aumento da severidade da mancha parda (*Septoria glycines*); e nenhum efeito na síndrome da morte súbita (*Fusarium virguliforme*).

No Brasil, Braga et al. (2006), estudando os efeitos do aumento do CO₂ na produção de fitoalexina em duas cultivares diferentes de soja quanto à resistência ao cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), verificaram um aumento significativo na produção desse componente antimicrobiano em ambiente enriquecido com 720 ppm de CO₂ quando comparado ao ambiente com 360 ppm, sendo mais expressivo na cultivar resistente

do que na suscetível. Esse trabalho indica que mudanças nos níveis de CO₂ atmosférico podem causar impactos na resposta de defesa da planta a patógenos. Lessin e Ghini (2009), em experimento conduzido em estufas de topo aberto ("open-top chambers", OTC) durante 83 dias, avaliaram a severidade do oídio (*Microsphaera diffusa*) em quatro cultivares de soja com diferentes níveis de resistência. O aumento da concentração de CO₂ resultou em aumento da severidade da doença, nas quatro cultivares, mas não houve efeito na esporulação do patógeno. Além disso, houve incremento da altura, massa seca de raízes e nodulação por *Bradyrhizobium* spp., exceto na cultivar Formosa. No entanto, a massa seca da parte aérea das plantas não diferiu significativamente com o aumento da concentração de CO₂.

A ferrugem asiática da soja, causada por *Phakopsora pachyrhizi*, destaca-se por ser uma das mais importantes doenças da cultura, causando reduções significativas no rendimento de grãos da cultura. O patógeno se disseminou rapidamente pelas áreas cultivadas no Brasil, a partir de 2001, tornando necessária a aplicação de fungicidas para o controle (Yorinori et al., 2005). Com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas no zoneamento e épocas de risco de epidemias da doença no Brasil, Del Ponte et al. (2008) obtiveram mapas mensais de duração do período latente e de severidade, para o cenário climático da normal climatológica de 1961-1990 e futuro (década de 2080 no cenário de altas emissões). Os mapas mostraram que, em média, o clima será menos favorável para a ferrugem asiática, considerando o efeito da temperatura e da precipitação nos componentes avaliados da epidemia.

Devido à importância da doença para a cultura da soja, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a severidade da ferrugem asiática da soja, assim como em fatores relacionados ao desenvolvimento da planta que podem exercer influência na doença, como o crescimento, massa seca das plantas e nodulação.

Material e Métodos

Estufas de topo aberto

Para avaliar o efeito do CO₂ sobre a ferrugem asiática da soja foram utilizadas OTC com 1,9 m de diâmetro e 2 m de altura, equipadas com um redutor de abertura do topo para deflexionar o ar e prevenir a diluição da concentração desejada de CO₂ dentro da estufa. As OTC foram construídas com estrutura de tubo de ferro fosfatizado esmaltado (1 cm de diâmetro e 1,2 mm de espessura de parede) e laterais de filme de polietileno transparente, espessura de 150 μm, com tratamento contra raios ultravioleta. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Ambiente, localizada na cidade de Jaguariúna/SP (latitude 22° 41' sul, longitude 47° W. Gr.), entre o período de maio a julho de 2007.

Tubos (5 mm de diâmetro) enterrados na profundidade de 15 cm, com a extremidade instalada no centro das parcelas na altura de 50 cm do solo, conduziram as amostras de ar para análise. O monitoramento da concentração de CO₂ foi efetuado com o auxílio de um analisador infravermelho de gás (IRGA, marca P. P. Systems, modelo WMA-4, 0 a 2000 ppm), que forneceu as informações para um multiplexador de corrente (marca Campbell Scientific, modelo SDM CD16AC) que regulou a abertura de válvulas para injeção de CO₂ na estufa (tratamento E + CO₂). O CO₂ puro foi injetado contra um ventilador para assegurar uma mistura adequada até a altura de 50 cm do solo. Estufas semelhantes à descrita, sem injeção de CO₂, foram utilizadas para comparações em condições de atmosfera atual (tratamento E). Além disso, parcelas sem a estufa (tratamento T) foram utilizadas como testemunha para verificar os efeitos da estrutura das OTC.

Amostras de ar de todas as parcelas dos tratamentos (E + CO₂) e (E), e uma parcela do tratamento (T) foram continuamente coletadas e analisadas em intervalos de 10 min., durante o decorrer do ensaio (65 dias). Além disso, dentro de uma parcela de cada tratamento foram instalados sensores de temperatura do ar, cujas informações também foram registradas em intervalos de 10 min. Os dados foram armazenados em um coletor de dados (datalogger, marca Campbell Scientific, modelo CR 10X). O sistema de irrigação por gotejamento foi acionado manualmente, conforme as necessidades das plantas. Para cada tratamento (E + CO₂, E e T) foram feitas três repetições.

Instalação do experimento

O preparo do solo foi realizado manualmente com a escarificação dos dez centímetros superficiais do solo das parcelas. Na adubação fez-se aplicação de N-P-K (10-10-10) na dosagem de 300 kg/ha baseada na análise química do solo (RAIJ et al., 1996). Também foi realizada adubação orgânica na dosagem de 7 L/m² de condicionador de solo comercial Ecosolo[®] por parcela.

Foi semeada a cultivar de soja FT-Estrela no espaçamento de 15 x 5 cm. As sementes de soja foram submetidas à inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio, *Bradyrhizobium* spp. (Biomax[®] Premium Turfa - Soja), na dosagem de 200 g de inoculante / 50kg de semente. A irrigação por gotejamento foi realizada sempre que necessária para o desenvolvimento das plantas.

Avaliações

A severidade da ferrugem asiática da soja, a esporulação do patógeno, a altura e a massa seca de plantas, o número e massa de nódulos de *Bradyrhizobium* spp. foram avaliados em quinze plantas marcadas na área central das parcelas.

A ferrugem asiática teve ocorrência natural nas plantas de soja e sua avaliação foi realizada pela determinação da severidade da doença e esporulação do patógeno. A avaliação da severidade foi baseada em escala diagramática de acordo com Godoy et al. (2006). Estimou-se a porcentagem de tecido lesionado (0,6%; 2,0%; 7,0%; 18%; 42%; 78,5%) em folhas primárias e do folíolo central dos trifólios na planta inteira. A primeira avaliação realizou-se vinte e seis dias após o plantio, quando se iniciaram os primeiros sintomas. Foram feitas cinco avaliações (26, 35, 43, 50 e 65 dias após o plantio) entre os estádios V2 e V6 de desenvolvimento da soja. Posteriormente, fez-se o cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença.

Na avaliação da esporulação (esporos / cm² de folha), fez-se a coleta do primeiro e o segundo trifólios de 15 plantas por parcela. Os folíolos foram destacados e colocados em frascos de vidro de 100 mL contendo 20 mL solução Tween 80 (0,02%). Posteriormente, os frascos foram agitados manualmente e colocados em aparelho de ultra-som por 10 min. Após esse procedimento, fez-se a contagem dos esporos na câmara de Neubauer. As folhas utilizadas nessa avaliação foram medidas quanto ao comprimento e à largura para a determinação da área foliar aproximada. A seguir, foi calculada a média da área foliar aproximada por parcela.

A altura das plantas foi determinada pela distância compreendida entre a superfície do solo e o ápice da haste principal da planta (MARCHIORI et al., 1999), aos 22, 34, 42 e 50 dias após o plantio. Na avaliação da massa seca das plantas e o número e massa de nódulos, as plantas foram cortadas rente ao solo, a parte aérea foi seca em estufa de ventilação forçada de ar a 60°C até o peso constante e o peso das plantas secas foi determinado. A coleta das raízes foi realizada num círculo de aproximadamente de 15 cm ao redor das plantas e a uma profundidade de 20 cm. Em seguida, as raízes foram lavadas em água corrente sobre uma peneira e os nódulos destacados para a contagem. Determinou-se também o peso de raízes e nódulos secos das plantas (MALTY et al., 2006).

A análise de variância foi realizada com auxílio do programa MINITAB versão 14. As médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Os tratamentos foram casualizados em blocos com três repetições.

Resultados e Discussão

As médias de temperatura dos tratamentos (T), (E) e (E + CO₂) foram, respectivamente: 19,5 ± 6,0°C; 21,3 ± 8,6°C; 20,9 ± 8,0 °C. Os tratamentos com estufa apresentaram temperatura mais elevada que os tratamentos sem estufa, devido ao efeito de retenção de calor provocada pelo filme plástico. Praticamente não houve diferença de temperatura entre as estufas com e sem injeção do gás. Tais condições estão de acordo com as descritas por Alves et al. (2007) para a ocorrência da doença, isto é, temperaturas próximas a 20 °C e períodos de molhamento foliar acima de 15 horas.

As concentrações médias de CO₂ do ar foram de 448 ± 31 ppm; 463 ± 54 ppm e 664 ± 248 ppm, respectivamente, para os tratamentos (T), (E) e (E + CO₂). De modo geral, a concentração de CO₂ do tratamento sem estufa (T) atingiu valores superiores à média do planeta (382 ppm, aproximadamente, segundo NOA, 2007) devido à respiração das plantas, especialmente durante o período noturno. A maior variação da concentração no tratamento (E + CO₂) foi motivada pela troca de ar das OTC devido a fortes ventos ou ao aquecimento nas horas mais quentes do dia. Entretanto, apesar desses fatores, a concentração do gás se manteve acima dos demais tratamentos nos diferentes horários.

A alta concentração de CO₂ atmosférico reduziu a severidade da ferrugem asiática da soja. A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), calculada a partir da severidade média na planta inteira, foi significativamente menor em plantas cultivadas em ambiente enriquecido com CO₂ (Tabela 1). Esse resultado pode estar relacionado com os mecanismos de resistência da planta, como verificado por Braga et al. (2006) para cancro da haste, que verificaram que o aumento da concentração de CO₂ estimulou a produção de fitoalexinas em cultivares de soja.

Tabela 1. Área abaixo da curva de progresso da severidade (porcentagem de área foliar lesionada) da ferrugem asiática da soja (AACPD) na planta inteira e esporulação do patógeno na área foliar aproximada (Log₁₀) em folíolos do primeiro e segundo trifólio da soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E + CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

Tratamentos	AACPD	Esporulação	
		1° Trifólio	2° Trifólio
E+CO ₂	145,0 b*	6,37 a*	6,30 a
E	303,7 a	6,26 a	6,04 ab
T	94,5 c	6,04 b	5,85 b

*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A esporulação do patógeno no primeiro e segundo trifólio de plantas cultivadas com e sem enriquecimento com CO₂ não diferiu significativamente (Tabela 1). Esse resultado significa que, apesar de a área lesionada por folha ter sido reduzida, a quantidade de uredósporos produzidos não foi reduzida, isto é, houve um aumento na produção de uredósporos por área foliar lesionada. Em condições experimentais semelhantes, Lessin e Ghini (2009) verificaram que o aumento da concentração de CO₂ teve efeito contrário no oídio da soja, isto é, foi observado aumento da severidade da doença, porém também não teve efeito na esporulação do patógeno, significando uma redução de propágulos produzidos por área foliar lesionada.

A altura das plantas de soja em ambiente enriquecido com CO₂ foi significativamente maior aos 22 e 34 dias após o plantio quando comparada com a altura das plantas submetidas à atmosfera ambiente (Tabela 2). A partir dos 42 dias após o plantio, porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem injeção de CO₂. Não houve diferença significativa entre os tratamentos (E) e (E + CO₂) quanto ao peso da parte aérea, peso de

raiz, peso de nódulos frescos e secos. No entanto, o número de nódulos em ambiente com injeção de CO₂ aos 34 dias após o plantio foi maior que os demais tratamentos (Tabela 3). Lessin e Ghini (2009) observaram aumento da massa seca de raízes, mas não houve efeito sobre a massa seca da parte aérea. Kim et al. (2005) verificaram aumento do peso total da matéria seca de soja em ambiente enriquecido com 650 ppm de CO₂. Braga et al. (2006), estudando o efeito do CO₂ no peso total da matéria seca da soja, verificaram que não houve diferença significativa no peso da matéria seca total entre concentrações de 360 e 720 ppm de CO₂. Deepak e Agrawal (2001), ao estudar o efeito da alta concentração de CO₂ (600 ppm) no crescimento da soja, verificaram aumento significativo da altura das plantas submetidas ao CO₂ elevado quando comparado com CO₂ ambiente. Com a finalidade de obter conclusões a respeito dos efeitos do gás sobre aspectos fisiológicos, de crescimento e produtividade de plantas de soja submetidas a altas concentrações de CO₂, Ainsworth et al. (2002) utilizaram a técnica de meta-análise para comparar os resultados obtidos em 111 estudos. Os resultados mostraram que ocorre o aumento significativo na taxa de fotossíntese e crescimento da soja em ambiente enriquecido com CO₂.

Tabela 2. Altura (cm) das plantas de soja cultivadas em estufas de topo aberto com (E + CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

Tratamentos	Dias após o plantio			
	22	34	42	50
E+CO ₂	29,47 a*	38,06 a	47,61 a	52,27 a
E	25,25 b	35,55 b	45,49 a	52,01 a
T	24,41 b	27,90 c	38,17 b	45,52 b

*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A resposta da produção de nódulos ao CO₂ atmosférico elevado também foi significativa (Tabela 3). Norby et al. (1987), estudando os efeitos do enriquecimento de CO₂ atmosférico (700 ppm) em espécies arbóreas, verificaram aumento significativo no peso da matéria seca de plantas de *Robinia pseudoacacia* (32%), *Alnus glutinosa* (49%) e *Eleagnus angustifolia* (61%), acompanhado de aumento da atividade total de nódulos. O maior desenvolvimento do sistema radicular permitiu o estabelecimento de um maior número de nódulos. Sa e Israel (1998), avaliando os efeitos do enriquecimento de

CO₂ atmosférico (400 e 800 ppm) em soja, observaram aumento na massa da matéria seca das plantas (83%) e massa de nódulos (67%). Resultados semelhantes foram observados por Lessin e Ghini (2009).

Tabela 3. Massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, número de nódulos, massa de nódulos frescos e massa de nódulos secos de plantas de soja (FT-Estrela) cultivadas em estufas de topo aberto com (E + CO₂) ou sem (E) injeção de CO₂ e sem estufa (T).

Tratamentos	Dias após o plantio	
	22	34
Massa seca da parte aérea (g)		
E+CO ₂	6,43 a*	45,88 a
E	4,05 ab	34,27 ab
T	2,62 b	23,43 b
Massa seca de raiz (g)		
E+CO ₂	2,16 a	10,06 a
E	1,00 ab	7,20 ab
T	0,96 b	5,24 b
Nº de nódulos		
E+CO ₂	36 a	248 a
E	23 ab	134 b
T	13 b	115 b
Massa fresca de nódulos (g)		
E+CO ₂	2,46 a	6,79 a
E	1,15 ab	6,11 ab
T	0,55 b	4,19 b
Massa seca de nódulos (g)		
E+CO ₂	0,53 a	2,86 a
E	0,30 a	2,72 a
T	0,25 a	2,22 a

* Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

As plantas cultivadas dentro das estufas, de modo geral, diferiram da testemunha, isto é, apresentaram maior desenvolvimento. Esse fato está relacionado com a maior temperatura e umidade no interior das estufas, que consiste na maior limitação das estufas de topo aberto. Experimentos do tipo FACE (Free Air CO₂ Enrichment) não apresentam tais problemas, pois a liberação de gás ocorre em ambiente aberto. Entretanto, apesar das limitações, as estufas consistem em importantes instalações para estudos sobre aumento do CO₂ atmosférico, um dos mais importantes fenômenos relacionados aos impactos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas.

Conclusões

- O aumento da concentração de CO₂ do ar diminui a severidade da ferrugem asiática da soja;
- O crescimento e a nodulação de plantas de soja são maiores em ambiente enriquecido com CO₂, no entanto pode não haver efeito sobre a massa seca de plantas.

Referências

AINSWORTH, E. A.; DAVEY, P. A.; BERNACCHI, C. J.; DERMODY, O. A.; HEATON, E. A.; MOORE, D. J.; MORGAN, P. B.; NAIDU, S. L.; RA, H. S. Y.; ZHU, X. G.; CURTIS, P. S.; LONG, S. P. A meta-analysis of elevated [CO₂] effects on soybean (*Glycine max*) physiology, growth and yield. **Global Change Biology**, v. 8, p. 695-709, 2002.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; FERREIRA, J. B.; ARAÚJO, D. V.; COSTA, J. C. B.; DEUNER, C. C.; MUNIZ, M. F. S.; ZAMBENEDETTI, E. B.; MACHADO, J. C. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, Savana e Suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 239-244, 2007.

BRAGA, M. R., AIDAR, M. P. M., MARABESI, M. A.; GODOY, J. R. L. Effects of elevated CO₂ on the phytoalexin production of two soybean cultivars differing in the resistance to stem canker disease. **Environmental and Experimental Botany**, v. 58, p. 85-92, 2006.

CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B. Plant disease and climate change. In: GILLINGS, M.; HOLMES, A. (Ed.). **Plant microbiology**. London: BIOS Scientific Publishers, 2004. p. 163-180.

DEEPAK, S. S.; AGRAWAL, M. Influence of elevated CO₂ on the sensitivity of two soybean cultivars to sulphur dioxide. **Environmental and Experimental Botany**, v. 46, p. 81-91, 2001.

DEL PONTE, E.; GHINI, R.; HAMADA, E.; ROSSI, P. Análise de risco de epidemia de ferrugem-asiática da soja sob cenário de mudança climática no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v.34, supl., p.S.42, 2008.

EASTBURN, D. M.; DEGENNARO, M. M.; DELUCIA, E. H.; DERMODY, O.; MCELDRONE, A. J. Elevated atmospheric carbon dioxide and ozone alter soybean diseases at SoyFACE. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 320-330, 2010.

FINN, G. A.; BRUN, W. A. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. **Plant Physiology**, v. 69, n. 2, p. 327-331, 1982.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 98-107, 2008.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.

HEINEMANN, A. B.; MAIA, A. de, H., N.; NETO, D. D.; INGRAM, K. T.; HOOGENBOOM, G. Soybean (*Glycine Max* (L.) Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. **European Journal of Agronomy**, v. 24, p. 52-61, 2006.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Geneva: IPCC, 2007. 996 p.

KIM, S. H.; JUNG, W. S.; AHN, J. K.; KIM, J. A.; CHUNG, I. M. Quantitative analysis of the isoflavone content and biological growth of soybean (*Glycine max* L.) at elevated temperature, CO₂ level and N application. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 2557-2566, 2005.

LESSIN, R. C.; GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 385-392, 2009.

LÜTHI, D.; FLOCH, M. L.; BEREITER, B.; BLUNIER, T.; BARNOLA, J.-M.; SIEGENTHALER, U.; RAYNAUD, D.; JOUZEL, J.; FISCHER, H.; KAWAMURA, K.; STOCKER, T. F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. **Nature**, v. 453, n. 7193, p. 379-382, 2008.

MALTY, J. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Efeitos do glifosato sobre microrganismos simbiotróficos de soja, em meio de cultura e casa de vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.

MARCHIORI, L. F.; CÂMARA, G. M.; PEIXOTO C. P.; MARTINS, M. C. Desempenho vegetativo de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) merrill] em épocas normal e safrinha. **Scientia Agricola**, v. 56, n. 2, p. 383-390, 1999.

NOA. **Trends in atmospheric carbon dioxide**. Recent monthly mean CO₂ at Mauna Loa. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

NORBY, R. J.; O'NEILL, E. G.; HOOD, W. G.; LUXMOORE, R. J. Carbon allocation, root exudation and mycorrhizal colonization of *Pinus echinata* seedlings grown under CO₂ enrichment. **Tree Physiology**, v. 3, p. 203-210, 1987.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. **Crops and environmental change**. Binghamton: Food Products Press, 2005. 421 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLAN, A. M. C. **Recomendações para adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p. 202-203. (Boletim Técnico, 100).

SA, T.; ISRAEL, D. W. Phosphorus-deficiency effects on response of symbiotic N-2 fixation and carbohydrate status in soybean to atmospheric CO₂ enrichment. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2207-2218, 1998.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G.E.; GODOY, C. V.; and NUNES, J. Jr. 2005. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, p. 675-677, 2005.

Embrapa

Meio Ambiente

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA