

Capítulo 3

Impactos das Mudanças Climáticas sobre o Controle Biológico de Doenças de Plantas

Wagner Bettiol & Raquel Ghini

*Embrapa Meio Ambiente, CP 69; 13820-000 Jaguariúna, SP, Brasil; e-mail: bettiol@cnpma.embrapa.br;
raquel@cnpma.embrapa.br. Bolsistas do CNPq.*

Introdução

No final do século XVIII, iniciou-se a Revolução Industrial, marcada por um grande salto tecnológico especialmente nos setores de transportes e máquinas. Os métodos de produção se tornaram mais eficientes e a exploração dos recursos naturais pelo homem tomou proporções jamais conhecidas. Concomitantemente, os problemas de degradação ambiental pela ação antrópica assumiram grande importância. A concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera atingiu valores significativamente superiores aos ocorridos nos últimos 650 mil anos (Siegenthaler *et al.*, 2005). Situação semelhante foi observada para o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (Spahni *et al.*, 2005). Esses gases, assim como o vapor de água, o ozônio (O₃) e outros, denominados gases de efeito estufa, retêm parcialmente a radiação térmica que é emitida quando a radiação solar atinge a superfície do planeta. O aumento na concentração dos gases de efeito estufa, devido à ação antrópica, dificulta a eficiência com que a Terra se resfria. Por esse motivo, estão sendo verificadas alterações no clima. A temperatura média da superfície do planeta aumentou 0,2 °C por década nos últimos 30 anos (Hansen *et al.*, 2006).

Desde 2000, a taxa de aumento da concentração de CO₂ está crescendo mais rapidamente que nas décadas anteriores (Canadell *et al.*, 2007). Onze dos doze anos mais quentes já registrados por instrumentos desde 1850 ocorreram entre 1995 e 2006 – a exceção sendo 1996. Alterações no ciclo da água também foram observadas. As mudanças devem continuar ocorrendo, mesmo se a concentração de gases de efeito estufa se estabilizar, devido à inércia térmica do sistema e ao longo período necessário para retornar ao equilíbrio (IPCC, 2007).

O ambiente influencia todas as etapas das interações hospedeiro-patógeno-agentes de controle biológico. As variáveis climáticas (umidade, temperatura, vento e UV, entre outros) interferem na incidência de doenças, pois afetam o crescimento, a reprodução e a dispersão das plantas, dos patógenos e dos agentes de biocontrole. Além disso, o clima afeta os organismos com os quais a planta, o patógeno e os antagonistas interagem, como microrganismos endofíticos e saprófitas. Dessa forma, as mudanças climáticas afetarão os agentes de biocontrole e, por conseguinte, interferirão na ocorrência das doenças de plantas.

Doença, na abordagem de controle biológico, é mais do que uma íntima interação do patógeno com o hospedeiro influenciada pelo ambiente. É o resultado de uma interação entre hospedeiro, patógeno e uma variedade de não-patógenos que também repousam no sítio de infecção e que apresentam potencial para limitar ou aumentar a atividade do patógeno ou a resistência do hospedeiro (Cook & Baker, 1983; Cook, 1985). Dentro dessa abordagem, o fator ambiente precisa ser considerado agindo sobre o patógeno, o hospedeiro e os demais organismos do sítio de infecção (Figura 1).

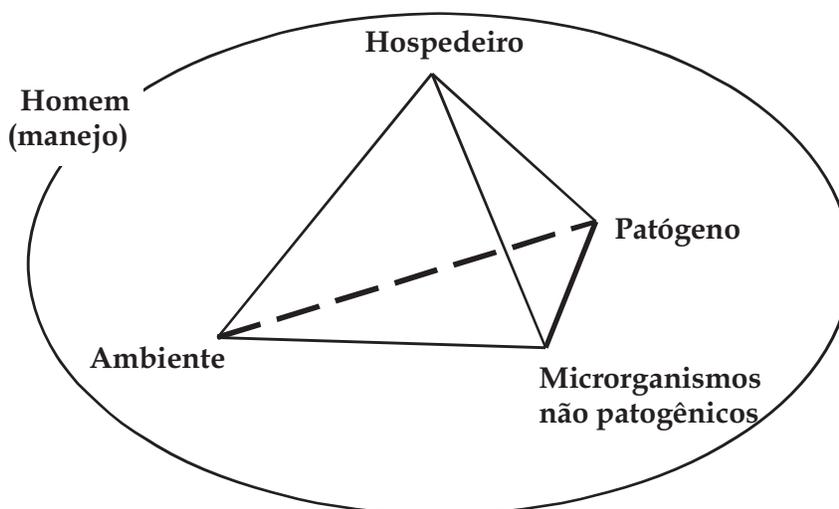


Figura 1. Tetraedro de doença, destacando as interações entre o ambiente, o patógeno e os microrganismos não patogênicos presentes no sítio de infecção do hospedeiro. O homem pode alterar as relações entre os fatores, favorecendo ou não a ocorrência das doenças.

O controle biológico de doenças de plantas pode ser conceituado como sendo o controle de um microrganismo por meio de outro microrganismo. Os mecanismos de ação dos antagonistas normalmente envolvidos no controle biológico são: antibiose, competição, parasitismo, predação, hipovirulência e indução de defesa do hospedeiro (Bettiol, 1991). Entretanto, conceitos mais abrangentes são aceitos pelos fitopatologistas. Assim, para Cook & Baker (1983), controle biológico é “a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por um ou mais organismos que não o homem”. Os

mesmos autores explicam que atividades determinantes de doenças envolvem crescimento, infectividade, virulência, agressividade e outras qualidades do patógeno ou processos que determinam infecção, desenvolvimento de sintomas e reprodução. Os organismos incluem indivíduos ou populações avirulentas ou hipovirulentas dentro das espécies patogênicas. Incluem, ainda, a planta hospedeira manipulada geneticamente ou por práticas culturais, ou microrganismos, para maior ou mais efetiva resistência contra o patógeno e antagonistas definidos como microrganismos que interferem na sobrevivência ou em atividades determinantes de doenças causadas por patógenos. Nessa visão, o controle biológico pode ser acompanhado por práticas culturais para criar um ambiente favorável aos antagonistas e à resistência da planta hospedeira ou ambos; melhoramento da planta para aumentar a resistência ao patógeno ou adequar o hospedeiro para as atividades dos antagonistas; introdução em massa de antagonistas, linhagens não patogênicas ou outros organismos ou agentes benéficos.

As comunidades de organismos da rizosfera e da filosfera, que normalmente não são consideradas no controle de doenças, ganham destaque no controle biológico, pois são os principais atores nessa modalidade de controle, principalmente quando se considera o controle biológico natural. Segundo Coakley *et al.* (1999), mudanças climáticas podem alterar a composição e a dinâmica da comunidade microbiana do ambiente aéreo e do solo suficientemente para influenciar a saúde dos órgãos das plantas. Mudanças na comunidade microbiana da filosfera e da rizosfera podem influenciar a ocorrência de doenças de plantas por meio do controle biológico (natural ou aumentativo). Esses autores ainda afirmam que o efeito direto da elevação da concentração de CO₂ na microbiota do solo é improvável nesse ambiente onde estão normalmente expostas a níveis 10 a 15 vezes maiores do que a concentração de CO₂ atmosférico. Entretanto, há a necessidade de se considerar que as mudanças climáticas envolvem também aspectos fundamentais do solo para a atividade microbiana, como a disponibilidade de nutrientes, o aumento da temperatura e, dependendo da região, a redução na umidade do solo. Além disso, a quantidade de nitrogênio que é introduzida nos sistemas naturais e no agroecossistema por meio de fertilizantes e poluentes pode causar significativos impactos na microbiota (Nosengo, 2003). Grüter *et al.* (2006) concluíram que a exposição do ambiente à concentração de 600 ppm de CO₂ (aproximadamente o dobro da atual) não alterou quantitativamente a comunidade de bactérias do solo. Entretanto, os mesmos autores concluíram que a diversidade das plantas altera a composição bacteriana do solo (tipos de bactérias e frequência de ocorrência). Assim, como um dos possíveis efeitos das mudanças climáticas é sobre a diversidade de plantas, conseqüentemente, haverá interferência na comunidade microbiana.

A literatura dispõe de poucas informações sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas (Ghini, 2005; Pritchard & Amthor, 2005). Em relação ao controle biológico de doenças de plantas, praticamente não existem informações. Os poucos trabalhos sobre impactos das mudanças climáticas sobre o controle biológico foram realizados com insetos pragas (Goldson, 2007). Para Ward *et al.* (2007), um dos motivos é o fato dos insetos fornecerem serviços para os ecossistemas, como polinização e controle biológico, porém, além disso, as espécies introduzidas têm grande potencial para destruir a biodiversidade nativa.

Uma revisão de literatura sobre os efeitos de temperaturas extremas sobre parasitóides foi publicada por Hance *et al.* (2007). Segundo os autores, os impactos das mudanças climáticas serão provavelmente mais importantes em níveis tróficos superiores, que dependem da capacidade dos níveis tróficos inferiores de se adaptar às mudanças. Assim, os parasitóides e hiperparasitóides sofrerão impactos mais severos, já que representam o terceiro ou quarto nível. Os extremos de temperaturas altas ou baixas podem ser letais ou subletais, podem alterar o ciclo de desenvolvimento, o tamanho, a longevidade, a fecundidade, o processo reprodutivo, a mobilidade e outras características tanto do parasitóide quanto do inseto. Como consequências, são esperadas alterações na distribuição geográfica desses organismos e no controle biológico, com grande chance de aumento dos danos causados pelas pragas.

Percy *et al.* (2002), em um experimento de longa duração desenvolvido em FACE ("Free Air Carbon Dioxide Enrichment"), localizado em Aspen, EUA, com dominância de *Populus tremuloides*, estudaram o efeito de enriquecimento atmosférico com CO₂ e O₃ sobre a severidade de *Melampsora* (agente causal da ferrugem), a massa de pupas fêmeas de uma lagarta (*Malacosoma disstria*) e a abundância de afídeos e seus inimigos naturais. Os autores verificaram que o aumento de CO₂ não interferiu na severidade da ferrugem das folhas, o aumento de O₃ incrementou em quatro vezes a severidade da doença, enquanto que a mistura de CO₂ e O₃ aumentou a severidade em torno de três vezes. Em relação à massa de pupas, somente com o O₃ foi verificado aumento. Entretanto, o CO₂ e o O₃ isolados, ou em mistura, aumentaram a abundância da população de afídeos. Por outro lado, a abundância dos inimigos naturais não acompanhou essa tendência, sendo fortemente reduzida na presença de O₃ e apenas na testemunha foi maior do que a população de afídeos.

Também trabalhando em experimento tipo FACE para avaliar os efeitos sobre fungos saprófitas, Rezácová *et al.* (2005) verificaram que *Clonostachys rosea*, agente de controle biológico de *Botrytis* e outros patógenos, e *Metarrhizium anisopliae*, um dos mais importante entomopatógeno para controle de insetos pragas, mostraram-se fortemente associados com a cultura de trevo em ambiente com alta concentração de CO₂. Os autores sugerem que a abundância dessas espécies de fungos pode indicar aumento da supressividade do solo a fungos fitopatogênicos e outras pragas. Em outro trabalho, Coviella & Trumble (2000) verificaram que folhas de algodão obtidas em ambiente com elevada concentração de CO₂ apresentaram maior relação C:N e, quando tratadas com *Bacillus thuringiensis*, estimularam o consumo por larvas de *Spodoptera exigua*, resultando em maior mortalidade da praga que em ambiente sem enriquecimento com o gás.

Predizer os efeitos das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas é problemático e atualmente baseado em observações indiretas. Entretanto, com certeza, a vulnerabilidade dos agentes de biocontrole será maior com as mudanças climáticas, pois esse é um dos problemas da aplicabilidade dos antagonistas (Garrett *et al.*, 2006). Assim, este capítulo tem por objetivo discutir efeitos potenciais das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas, apesar das enormes incertezas, que podem acarretar em enganos na discussão. Embora uma das consequências diretas das modificações causadas pelas mudanças climáticas nas relações patógeno-hospedeiro seja na resistência genética

às doenças, pois muitas mudanças na fisiologia da planta podem alterar os mecanismos de resistência (Ghini, 2005), esse aspecto não será considerado neste capítulo. Assim, serão discutidos apenas os aspectos envolvendo os antagonistas no controle biológico de doenças. Os fatores das mudanças climáticas considerados são o aumento da concentração de CO₂ atmosférico, alterações de temperatura, precipitação e umidade e emissão de poluentes.

Patógenos Veiculados pelo Solo

O solo é um sistema vivo no qual as plantas, os microrganismos e a fauna interagem mutuamente e com o ambiente abiótico (Verhoef, 2004). Na Figura 2 estão apresentados os organismos do solo, bem como sua importância ecológica e seu número aproximado. Esses organismos, além de suas funções naturais, interferem no controle biológico (Bettiol & Ghini, 2005), não só de patógenos veiculados pelo solo, mas também de patógenos da parte aérea, pela indução de resistência.

As três funções chaves relacionadas com a qualidade do solo: dinâmica e mineralização da matéria orgânica, formação e/ou manutenção da estrutura do solo e diversidade das espécies, bem como o suporte e o controle da produção das plantas (Verhoef, 2004), são totalmente dependentes da atividade dos organismos do solo. As funções de suporte à vida, os processos e os indicadores de qualidade de solo estão apresentados na Tabela 1 (Verhoef, 2004). Todos os indicadores apresentados para estabelecer a qualidade do solo são organismos importantes no controle biológico natural e também na indução da supressividade do solo a doenças (Baker & Cook, 1974; Cook & Baker, 1983; Bettiol & Ghini, 2005). Assim, se as mudanças climáticas alterarem a qualidade do solo (aumento da concentração de CO₂ e de outros gases, aumento ou redução da umidade e pH e aumento da temperatura) indiretamente estarão afetando o controle biológico natural. Entretanto, a sua quantificação não é tarefa simples, pois a avaliação do próprio controle biológico natural dificilmente pode ser realizada.

Os grupos de organismos, utilizados como indicadores da qualidade do solo, serão afetados pelas mudanças climáticas, pois de modo geral, todos sofrem influência do aumento da temperatura, de gases e regimes de chuvas. Assim, com essas alterações, possivelmente as atividades enzimáticas e a biodiversidade dos solos serão afetadas e, com isso, a deposição de matéria orgânica, o ciclo e a disponibilidade de nutrientes, a estrutura e a funcionalidade e, principalmente, a estabilidade do ecossistema solo. A disponibilidade de nitrogênio no solo, por exemplo, causa alterações na comunidade de organismos, pois afeta sua multiplicação, as atividades enzimáticas e outros processos, podendo alterar o equilíbrio microbiano existente e, com isso, afetar o controle biológico. Outro aspecto a ser considerado é a alteração no equilíbrio nutricional, pois os demais nutrientes, como potássio, cálcio e magnésio, poderão ser limitantes se não suplementados. A maior parte dos trabalhos realizados nesse assunto dizem respeito aos efeitos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a microbiota relacionada com a ciclagem de nutrientes, especialmente nitrogênio (Frederiksen *et al.*, 2001; Carnol *et al.*, 2002; Kanerva *et al.*, 2006; Reich *et al.*, 2006; Chung *et al.*, 2007).

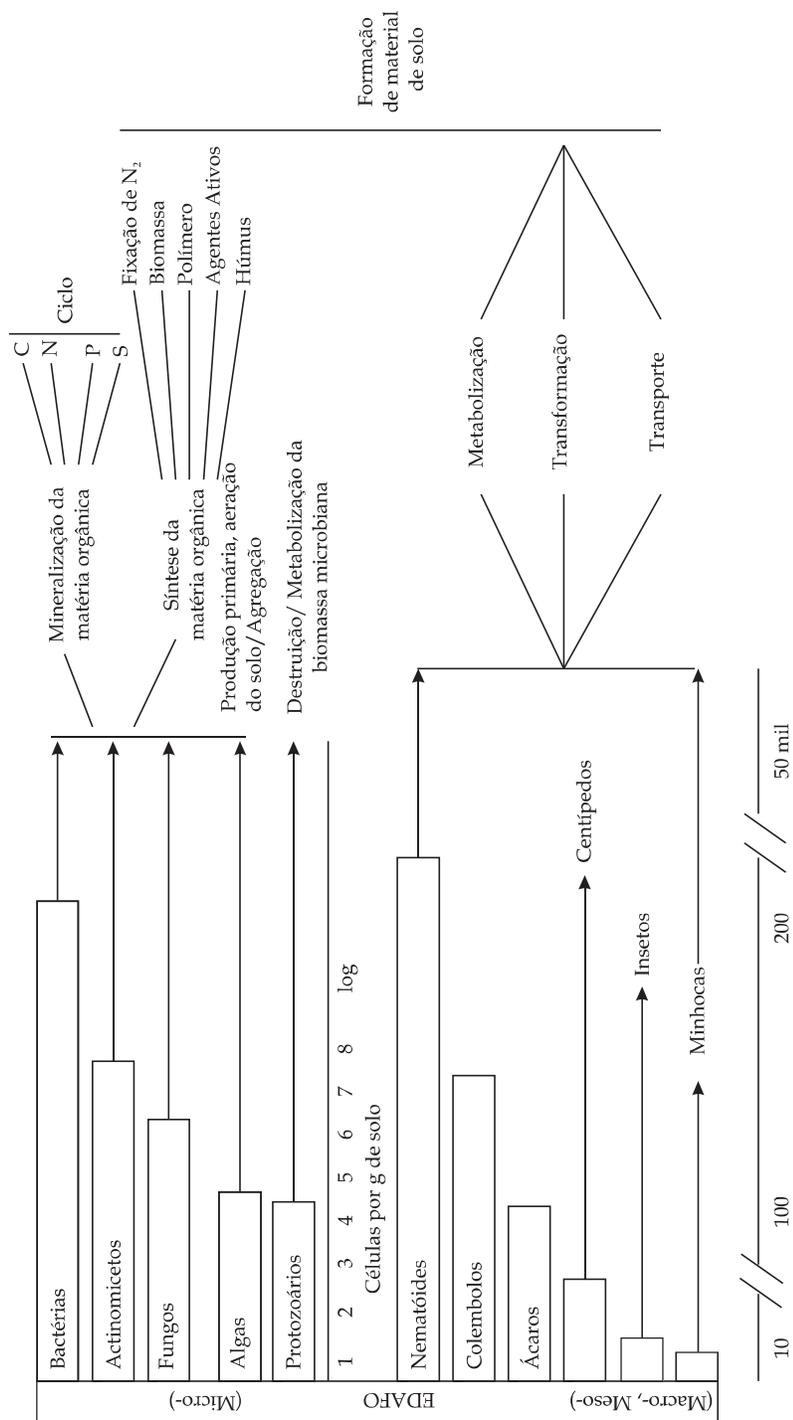


Figura 2. Organismos do solo, contagem aproximada e atividades ecológicas importantes (Verhoeef, 2004).

Tabela 1. Sistema de indicador de qualidade de solo (Verhoef, 2004, modificado de Schouten *et al.*, 2001).

Funções de suporte da vida	Processos	Indicadores
Decomposição de matéria orgânica	Fragmentação	Vermes + Enchitrideos (1) Ácaros (2)
	Transformação da matéria orgânica	Metabolismo bacteriano (3) Cogumelos (4) Diversidade microbiana (5)
Ciclagem de nutrientes	Mineralização do nitrogênio	Interações tróficas (6) =1+2+7+8+9+10 (em número e biomassa)
	Subprocessos - Atividade microbiana	Microrganismos (7) (bactérias e fungos)
	- Microbióvoros	Protozoários (8) Nematóides (9) Colembolos (10) Ácaros (2)
	Herbívoros de raízes Predação	Nematóides (+2+10) Ácaros (+9+10)
Biodisponibilidade de nutrientes para as plantas	Absorção de N-, P- e H ₂ O Nitrificação	Fungos micorrízicos (4) Bactérias nitrificadoras (11)
Formação da estrutura do solo	Bioturbação + formação de agregados	Vermes + enchitrideos
Estabilidade do ecossistema do solo	Interações tróficas	Estrutura da comunidade =1+2+7+8+9+10 (em número e biomassa)

A flutuação da comunidade de fungos decompositores associados à serapilheira de uma floresta de coníferas subalpinas no Japão foi avaliada por Osono & Takeda (2007), durante diferentes períodos do ano. Os autores verificaram que *Trichoderma viride* foi a espécie mais frequente e houve significativo efeito da temperatura sobre a ocorrência dos fungos. Além de afetar a capacidade de decomposição, o aumento da temperatura influencia a capacidade de competição e colonização desses microrganismos, resultando em mudanças nas comunidades do solo, fato que deve ocorrer na região, como consequência das mudanças climáticas.

A relação entre perda de biodiversidade e funções e serviços de ecossistemas foi estudada por Hunt & Wall (2002) por meio de simulação, utilizando um modelo para descrever a dinâmica trófica de grupos funcionais de organismos do solo de uma pastagem, sob interferência especialmente do aumento da concentração de CO₂ atmosférico. Seis dos quinze grupos funcionais de microrganismos e fauna do solo, excluídos individualmente, resultaram em 15% da alteração de abundância dos demais grupos e a eliminação de dois grupos (bactérias e fungos saprófitas) levou à extinção de outros grupos. Os autores concluíram que o ecossistema pode suportar a perda de alguns grupos, com poucos prejuízos porque pode ocorrer compensação pelos demais sobreviventes, entretanto essa previsão depende da natureza dos mecanismos de estabilização, os quais são pouco conhecidos.

Dinâmica semelhante deverá ser observada na comunidade de antagonistas a patógenos veiculados pelo solo, cuja eliminação de determinados grupos pode resultar na perda de supressividade se não houver a compensação pela atividade de outros grupos.

Rønn *et al.* (2002, 2003) estudaram os efeitos do aumento da concentração de CO₂ sobre a comunidade de organismos do solo cultivado com ervilha e trigo, respectivamente, e verificaram aumento no número de protozoários com o aumento da concentração desse gás. Por outro lado, Chakraborty *et al.* (1983) descreveram que os protozoários *Gephyramoeba*, *Mayorella*, *Saccamoeba* e *Thecamoeba* se alimentam de propágulos de *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* e *Cochliobolus sativus*. Posteriormente, Chakraborty (1983, 1985) e Dwivedi (1986) associaram a supressividade de solos ao mal-do-pé do trigo com a presença de protozoários. Também Habte & Alexander (1975) reportaram que protozoários reduziram, em torno de cinco vezes, a população de *Xanthomonas campestris* em solo. Anderson & Patrick (1978/1980) verificaram que amebas, além de perfurarem, inativaram propágulos de *Cochliobolus sativus* e *Thielaviopsis basicola* e concluíram que esses organismos têm um importante papel sobre a ecologia dos fungos habitantes do solo e no seu controle biológico. Resultados semelhantes foram obtidos por Homma & Ishii (1984), os quais observaram perfurações em hifas de *Rhizoctonia solani* por amebas (*Arachnula impatiens*). Dessa forma, os resultados de Rønn *et al.* (2002, 2003) são positivos para a supressividade dos solos às doenças.

Hoitink & Fahy (1986) discutiram as bases do controle de patógenos habitantes do solo com a incorporação de matéria orgânica compostada. Esses autores consideraram a atividade microbiana a variável mais importante para a obtenção da supressividade. A liberação de substâncias fungitóxicas a determinados patógenos pela decomposição da matéria orgânica e os efeitos sobre os ciclos de nitrogênio e carbono no solo também estão relacionados com a obtenção de supressividade. Na comunidade microbiana estão envolvidos antagonistas como *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Pseudomonas*, *Bacillus* e outros. Chen *et al.* (1988ab) e Inbar *et al.* (1991) encontraram correlação positiva entre a supressividade de substratos a *Pythium ultimum*, causador do tombamento de plântulas de pepino, e atividade microbiana total. Assim, toda e qualquer mudança climática que afete a qualidade dos solos causará alteração, que pode ser positiva ou negativa, na supressividade do solo a doenças de plantas.

A estabilidade do ecossistema solo é o principal fator relacionado à ocorrência e à severidade de patógenos veiculados pelo solo. Considerando os conhecimentos existentes sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, é impossível fazer uma previsão adequada. Entretanto, pode-se assumir que a tendência é aumentar a importância do controle biológico natural dos patógenos, pois ele depende fundamentalmente das interações existentes no solo, uma vez que as atividades microbianas devem ser intensificadas com o aumento da temperatura e de deposição de matéria orgânica pelas plantas. Também o aumento da deposição de nitrogênio no ambiente intensificará a atividade microbiana. Boland *et al.* (2004), discutindo os possíveis efeitos das mudanças climáticas em doenças de plantas para Ontário, Canadá, consideraram que, para patógenos do solo, um dos aspectos fundamentais para a redução ou manutenção dessas doenças aos níveis atuais é o aumento da competição microbiana. Entretanto, os mesmos autores

consideraram outros aspectos que podem levar ao aumento dessas doenças.

Um dos indicadores utilizados, os fungos micorrízicos, além de desempenhar importante papel na nutrição das plantas, também são importantes para o controle de doenças. Em solos com condições menos favoráveis são evidentes os efeitos positivos das micorrizas no desenvolvimento das plantas. Apesar de resultados contraditórios quanto aos efeitos das mudanças climáticas nos fungos micorrízicos (Monz *et al.*, 1994; Rillig & Allen, 1998; Staddon *et al.*, 2002), o papel desses fungos é de grande importância no controle de patógenos veiculados pelo solo e na indução de defesa do hospedeiro. Auer & Krügner (1991), Zambolim *et al.* (1991) e Rodrigues-Kabana (1994) discutem amplamente o importante papel das micorrizas (endo e ectomicorrizas) na saúde das plantas.

Staddon *et al.* (2002) concluíram que não há evidências de que a elevação do CO₂ atmosférico afete os fungos micorrízicos, além da interferência sobre o crescimento do hospedeiro. O potencial dos efeitos indiretos, mediado, por exemplo, pelo aumento dos carboidratos solúveis nas raízes, não está claramente demonstrado. Entretanto, quando se considera as alterações no ecossistema, os efeitos da elevação do CO₂ sobre as micorrizas podem ser mediados por fatores bióticos e abióticos (Tabela 1). Assim, como os efeitos da elevação de CO₂ nas plantas são espécie-específicos, se a estrutura da comunidade de plantas for alterada, poderá causar mudanças na comunidade de fungos micorrízicos. Staddon *et al.* (2002) consideraram esse o aspecto mais importante. Esses autores afirmaram que o aumento da temperatura pode interferir diretamente nos fungos micorrízicos, pois as atividades enzimáticas são dependentes desse fator e, portanto, deverá influenciar no papel das micorrizas nas plantas. Além disso, as alterações causadas pela temperatura na comunidade de plantas também devem ser estudadas (Staddon *et al.*, 2002). A umidade do solo é outro fator considerado, pois as micorrizas são dependentes dessa variável climática, que é alterada com o aumento da temperatura.

As mudanças climáticas deverão causar alterações na estrutura das espécies dominantes em florestas e, com isso, também nas espécies de fungos ectomicorrízicos, haja vista a associação com determinadas espécies de árvores. Assim, as mudanças climáticas com certeza alterarão a distribuição das espécies de fungos ectomicorrízicos, pois esses apresentam comportamentos diferentes frente às alterações da temperatura, umidade, concentração de CO₂, disponibilidade de nutrientes e do aumento de outros gases na atmosfera, como o O₃.

Como cada espécie de fungo pode apresentar diferente comportamento no controle de doenças de plantas (Auer & Krügner, 1991), não é possível prever o que ocorrerá com essa interação em relação ao controle natural de doenças. Lonsdale & Gibbs (2002) discutiram os possíveis efeitos de mudanças climáticas nas doenças fúngicas em árvores e também na ocorrência de micorrizas. Broadmeadow & Randle (2002) afirmaram que com o aumento da exsudação de açúcares pelas raízes com o aumento da concentração de CO₂, ocorre aumento das atividades das micorrizas. Assim, esse é mais um aspecto que necessita ser estudado para avaliar o papel da nova estrutura e funcionamento das micorrizas nos solos sobre as doenças de plantas, principalmente em espécies florestais. Além disso, Drigo *et al.* (2007) alertam para o fato de que os impactos do aumento da concentração de CO₂ atmosférico

sobre a comunidade microbiana da rizosfera depende da espécie de planta envolvida e do tipo de solo.

Um dos exemplos bem conhecidos e discutidos de sucesso de controle biológico de patógenos veiculados pelo solo é o controle de *Phytophthora* em abacateiro, com a adição de matéria orgânica na superfície do solo. Com a introdução da matéria orgânica, existe a manutenção de um equilíbrio do solo e a ação de microartrópodos (colembolos), fungos e bactérias. Assim, com o possível aumento da temperatura média, ocorrerá uma decomposição da matéria orgânica mais acelerada, bem como a alteração no equilíbrio entre os organismos, sendo improvável a manutenção do mesmo equilíbrio. As consequências são desconhecidas, mas, se mantidas as características da planta, bem como o nível de controle, possivelmente o aporte de matéria orgânica no sistema deverá ser incrementado para suprir a demanda dos organismos.

Uma das expectativas de Siqueira *et al.* (2001) é que poderá ocorrer maior acidificação dos solos com as mudanças climáticas. Se essa expectativa for confirmada, com certeza o controle biológico natural de patógenos de solo passará por alterações, pois a biodiversidade poderá ser reduzida (Nosengo, 2003). Entre os agentes de controle biológico existentes naturalmente nos solos, encontram-se os actinomicetos.

Esses organismos, como todos os demais microrganismos do solo, são dependentes do pH. Assim, uma redução na atividade desse grupo de organismo possivelmente levará a um aumento de problemas com doenças causadas por *Fusarium*. Entretanto, há necessidade de se considerar se essa potencial redução no pH do solo não será compensada pelo aumento das atividades microbianas.

Patógenos da Parte Aérea

A comunidade microbiana da filosfera consiste, basicamente, de bactérias e leveduras. A sucessão ecológica na filosfera inicia com as bactérias, posteriormente com o domínio das leveduras e, finalmente, os fungos relacionados com a senescência (Blakeman, 1985). Assim, as populações desses organismos são alteradas com a idade das plantas, as fontes de nutrientes na filosfera e com as estações do ano. Além disso, os tratos culturais podem alterar a comunidade de organismos nesse ambiente. Podem também ser abruptamente alteradas ocasionalmente por algum evento ambiental (Smith, 1976). Essas alterações, no tempo e por fatores antrópicos, causam alterações na ocorrência de doenças de plantas, pois são importantes organismos relacionados com o equilíbrio na filosfera, competindo com os fitopatógenos, produzindo hormônios de crescimento e fitoalexinas, fixando nitrogênio, degradando substâncias presentes no filoplano, entre outras atividades.

O ambiente na filosfera apresenta maior variabilidade do que o ambiente na rizosfera. Como a planta, os patógenos e a comunidade microbiana associada à

filosfera são influenciados pelo ambiente, o controle biológico da filosfera é influenciado tanto pelo clima, quanto pelo microclima da superfície da planta que estão em constantes alterações. Dessa forma, as mudanças climáticas influenciarão mais acentuadamente o controle biológico na parte aérea do que do solo, pois os organismos nesse ambiente são mais expostos às alterações de umidade e temperatura e às radiações. Além disso, o aumento da concentração de CO₂ e de outros poluentes poderá causar alterações nas características químicas dos microsítios das folhas, na disponibilidade de nutrientes aos microrganismos e também nas características de hospitalidade aos bioagentes.

Segundo Blakeman (1985), a umidade relativa do ar e da filosfera, possivelmente sejam os fatores mais importantes que influenciam o crescimento e a sobrevivência de organismos na superfície foliar da planta. Como a expectativa é de que as plantas apresentem um maior desenvolvimento com o aumento da concentração de CO₂, poderá ocorrer aumento da densidade da copa e, assim, a umidade nesse ambiente ser menos afetada pelas mudanças climáticas. Se isso ocorrer, provavelmente, os organismos agentes de controle biológico natural desse ambiente serão menos afetados. Entretanto, precisam ser consideradas as alterações como um todo e as interações entre elas e os agentes de biocontrole. Por exemplo, em algumas regiões, com severas alterações no regime das chuvas, a umidade relativa extremamente baixa pode criar condições inóspitas para os agentes de biocontrole.

Saunders (1971) afirmou que os efeitos dos poluentes na superfície da folha e em seus ambientes são similares a alguns efeitos causados por agrotóxicos, alterando a composição da microbiota por eliminação de membros sensíveis da comunidade e por prover espaço adicional para os membros resistentes. Entretanto, quando afirmaram isso, em setembro de 1970, em simpósio realizado na Universidade de Newcastle, Inglaterra, os problemas com poluentes estavam num grau consideravelmente menor do que os atuais.

Smith (1976), no capítulo intitulado "Air pollution – effects on the structure and function of plant-surface microbial-ecosystems", do livro editado por Dickinson & Preece (1976) "Microbiology of aerial plant surfaces", marco na microbiologia da parte aérea das plantas, discutiu que as ramificações da poluição do ar podem ser globais na natureza, mas que efeitos agudos são geralmente regionais ou fenômenos locais associados a estradas, instalações comerciais ou industriais e áreas urbanas. Entretanto, nesse período ainda não se discutiam os efeitos das mudanças climáticas globais causadas pelas atividades antrópicas.

Os poluentes podem reduzir o crescimento dos microrganismos e estimular ou matar espécies individualmente, reduzindo ou aumentando a biomassa microbiana (Smith, 1981). Dessa forma, ocorre alteração na microbiota da superfície foliar, aumentando ou diminuindo as doenças, devido às mudanças nas relações com os saprófitas. Ainda de acordo com Smith (1981), microrganismos que normalmente se desenvolvem na superfície das plantas podem ser especialmente sujeitos à influência de poluentes. Assim, se a comunidade de organismos agentes de controle biológico natural que se desenvolve nas folhas for afetada pelas mudanças climáticas, com certeza ocorrerão alterações no controle biológico natural. Entretanto, se a alteração será positiva ou negativa, é extremamente difícil de ser feita a previsão com o atual nível de conhecimento.

Os poluentes do ar influenciam os sistemas biológicos direta e indiretamente (Figura 3). A interação entre os efeitos deve ser especialmente importante na natureza onde misturas de poluentes são comuns (Smith, 1976). Didaticamente, Smith (1976) divide em três classes as relações entre contaminantes atmosféricos e microrganismos na superfície da plantas: sob exposição à baixa, intermediária e alta dose dos poluentes (Tabela 2). Para essas classes, o autor apresenta as respostas dos microrganismos, os impactos no ecossistema microbiano, bem como a resposta do hospedeiro a essas exposições. Smith (1976) conclui que o filoplano e outras superfícies das plantas provêm habitats para vários microrganismos que interferem nos compartimentos atmosféricos e vegetativos, e que nessa posição os microrganismos são expostos aos poluentes e vulneráveis às suas influências. Assim, aplicando os conceitos de ecossistemas à microbiota do filoplano, é possível estabelecer as potenciais alterações na estrutura e na função da comunidade microbiana na superfície foliar causadas pelos poluentes. Já em 1976, ele concluiu que o aumento do entendimento dessas relações é requerido e justificado. Mas, até o momento, dispõe-se de poucas informações sobre os efeitos dos poluentes sobre a comunidade de organismos na superfície foliar que permita tirar conclusões sobre seus efeitos no controle biológico de doenças de plantas. Dessa forma, serão feitas especulações sobre os potenciais efeitos.

Skidmore (1976) considera que, nas folhas de uma variedade de plantas de clima temperado, as espécies de fungos que comumente ocorrem são membros das Cryptococcaceae (*Rhodotorula*, *Cryptococcus* e *Torulopsis*), *Sporobolomycetaceae* (*Sporobolomyces* e *Tilletiopsis*) e *Aureobasidium pullulans*, na forma leveduriforme. Atualmente, o conhecimento indica o papel dessas leveduras no controle de patógenos da parte aérea, principalmente por competição.

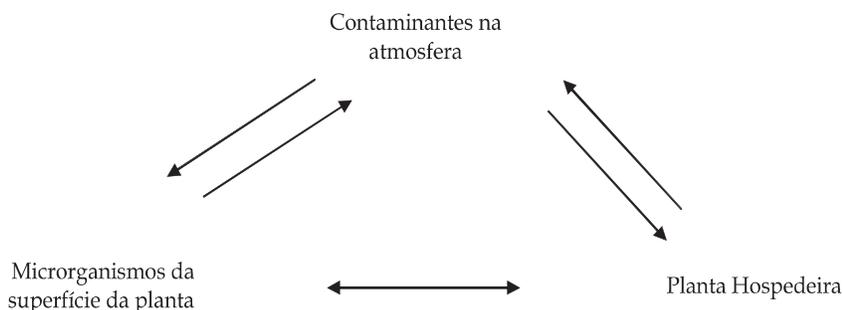


Figura 3. Interação de contaminantes na atmosfera, microrganismos na superfície das plantas e plantas hospedeiras num complexo modelo na natureza (Smith, 1976).

Tabela 2. Influência da poluição do ar no ecossistema microbiano da superfície da planta (Smith, 1976).

Classe	Dose da poluição do ar	Resposta do microrganismo	Impacto sobre o ecossistema microbiano	Reação da planta hospedeira
I	Baixa	1. Ação sobre as fontes de contaminantes do ar 2. Ação sobre a diminuição de contaminantes do ar	1. nenhum efeito ou potencialmente alguma influência aleopática 2. Nenhuma ou mínima alteração fisiológica ou potencialmente alguma fertilização ou estímulo	
II	Média	1. Metabolismo anormal, alteração na pigmentação, na morfologia e na atividade enzimática 2. Redução na reprodução (redução na competitividade) a) redução na produção de esporo ou dispersão b) redução ou decaimento na germinação do esporos 3.Redução no crescimento (produtividade e competitividade reduzidas) a) atraso vegetativo b) inibição vegetativa	1. Pertubação não significativa ou muito pequena 2. Alteração na composição e sucessão das espécies 3. Redução na biomassa microbiana, alteração na estrutura e na função (fluxo de energia, ciclagem de nutrientes, competição e sucessão)	Alteração na microbiota da superfície, alteração na relação com saprófitas aumento/redução de doenças causadas por parasitas.
III	Alta	1. Estímulo de espécies individuais 2. Aguda morbidade de espécies individuais 3. Mortalidade de espécies individuais	1. Aumento da biomassa microbiana, alteração na estrutura e função 2. Redução na biomassa microbiana, alteração na estrutura e função 3. Simplificação	Alteração na microbiana da superfície, alteração na relação com saprófitas, aumento/redução de doença causadas por parasitas.

Valarini *et al.* (2006), utilizando discos de folhas para determinar a comunidade de leveduras no filoplano de plantas, verificaram que folhas de ipê (*Tabebuia ipe*), originárias de regiões centrais e próximas de cidades, possuíam um reduzido número de colônias de leveduras quando comparadas com as folhas originárias de regiões rurais. Machado & Bettiol (2008), com a mesma metodologia, não detectaram leveduras em folhas de lírio tratadas com diversos agrotóxicos, por outro lado, a comunidade de leveduras foi alta em folhas originárias de plantas de um sistema onde não são utilizados agrotóxicos. Esses fatos demonstram que ocorrem alterações, na filosfera, na presença de poluentes de diversas naturezas. Essas alterações são importantes para o controle biológico natural, pois as leveduras desempenham um importante papel no controle biológico de doenças do filoplano e são sensíveis aos poluentes.

As leveduras agem, preferencialmente, por competição por nutrientes e por indução de resistência. Fokkema & Van der Meulen (1976) obtiveram redução de 50% ou mais na infecção de folhas de trigo por *Septoria nodorum* com aplicação de *Sporobolomyces roseus*, *Aureobasidium pullulans* e *Cryptococcus laurentii* var. *florescens*, residentes na filosfera de trigo. Também Luz (1985) verificou que leveduras do filoplano controlaram manchas fúngicas foliares de trigo tanto em casa-de-vegetação, como em campo. O potencial de leveduras em induzir resistência de plantas a fungos fitopatogênicos foi discutido por Stangarlin & Pascholati (1994) e outros.

A indução de resistência do hospedeiro é o mecanismo que deve estar relacionado com a maior porcentagem do controle biológico natural na filosfera. O nível de resistência das plantas pode ser alterado pelas condições ambientais (Pascholati & Leite, 1994). Em todos os cenários de mudanças climáticas existe uma tendência de aumento da temperatura do planeta em muitas regiões. Esse aumento, com certeza, alterará a resposta das plantas às doenças, seja devido à própria composição genética do hospedeiro, seja por alterações causadas na comunidade de organismos que induzem resistência. Mayama *et al.* (1975) verificaram que cultivares de trigo com o alelo *Sr6* para resistência a *Puccinia graminis*, exibem alta resistência a 20 °C, porém apresentam suscetibilidade ao patógeno a 25 °C.

Ribeiro *et al.* (1978) verificaram que o tratamento de folhas de café inoculadas com *Hemileia vastatrix* por 4 h a 40 °C, durante quatro dias consecutivos, preveniu o desenvolvimento de uredíniosporos em cultivar suscetível. Rodrigues Junior (1984) também discutiu as alterações na resistência e na suscetibilidade de cafeeiros submetidos a diferentes temperaturas.

Além do aspecto da funcionalidade dos genes relacionados com a resistência do hospedeiro e da agressividade do patógeno, precisa ser considerada a alteração da funcionalidade dos genes dos antagonistas. Assim, possivelmente, os organismos que têm a ação relacionada com a produção de alguma substância poderão sofrer maiores consequências do que aqueles que agem por predação e competição.

Bradshaw & Holzapfel (2006) afirmaram que o rápido aquecimento climático pode selecionar geneticamente diversos grupos de organismos. Essas alterações nas populações afetam os ciclos dos principais eventos da vida, isto é: desenvolvimento, reprodução, dormência e migração. Os microrganismos que apresentam ciclos de vida curtos e grandes populações, provavelmente, se adaptarão rapidamente. Entretanto, não se tem conhecimento de como será a nova estrutura e o novo funcionamento das interações entre hospedeiro-patógeno-agentes de biocontrole-ambiente.

Antagonistas Comercializados

Como os microrganismos são dependentes da temperatura, da umidade e de outros fatores ambientais, pode-se afirmar que tanto a diversidade, quanto as atividades dos antagonistas comercializados serão alteradas com as mudanças climáticas. Por exemplo, o fator temperatura pode inviabilizar a multiplicação, a distribuição geográfica, bem como a produção de metabólitos dos antagonistas, assim como a sua sobrevivência. Dentre os antagonistas bem estudados, encontram-se as bactérias do gênero *Bacillus*. Essas bactérias, apesar de serem afetadas pela

temperatura, têm uma faixa ótima de desenvolvimento relativamente ampla. Assim, esse seria um grupo de organismos que possivelmente não teria sérios problemas com o aquecimento global. Logicamente, haveria uma alteração na sua distribuição. *Trichoderma* spp., que também têm isolados que crescem em ampla faixa de temperatura, possivelmente, não apresentarão problemas de eficiência. Entretanto, para os dois organismos, o efeito da umidade é importante. Por outro lado, em organismos mais sensíveis à temperatura, como *Coniothyrium* (Melo, 1998), uma elevação de 3 °C poderá afetar a sua sobrevivência e a capacidade de parasitismo. *Clonostachys rosea*, antagonista comumente encontrado em diferentes condições climáticas (Sutton *et al.*, 1997), dependendo da região, poderá ter sua eficiência no controle de doenças alterada, pois a faixa adequada está situada entre 15 e 25 °C (Sutton *et al.*, 1997; Morandi *et al.*, 2001).

O controle biológico pela introdução massal de bioagentes de controle deverá ser beneficiado nas regiões com maior período de temperaturas adequadas para o seu desenvolvimento. Entretanto, nas regiões com extremos de temperatura, diversos agentes se tornarão inadequados para uso. Assim, obrigatoriamente, para se ter sucesso com essa modalidade de controle haverá maior necessidade de selecionar organismos devidamente adaptados para essas regiões. Tal aspecto está sendo trabalhado pelas empresas produtoras de agentes de biocontrole. Entretanto, ocorrerão problemas se, aliada à temperatura, ocorrer a redução da precipitação e, como consequência maiores períodos de seca. Assim, será exigida uma seleção de antagonistas que considere esses aspectos e o desenvolvimento de práticas culturais que permitam a efetiva atuação desses microrganismos. Além disso, as formulações dos produtos biológicos deverão considerar essas novas situações.

Controle Biológico em Sistemas Convencional e Orgânico

A proteção de plantas com métodos convencionais, por meio do uso de agrotóxicos, apresenta características bastante atraentes, como a simplicidade, a previsibilidade e a necessidade de pouco entendimento dos processos básicos do agroecossistema para a sua aplicação. Por exemplo, para obter-se sucesso com a aplicação de um fungicida de amplo espectro é importante o conhecimento de como aplicar o produto, sendo necessárias poucas informações sobre a ecologia e a fisiologia das espécies envolvidas. Assim, Stacey (2003) acredita que o uso de fertilizantes químicos, de agrotóxicos e de variedades geneticamente modificadas poderão prover algum tampão às mudanças climáticas na agricultura convencional. Muitos estudos de controle biológico adotam uma abordagem semelhante ao controle químico, em que é enfatizado o encontro entre patógeno-antagonista, sendo inclusive a forma de se realizar o controle biológico em sistemas convencionais. Nesses casos, após a introdução, por exemplo, de um agente microbiano de biocontrole, haverá o seu estabelecimento em um nicho, seguido da interação com o organismo alvo e outras espécies de organismos. Essas complexas interações são fundamentais para o sucesso do controle, devendo ser analisadas de modo holístico e consideradas a longo, e não em curto prazo. Assim sendo, há a necessidade de um amplo conhecimento da ecologia de sistemas (Atkinson & McKinlay, 1995). Entretanto, uma adequada seleção ou um melhoramento de antagonistas para o novo ambiente poderá manter o sucesso da técnica.

Em contraste com a agricultura convencional, os sistemas alternativos, entre eles o orgânico, buscam obter vantagens das interações de ocorrência natural. Os sistemas alternativos dão ênfase ao manejo das relações biológicas, como a antibiose, a competição, a predação e o parasitismo, e a processos naturais, como a fixação biológica do nitrogênio ao invés do uso de métodos químicos. O objetivo é aumentar e sustentar as interações biológicas nas quais a produção agrícola está baseada, ao invés de reduzir e simplificar essas interações (National Research Council, 1989). Dessa forma, Stacey (2003), discutindo os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre o controle biológico de pragas em sistemas orgânicos em clima temperado, considera que a agricultura orgânica poderá ser mais afetada do que a convencional, isso por ser mais dependente das fontes internas do sistema e, conseqüentemente, mais sensível às mudanças climáticas, pois potencialmente todas as interações poderão ser afetadas. Entretanto, precisa ser considerado que, devido à complexidade dos sistemas orgânicos, com numerosas interações mantendo o equilíbrio do sistema, ele poderá ser menos afetado por essas mudanças.

A ocorrência de patógenos de solo em cultivo orgânico em clima tropical, possivelmente, não será afetada pelas mudanças climáticas, uma vez que, graças ao considerável aporte de matéria orgânica ao solo, a atividade microbiana é intensa, tornando essas doenças pouco limitantes nesse sistema. Por outro lado, os patógenos da parte aérea poderão sofrer maiores interferências, porém dependentes da fisiologia do hospedeiro, pois também para esses patógenos a complexidade será fator indispensável para evitar perdas. Entretanto, as indicações de Stacey (2003) sobre a necessidade de estudos nas condições ecológicas de cultivo para avaliar o efeito potencial das mudanças climáticas sobre o controle biológico são indispensáveis para ambos os sistemas.

Segundo Bettiol & Ghini (2003), o desenvolvimento da proteção de plantas, em sistemas alternativos de cultivo com maior grau de sustentabilidade, requer estudos sobre a estrutura e o funcionamento dos agroecossistemas, com atenção especial às condições nutricionais e à biota do solo, à biodiversidade funcional, à elevação dos teores de matéria orgânica do solo e a outros fatores que permitam um adequado manejo dos sistemas produtivos. Esses aspectos serão ainda mais importantes nos cenários climáticos futuros.

Considerações Finais

Um trabalho detalhado sobre o efeito de condições climáticas sobre a eficiência de agentes de controle biológico foi realizado por Warwick (2001), que demonstrou os efeitos do regime de chuva e da hora do dia de aplicação de *Acremonium vittelinum* e *Acremonium persicinum* para o controle da lixa-do-coqueiro causada por *Catacauma torreniella* e *Coccostroma palmicola*. Porém, para a maioria dos antagonistas, não há informações. Trabalhos nessa área serão importantes para a manutenção da eficiência do controle biológico. Além disso, é necessário conhecer quais serão as respostas das doenças de plantas a essas mudanças. Essas respostas é que permitirão conclusões sobre o que poderá acontecer ao biocontrole, tanto natural, quanto pela introdução de bioagentes.

Mudanças climáticas forçam as espécies de todos os seres vivos a se ajustar ou se adaptar. Entretanto, como as mudanças climáticas estão ocorrendo num espaço de tempo relativamente curto, necessita ser considerado se as espécies não serão eliminadas antes de se adaptar às novas condições. Talvez não haja tempo suficiente para a adaptabilidade das plantas cultivadas pela agricultura e também para os organismos que co-evoluíram com elas, como os fitopatógenos e os agentes de biocontrole.

A previsão do que ocorrerá a um ecossistema com a introdução de qualquer fonte de mudança não é uma tarefa simples, pois todo o sistema sofre alterações na tentativa de caminhar para um equilíbrio. No caso de mudanças climáticas e suas alterações nas comunidades de organismos tanto do solo, como da parte aérea das plantas, a previsão está muito longe de ser visualizada. Assim, nesse momento, qualquer que seja a conclusão, as incertezas são enormes. Apesar disso, pode-se afirmar que as mudanças climáticas serão benéficas para o controle biológico, tanto natural, quanto ao introduzido, pois as atenções da sociedade para os problemas ambientais exigirão o caminhar em direção a um determinado equilíbrio. Mesmo que não se conheça, corretamente, qual equilíbrio deseja-se atingir, a tendência é minimizar o lançamento de poluentes. Com isso, o equilíbrio biológico dos sistemas agrícolas será beneficiado, levando a um aumento da complexidade do sistema e, conseqüentemente, ao controle biológico. Para tanto, especialistas das diferentes áreas relacionadas com agricultura precisam ir além de suas disciplinas e posicionar os impactos das mudanças climáticas em um contexto mais amplo, que envolve todo o agroecossistema.

Referências

- Anderson, T.R. & Patrick, Z.A. Mycophagous amoeboid organisms from soil that perforate spores of *Thielaviopsis basicola* and *Cochliobolus sativus*. *Phytopathology* 68: 1618-1626. 1978.
- Anderson, T.R. & Patrick, Z.A. Soil vampyrellid amoebae that cause small perforations in conidia of *Cochliobolus sativus*. *Soil Biology & Biochemistry* 12: 159-167. 1980.
- Atkinson, D. & McKinlay, R.G. Crop protection in sustainable farming systems. In: McKinlay, R.G.; Atkinson, D. (Eds.) *Integrated crop protection: towards sustainability*. Farnham. British Crop Protection Council. 1995. pp. 483-488. (BCPC Symposium Proceedings, 63).
- Auer, C.G. & Krugner, T.L. Potencial de controle de doenças de plantas com fungos ectomicorrízicos. In: Bettiol, W. (Ed.) *Controle biológico de doenças de plantas*. Jaguariúna. Embrapa-CNPMA. 1991. pp. 71-85.
- Baker, K.F. & Cook, R.J. *Biological Control of Plant Pathogens*. San Francisco. W. Freeman. 1974.
- Bettiol, W. Componentes do controle biológico de doenças de plantas. In: Bettiol, W. (Ed.) *Controle biológico de doenças de plantas*. Jaguariúna. Embrapa-CNPMA. 1991. pp. 1-5.
- Bettiol, W. & Ghini, R. Proteção de plantas em sistemas agrícolas alternativos. In: Campanhola, C. & Bettiol, W. (Eds.) *Métodos alternativos de controle fitossanitário*. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 2003. pp. 79-95.
- Bettiol, W. & Ghini, R. Solos supressivos. In: Micherref, S.J.; Andrade, D.E.G.T. & Menezes, M. (Eds.) *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife. UFRPE. 2005. pp. 125-152.
- Blakeman, J.P. Biological succession of leaf surface microorganisms in relation to biological control. In: Windels, C.E. & Lindow, S.E. (Eds.) *Biological control on the phylloplane*. St Paul. APS. 1985. pp. 6-30.
- Boland, G.J.; Melzer, M.S.; Hopkin, A.; Higgins, V. & Nassuth, A. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 335-350, 2004.

- Bradshaw, W.E. & Holzapfel, C.M. Evolutionary response to rapid climate change. *Science* 312: 1477-1478. 2006.
- Broadmeadow, M. & Randle, T. The impacts of increased CO₂ concentrations on tree growth and function. In: Broadmeadow, M. (Ed.). *Climate change: 3 impacts on UK forests*. Edinburgh. ICF. 2002. pp. 119-148.
- Canadell, J.G.; Le Quéré, C.; Raupach, M.R.; Field, C.B.; Buitenhuis, E.T.; Ciais, P.; Conway, T.J.; Gillett, N.P.; Houghton, R.A. & Marland, G. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *PANS* 104²: 1866-18870. 2007.
- Carnol, M.; Hogenboom, L.; Jach, M.E.; Remacle, J. & Ceulemans, R. Elevated atmospheric CO₂ in open top chambers increases net nitrification and potential denitrification. *Global Change Biology* 8: 590-598. 2002.
- Chakraborty, S. Population dynamics of amoebae in soils suppressive and non-suppressive to wheat take all. *Soil Biology & Biochemistry* 15: 661-664. 1983.
- Chakraborty, S. Survival of wheat take-all fungus in suppressive and non-suppressive soils. *Pedobiologia*, 28: 13-18. 1985.
- Chakraborty, S.; Old, K.M. & Warcup, J.H. Amoebae from a take-all suppressive soil which feed on *Gaeumannomyces graminis tritici* and other soil fungi. *Soil Biology & Biochemistry* 15: 17-24. 1983.
- Chen, W.; Hoitink, H.A. J. & Madden, L.V. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78: 1447-1450. 1988a.
- Chen, W.; Hoitink, H.A.J.; Schmitthenner, F. & Tuovinen, O. H. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Phytopathology* 78: 314-322. 1988b.
- Chung, H.G.; Zak, D.R.; Reich, P.B. & Ellsworth, D.S. Plant species richness, elevated CO₂, and atmospheric nitrogen deposition alter soil microbial community composition and function. *Global Change Biology* 13: 980-989. 2007.
- Coakley, S.M.; Scherm, H. & Chakraborty, S. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology* 37: 399-426. 1999.
- Cook, R.J. Biological control of the pathogens: theory to application. *Phytopathology* 75: 25-29. 1985.
- Cook, R.J. & Baker, K.F. *The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens*. St. Paul. APS. 1983.
- Coviella, C.E. & Trumble, J.T. Effect of elevated atmospheric carbon dioxide on the use of foliar application of *Bacillus thuringiensis*. *Biocontrol* 45: 325-336. 2000.
- Drigo, B.; Kowalchuk, G.A.; Yergeau, E.; Bezemer, T.M.; Boschker, H.T.S. & Van Veen, J.A. Impact of elevated carbon dioxide on the rhizosphere communities of *Carex arenaria* and *Festuca rubra*. *Global Change Biology* 13: 2396-2410. 2007.
- Dwivedi, R.S. Role of soil amoebae in take-all decline of wheat. *Indian Phytopathology* 39: 550-560. 1986.
- Fokkema, N.J. & Van Der Meulen, F. Antagonism of yeast like phyllosphere fungi against *Septoria nodorum* on wheat leaves. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 82: 13-16. 1976.
- Frederiksen, H.B.; Ronn, R. & Christensen, S. Effect of elevated atmospheric CO₂ and vegetation type on microbiota associated with decomposing straw. *Global Change Biology* 7: 313-321. 2001.
- Garrett, K.A.; Dendy, S.P.; Frank, E.E.; Rouse, M.N. & Travers, S.E. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. *Annual Review of Phytopathology* 44: 489-509. 2006.
- Ghini, R. Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 2005.
- Goldson, S.L. Special example 2: climate change and biological control. In: Newton, P.C.D.; Carran, R.A.; Edwards, G.R. & Niklaus, P.A. (Eds.) *Agroecosystems in a changing climate*. Boca Raton. CRC Press. 2007. pp. 329-332.
- Grüter, D.; Schmid, B. & Brandl, H. Influence of plant diversity and elevated atmospheric carbon dioxides level on belowground bacterial diversity. *BMC Microbiology* 6: 68-75. 2006. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/6/68>>.

- Habte, M. & Alexander, M. Protozoa as agents responsible for the decline of *Xanthomonas campestris* in soil. *Applied Microbiology* 29: 159-164. 1975.
- Hance, T.; Van Baaren, J.; Vernon, P. & Boivin, G. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology* 52: 107-126. 2007.
- Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R.; Lo, K.; Lea, D.W. & Medina-Elizade, M. Global temperature change. *PANS* 103: 14288-14293. 2006.
- Hoitink, H.A.J. & Fahy, P.C. Basis for the control of soilborn plant pathogens with composts. *Annual Review of Phytopathology* 24: 93-114. 1986.
- Homma, Y. & Ishii, M. Perforation of hyphae and sclerotia of *Rhizoctonia solani* Kuhn by mycophagous soil amoebae from vegetable field soils in Japan. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 50: 229-240. 1984.
- Hunt, H.W. & Wall, D.H. Modelling the effects of loss of soil biodiversity on ecosystem function. *Global Change Biology* 8: 33-50. 2002.
- Inbar, Y.; Boehm, M.J. & Hoitink, H.A.J. Hydrolysis of fluorescein diacetate in sphagnum peat container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. *Soil Biology & Biochemistry* 23: 479-483. 1991.
- IPCC. *Climate Change 2007: the physical science basis*. Cambridge. Cambridge University Press. 2007. 996p. (IPCC Assessment Report, 4).
- Kanerva, T.; Palojarvi, A.; Rämö, K.; Ojanpera, K.; Esala, M. & Manninen, S. A 3-year exposure to CO₂ and O₃ induced minor changes in soil N cycling in a meadow ecosystem. *Plant and Soil* 286: 61-73. 2006.
- Lonsdale, D. & Gibbs, J. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: Broadmeadow, M. (Ed.) *Climate change: impacts on UK forests*. Edinburgh. ICF. 2002. pp. 83-97.
- Luz, W. C. Efeito de microrganismos do filoplano sobre as manchas fúngicas foliares de trigo. *Fitopatologia Brasileira* 10: 79-84. 1985.
- Machado, M.A. & Bettioli, W.
- Mayama, S.; Daly, J.M.; Rehfeld, D.W. & Daly, C. Hypersensitive response of near-isogenic wheat carrying the temperature-sensitive *Sr6* allele for resistance to stem rust. *Physiological Plant Pathology* 7: 35-47. 1975.
- Melo, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: Melo, I.S.; Azevedo, J.L. (Eds.) *Controle Biológico*. Jaguariúna. Embrapa. 1998. pp. 17-68.
- Monz, C.A.; Hunt, H.W.; Reeve, F.B. & Elliott, E.T. The response of mycorrhizae colonization to elevated CO₂ and climate change in *Paspopyrum smithii* and *Boteloua gracilis*. *Plant and Soil* 165: 75-80. 1994.
- Morandi, M.A.B.; Mafia, L.A. & Sutton, J.C. Development of *Clonostachys rosea* and interactions with *Botrytis cinerea* in rose leaves and residues. *Phytoparasitica* 29: 103-113. 2001.
- National Research Council. *Alternative Agriculture*. Washington, D.C. National Academy Press. 1989.
- Nosengo, N. Fertilized to death. *Nature* 425: 894-895. 2003.
- Osono, T. & Takeda, H. Microfungi associated with *Abies* needles and *Betula* leaf litter in a subalpine coniferous forest. *Canadian Journal of Microbiology* 53: 1-7. 2007.
- Pascholati, S.F. & Leite, B. Mecanismos bioquímicos de resistência às doenças. *Revisão Anual de Patologia de Plantas* 2: 1-51. 1994.
- Percy, K.E.; Awmack, C.S.; Lindroth, R.L.; Kubiske, M.E.; Kopper, B.J.; Isebrands, J.G.; Pregitzer, K.S.; Hendrey, G.R.; Dickson, R.E.; Zak, D.R.; Oksanen, E.; Sober, J.; Harrington, R. & Karnosky, D.F. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO₂ and O₃. *Nature* 420: 403-407. 2002.
- Pritchard, S.G. & Amthor, J.S. *Crops and Environmental Change*. Binghamton. Food Products Press. 2005.
- Reich, P. B.; Hungate, B. A. & Luo, Y. Q. Carbon-nitrogen interactions in terrestrial ecosystems in response to rising atmospheric carbon dioxide. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 37: 611-636. 2006.
- Rezácová, V.; Blum, H.; Hrselová, H.; Gamper, H. & Gryndler, M. Saprobic microfungi under *Lolium perenne* and *Trifolium repens* at different fertilization intensities and elevated atmospheric CO₂ concentration. *Global Change Biology* 11: 224-230. 2005.
- Ribeiro, Í.J.A.; Mônico L.C.; Tassel Filho, O. & Sugimori, M.H. Efeito de alta temperatura no desenvolvimento de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro. *Bragantia* 37: 11-16. 1978.

- Rillig, M.C. & Allen, M.F. Arbuscular mycorrhizae of *Gutierrezia sarothrae* and elevated carbon dioxide: evidence for shifts in C allocation to and within the mycobiont. *Soil Biology & Biochemistry* 30: 2001-2008. 1998.
- Rodrigues Junior, C.J. Coffee rust races and resistance. In: Fulton, R.H. (Ed.) *Coffee rust in the Americas*. St Paul. APS. 1984. pp. 41-58.
- Rodríguez-Kabana, R. & Calvet, C. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edáfica. *Fitopatologia Brasileira* 19: 129-138. 1994.
- Rønn, R.; Ekelund, F. & Christensen, S. Effects of elevated atmospheric CO₂ on protozoan abundance in soil planted with wheat and on decomposition of wheat roots. *Plant and Soil* 251: 13-21. 2003.
- Rønn, R.; Gavito, M.; Larsen, J.; Jakobsen, I. Frederiksen, H. & Cristensen, S. Response of free-living protozoa soil and microorganisms to elevated atmospheric CO₂ and presence of mycorrhiza. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 923-932. 2002.
- Saunders, P.J.W. Modification of the leaf surface and its environment by pollution. In: Preece, T.F. & Dickinson, C.H. (Eds.) *Ecology of leaf surface micro-organisms*. New York. Academic Press. 1971. pp. 81-89.
- Siegenthaler, U.; Stocker, T.F.; Monnin, E.; Luthi, D.; Schwander, J.; Stauffer, B.; Raynaud, D.; Barnola, J.M.; Fischer, H.; Masson-Delmotte, V.; Jouzel, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. *Science* 310: 1313-1317. 2005.
- Siqueira, O.J.W.; Salles, L.A.B. & Fernandes, J.M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: Lima, M.A.; Cabral, O.M.R. & Miguez, J.D.G. (Eds.) *Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira*. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 2001. pp. 33-63.
- Skidmore, A.M. Interactions in relation to biological control of plant pathogens. In: Dickinson, C.H. & Preece, T.F. (Eds.) *Microbiology of aerial plant surfaces*. New York. Academic Press. 1976. pp. 507-528.
- Smith, W.H. Air pollution - effects on the structure and functions of plant-surface microbial-ecosystems. In: Dickinson, C.H. & Preece, T.F. (Eds.) *Microbiology of aerial plant surfaces*. New York. Academic Press. 1976. pp. 75-105.
- Smith, W.H. *Air Pollution and Forests: Interactions between air contaminants and forest ecosystems*. New York. Springer-Verlag. 1981.
- Spahni, R.; Chappellaz, J.; Stocker, T.J.; Loulergue, L.; Hausammann, G.; Kawamura, K.; Fluckiger, J.; Schwander, J.; Raynaud, D.; Masson-Delmotte, V. & Jouzel, J. Atmospheric methane and nitrous oxide of the late pleistocene from Antarctic ice cores. *Science* 310: 1317-1321. 2005.
- Stacey, D.A. Climate and biological control in organic crops. *International Journal of Pest Management* 49: 205-214. 2003.
- Staddon, P.L.; Heinemeyer, A. & Fitter, A.H. Mycorrhizas and global environmental change: research at different scales. *Plant and Soil* 244: 252-261. 2002.
- Stangarlin, J.R. & Pascholati, S.F. Proteção de plântulas de milho pipoca contra *Exserohilum turcicum* pelo uso de *Saccharomyces cerevisiae*. *Summa Phytopathologica* 20: 16-21. 1994.
- Sutton, J.C.; Li, D.; Peng, G.; Yu, H.; Zhang, P. & Valdebenito-Sanhueza, R.M. *Gliocladium roseum* a versatile adversary of *Botrytis cinerea* in crops. *Plant Disease* 81: 316-328. 1997.
- Valarini, G.; Melo, I. S. & Valarini, M. J. Utilização de leveduras habitantes de superfície de folha como bioindicador de poluição do ar. *Anais, 2º. Simpósio Mineiro de Engenharia Ambiental, Viçosa, MG. 2006. 4p. CD ROM.*
- Verhoef, H. Soil biota and activity. In: Doelman, P. & Eijsackers, H. (Eds.) *Vital soil: Function, value and properties*. Amsterdam. Elsevier. 2004. pp. 99-125.
- Ward, N.L. & Masters, G.J. Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Global Change Biology* 13: 1605-1615. 2007.
- Warwick, D.R.N. Colonização de estromas de *Sphaerodothis acrocomiae* agente causal da lixa grande do coqueiro por *Acremonium persicinum*. *Fitopatologia Brasileira* 26: 220. 2001. (Resumo).
- Zambolim, L. Potencial de fungos micorrízicos vesículo-arbuscular no controle de fitopatógenos e implicações com a nutrição fosfatada. In: Bettiol, W. (Ed.) *Controle biológico de doenças de plantas*. Jaguariúna. Embrapa-CNPMA. 1991. pp. 87-120.