

## **RESISTÊNCIA A DOENÇAS INDUZIDA PELA NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS**

*Laércio Zambolim*

*Depto. Fitopatologia, UFV, 36570-000, Viçosa, MG, Brasil*

*José Aires Ventura*

*EMCAPA., Caixa Postal 391, 29010-901, Vitória, ES, Brasil*

### **RESUMO**

Os nutrientes minerais exercem importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando não somente o crescimento e a produção das plantas, mas também o aumento ou a redução da resistência a determinados patógenos. No presente trabalho é feita uma revisão dos efeitos dos macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, S, Mg, Zn, Fe, Cu, Si e Mn) sobre diferentes doenças em plantas cultivadas, influenciando em modificações anatômicas, bioquímicas, fisiológicas e na produção de substâncias tóxicas.

Diante da tendência mundial em se minimizar o uso de pesticidas na agricultura, com base em uma consciência ecológica e na preservação da saúde humana, o emprego da nutrição mineral como forma de aumentar a resistência das plantas às doenças é uma opção viável. Não é possível generalizar o efeito de um nutriente para todas as combinações patógeno-hospedeiro. Os elementos funcionam como parte de um complexo sistema de reações interdependentes, as quais influenciam a patogênese, estando dependente das características físicas e químicas dos solos, clima, fontes e quantidades dos nutrientes usados.

Apesar do grande número de informações disponíveis sobre o controle de doenças de plantas com a nutrição mineral, existem relativamente poucos trabalhos com aplicação desses resultados em sistemas integrados de controle, principalmente nas regiões tropicais, onde essa alternativa possibilitaria reduzir o uso de pesticidas aliado a um aumento da produtividade das culturas e da qualidade dos produtos.

## SUMMARY

### DISEASE RESISTANCE INDUCED BY MINERAL NUTRITION OF PLANTS

Mineral nutrients can influence not only plant metabolism, such as plant growth and reproduction, but the resistance to pathogens. This review presents the effect of macro and micronutrients (N, P, K, Ca, S, Mg, Zn, Fe, Cu, Si, and Mn) on different diseases attacking cultivated plants, as well as the effect on plant anatomy, biochemistry, physiology, and production of toxic metabolites.

There is a strong tendency to reduce the amount of pesticides in agriculture all over the world in order to protect the environment and human health. Mineral nutrients can increase the resistance to plant diseases and, therefore, contribute to minimize the use of fungicides for controlling plant pathogens. It is not possible to generalize the effect of one nutrient on all host-pathogen interactions. Mineral nutrients are part of the complex of reactions influencing the process of pathogenesis. These are dependent on physical and chemical soil characteristics, climate, and source of nutrients used for soil fertilization soil.

In spite of the great number of information available on the effect of mineral nutrients on the development of plant diseases, few reports deal with the use of nutrients as part of an integrated plant disease management. This practice could greatly reduce pesticide use in agriculture mainly under tropical conditions, and contribute to increase yield and the quality of both plants and products.

## INTRODUÇÃO

Os efeitos dos nutrientes minerais no crescimento e produção são usualmente estudados em termos das suas funções no metabolismo das plantas. Além disso, a nutrição mineral pode também influenciar o crescimento e a produção das plantas cultivadas de forma secundária, causando modificações na forma de crescimento, na morfologia, na anatomia e na sua composição química (Colhoum, 1973). Os nutrientes minerais podem também aumentar ou diminuir a resistência das plantas aos patógenos. A resistência pode ser aumentada por modificações na anatomia (células da epiderme mais grossas, lignificadas e ou silificadas) e nas propriedades fisiológicas e bioquímicas (produção de substâncias inibidoras ou repelentes). A resistência pode particularmente ser aumentada pela alteração nas respostas das plantas aos ataques de parasitas, aumentando as

barreiras mecânicas (lignificação) e a síntese de compostos tóxicos (Marschner, 1986).

Uma resistência aparente pode ser conseguida, quando o estágio de crescimento, em que a planta é susceptível a determinado patógeno, não coincide com o período de maior atividade dos parasitas (evasão).

Ainda que a resistência seja geneticamente controlada, ela pode ser influenciada por fatores ambientais. Os efeitos são relativamente pequenos em cultivares com elevada resistência ou elevada susceptibilidade, mas bastante grande em cultivares moderadamente susceptíveis ou "parcialmente" resistentes. A nutrição mineral é um fator ambiental que pode ser manipulado com relativa facilidade e utilizada como um complemento no controle de doenças, entretanto é necessário um conhecimento detalhado de como os nutrientes minerais aumentam ou diminuem a resistência das plantas através das propriedades histológicas, citológicas e conseqüentemente no processo da patogênese (Marschner, 1986).

A nutrição da planta pode ser alterada drasticamente por muitos patógenos e isso, frequentemente, dificulta uma diferenciação clara entre os fatores bióticos e abióticos que influenciam no excesso ou deficiência de nutrientes. Assim, através das alterações na absorção, translocação e distribuição dos nutrientes, muitos sintomas localizados e sistêmicos de doenças são similares aos induzidos abioticamente por deficiência e excesso de nutrientes.

Todos os elementos minerais essenciais são considerados importantes em relação à incidência ou severidade de doenças. O efeito dos nutrientes em doenças é determinado por: a) efeito da fertilização mineral na severidade da doença; b) comparação das concentrações de elementos nos tecidos de cultivares resistentes e susceptíveis; c) correlação entre condições que influenciam a disponibilidade de minerais com a incidência ou severidade de doenças; d) combinação de todos os três efeitos (Huber, 1990).

A nutrição das plantas determinará em grande parte sua resistência ou susceptibilidade às doenças, suas estruturas histológicas ou morfológicas, as funções dos tecidos em reduzir a atividade patogênica, a virulência e habilidade do patógeno sobreviver. A deficiência dos nutrientes ao redor do ponto de infecção, tão necessários para sintetizar compostos químicos e barreiras físicas, pode resultar em susceptibilidade da planta às doenças. Por outro lado, a resistência pode surgir, quando nutrientes essenciais à atividade patogênica estão ausentes.

Os elementos minerais estão envolvidos em todos os mecanismos de defesa como componentes integrais ou ativadores, inibidores e reguladores de metabolismo. Portanto, o conhecimento da fonte e função dos elementos minerais na planta, torna-se necessário antes de se estudar seu



Continuação Tabela 1

<i>Peronospora parasitica</i>	Repolho	A			D	A	A	A		D	
<i>Phymatotrichum omnivorum</i>	Algodão		D	A	A	D					
<i>Phytophthora citrophthora</i>	Citros		A	D							
<i>Phytophthora infestans</i>	Batata	±			±	D				D	
<i>Fyricularia oryzae</i>	Arroz		A	D		D					
<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Crucíferas	±		D	A	A	D	D	D	D	D
<i>Rhizoctonia solani</i>	Legumes e Cereais		A	D	D	A	D	D	D	D	
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Tomate		A	D							
<i>Sclerotium rolfsii</i>	Tomate, Beterraba e Amendoim	A	D					±			D
<i>Sphacelotheca sorghi</i>	Sorgo				D	D					
<i>Streptomyces scabies</i>	Batata		D	A	D	A	A		D	D	
<i>Thielaviopsis basicola</i>	Feijão e Tabaco		A	D	D						
<i>Urocystis tritici</i>	Trigo	A			D	A	A	A			
<i>Verticillium albo-atrum</i>	Algodão, Tomate e Batata		D					±	D		A

A = Aumento da severidade; D = Decréscimo da severidade; ± = Efeitos dependentes do hospedeiro e do meio ambiente

Tabela 2. Efeitos de formas inorgânicas de nitrogênio sobre doenças de plantas

Gênero da espécie patogênica	Hospedeiro	Formas de Nitrogênio		Referência
		Nitrato	Amoniacal	
<b>TOMBAMENTO</b>				
<i>Rhizoctonia</i>	Beterraba	D <sup>1</sup>	A <sup>1</sup>	Afanaziev & Arlson, 1942
<b>PODRIDÃO DAS RAÍZES E CAULE</b>				
<i>Phytophthora</i>	Citros	D	A	Klots, 1958
<i>Fusarium</i>	Citros		A	Allen, 1962
<i>Rhizoctonia</i>	Feijão	D	A	Davey & Papavizas, 1960
<i>Fusarium</i>	Feijão	D	A	Huber, 1966
<i>Aphanomyces</i>	Soja	D	A	Carley, 1969
<i>Aphanomyces</i>	Ervilha	D	A	Carley, 1969
<i>Pythium</i>	Ervilha	A	D	Carley, 1969
<i>Aphanomyces</i>	Milho	D	A	Carley, 1969
<i>Pythium</i>	Milho	A	D	Carley, 1969
<i>Fusarium</i>	Milho	D	A	Painter & Simpson 1969
<i>Diplodia</i>	Milho	A	D	Nelson, 1963
<i>Poria</i>	Pinus	D	A	Li et al., 1967
<i>Armillaria</i>	Pinus	D	A	Li et al., 1967
<i>Fusarium</i>	Trigo	D	A	Butler, 1961
<i>Helminthosporium</i>	Trigo	D		Simmons, 1960
<i>Rhizoctonia</i>	Trigo	D	A	Glynn, 1951
<i>Cercospora</i>	Trigo	D	A	Glynn, 1951
<i>Gaeumannomyces</i>	Trigo	A	D	Garret, 1948
<i>Thielaviopsis</i>	Fumo	D	A	Beaumont, 1936
<i>Phymatotrichum</i>	Algodão	A	D	Jordan et al., 1939
<i>Rhizoctonia</i>	Batata	D	A	Huber & Watson, 1970
<i>Streptomyces</i>	Batata	A	D	Chase et al., 1968
<i>Sclerotium</i>	Tomate	D	A	Sitterly, 1962
<i>Aphanomyces</i>	Tomate	D	A	Carley, 1969
<i>Rhizoctonia</i>	Beterraba	D	A	Afanaziev & Carlson, 1942
<b>DOENÇAS VASCULARES</b>				
<i>Fusarium</i>	Algodão	D	A	Mc New, 1953
<i>Fusarium</i>	Tomate	D	A	Walker et al., 1954

Continuação da Tabela 2

<i>Pseudomonas</i>	Tomate	A	D	Gallegly & Walker, 1949
<i>Corynebacterium</i>	Tomate	A		Walker et al., 1954
<i>Verticillium</i>	Tomate	A	D	Walker et al., 1954
<i>Verticillium</i>	Batata	A	D	Wilheim, 1951
<i>Corynebacterium</i>	Batata	A		Walker et al., 1954
<i>Fusarium</i>	Repolho	D		Walker, 1946
<i>Erwinia</i>	Milho	A		Mc New & Spencer, 1939
<b>DOENÇAS FOLIARES</b>				
<i>Erysiphe</i>	Trigo	A		Last, 1953
<i>Puccinia</i>	Trigo	A	D	Daly, 1949
<i>Colletotrichum</i>	Tomate	A	D	Williams, 1965
<i>Helminthosporium</i>	Milho	D	A	Nelson, 1963
<i>Pyricularia</i>	Arroz	D	A	Padmanabhan, 1953
<i>Botrytis</i>	Feijão	D	A	Sol, 1967
<b>FITONEMATÓIDES</b>				
<i>Globodera</i>	Soja	A	D	Barker et al., 1971
<i>Globodera</i>	Fumo	A	D	Miller & Wihrheim, 1966
<i>Xiphinema</i>	Pêssego	D		Mc New, 1953
Meloidogyne	Pepino	A	D	Huber, 1980
<b>FITOVÍRUS</b>				
PVY	Batata		D	Bawden & Kassanis, 1950
PVX	Batata		D	Bawden & Kassanis, 1950
PVY	Tabaco		A	Bawden & Kassanis, 1950
TMV	<i>N. glutinosa</i>		D	Bawden & Kassanis, 1950
PVX	Tomate		D	Huber, 1980

A = Aumento da severidade; D = Decréscimo da severidade

Tabela 3. Efeitos de nutrientes minerais sobre os fungos do gênero *Fusarium*<sup>1</sup>

Patógeno	Hospedeiro	Nutriente													
		NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg	S	Na	Mn	Fe	Zn	B	Cu	
<i>Fusarium culmorum</i>	Cereais										D <sup>2</sup>	D	D		D
<i>Fusarium moniliforme</i>	Milho	A <sup>2</sup>	D		D										
<i>Fusarium nivale</i>	Gramíneas				D						D				
<i>Fusarium oxysporum</i>	Melão	D	A	A	A	D									
<i>F. oxysporum f.sp. cubense</i>	Bananeira	A	D	±	±	±	D			A	D	A		D	
<i>F. oxysporum f.sp. vasinfectum</i>	Algodoeiro	A	D	±	±	±	D			±	D	±		D	
<i>F. oxysporum f.sp. lycopersici</i>	Tomateiro	A	D	±	±	±	D			±	D	±		D	
<i>Fusarium roseum</i>	Gramíneas	A	D			D									
<i>Fusarium solani</i>	Feijoeiro	A	D			D	D								
<i>Fusarium udum</i>	Ervilha										D		D	D	
<i>Giberella zeae</i>	Milho	D	A	±	D										

<sup>1</sup> Adaptado por Huber, 1990<sup>2</sup> A = Aumenta a severidade; D = Decresce a severidade; ± = Efeito dependente do hospedeiro e ambiente

## EFEITO DE ELEMENTOS MINERAIS SOBRE AS DOENÇAS DE PLANTAS

### NITROGÊNIO

O Nitrogênio promove crescimento vigoroso, retarda a maturação e é essencial para a produção de aminoácidos, proteínas, hormônios de crescimento, fitoalexinas e fenóis (Huber, 1980). Em níveis altos, resulta na produção de tecido jovem e succulento, podendo também prolongar o estágio vegetativo e/ou retardar a maturidade da planta. Esses efeitos criam condições favoráveis ao ataque de patógenos. Inversamente, a planta cultivada em condições de deficiência de nitrogênio, pode tornar-se "debilitada", crescer lentamente e se tornar susceptível a patógenos.

A mineralização biológica do nitrogênio orgânico para amônio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) e a sua subsequente nitrificação a nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), são processos dinâmicos, resultando na produção de várias formas disponíveis durante o crescimento da planta. As taxas de mineralização e nitrificação são influenciadas por fatores físicos e químicos como pH, tipo de solo, concentração e fonte de N, tensão de oxigênio, temperatura, concentração de sais, culturas anteriores e outros (Huber & Watson, 1974).

A forma do nitrogênio (amônio ou nitrato) disponível para o hospedeiro ou patógeno afeta a severidade ou resistência mais que a quantidade do elemento (Agrios, 1980). A redução de doenças pelo nitrogênio resulta, geralmente, da influência de formas específicas desse nutriente, em rotas metabólicas diferentes, alterando o crescimento de constituintes da planta ou exsudatos (Huber & Watson, 1974). As de nitrogênio também apresentam efeitos diretos sobre a germinação, sobrevivência, reprodução, crescimento e virulência do patógeno. O efeito de cada forma de nitrogênio sobre as doenças está associada ao pH. O aumento na severidade das doenças, na presença de amônio é geralmente devido ao pH ácido, enquanto o aumento devido ao nitrato é geralmente associado a condições de pH neutro a alcalino (Keinath & Loria, 1990; Jones et al., 1990).

De uma maneira geral, doenças causadas por patógenos do gênero *Fusarium*, *Rhizoctonia* e *Aphanomyces* podem ser reduzidas por nitrato e aumentada por amônio, enquanto que doenças causadas por *Gaeumannomyces*, *Diplodia*, *Pythium* e *Streptomyces* respondem de maneira inversa (Huber & Watson, 1974).

A Tabela 4, mostra que a fonte de N exerce grande influência sobre o patógeno. Observa-se que, quando a fonte usada era  $\text{N-NH}_4^+$ , houve

**Tabela 4. Efeito de fonte de nitrogênio sobre algumas doenças da batata (Huber, 1990)**

Fonte de N	Murcha de <i>Verticillium</i>	Cancro de <i>Rhizoctonia</i>	Produção (K.g/ha)
$\text{NH}_4\text{SO}_4$	3,9 b	6,2 b	6.100 b
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	9,6 a	4,8 a	3.598 a

Escala de doenças variando de 0 = Ausência de doença; 10 = Planta morta

redução da murcha de *Verticillium*, mas aumentou a intensidade da doença causada por *Rhizoctonia* em batata.

O efeito da aplicação de nitrogênio no mal-do-pé do trigo é benéfico e reduz a severidade da doença. A deficiência de N aumenta a quantidade de doença, mesmo na presença de P e K. O Sulfato de amônio reduz o mal-do-pé, pelo decréscimo da quantidade de tecido infectado, enquanto aplicação de nitrato de amônio pode aumentar a doença em trigo (Huber, 1990).

Em soja, a deficiência de nitrogênio está associada a uma alta taxa de podridão das raízes, causada por *Rhizoctonia solani*. Em "turfgrass", o baixo nível de N promove uma diminuição do ataque de *Rhizoctonia solani* em relação a níveis normais, sendo a severidade muito maior em níveis elevados de N.

O baixo nível de N, particularmente na forma de nitrato de amônio, reduz a incidência e o desenvolvimento da murcha de algodão, causada por *Verticillium albo-atrum*. O nitrato de amônio em níveis médios, pode também aumentar o desenvolvimento da severidade da doença (Ranney, 1962).

O efeito de nitrogênio, sob a forma de sulfato de amônio, sobre a resistência de plântulas de algodão a *Colletotrichum gossypii* pode promover predisposição da planta à doença (Bollenbaker & Fulton, 1971).

Um aumento no suprimento de nitrogênio pode resultar em maior severidade das doenças foliares. Esse aumento não depende somente do nitrogênio, mas também da interação com a quantidade de inóculo presente, condições de ambiente e idade da planta. A aplicação de nitrogênio sob a forma de uréia em alta concentração na cultura do arroz, predispõe a um ataque severo de brusone, causada por *Pyricularia oryzae*, mesmo quando a população do patógeno é baixa e as condições climáticas são desfavoráveis. Isso é justificado pelo aumento do período susceptível da planta, decorrente da adubação (Buir et al., 1959). A susceptibilidade do arroz à *Pyricularia oryzae*, é inversamente proporcional à quantidade de sílica nas folhas que, por sua vez, é influenciada pela quantidade de nitrogênio (Volk et al., 1958).

Estudos do efeito do nitrogênio, em oídio (*Erysiphe Graminis* f. sp. *tritici*) de trigo, revelaram que a aplicação de nitrogênio aumentava a susceptibilidade da planta em função do crescimento, promovido pelo fertilizante (Last, 1953). O mesmo autor verificou que plantas passaram da fase susceptível à resistente, perdendo esta resistência quando receberam aplicação de N e que, plantas com deficiência resistiam à infecção.

Em tomate, o nitrogênio em excesso tem sido responsável por frutos excessivamente moles e susceptíveis às doenças, esmagamentos e deterioração em pós-colheita. Trabalhos, com *Erwinia caratovora* pv.

*caratovora*, demonstraram que frutos de tomateiros, provenientes de plantas tratadas com altos níveis de N, foram mais susceptíveis a esse patógeno, do que aquelas onde a dosagem foi menor (Bartz, 1979). O número de lesões locais produzidas em folhas de fumo e *Nicotiana glutinosa* por "Tomato Aucuba Mosaic Virus" e TMV foi aumentado pela adição de N. O efeito predominante do nutriente no aumento da suscetibilidade foi, indiretamente, devido ao aumento do tamanho da planta, contudo, acima de qualquer questionamento, ocorreu um aumento no número de lesões produzidas por unidade de área foliar.

A aplicação de nitrato de amônio tende a aumentar o número de plantas de fumo infectadas com PVY, mas reduz o número de plantas infectadas em batateira. Em plantas de fumo infectadas, ocorre a redução da concentração de partículas de TMV (Tobacco Mosaic Virus) na seiva.

Estudos sobre o efeito de N, na atividade de *Heterodera glycinae*, revelou que a aplicação de  $\text{NaNO}_3$  ou  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  na concentração de 56 a 896 ppm de N no solo reduziu o ataque, penetração e desenvolvimento de cistos de nematóide (Barker et al., 1971). O efeito inibidor foi positivamente correlacionado com a concentração de N, sendo que, uma concentração acima de 112 ppm induziu uma redução no número de ovos por cistos.

Estudos de Oteiga (1955) sobre o efeito de fontes de nitrogênio sobre *Meloidogynes incognita* mostraram que tanto o número de fêmeas "maduras", quanto o número de massas de ovos produzidas por grama de raiz, foi maior em plantas que receberam nitrato, quando comparadas com aquelas que receberam amônio. Em geral, a aplicação de amônio promove o decréscimo na quantidade de injúrias causadas pelos nematóides, como também no número de ovos produzidos em raízes infectadas (Collins & Kabana, 1972).

## FÓSFORO

O fósforo aumenta a resistência das plantas, por elevar o teor na planta ou por acelerar a maturação dos tecidos, auxiliando-a a escapar da infecção por patógenos que têm preferência por tecidos jovens. De modo geral, o fósforo tem sido importante no decréscimo do ataque dos fungos em diferentes espécies de plantas (Tabela 1). A combinação com o potássio em doses crescentes, também tem sido importante na redução do ataque de cercosporiose do cafeeiro (Tabela 5). Entretanto, o aumento do nível de P em certos casos pode aumentar a severidade de ataque da doença, como ocorre com a ferrugem da cana (Tabela 6).

Tabela 5. Intensidade da Cercosporiose em mudas de café, submetidas a diferentes níveis de adubação, 30 dias após a inoculação com *Cercospora coffeicola* (Fernandes, 1988)

Nível de NPK	Proporção Cumulativa	
	Área Foliar Lesionada	Desfolha
50-50-10	0,92 a <sup>1</sup>	0,64 a
50-150-40	0,79 ab	0,42 b
50-300-80	0,60 b	0,22 bc
50-450-120	0,35 c	0,21 c
C.V. (%)	24,06	34,18

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tuckey (P > 0,01)

Tabela 6. Período latente e produção de esporos de *Puccinia malanocephala* em cana-de-açúcar, sob diferentes níveis de adubação (Andrade, 1991)

Tratamentos (N-P-K) <sup>1</sup>	Período Latente (dias)	Número de Esporos (cm <sup>-2</sup> )
450-0-150	23,5 a <sup>2</sup>	7.400 b
0-0-0150	23,0 ab	9.650 ab
450-0-0	22,2 abc	13.325 ab
0-0-0	18,5 abc	25.445 ab
225-200-75	15,5 abc	21.705 ab
0-400-0	13,5 abc	38.450 a
0-400-150	13,0 abc	36.200 a
225-200-0	12,2 abc	31.400 ab
675-600-225	11,0 bc	42.500 a
450-400-0	10,7 c	23.000 ab
450-400-150	10,2 c	15.096 ab <sup>2</sup>

<sup>1</sup> N, P e K em mg/dm<sup>3</sup> de solo

<sup>2</sup> Médias de quatro repetições. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tuckey. Análise estatística em dados transformados em log(x)

Estudos envolvendo o mal-do-pé do trigo, mostram que o aumento no conteúdo de fósforo nas raízes, como resultado de tratamento das plantas com esse nutriente, está correlacionado com um decréscimo da exudação de aminoácidos, se comparado com plantas não tratadas (Graham & Menge, 1982). Essa correlação tem sido observada em várias espécies de plantas, incluindo *Pinus radiata* e citrus. Em raízes, com baixo nível de P, foi observado um decréscimo de fosfolípidios com um correspondente aumento na permeabilidade da membrana celular e da exudação radicular, tendo o inverso sido observado em altos níveis de fósforo. De acordo com esses resultados, a exudação das raízes influencia na atividade de patógenos, desde que fósforo induza um decréscimo na exudação radicular, o que é correlacionado com a redução da severidade da doença.

Alguns autores têm relatado correlação entre a deficiência de fósforo e o aumento da severidade da doença, causada por *Rhizoctonia solani* (Castano & Kerkamp, 1956). No entanto (Bloom & Couch, 1958), em estudo realizado com *Rhizoctonia* sp. em "turfgrass", afirmam que o fósforo não tem influência sobre a severidade da doença.

Estudos com a fusariose do tomateiro mostraram que elevados níveis de fósforo aumentam a severidade da murcha, e que a combinação de calagem elevada e baixo fósforo no solo reduziu a severidade da doença (Woltz & Jones, 1973). Aplicações de superfosfato, acima do requerido para o crescimento do tomateiro, aumentou muito a ocorrência da murcha em pH 6,0. No entanto, em pH 7,0 ou 7,5, não houve aumento da doença, já que em pH elevado, a disponibilidade de fósforo é reduzida.

Estudos, envolvendo o mal do Panamá (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*) em bananeira, mostraram que a aplicação de altos níveis de fósforo no solo pode afetar a absorção de zinco pela planta e, de forma indireta, poderia estar interferindo nos mecanismos de resistência da planta ao patógeno (Alvarez et al., 1981; Borges-Perez et al., 1983).

Resultados benéficos, na redução da população de nematóides do gênero *Meloidogyne* em feijão e pepino, podem ser obtidos pela aplicação de doses crescentes de fósforo no solo. Outros estudos mostram que o fósforo pode também proporcionar maior resistência da planta aos nematóides.

A aplicação de superfosfato pode aumentar a síntese de proteínas e a atividade celular dos tecidos vegetais, proporcionando maior resistência da planta hospedeira aos nematóides, além disso, pode produzir mudanças bioquímicas tais como aumento na quantidade de vitamina C, óleos vegetais, polifenóis, peroxidase e amônia, criando-se um ambiente desfavorável aos nematóides, promovendo uma redução na fecundidade e população do fitonematóide.

## POTÁSSIO

O potássio de um modo geral, reduz a susceptibilidade das plantas tanto a parasitas obrigatórios quanto a facultativos. Seu efeito pode ser bastante acentuado, como mostrado na Figura 1, para podridão do caule em arroz (Ismunadji, 1976). Nessa situação, a doença foi controlada simplesmente com a aplicação de fertilizantes potássicos. Entretanto, na maioria dos casos, o efeito do potássio está restrito na faixa de deficiência do elemento, isto é, plantas deficientes em potássio são mais suscetíveis do que plantas com níveis suficientes de potássio (Huber & Army, 1985). Uma norma geral é que a suscetibilidade diminui (ou a resistência aumenta), da mesma forma em que o crescimento da planta responde ao aumento do suprimento de potássio.

A fertilização do solo, com níveis baixos de potássio, pode reduzir a resistência de várias espécies de plantas ao ataque de patógenos (Tabela 7). Esse fato tem sido verificado em algodão e tomate em relação à murcha de *Verticillium* (Marschner, 1986; Pennypacker, 1990). A elevada susceptibilidade de plantas deficientes em potássio a certas doenças está relacionada com as funções metabólicas desse elemento. Em plantas deficientes, a síntese de compostos de elevado peso molecular (proteínas, amido e celulose) é diminuída, enquanto compostos orgânicos de baixo peso molecular, acumulam-se. Em plantas deficientes em K, um aumento no seu fornecimento conduz a um aumento no crescimento e diminui o conteúdo de compostos orgânicos de baixo peso molecular, até o ponto em que o crescimento é máximo. Por outro lado, aumentos no nível de K na planta, além do ótimo, não causa efeitos substanciais nos constituintes orgânicos e nem na resistência a doenças.

Na cultura da bananeira, tem-se observado que, em solos onde o nível de potássio é excessivamente alto em relação ao cálcio e magnésio, as plantas apresentavam sintomas do mal-do-panamá. Os valores da relação K/Mg, nesses solos, foram estatisticamente superiores àqueles verificados em solos com plantas sadias. Esses dados mostram que é muito importante manter o equilíbrio entre os elementos minerais no solo (Borges-Perez et al., 1983; Cordeiro, 1988).

## CÁLCIO

O cálcio tem um papel crítico na divisão e desenvolvimento celular, na estrutura da parede celular e na formação da lamela média, sendo relativamente imóvel nos tecidos (Huber, 1980). Esse elemento complementa a função do potássio na manutenção da organização celular,

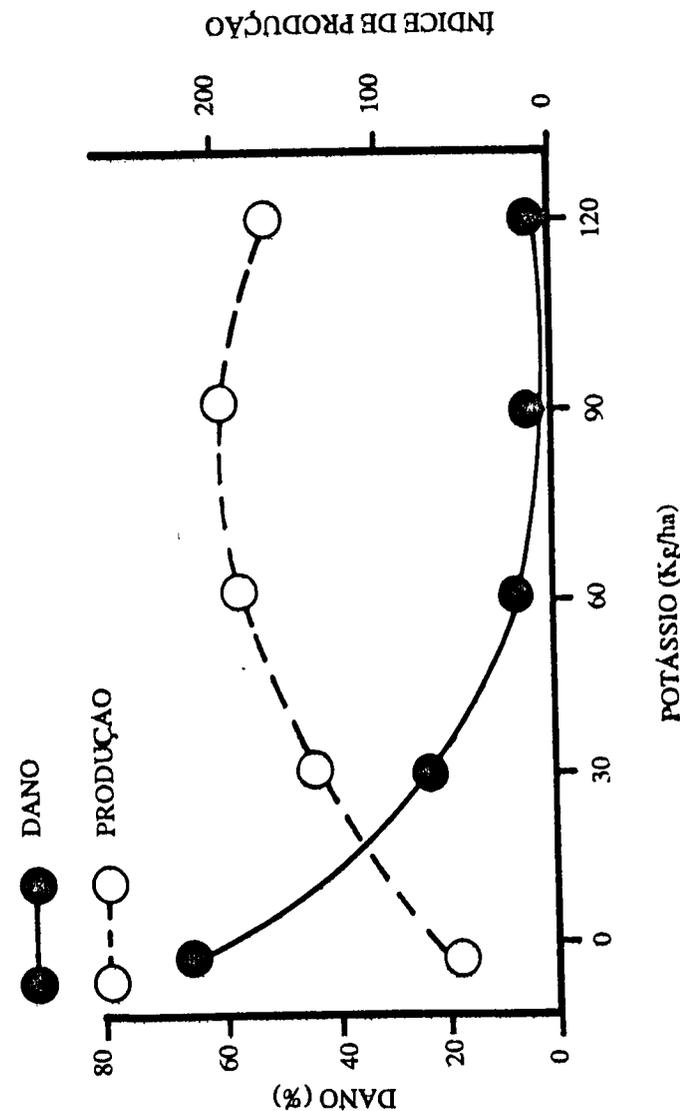


Figura 1. Efeito do suprimento de potássio na produção de arroz e podridão do caule (*Helminthosporium sigmoideum*). A adubação básica de N e P foi 120 e 60 Kg/ha, respectivamente (Ismunadji, 1976).

Tabela 7. Efeito de níveis de nitrogênio e potássio na severidade de doenças (Marschner, 1986)

Patógeno	Nível de N		Nível de P	
	Baixo	Alto	Baixo	Alto
<b>PARASITAS OBRIGATÓRIOS</b>				
<i>Puccinia spp.</i> (Ferrugens)	+ <sup>1</sup>	+++ <sup>1</sup>	++++	+
<i>Erysiphe graminis</i> (Oídio)	+	+++	++++	+
<b>PARASITAS FACULTATIVOS</b>				
<i>Alternaria spp.</i> (Mancha Foliar)	+++	+	++++	+
<i>Fusarium oxysporum</i> (Murcha e Podridões)	+++	+	++++	+
<i>Xanthomonas spp.</i> (Manchas e Murcha)	+++	+	++++	+

+ = Baixa Severidade; +++ = Alta Severidade

hidratação e permeabilidade. Está envolvido na mitose, ativação e regulação enzimática e no funcionamento das membranas. O cálcio é essencial para a estabilidade das biomembranas. O conteúdo de cálcio nos tecidos das plantas afeta a incidência de doenças parasíticas de duas formas: na primeira, quando os níveis de cálcio são baixos, o efluxo de compostos de baixo peso molecular (açúcares) do citoplasma para o apoplasto é aumentado; na segunda, poligalacturonatos de cálcio são requeridos na lamela média, para que haja estabilidade da parede celular. Muitos fungos e bactérias fitopatogênicas alcançam o tecido da planta pela produção de enzimas pectolíticas extracelulares, como a galacturonase, que dissolvem a lamela média (McGuire & Kelman, 1986). A atividade desta enzima é drasticamente inibida pela presença do cálcio (Marschner, 1986).

Vários fungos invadem preferencialmente o xilema e dissolvem a parede celular dos vasos, causando obstrução destes e induzindo os sintomas de murcha (ex.: *Fusarium*).

Em alguns casos, o efeito da aplicação de calcário no solo se faz sentir sobre fitopatógenos pela modificação do pH da solução do solo. Alterações no pH podem influenciar os patógenos direta ou indiretamente. Indiretamente, atuam modificando a população dos microorganismos antagonistas, reduzindo-os ou aumentando-os (Joner et al., 1990).

A hêmia das crucíferas, causada por *Phasmodiophora brassicae*, é mais severa até pH 5,7; entre pH 5,8 a 6,2, a severidade da doença decresce; em pH acima de 7,8, o patógeno é completamente inibido. Por outro lado, a infecção de *Sireptomyces scabies* em batata pode ser severa, quando o pH varia de 5,2 a 8,0, mas a severidade da doença é reduzida em pH abaixo de 5,2 (Fry, 1982; Wang & Hsieh, 1986).

A aplicação de cálcio ao solo pode reduzir o ataque de *Colletotrichum truncatum*, agente causal da antracnose da soja, e a população de *Sclerotium rolfsii* no solo. O abaixamento do pH do solo reduz o ataque da murcha de *Verticillium* em várias culturas, de *Phymatotrichum omnivorum* em algodão e de *Gaeumannomyces graminis*, var. *tritici*, em trigo.

A manutenção do pH próximo a 7,0 é um dos principais fatores no controle de *Phytophthora cinnamomi* do abacateiro e da murcha de *Fusarium* em várias culturas (Cook & Baker, 1983).

Além do efeito sobre o pH do solo, o cálcio pode ser importante na resistência de plantas a doenças, devido ao seu papel na composição da parede celular conferindo resistência, como em plantas adultas de feijão a *Rhizoctonia solani* (Huber, 1980). Cálcio tem sido envolvido na resistência do tomate a *Erwinia*, *Fusarium oxysporum*, *Phytophthora* e *Sclerotium rolfsii*; da mamona a *Botrytis*, por proteger os compostos pécnicos da maceração por enzimas extracelulares destes patógenos (Huber, 1980).

A resistência de tubérculos de batata à *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica* tem sido atribuída também, à alta concentração de cálcio nos tubérculos (McGuire & Kelman, 1986). O tratamento de frutos de maçã em pós-colheita, com cloreto de cálcio, reduz o ataque de patógenos causadores de podridão.

A aplicação de cálcio no solo pode reduzir a severidade de várias doenças causadas por patógenos de raiz e/ou caule, entre os quais destacam-se *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Pythium*, *Botrytis* e *Fusarium*, bem como do nematóide *Ditylenchus dipsaci* (Huber, 1980; Wheeler & Hanchey, 1968).

A aplicação de hidróxido de cálcio ao solo tem sido também relatada como medida eficiente no controle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *chrysanthemi*, em plantas de crisântemo (Engelhard & Woltz, 1973; Woltz & Engelhard, 1973). Níveis elevados de carbonato de cálcio no solo podem proporcionar menor severidade de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* em pimentão (Jones et al., 1983).

Em alguns casos, o tipo de solo é importante. Em solos argilosos, tem sido relatada correlação negativa entre a quantidade de cálcio aplicado e a severidade de *Helminthosporium oryzae* em arroz, enquanto que, em solos arenosos, a correlação foi positiva (Kaur et al., 1986).

## ENXOFRE

Os registros limitados dos efeitos do enxofre em doenças de plantas provavelmente refletem a grande disponibilidade desse elemento mineral na maioria dos solos (Huber, 1990). Além disso, os fertilizantes normalmente colocam grande quantidade de enxofre no solo, indiretamente. Esse elemento ocorre sob a forma reduzida, nas plantas, e é incorporado em aminoácidos, proteínas, enzimas, vitaminas, óleos aromáticos e ferredoxinas. É capaz de promover o crescimento de raízes e nodulações de leguminosas (Marschner, 1986).

Desde o século passado, sabia-se que as aplicações de enxofre elementar no solo poderiam controlar a sarna da batata causada por *Streptomyces scabies* (Keinath & Loria, 1990). A supressão da doença nesse caso deve-se a uma redução do pH do solo, quando o enxofre é oxidado (Hooker & Kent, 1950; Odland & Albritton, 1950). Entretanto, a aplicação do enxofre no solo, para o controle da sarna da batateira, é praticada somente em pequenas áreas. Essa técnica torna-se inviável muitas vezes, devido à dificuldade de baixar o pH em alguns solos. Além disso, muitas espécies vegetais não toleram pH baixo (Keinath & Loria, 1990).

No Brasil, plantas desenvolvidas em solos de cerrado podem mostrar deficiência de enxofre. Para correção da deficiência, tem sido

recomendado o gesso ou fertilizantes que contêm o enxofre, em associação ou não com a calagem do solo (Alvarez, 1988).

O efeito do enxofre sobre o pH do solo tem sido apontado como o fator responsável na redução da severidade de doenças. Em abacateiro, a aplicação de enxofre ao solo favorece o desenvolvimento de *Trichoderma viride*, que atua como micoparasita de *Phytophthora cinnamomi* (Cook & Baker, 1983). Também a incidência de *Helminthosporium oryzae* em arroz pode ser reduzida, quando se aplica grânulos de uréia encapsulados com enxofre (Vidhyasekaran et al., 1983). Existem relatos do efeito de enxofre sobre a podridão de *Rhizoctonia solani* em beterraba, embora admita-se que não atua diretamente sobre o patógeno (Ruppel & Hekker, 1983).

## MAGNÉSIO

Os teores e formas de magnésio disponíveis no solo são determinados pela origem geológica, precipitação e presença de outros cátions trocáveis. Solos ácidos normalmente apresentam deficiência de magnésio. Altos níveis de potássio ou cálcio podem inibir a absorção de magnésio e vice-versa.

Como um constituinte da clorofila, o magnésio é importante na fotossíntese. Está também associado com a velocidade de crescimento das plantas, mitose, níveis de proteínas, metabolismo de carboidratos e fosforilação oxidativa em células fisiologicamente jovens. Diferente do cálcio, o magnésio é translocado de partes "maduras" da planta, para aquelas em crescimento ativo.

Jones et al. (1983), verificaram que níveis de Mg em adubação foliar e no solo com  $MgCl_2$ , estavam relacionados com a maior severidade de *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* em pimentão. Por outro lado, a severidade de *Stemphylium botryosum* em alfafa, foi reduzida com altos níveis de Mg (Leath & Gross, 1979).

Seaker et al. (1982), verificaram que plantas de beringela, altamente deficientes em Mg, apresentaram maior concentração do vírus TMV, do que plantas que receberam adequada ou excessiva quantidade de Mg.

O magnésio está constantemente associado ao cálcio, já que pode ser aplicado ao solo, visando a neutralizar o pH. Da mesma forma que o cálcio, o magnésio pode reduzir ou não a severidade de doenças, dependendo da combinação hospedeiro-patógeno e do ambiente. Tem-se verificado que o magnésio reduz o teor de cálcio em vagens de amendoim, predispondo-as ao ataque de *Rhizoctonia* e *Pythium* (Huber, 1980). Alguns autores têm

atribuído ao desbalanço nutricional, envolvendo cálcio, magnésio e enxofre a causa primária do ataque desses patógenos (CSINOS et al., 1984).

## ZINCO

Há relatos em que o zinco contribui para a resistência das plantas a patógenos, mas há casos em que a severidade de certas doenças também pode aumentar.

Plantas de arroz cultivadas em solo deficiente em zinco podem favorecer um aumento na incidência de *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*. O sulfato de zinco a 2,5 % tem sido relatado como altamente eficiente no controle da bacteriose do arroz, em condições naturais. O óxido de zinco a 2,0 % apresenta eficiência inferior ao sulfato de zinco.

Algodão cultivado em solo com aplicação de 100 ppm de zinco mostrou resistência a *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*. O papel do zinco nesse caso é aumentar o conteúdo de ácido ascórbico e carboidratos das plantas, conferindo dessa forma resistência à murcha de fusarium. Gutierrez-Jerez et al. (1983) e Borges-Perez et al. (1983) encontraram relação entre os teores de zinco no solo e a incidência do mal-do-panamá em bananeiras, admitindo que esse elemento teria efeito na formação de tiloses, no xilema das raízes de plantas infectadas. Recentemente Borges-Perez et al. (1991) demonstraram a eficiência da aplicação do zinco no controle do mal-do-panamá em bananeiras das Ilhas Canárias, com doses de ZnSO<sub>4</sub> (10 g/planta/mês) e quelato de Zn (Zn-EDTA 14 % 5 g/planta/mês). Ao final de três anos, os autores verificaram uma significativa redução no número de plantas doentes, sem constatarem nenhum efeito fitotóxico (Tabela 8).

Por outro lado, o elemento zinco parece essencial ao crescimento, esporulação e virulência de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. A aplicação de fertilizantes contendo zinco, ao solo, pode aumentar a produção de toxina pelo patógeno. O zinco também tem sido responsável pela produção de ácido fusárico por *Fusarium oxysporum* f.sp. *udum*. Os estudos sugerem que o zinco pode decrescer ou aumentar a incidência de doenças e que seu modo de ação ainda não está bem esclarecido.

## FERRO

Os trabalhos, descrevendo o elemento ferro no controle de doenças de plantas, envolvem o seu efeito no patógeno e diretamente no hospedeiro.

Tem-se verificado que, quando o EDTA ou o DHBA (2,3 ácido dihydrobenzóico) exerceu efeito quelante sobre o ferro, torna-o não

Tabela 8. Porcentagem de bananeiras com sintomas do Mal-do-Panamá em áreas tratadas com zinco e em áreas não tratadas (testemunhas), durante três anos (Borges-Perez et al., 1991)

Ano	Porcentagem de Plantas Doentes	
	Testemunha	Tratamento com Zn
1987	6,9	8,7
1988	13,2	14,8
1989	36,9	23,2
1990	18,0	6,3

disponível, propiciando severas lesões em folhas de *Vicia faba*, causadas pelo fungo *Botrytis cinerea*. Quando os conídios do patógeno foram tratados com EDTA, 3 horas antes da inoculação, a severidade da doença também aumentou. Esses resultados sugerem que o íon ferro sob a forma de  $Fe_2(SO_4)_2$  decresce a virulência de *Botrytis cinerea*.

Por outro lado, aplicações elevadas de ferro podem induzir a produção de maior quantidade de toxinas por *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* causando assim maior severidade da doença em tomate (Scher & Baker, 1982; Simeoni et al., 1987; Yuen & Schroth, 1986). Os estudos sobre o hospedeiro sugerem que o íon ferro pode atuar na ativação de enzimas necessárias para a síntese de compostos antifúngicos. A ausência de íon ferro resulta na susceptibilidade das células, devido à ausência da produção de compostos antifúngicos.

Em síntese, os resultados sugerem que o íon ferro é essencial para a síntese de fitoalexinas e indução de resistência a doenças.

## COBRE

Estudos mostram que folhas de macieira resistentes à *Erwinia amylovora* apresentam maior conteúdo de cobre. O aumento dos teores de cobre nos tecidos, pode ser obtido por injeção de cobre no tronco, ou por atomização das folhas.

Baixas quantidades de cobre nas folhas e brotações estimulam a atividade da peroxidase, enquanto que alta concentração reduz a atividade da enzima. A redução na atividade da peroxidase pode resultar no acúmulo de peróxidos, devido ao aumento na respiração em tecidos infectados. A outra enzima que pode degradar peróxidos é a catalase. O aumento na concentração de cobre pode reduzir também a atividade da catalase. A inibição da peroxidase e da catalase pode resultar no acúmulo de peróxidos que são altamente bactericidas. Com o decréscimo da atividade da peroxidase, pode também resultar no acúmulo de compostos fenólicos com efeitos bactericidas, tornando os tecidos da planta resistentes à infecção por *Erwinia amylovora*. Alta concentração de cobre induz a atividade da polifenoloxidase que é responsável pela conversão de compostos fenólicos em substâncias bactericidas, denominadas de quinonas. Em síntese, o íon cobre pode induzir resistência pelo aumento da síntese de peróxidos, compostos fenólicos e quinonas, tendo todos propriedades bactericidas.

A resistência da batateira à requeima causada por *Phytophthora infestans* pode ser atribuída ao aumento na atividade da peroxidase pela aplicação de cobre nas folhas da planta.

## SILÍCIO

O exemplo clássico do papel do silício na resistência de plantas à doença ocorre em arroz com relação ao patógeno *Pyricularia oryzae*, agente etiológico da bruzone do arroz (Marschner, 1986). A presença de compostos orgânicos que contêm silício na parede celular, em plantas de arroz, exerce resistência ao ataque de enzimas produzidas pelo patógeno. Há portanto, relação direta entre o conteúdo de silício e resistência ao patógeno em arroz. Entretanto nem todas as espécies de plantas mostram o acúmulo de silício, quando são infectadas por patógenos. O acúmulo parece ocorrer somente em interações incompatíveis de patógeno-hospedeiro.

Estudos vêm mostrando que o conteúdo de silício, da parede celular das células da epiderme, pode ser muito importante na resistência de plantas a doenças e que a supressão dos depósitos de silício pode induzir susceptibilidade. Quando o extrato de uma interação compatível patógeno-hospedeiro é infiltrado em um hospedeiro incompatível, a resistência e o conteúdo de silício decrescem. As gramíneas, em geral, e, particularmente, o arroz são acumuladoras de silício (Marschner, 1986). Com o aumento na disponibilidade de silício, o teor nas folhas também aumenta, induzindo resistência a doenças fúngicas, como a bruzone do arroz (Figura 2). O aumento da resistência, que se manifesta por um decréscimo no número de manchas, parece estar diretamente relacionado com a concentração de silício na solução do solo e nas folhas.

## MANGANÊS

O manganês é um elemento importante no auxílio ao controle das doenças das plantas (Huber, 1988). A presença do manganês no solo é extremamente complexa e envolve interações químicas e microbiológicas. A transformação de  $Mn^{3+}$  insolúvel ou óxido de  $Mn^{4+}$  para  $Mn^{2+}$  solúvel é altamente dependente de fatores do ambiente tais como o pH do solo, umidade, nutrientes, inibidores da nitrificação, matéria orgânica e atividade microbiana.

Valores de pH inferiores a 6,0 favorecem a oxidação. A oxidação biológica na rizosfera é geralmente responsável pela imobilização em pH 6,0 a 7,9. Em solos ácidos o Mn, tal como o Al e o B, podem ser tóxicos pelo aumento da solubilidade. Alta concentração de Mn inibe, por competição, a absorção de Fe e a sua translocação, sendo esse elemento responsável pela ativação de enzimas envolvidas na redução de  $NO_3-N$ , metabolismo dos carboidratos e respiração. A aplicação direta de manganês através de pulverizações foliares, tratamento de sementes ou adição ao solo, pode efetuar um

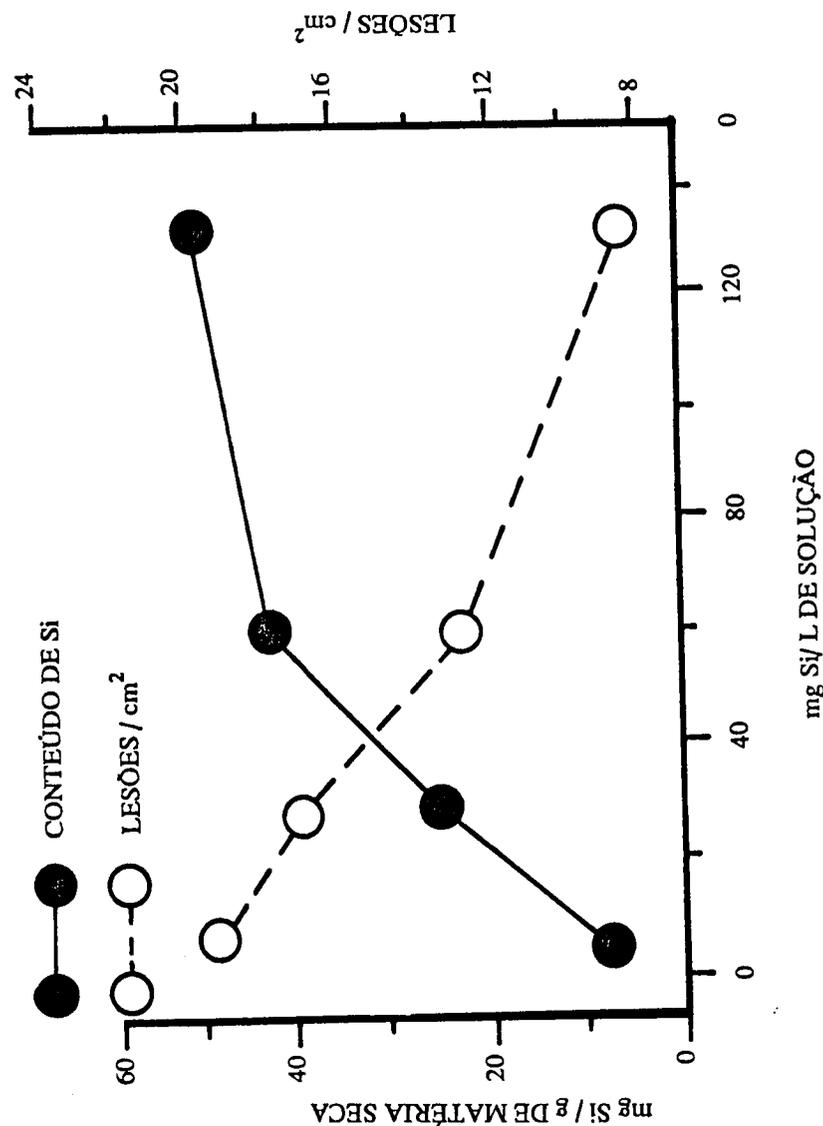


Figura 2. Conteúdo de silício e suscetibilidade a bruzone do arroz (*Pyricularia oryzae*) (Marschner, 1986).

controle adequado de doenças. No entanto, modificações, no meio ambiente para manter a disponibilidade de manganês, podem ser necessárias. As práticas culturais utilizadas para o controle de diversas doenças, tais como baixo pH do solo, irrigação nos períodos críticos de crescimento, inibição da nitrificação e uso do nitrogênio na forma amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) aumentam a solubilidade do manganês. Em situação onde o manganês é reconhecido como o elemento primário envolvido no controle de doenças, estas práticas culturais podem ser integradas em combinação com outros métodos para o controle das doenças. Modificações no meio ambiente para minimizar a oxidação podem ser necessárias, além de adubações para aumentar a disponibilidade de manganês, se o seu conteúdo no solo é inadequado.

Entretanto, em solos de cerrados no Brasil, o ferro e o manganês parecem estar em níveis adequados para a maioria das culturas. Praticamente não têm sido observados resultados positivos da aplicação de fertilizantes contendo ferro e manganês nesses solos (Lopes, 1984). De acordo com Novais et al. (1989), existem dois estágios para o desenvolvimento da deficiência de Mn nos solos:

- Condições de redução (drenagem inadequada ou compactação), induzindo a formas solúveis de Mn e subsequente lixiviação.
- Deficiência induzida por calagem excessiva.

Vários trabalhos têm relatado a influência do manganês sobre doenças de plantas. As concentrações de manganês nas plantas têm sido alteradas em função da presença de patógenos, sendo, no entanto, a sua magnitude influenciada pela planta hospedeira ou cultivar e pelo órgão infectado (Huber & Wilhem, 1988). O teor de Mn é normalmente baixo nos tecidos susceptíveis em comparação com tecidos resistentes, mas aumenta em áreas localizadas próximo aos pontos de infecção.

Possivelmente, o efeito do manganês, mais comumente verificado, é a modificação da resistência, devido à presença de exudatos tóxicos (Huber, 1988). No entanto, é importante salientar que o manganês é requerido para replicação do ARN viral, independentemente do magnésio, podendo com isso explicar o aumento de doenças viróticas na presença do manganês.

### MECANISMOS QUE ENVOLVEM OS NUTRIENTES MINERAIS NO CONTROLE DE DOENÇAS

A capacidade que as plantas têm de se defender é sem dúvida influenciada pelo vigor e seu estágio fenológico. Uma planta com deficiência ou excesso de nutrientes é normalmente mais vulnerável ao ataque de

patógenos do que outra em condições nutricionais em equilíbrio. Os mecanismos da interação Hospedeiro-Planta-Nutrientes não são completamente conhecidos, mas admite-se que a severidade pode ser reduzida por:

- a) aumentar a "tolerância" às doenças;
- b) facilitar a evasão às doenças;
- c) resistência fisiológica da planta;
- d) reduzir a virulência do patógeno.

### AUMENTO DA "TOLERÂNCIA" ÀS DOENÇAS

Como exemplo deste mecanismo observa-se nas plantas a formação de novas raízes, substituindo aquelas destruídas por patógenos do solo. Para isso é importante a disponibilidade dos principais elementos especialmente o fósforo e o nitrogênio. Um exemplo desse tipo de comportamento e interação é a redução da severidade das podridões da raiz do trigo e cana-de-açúcar, causadas por fungos do gênero *Pythium*.

### EVASÃO ÀS DOENÇAS

O efeito de determinados nutrientes sobre as plantas pode levar à evasão, em função do desenvolvimento e maturidade de determinados órgãos. O crescimento rápido de mudas pode facilitar a evasão a certas doenças de viveiro, como é o caso do tombamento.

Alguns nutrientes fortalecem os tecidos como o fósforo e o potássio, enquanto que outros tornam os tecidos mais tenros e "suculentos" e, conseqüentemente, mais sensíveis a fitopatógenos (altas doses de nitrogênio). O fósforo, por exemplo, pode reduzir a fase vegetativa da planta e com isto reduzir o período de susceptibilidade a ferrugens. O contrário é verificado com altos níveis de nitrogênio onde, normalmente, o período vegetativo é aumentado e a senescência natural retardada, alongando o período em que o hospedeiro possa ser infectado por patógenos, como no caso de *Phytophthora infestans* em batateira e ferrugens em cereais.

Em feijoeiro, o fungo *Rhizoctonia solani* tem preferência por tecidos jovens. A resistência nesses tecidos aumenta com o conteúdo de substâncias pécticas e de cálcio no hipocótilo. O cálcio, no entanto, pode interferir negativamente na evasão, como no caso da cevada, onde as plântulas com mais de 5 dias de emergência, são resistentes ao fungo *Helminthosporium sativum*, devido à presença de hordatinas (composto fenológico da cevada). A absorção de altas doses de cálcio nessa fase de

crescimento inativa as hordatinas tornando as plantas susceptíveis (Tabela 9).

Em arroz, a presença de constituintes siliciosos, nas paredes das células das plantas, inibem a ação enzimática da penetração das hifas de *Pyricularia oryzae*, evitando a infecção do patógeno. No caso do feijoeiro, folhas velhas são normalmente resistentes à ferrugem, não havendo o desenvolvimento do haustório em muitos pontos de infecção, nos quais é observada a presença de depósito de silício.

A interação de diferentes elementos, em equilíbrio, pode facilitar a evasão como o Cu, B, Fe, Mn que estão envolvidos na biossíntese da lignina. Os seus efeitos na lignificação e suberização dos tubérculos da batata estão envolvidos na severidade da sarna.

### FISIOLOGIA DA RESISTÊNCIA

Todos os aspectos fisiológicos da resistência estão intimamente relacionados com o "status" nutricional das plantas e refletem uma modificação, tanto no ambiente nutricional do patógeno, quanto na produção e acúmulo de compostos inibidores da patogênese.

Os elementos minerais não somente servem como substratos, mas também determinam a rota das reações fisiológicas do metabolismo. O aumento da taxa de respiração, da permeabilidade celular e da translocação pode aumentar a disponibilidade de nutrientes para o patógeno. O estado nutricional do hospedeiro é particularmente crítico no caso de patógenos obrigatórios. A concentração de determinados vírus é proporcional ao vigor do hospedeiro. Excessos ou deficiências de minerais podem reduzir o crescimento do hospedeiro e reduzir também a concentração dos vírus nos tecidos. O fósforo e o nitrogênio são exemplos do envolvimento de nutrientes na replicação de vírus. A deficiência de potássio pode resultar em altas concentrações de nitrogênio na seiva, aumentando a severidade de certas doenças, principalmente viroses.

Os mecanismos de resistência fisiológica pelos nutrientes têm sido associados à regulação de aminoácidos e síntese de proteínas. O nitrogênio normalmente estabelece a composição de certos aminoácidos e proteínas, enquanto que o zinco e outros elementos interagem com o nitrogênio para regular aminoácidos, amidas e concentrações de proteínas.

Alguns aspectos contraditórios, relatados na literatura, podem estar associados aos efeitos indiretos dos nutrientes e sua interação. Um exemplo desses efeitos seria a redução da severidade de *Diplodia zeae* com KCl que, possivelmente, inibe o  $\text{NH}_3\text{-N}$  retido pelo íon de cloro e não seria o efeito direto do potássio. Para justificar essa hipótese a aplicação de  $\text{NO}_3\text{-N}$

Tabela 9. Efeito de ions de cálcio sobre a atividade de hordatina na germinação de esporos de *Helminthosporium sativum* (Stossel & Unwin, 1970)

Cálcio (ppm Ca/20 hordatina)	Inibição de Germinação (%)
0,0	79
2,5	72
5,0	80
10,0	77
20,0	55
40,0	0

sem cloro aumenta a podridão do colmo, enquanto que a aplicação de cloro sem o nitrogênio tem pouco efeito na severidade da doença. Ao contrário, a podridão do colmo de milho causada por *Fusarium moniliforme* é reduzida pelo  $\text{NO}_3^-$  e aumentada pelo  $\text{NH}_4^+$ .

O aumento da severidade da gomose dos citros, causada por *Phytophthora parasitica*, associada com altos níveis de potássio, pode, na realidade, ser devido à alteração da relação K:Ca na permeabilidade diferencial das membranas celulares.

Na requeima da batateira, causada por *Phytophthora infestans*, a doença é severa em plantas adubadas somente com nitrogênio e fósforo, mas decresce, quando se aumenta os níveis de potássio. Admite-se que, nesse caso, a resistência estaria associada ao aumento dos níveis de arginina, induzida pelo K. O decréscimo dos teores de fenóis, em algumas plantas, está associado ao  $\text{NO}_3^-$  que inibe a síntese de fenóis, o que não ocorre com a forma  $\text{NO}_4^+$ . Em contraste, a murcha de *Fusarium* em algodoeiro decresce, quando se aumenta o  $\text{NO}_3^-$ , havendo, contudo, nesse caso, o efeito do ambiente, principalmente, e temperatura.

O cálcio pode induzir resistência em plantas através do seu efeito no metabolismo de pectinas (Thomas, 1966). Esse elemento modifica as pectinas hidrossolúveis em polipectato insolúvel que é resistente às enzimas pectolíticas dos patógenos (Tabela 10).

A severidade da murcha, causada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopercisi*, tem sido associada com deficiências de cálcio (Corden, 1965). A aplicação de cálcio tem controlado a doença em condições experimentais (Tabela 11). Admite-se que o cálcio inibe a atividade da poligalacturonase produzida pelo *Fusarium* e assim, influi no estado de murcha pela decomposição de substâncias pécicas no hospedeiro. Por outro lado, o cálcio também protege a membrana celular do hospedeiro e reduz a ligação eletrolítica induzida pelo patógeno.

O ferro por sua vez é essencial na síntese de algumas substâncias fungitóxicas presentes no hospedeiro como, por exemplo, as fitoalexinas, que induzem resistência à invasão de determinados patógenos.

A resistência do algodoeiro à murcha de *Fusarium* (*F. oxysporum* f.sp. *vasinfectum*) está associada ao zinco, que aumenta os teores de ácido ascórbico e carboidratos nas plantas.

O efeito do cobre tem sido associado à resistência a determinadas bacterioses. Esse efeito parece estar associado à inibição das peroxidases e catalases, resultando no acúmulo de peróxidos que têm ação bactericida.

O decréscimo da atividade da peroxidase resulta no acúmulo de compostos fenólicos, considerados com potencial efeito bactericida, tornando as plantas de macieira resistentes à bactéria *Erwinia amylovora*.

Tabela 10. Relação entre níveis de cálcio e substâncias péciticas com a resistência a *Phytophthora drechsleri* (Thomas, 1966)

Cálcio (mg/100g)	Substâncias Péciticas (%)	Doença
1,02	0,88	Altamente Resistente
1,05	0,81	Resistente
0,90	0,52	Suscetível
0,85	0,35	Altamente Suscetível

Tabela 11. Severidade da murcha de *Fusarium* em plantas de tomateiro que receberam diferentes concentrações de cálcio, após a inoculação (Corden, 1969)

Cálcio (µg/ml)	Concentração de Ca na seiva das plantas	Doença (%)
0	73	100
50	219	92
200	380	80
1000	1081	9

Altas concentrações de cobre induzem à formação de polifenoloxidasas que convertem os fenóis em quinonas, com potencial efeito bactericida. Esse efeito tem sido associado a outros patógenos como a requeima da batateira, causada por *Phytophthora infestans*.

### EFEITO SOBRE O PATÓGENO E REDUÇÃO DA VIRULÊNCIA

A adubação tem um efeito direto, modificando o ambiente físico e químico, afetando a sobrevivência dos patógenos.

No caso de *Fusarium oxysporum* f.sp. *phaseoli*, sabe-se que o  $\text{NH}_4^+$  estimula a formação de clamidosporos, aumentando a densidade do inóculo no solo. Em outros fungos, como, por exemplo, *Curvularia* a produção de inóculo é estimulada pelo  $\text{NO}_3^-$ . A formação de clamidosporos de *Fusarium oxysporum* é inibida por  $\text{NO}_3^-$ , enquanto que a uréia ou  $\text{NH}_4\text{Cl}$  reduz o fenômeno de "lise".

A fusariose do feijoeiro (*Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*) aumenta com a presença de  $\text{NH}_4^+$  na zona do hipocótilo, enquanto que o mesmo não se verifica em plantas adubadas com  $\text{NO}_3^-$ . O  $\text{NH}_4^+$  aumenta os níveis de glutamina e asparagina nas plantas comparativamente com o  $\text{NO}_3^-$ . Exudatos de arginina inibem a germinação de *Phytophthora infestans*, mas essa exudação é baixa na ausência de K e quando N e P são altos. Normalmente a arginina aumenta com o aumento do K. A atividade pectinolítica e celulítica de certos fungos é inibida pelo  $\text{NO}_3^-$ , enquanto que o  $\text{NH}_4^+$  favorece essas atividades. A remoção dos íons de  $\text{NO}_3^-$  reduz a atividade macerante das enzimas polimetilgacturonase e carboximetilcelulase em *Rhizopus stolonifer*.

Os nutrientes estimulam também a germinação e a penetração dos patógenos. O zinco, por exemplo, é exigido para a formação de apressórios de *Puccinia coronata*. Esse mesmo elemento inibe a infecção de raízes de arroz por *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*. Doses de 0,625, 1,25 e 2,5 % de sulfato de zinco inibiram o crescimento da bactéria "in vitro". No entanto, o zinco também poderá aumentar a incidência de doenças, como no caso da murcha de *Fusarium* em tomateiro, onde o zinco induz a produção de toxinas do patógeno. A adição de zinco em meio de cultura aumentou a produção de ácido fusárico em *Fusarium oxysporum* f.sp. *udum*. Por outro lado o ferro inibe a germinação de esporos e a formação de certos patógenos.

Condições de pH do solo limitam a disponibilidade de micronutrientes essenciais ao crescimento, esporulação e virulência de certas espécies de *Fusarium* que causam murchas de plantas. A flora microbiana do solo, em especial os actinomicetos e bactérias, são favorecidas pelo pH do solo mais elevado. Esses microorganismos são antagonistas para

determinadas formas especiais de *Fusarium oxysporum*, inibindo a germinação de esporos e o crescimento vegetativo, além de competirem por nutrientes orgânicos e inorgânicos da solução do solo. Alguns nutrientes estimulam a eclosão de larvas de nematóides.

A redução da severidade de murchas causadas por *Fusarium* tem sido associado ao zinco, ferro e manganês, que parecem reduzir a virulência, através da inibição da produção de certas enzimas pectinolíticas.

## CONCLUSÕES

Os elementos minerais utilizados como nutrientes das plantas mantêm a produção, a qualidade e o valor estético dos produtos. Por outro lado, as doenças, que são uma das principais causas na perda da produção e qualidade comercial, podem em alguns casos ser controladas pelos nutrientes, influenciando na infecção e na sua taxa de evolução. Nesse sentido, é importante fazer o manejo da cultura e reconhecer que:

- a) nenhum nutriente por si só controla todas as doenças em todas as culturas;
- b) plantas com desequilíbrios nutricionais são mais susceptíveis que aquelas com nutrição equilibrada;
- c) a disponibilidade de nutrientes é importante, devendo-se manter em equilíbrio (balanceada), mesmo na ausência de um elemento;
- d) a forma como os nutrientes estão disponíveis para as plantas, influencia o seu efeito sobre as doenças;
- e) danos ocasionados por deficiências ou desequilíbrios nutricionais dificilmente são eliminados no futuro;
- f) alguns elementos minerais têm efeitos semelhantes no vigor das plantas, mas efeitos opostos nas relações fisiológicas sobre as doenças;
- g) as condições do ambiente, principalmente pH, temperatura, rotação de culturas e atividade microbiana na rizosfera, influenciam o equilíbrio dos nutrientes no solo e seu efeito nas plantas;
- h) o nível de resistência do hospedeiro, em relação a determinados patógenos, é importante na eficiência do controle pela aplicação de nutrientes.

Os relatos na bibliografia, demonstram que os nutrientes maximizam a resistência das plantas a determinadas doenças, facilitam a evasão e alteram o ambiente externo, atuando na sobrevivência, germinação e penetração dos patógenos, interferindo, assim, na relação planta-patógeno-ambiente.

Um exemplo prático da interação de nutrientes no controle de doenças ocorre com o mal-do-panamá em bananeira (Tabela 12), onde o equilíbrio nutricional em solos com o pH ajustado, possibilita a redução da severidade da doença.

As misturas de nutrientes de forma equilibrada têm possibilitado o controle de determinadas doenças, tanto quando aplicadas no solo, como o caso da podridão das raízes da ervilha, onde a mistura NPK apresentou os melhores resultados (Tabela 13), bem como quando utilizados em pulverização, como no caso da ferrugem do cafeeiro, onde a mistura equilibrada de determinados elementos, possibilita o controle da ferrugem do cafeeiro, com o aumento de até 62,8 % na produção de café (Tabela 14).

Pesquisas desenvolvidas recentemente com o declínio da seringueira, na região Amazônica mostraram que plantas com sintomas severos de declínio foram completamente recuperadas com adubação incluindo calcário, P, K e gesso (Tabela 15).

O uso e o manejo dos nutrientes, de forma equilibrada, tem demonstrado ser uma alternativa válida e eficiente no controle de determinadas doenças de plantas. Há, contudo, a necessidade de se desenvolver mais pesquisas nas condições do Brasil, com as nossas culturas, procurando conhecer suas exigências nutricionais, bem como o comportamento das doenças em diferentes níveis, fontes e combinação de nutrientes.

Tabela 12. Valores de algumas características químicas dos solos sobre o Mal-do-Panamá da bananeira

Local	Amostra	N	P	K (ppm)	pH	Al	Ca	Zn (ppm)	Mg (meq/100g)	Mn	K/Mg	Ca/Mg	MO
Vários Países	Doentes			30-200	<6,0	-		(5,83)	(12,35)		0,67	-	(2,72)
	Sadias			200-1000	>6,0	-					0,48	1,74	(4,04)
Espírito Santo	Doente		1	<50 e >150	<5,5						<0,1 e >0,4	-	
EMCAPA <sup>2</sup>	Sadia			50-150	>5,5						0,1 a 0,4	-	

<sup>1</sup> Apenas observado onde o P é muito elevado, podendo estar associado à absorção do Zn.

<sup>2</sup> Ventura, J. A. EMCAPA/ES - Informação Pessoal, 1991

Observação: pH = Al no ES; K/Mg = Azul da Bananeira; MO = Correlação com valores de Zn no solo; Zn = Percursor de AIA que estimula a formação de tiloses.

Tabela 13. Porcentagem de severidade da podridão de raízes, emergência e altura de plantas de ervilha em solos com e sem a incorporação de fertilizantes, na presença ou ausência de *Fusarium oxysporum* f.sp. *psi* (Srihuttagam & Sivasithamparam, 1991)

Fertilizante	Severidade(%)		Emergência(%)		Altura(mm)	
	Testemunha	Fungo	Testemunha	Fungo	Testemunha	Fungo
Sem Fertilizante	3,85 a <sup>1</sup>	39,18 b	85,57	85,57	306,8	308,8 a
N	10,43 abc	36,22 b	90,00	81,14	314,3	291,6 a
P	16,34 bc	32,07 ab	79,03	85,57	416,7	392,9 b
PK	14,62 bc	32,34 ab	81,14	90,00	325,5	271,7 a
NP	11,01 abc	36,37 b	90,00	85,57	414,7	405,8 bc
NK	19,94	39,49 b	76,72	90,00	356,7	310,7 a
PK	9,96	33,86 ab	90,00	85,57	437,0	404,8 bc
NPK	18,55	25,47 a	85,57	85,57	507,5	455,8 c

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente, entre si pelo teste de Tuckey (P = 0,05)

Tabela 14. Efeito de mistura de nutrientes e fungicidas no controle da ferrugem do cafeeiro<sup>1</sup> (UFV, 1991)

Tratamento	Produção Média/ha <sup>2</sup>	Incremento(%)	Incidência de Ferrugem <sup>3</sup>
Sulfato de cobre + sulfato de zinco + sulfato de magnésio + ácido bórico + uréia + hidróxido de cálcio	77,778	162,88	15,1-23,5
Sulfato de cobre + ácido bórico + hidróxido de cálcio	72,122	151,03	18,5-28,2
Oxicloreto de cobre + ácido bórico	70,325	147,27	19,4-26,3
Sulfato de cobre + sulfato de zinco + ácido bórico + hidróxido de cálcio	67,457	141,27	10,3-16,3
Triadimefon + sulfato de zinco + ácido bórico	66,438	139,13	16,3-20,2
Sulfato de cobre + sulfato de zinco + hidróxido de cálcio	66,435	139,13	11,5-15,8
Triadimefon + ácido bórico	63,777	133,56	10,8-12,2
Oxicloreto de cobre + sulfato de zinco	61,175	128,11	20,8-27,2
Triadimefon + sulfato de zinco	61,172	128,10	10,4-15,2
Oxicloreto de cobre + sulfato de zinco + ácido bórico	60,173	126,01	25,3-30,9
Testemunha	47,752	100,00	55,2-82,5

<sup>1</sup> Resultados médios de 3 anos (1985 a 1987)

<sup>2</sup> Sacos de café beneficiado (60 Kg)

<sup>3</sup> Incidência máxima de ferrugem avaliada no pico da doença nos anos de alta carga pendente das plantas (1985 a 1987)

Tabela 15. Incremento no diâmetro do caule em seringueira, com sintomas de declínio, submetidas a diferentes tratamentos com diferentes nutrientes e corretivos (Gasparoto et al., 1991)

Tratamento	1988/1989		1989/1990	
	SR <sup>1</sup>	SI <sup>1</sup>	SR	SI
Cal + P + K + Gesso	2,8	1,9	9,2	9,0
Cal + K + Gesso	3,7	.	8,1	.
Cal + P + Gesso	5,0	.	8,7	.
P + K + Gesso	3,7	.	9,3	.
K + Gesso	4,1	1,7	7,1	7,5
P + Gesso	3,2	2,2	8,4	6,6
Cal + Gesso	4,9	1,2	7,9	4,6
Gesso	1,2	2,7	2,2	5,2
Testemunha	4,7	1,4	6,4	5,6

<sup>1</sup> SR = Seringal considerado Recuperável; SI = Seringal considerado Irrecuperável

## LITERATURA CITADA

- AGRIOS, G.M. 1980. Environmental effects on infections plant disease development. In: Plant Pathology, 3 ed. London Academic Press. 147-155.
- ALVAREZ, C.E.; GARCIA, V.; ROBLES, J. & DIAZ, A. 1981. Influence des caracteristiques du sol sur l'incidence de la maladie de panamá. *Fruits*. 36:71-81.
- ALVAREZ, V.V.H. 1988. Enxofre: Critérios de diagnose para o solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: SIMPÓSIO: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1988. Anais... Londrina, EMBRAPA, CNPSO/IAPAR/SBCS, p.31- 59.
- ANDRADE, P.M.J. 1991. Efeito de nitrogênio, fósforo e potássio sobre o desenvolvimento da ferrugem da cana de açúcar (*Puccinia melanocephala* H. & P. Sydow). Viçosa, UFV. Tese de Mestrado.
- BARKER, K.R.; LEHMAN, P.S. & HUISINGH, D. 1971. Influence of nitrogen and *Rhizobium japonicum* on the activity of *Heterodera glycinae*. *Nematologia* 37:377-85.
- BARTZ, J.A. ; GERALDSON, G.M. & CRILL, J.P. 1979. Nitrogen nutrition of tomato plants and susceptibility of the fruit to bacterial soft rot. *Phytopathology* 69:163-6.
- BLOOM, J.R. & COUCH, H.B. 1958 .Influence of the environment on diseases of turfgrasses. I. Effect of nutrition, the pH, and soil moisture on *Rhizoctonia* brown patch. *Phytopathology* 48:260. (Abstract).
- BOLLENBACHER, K. & FULTON, N.D. 1971 Effects of nitrogen compounds on resistance of *Gossypium arboreum* seedlings to *Colletotrichum gossypii*. *Phytopathology* 61:1394-5.
- BORGES-PEREZ, A.; FERNÁNDEZ-FALCÓN, M.; BRAVO-RODRIGUES, J.J.; PÉREZ-FRANCES, J.F. & LOPEZ-CARRENO, I. 1991. Enhanced of resistance of banana plants (Dwarf cavendish) to *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* by controlled Zn nutrition under field condition. *Banana Newsletter* 14:24-26.
- BORGEZ-PEREZ, A.; JACINTO Del CASTILLO, I.T.; GUITIERREZ, J.F. & RODRIGUES, D.A. 1983. Estudio sobre el mal-do-panamá em las Islas Canarias. II. Influencia de los desequilibrios nutritivos P-Zn y K-Mg del suelo, en la alteración de los mecanismos de resistência de la plantanera (*Cavendish enana*) al mal-de-panamá. *Fruits* 38(11):755-8.
- BUIR, R.; PAUZER, J. & TULLIS, E.C. 1959. The interrelationship of nitrogen and other factors affecting the bast disease of rice caused by *Pyricularia oryzae*. *Plant Dis. Rep.* 43:477-82.
- CASTANO, J.J. & KERNKAMP, M.F. 1956. The influence of certain plant nutrients on infection of soybeans by *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 46:326-8.
- COLHOUN, J. 1973. Effects of environmental factors on plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathology* 11:343-64.
- COLLINS, R.J. & RODRIGUEZ-KABANA, R. 1972. Influence of fertilizer treatments and crop sequence on populations of root-knot nematode. *Meloidogyne incognita*. *Phytopathology* 62:802.
- COOK, R.J. & BAKER, K.F. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul, APS.
- CORDEIRO, Z.J.M. 1987. O mal-do-panamá e suas relações com características químicas e físicas do solo. *Rev. Bras. Fruticultura* 9(2):67-72.
- CORDEN, M.E. 1965. Influence of calcium nutrition on *Fusarium* wilt of tomato and polygalacturonase activity. *Phytopathology* 55:222.
- CRUZ FILHO, J. & CHAVES, G.M. 1985. Calda Viçosa no controle da ferrugem do cafeiro. Viçosa UFV. (Informe Técnico, 6).
- CSINOS, A.S.; GAINES, T.P. & WALKER, M.E. 1984. Involvement of nutrition and fungi in the peanut pot rot complex. *Plant Disease* 68:61-5
- EDGINTON, L.V. & WALKER, J.C. 1958. Influence of calcium and boron nutrition on development of *Fusarium* wilt of tomato. *Phytopathology* 48:324-6.

- ENGELHARD, A.W. & WOLTZ, S.S. 1973. *Fusarium* wilt of chrysanthemum: Complete control of symptoms with an integrated fungicide-lime-nitrate regime. *Phytopathology* 63:1256-9.
- FERNANDES, C.D. 1988. Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inóculo sobre a cercosporiose do cafeeiro. Viçosa, UFV. Tese de Mestrado.
- FRY, W.E. 1982. Principles of plant disease management. New York. Academic Press.
- GASPAROTO, L.; BUENO, N.; LIMA, M.I.P.M. & ARAUJO, A.E. 1991. Recuperação de seringais com declínio, através da adubação e tratamento fitossanitário. *Fitopatologia Brasileira* 16:(2) . (Abstract)
- GRAHAN, J.H. & MENGE, J.A. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal and soil phosphorous on take-all of wheat. *Phytopathology* 72:98-108.
- GUITERREZ-JEREZ, F.; TRUJILLO, I. & BORGES-PÉREZ, A. 1993. Estudio sobre o mal-do-panamá em las Islas Canarias. I. Características físicas y químicas de los suelos y in relacion con la aparición de la enfermedad. *Fruits* 38:677-82.
- HOOKE, W.J. & KENT, G.C. 1950. Sulphur and certain soils amendments for potato scab control in the peat soil of northern Iowa. *Am. Potato J.* 27:343-365, 1950.
- HUBER, D.M. 1980. The role of mineral nutrition in defense. In: Horsfall & Cowling, E. B. *Plant Pathology; An Advanced Treatise*. New York, Academic Press, v.5. , p 381-406.
- HUBER, D.M. 1990a. Introduction. In: ENGELHARD, A.W. *Management of disease with macro and microelements*. St. Paul, APS PRESS, p.1-8.
- HUBER, D.M. 1990b. The role of nutrition in the take-all disease of wheat and other small grains. In: Engelhard A.W. *Management of disease with macro and microelements*. St. Paul, APS PRESS, p.46-74.

- HUBER, D.M. & ARNY. 1985. Interaction of potassium with plant disease. In: *Potassium in Agriculture*. p.467-488.
- HUBER, D.M. & WATSON, R.D. 1974. Nitrogen form and plant disease. *Ann. Rev. Phytopatology* 12:139-65.
- HUBER, D.M. & WILHELM, N.S. 1988. The role of manganese in resistance to plant diseases. In: *MANGANESE IN SOIL AND PLANTS; AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM*, Glen Osmond, Austrália, Waite Agriculture Research Institute, . p-155-173.
- ISMUNADJE, M. 1976. Rice diseases and physiological disorders related to potassium deficiency. In: *Fertilizer use and plant health*. Proc. Colloq. Int. Potash Inst. 12:47-60.
- JONES, J.P.; ENGELHARD, A.W. & WOLTZ, S.S. 1990. Management of *Fusarium* wilt of vegetables and ornamentals by macro and microelement nutrition. In: Engelhard, A.W. *Management of diseases with macro and microelements*. St. Paul, APS PRESS, p.18-32.
- JONES, J.P.; WOLTZ, S.S.; JONES, J.P. 1983. Effect of foliar and soil manganese application on bacterial leaf spot peppers. *Plant Disease* 67:623-624.
- KAUR, P.; KAUR, S.; PADMANABHAN, S.Y. 1986. Effect of calcium on the development of brown spot disease of rice. *Indian Phytopathology* 39:57-61.
- KEINATH, A.P. & LORIA, R. 1990. Management of common scab of potato with nutrients. In: Engelhard, A.W. *Management of disease with macro-and microelements*. St. Paul, APS PRESS, p.152-65.
- LAST, F.T. 1953. Some effects of temperature and nitrogen supply on wheat powdery mildew. *Ann. Appl. Biol.* 40:312-22.
- LAST, F.T. & GROSS, C.F. 1979. Relationship between magnesium content of alfalfa and *Stemphylium* leafspot severity. *Plant Disease Reporter* 63:741-43.

- LOPES, A.S. 1984. Solos sob "cerrado", características, propriedades e manejo. Piracicaba, POTAFOS.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press.
- MATSUYAMA, N. & DIAMOND, A.E. 1973. Effect of nitrogenous fertilizer on biochemical processes that could affect lesion size of rice blast. *Phytopathology* 63:1202-3.
- McGUIRE, R.G. & KELMAN, A. 1986. Calcium in potato tuber cell walls in relation to tissue maceration by *Erwinia carotovora* pv. *atroseptica*. *Phytopathology* 76:401-6.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. & SEDIYAMA, T. 1989. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. *Rev. Bras. Cien. Solo, Campinas*, 13:199-204.
- ODLAND, T.E. & ALBRITTON, H.G. 1950. Soil reaction and calcium supply as factors influencing the yield of potatoes and the occurrence of scab. *Agronomy Journal*, 42:269-295.
- OTEIGA, B.A. 1955. Nitrogen source of the host nutrition in relation to infection by a root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. *Plant Dis. Repr.*, 39:902-3.
- PENNYPACKER, B.W. 1990. The role of mineral nutrition in the control of *Verticillium* wilt. In: Engelhard, A.W. Management of diseases with macro- and microelements. St. Paul, APS PRESS, p.33- 51.
- ROBINSON, P.W. & HODGES, C.I. 1981. Nitrogen-induced changes in the sugar and amino acids of sequentially senescing leaves of *Poa pratensis* and pathogenesis by *Drechslera sorokiniana*. *Phytopathology* 71:348-361.
- RANNEY, C.D. Effects of nitrogen source and rate on the development of *Verticillium* wilt of cotton. *Phytopathology*. 52:38-41
- RUPPEL, E.G. & HECKER, R.J. 1983. Efficacy of sulphur for controlling *Rhizoctonia* root rot in sugar beet. *Plant Disease* 67:156-8.

- SCHER, F.M. & BAKER, R. 1982. Effect of *Pseudomonas putida* an a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt pathogen. *Phytopathology* 72:1567-673.
- SEAKER, E.M.; BERGMAN, E.L. & ROMAINE, C.P. 1982. Effects of magnesium on tobacco mosaic virus-infected eggplant. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107:162-6.
- SIMEONI, L.A.; LYNOSAY, W.L. & BAKER, R. 1987. Critical iron level associated with biological control of fusarium wilt. *Phytopathology* 77:1057-61.
- SRIHUTTAGUM, M. & SIVASITHAMPARAM, K. 1991. The influence of fertilizers on root rot of field peas caused by *Fusarium oxysporum*, *Pythium vexans* and *Rhizoctonia solani* inoculated singly or in combination. *Plant and Soil* 132(1):21-7.
- STOSSEL, A. & UNWIN, C.H. 1970. The antifungal factors in barley. V Antifungal activity of the hordatines. *Can. J. Bot.* 48:465.
- THOMAS, C.A. 1966. Calcium and water - insoluble pectic substances in safflower hypocotyls in relation to resistance to *Phytophthora drechsleri*. *Phytopathology* 56:985.
- VIDHYSEKARAN, P.; RANGNATHAM, K.; PALANIAPPAN, S.P.; RAMASAMY, S. 1983. Effect of slow-release nitrogen fertilizers on rice brown spot disease. *Internation Rice Research Newsletter* 8(4):11.
- VOLK, R.J.; KAHN, R.P. & WEINTRAUB, R.L. 1958. Silic content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus. *Pyricularia oryzae*. *Phytopathology* 48:179- 84.
- WANG, J.F. & HSIEH, W.H. 1986. Studies on the suppressive factors and characteristics of suppressive soils of clubroot in crucifers. *Plant Protection Bulletin* 28:363-70.
- WHEELER, H. & HANCHEY, P. 1968. Permeability phenomena in plant disease. *Annual Review of Phytopathology* 6:331-50.

WOLTZ, S.S. & ENGELHARD, A.W. 1973. Fusarium wilt of chrysanthemum: Effect of nitrogen source and lime on disease development. *Phytopathology* 63:155-77.

WOLTZ, S.S. & JONES, J.P. 1973. Interactions in source of nitrogen fertilizer and liming procedure in the control of Fusarium wilt of tomato. *Hort. Science* 8:137-8.

YUEN, G.Y. & SCHROTH, M.N. 1986. Inhibition of *Fusarium oxysporium* f.sp. *dianthi* by Fe competition with on *Alcaligenes* sp. *Phytopathology* 76:171-6.

## FUNGICIDAS ANTIOOMICETOS

Luis Antônio Azevedo

Ciba-Geigy Divisão Agro, Rua Vicente Rao, 90, 04706-900, São Paulo, SP, Brasil

### RESUMO

Os oomicetos constituem uma classe de fungos na qual se incluem as espécies de fitopatógenos mais destrutivos que o homem conhece. Importantes doenças foliares como a requeima da batata, o mildio da videira, o mofo azul do fumo e doenças radiculares como tombamentos, podridão de raízes, gomose dos citros e podridão do colo da macieira são causadas por esses fungos. Até o início da década de 70 os meios e estratégias de se controlar adequadamente essas doenças eram muito limitados. Praticamente resumiam-se ao controle químico, quando eram empregadas repetidas aplicações de fungicidas protetores ou de contato, para doenças foliares. Em se tratando de patógenos do solo, o controle era muito problemático, devido a ineficiência dos métodos de controle químico e ao seu alto custo. A partir da descoberta dos fungicidas sistêmicos com atividade e especificidade contra oomicetos, no começo dos anos 80, o controle químico desse importante grupo de fungos vem experimentando significativos avanços. Dentro desse novo grupo de fungicidas destacam-se as fenilamidas, extremamente versáteis e eficientes no controle dos principais oomicetos.

### SUMMARY

#### ANTI-OOMYCETES FUNGICIDES

The oomycetes constitute a fungi class in which the most ever known destructive plant pathogenic species are included. Important foliar diseases, such as late blight of potatoes, downy mildew of grapes and root diseases such as dumping off, root rots, gomosis of citrus and collar rot of the apple tree are caused by these fungi. Up to early 1970, the means and strategies used to adequately control these diseases were rather limited. They were practically restricted to chemical control with repeated applications of protective fungicides for foliar diseases. Regarding the soil pathogens their control was problematic due to the inefficiency of the chemical control methods besides the high costs involved. After the discovery of systemic fungicides with specific activity against oomycetes, in the beginning of 1980, the chemical control of this important fungi group has significant advances.