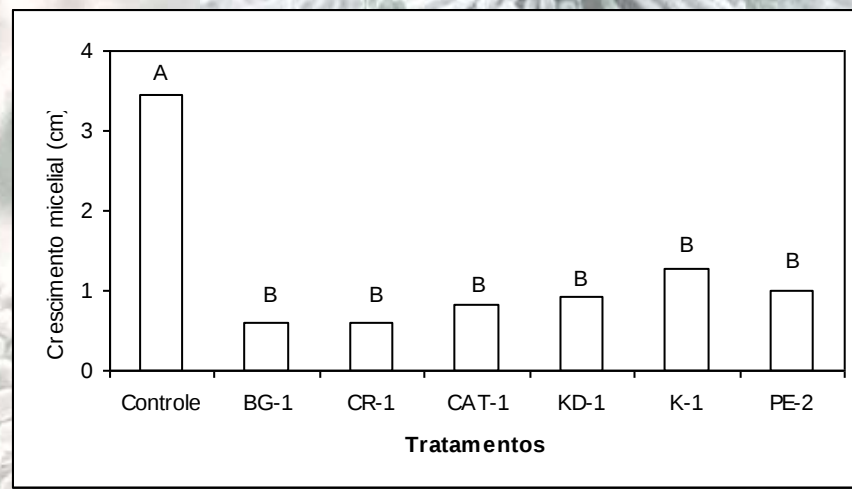
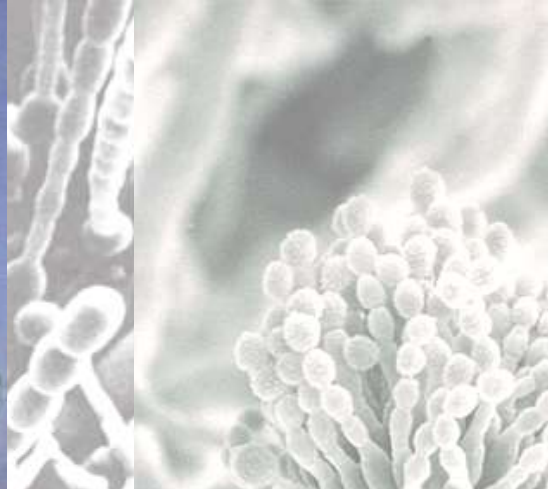
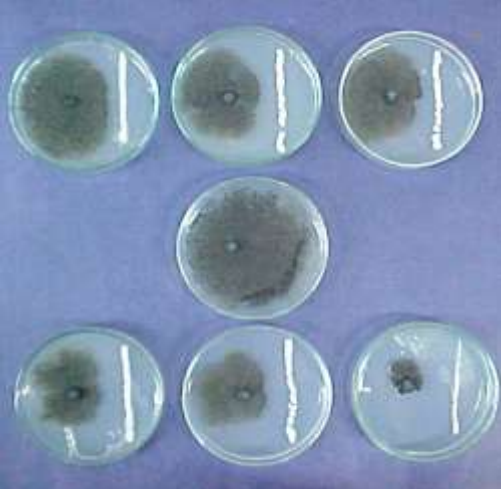
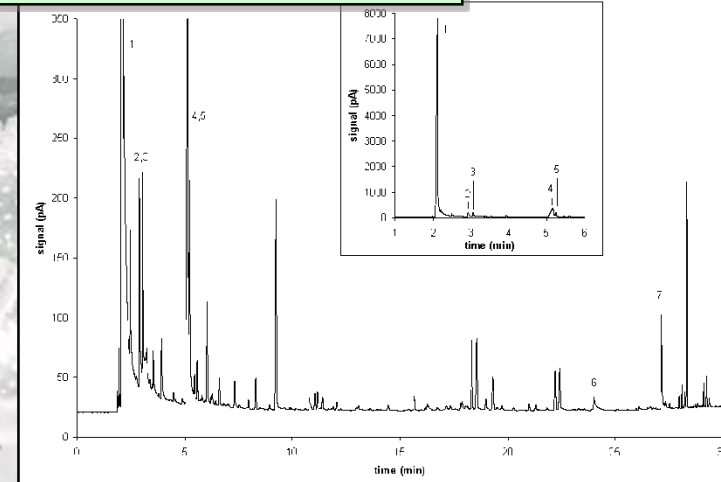
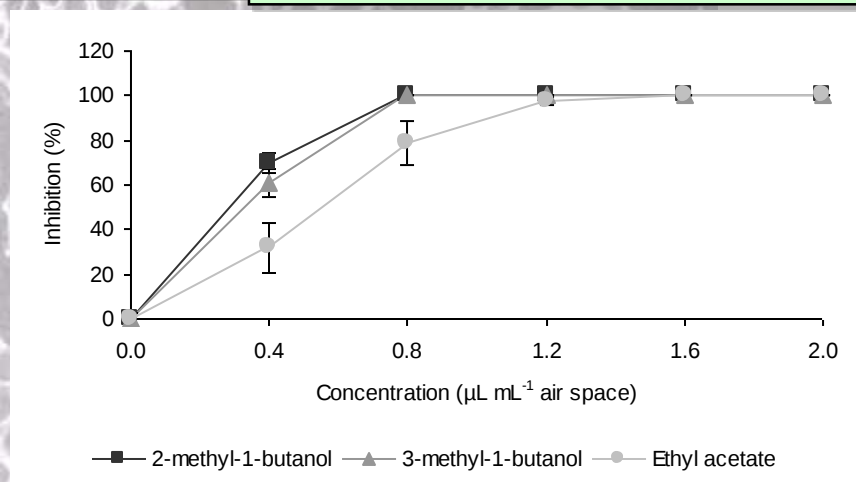




LFT - 5830 Fisiologia e Bioquímica Fitopatológica



Pascholati, Sérgio F.



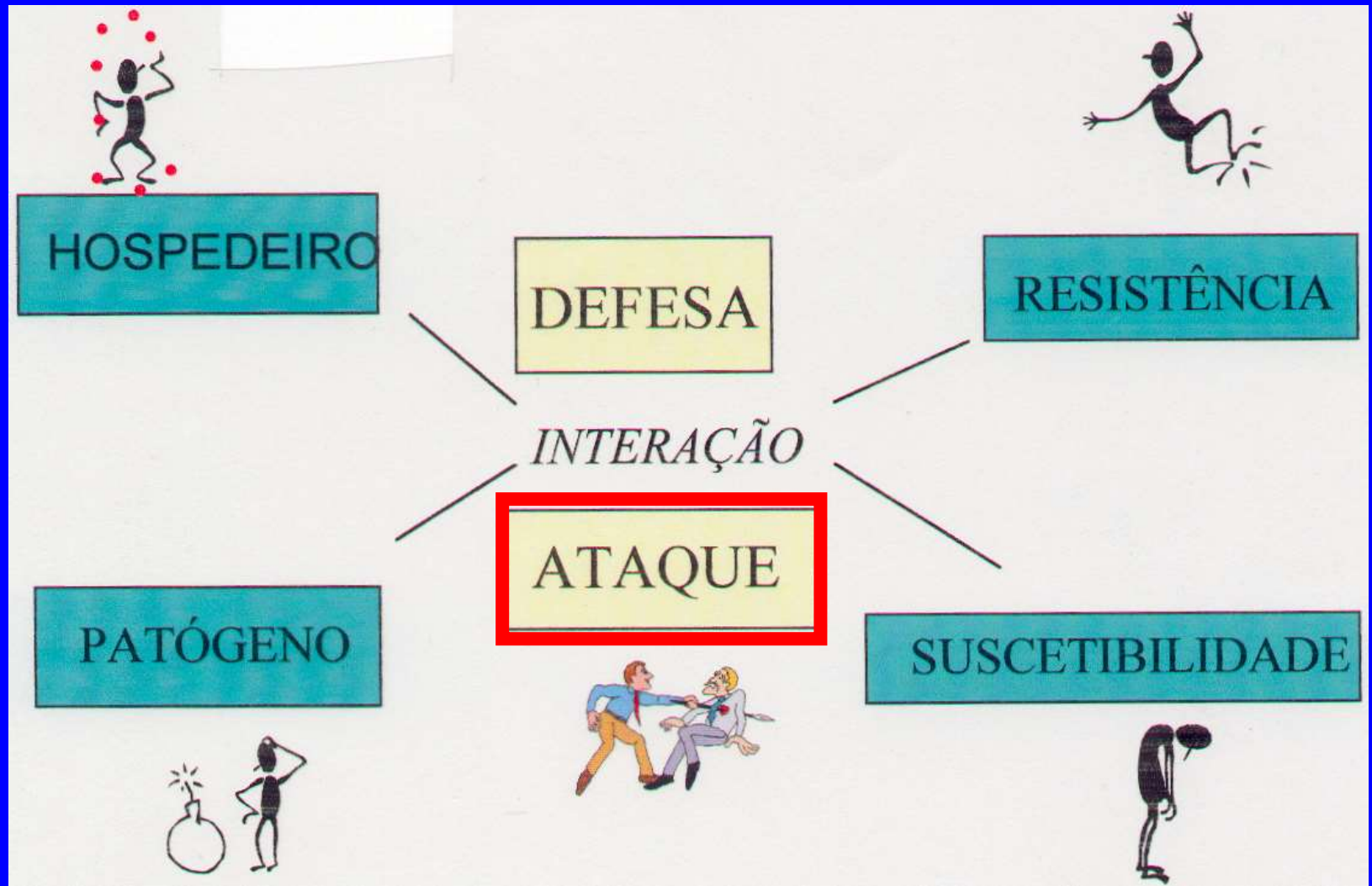
Patógenos

Mecanismos de ataque:

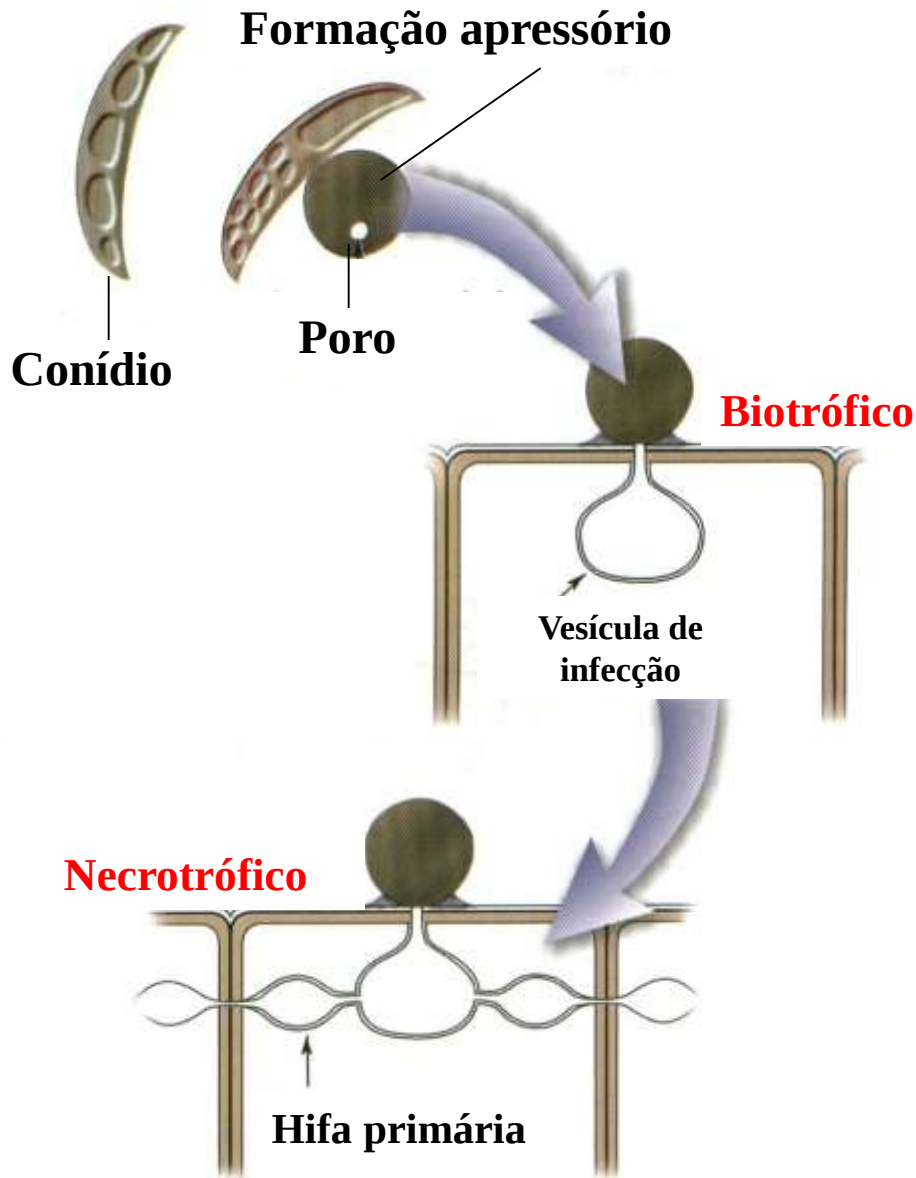
Fitotoxinas e hormônios



Interação planta x microrganismo patogênico



O processo da infecção fúngica



Mecanismos de ataque

- Enzimas
- Toxinas
- Hormônios
- Polissacarídeos extracelulares
- Outros fatores (supressores, efetores, etc)

TOXINAS

Produtos de patógenos microbianos que causam danos aos tecidos vegetais e estão envolvidos no desenvolvimento das doenças

- Massa molecular baixa (< 1.000 daltons)
- Móveis
- Ativas [fisiológicas] $\rightarrow 10^{-6}$ a 10^{-8} M
- Não exibem características:
 - Enzimáticas
 - Hormonais*

Aveia – *Helminthosporium victoriae*
(1946-1948) → Victorina

Milho - *Helminthosporium maydis*, raça T
(1970-1971) → Toxina HmT

Importância

➤ Estabelecimento do patógeno

➤ Sintomas

- Queima
 - Manchas
 - Clorose
 - Murchas
- } Necrose



Sítios de ação

Membrana Plasmática

- Alteram permeabilidade / potencial
- Balanço iônico é alterado
- Saída de eletrólitos

Mitocôndrias

- Fosforilação (ATP)
- Membrana mitocondrial

Cloroplastos

- Fosforilação

Enzimas

- Sintetase da glutamina

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;**

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;
- danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- **atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;**
- **danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;**
- **ocasionando a liberação de enzimas degradativas presentes em organelas do hospedeiro;**

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- **atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;**
- **danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;**
- **ocasionando a liberação de enzimas degradativas presentes em organelas do hospedeiro;**
- **propiciando um microambiente adequado para o patógeno;**

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;
- danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;
- ocasionando a liberação de enzimas degradativas presentes em organelas do hospedeiro;
- propiciando um microambiente adequado para o patógeno;
- facilitando o movimento do patógeno através da planta;

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

- atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;
- danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;
- ocasionando a liberação de enzimas degradativas presentes em organelas do hospedeiro;
- propiciando um microambiente adequado para o patógeno;
- facilitando o movimento do patógeno através da planta;
- promovendo e acelerando a senescência do hospedeiro;

Atividades potenciais das fitotoxinas

As toxinas podem exibir um grande número de atividades potenciais durante a patogênese, como por exemplo:

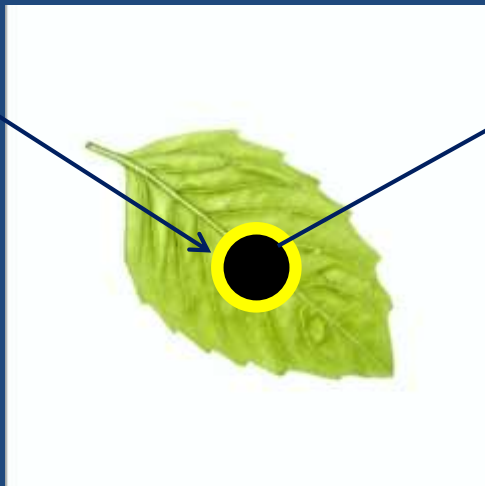
- atuando como moléculas supressoras, alterando o início e/ou a manutenção da expressão dos mecanismos de resistência do hospedeiro;
- danificando as células da planta e promovendo a liberação de nutrientes para as atividades metabólicas do patógeno;
- ocasionando a liberação de enzimas degradativas presentes em organelas do hospedeiro;
- propiciando um microambiente adequado para o patógeno;
- facilitando o movimento do patógeno através da planta;
- promovendo e acelerando a senescência do hospedeiro;
- inibindo a invasão secundária da planta por outros microrganismos.

FITOTOXINAS NÃO-SELETIVAS

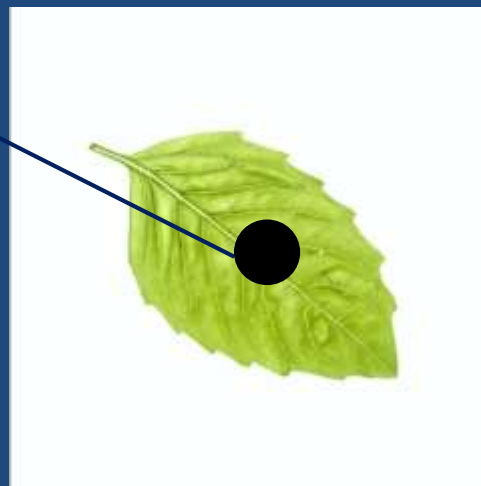
- Tóxicas a várias espécies de plantas (hospedeiras ou não)
- Induzem manifestação total / parcial dos sintomas
- Determinantes secundários de patogenicidade (fator de agressividade)

Tabtoxina - *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*

Halo



Mancha
necrótica



Mutantes tox⁻

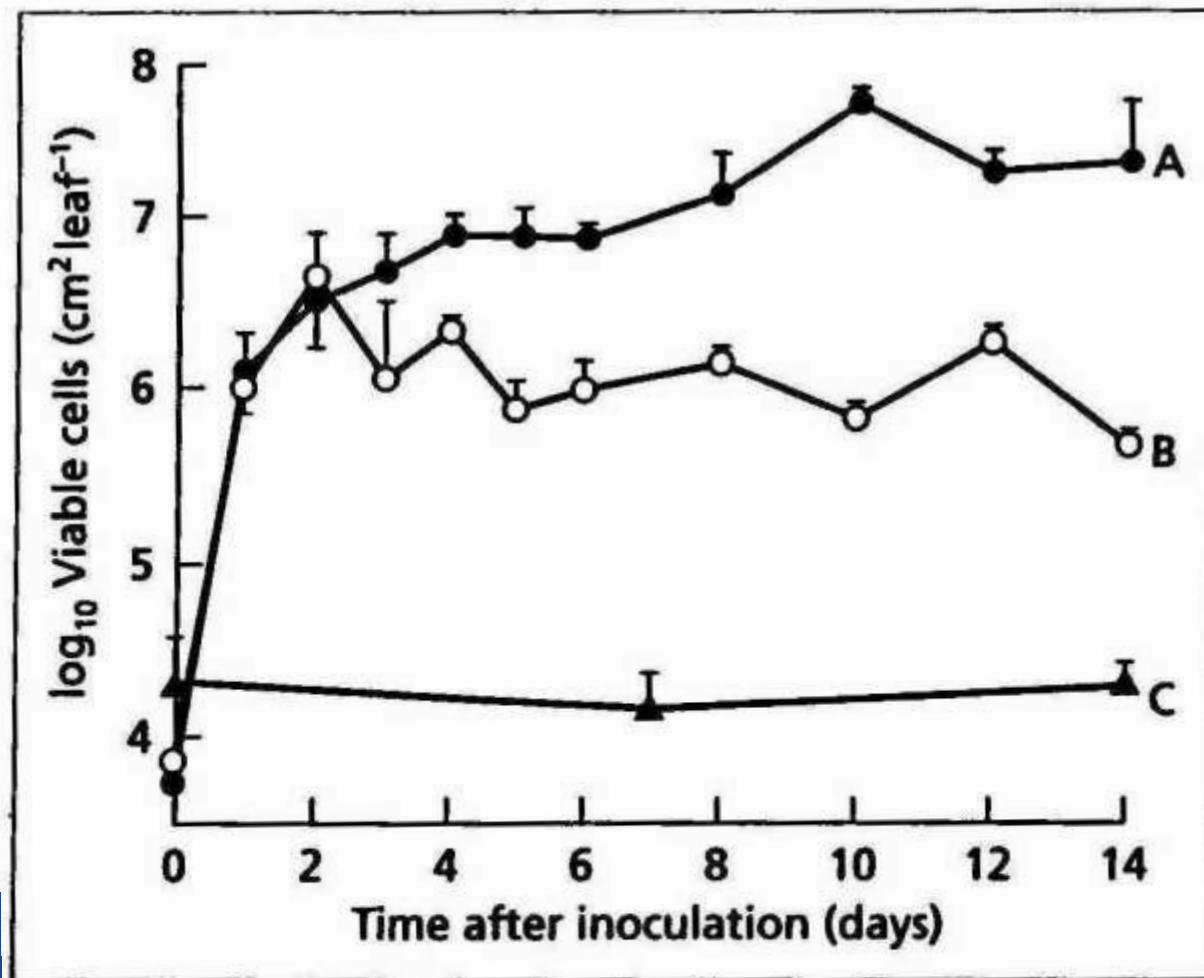


Fig. 8.8 Multiplication of the wildfire disease bacterium, *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci* in tobacco leaves. A is a toxin-producing wild-type strain, while B is a non-toxin-producing mutant. A saprophytic bacterium, *P. putida* (C), is included for comparison. (After Turner 1984.)

Exemplos de fitotoxinas não-seletivas

Bactérias

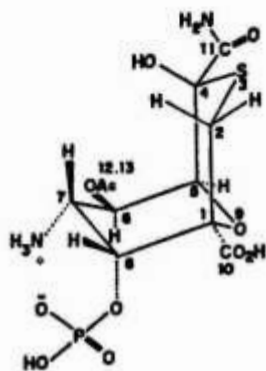
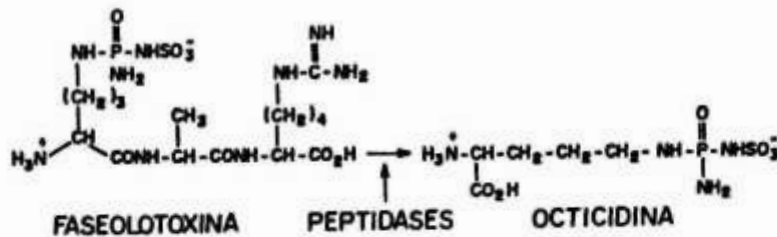
Toxina	Microrganismo produtor	Hospedeiro
<u>Tabtoxina</u>	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tabaci</i> <i>P. syringae</i> pv. <i>coronafaciens</i> <i>P. syringae</i> pv. <i>garcae</i>	Fumo (<i>Nicotiana tabacum</i>) Aveia (<i>Avena sativa</i>) e outros cereais Cafeeiro (<i>Coffea arabica</i>)
Faseolotoxina	<i>P. syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>	Feijoeiro (<i>Phaseolus</i> spp.) e outras leguminosas
Siringomicina	<i>P. syringae</i> pv. <i>syringae</i>	Milho (<i>Zea mays</i>)
Siringotoxina	<i>P. syringae</i> pv. <i>syringae</i>	Citros (<i>Citrus</i> spp.)
Tagetitoxina	<i>P. syringae</i> pv. <i>tagetis</i>	Malmequer (<i>Tagetes</i> spp.)
Coronatina	<i>P. syringae</i> pv. <i>atropurpurea</i> <i>P. syringae</i> pv. <i>glycinea</i>	Centeio (<i>Secale cereale</i>) Soja (<i>Glycine max</i>)
Corrugatina	<i>P. corrugata</i>	Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)
Rizobitoxina	<i>Rhizobium japonicum</i>	Soja (<i>G. max</i>)

Exemplos de fitotoxinas não-seletivas

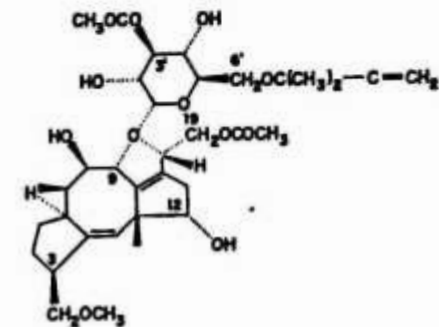
Fungos

Ácido fusárico	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>vasinfectum</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>pisi</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	Bananeira (<i>Musa</i> spp.) Algodoeiro (<i>Gossypium</i> spp.) Ervilha (<i>Pisum sativum</i>) Tomate (<i>L. esculentum</i>)
Licomarasmína	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>vasinfectum</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>melonis</i> <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	Algodoeiro (<i>Gossypium</i> spp.) Melão (<i>Cucumis melo</i>) Tomate (<i>L. esculentum</i>)
Fusicoccina	<i>Fusicoccum amygdali</i>	Pessegueiro (<i>Prunus persica</i>) e amendoeira (<i>P. amygdalus</i>)
Piricularina	<i>Pyricularia oryzae</i>	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)
Tentoxina	<i>Alternaria tenuis</i>	Algodoeiro (<i>Gossypium</i> spp.)
Ácido alternárico	<i>A. solani</i>	Tomate (<i>L. esculentum</i>) e batata (<i>Solanum tuberosum</i>)
Zinniol	<i>A. zinniae</i> <i>A. solani</i>	Zínia (<i>Zinnia</i> spp.) Tomate (<i>L. esculentum</i>) e batata (<i>S. tuberosum</i>)
	<i>A. dauci</i>	Cenoura (<i>Daucus carota</i>)
Ofiobolina	<i>Helminthosporium oryzae</i>	Arroz (<i>O. sativa</i>)
Helmintosporal	<i>H. sativum</i>	Cevada (<i>Hordeum vulgare</i>) e trigo (<i>Triticum aestivum</i>)
Coletocina	<i>Colletotrichum fuscum</i>	<i>Digitalis lanata</i> e <i>D. purpurea</i>
Cerato-ulmína	<i>Ceratocystis ulmi</i>	Olmo (<i>Ulmus</i> spp.)
Cercosporina	<i>Cercospora beticola</i>	Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)
Ácido oxálico	<i>Endothia parasitica</i> <i>Sclerotium</i> spp.	Castanheira (<i>Castanea sativa</i>) Solanáceas, cucurbitáceas, crucíferas, leguminosas, etc.
Ácido fumárico	<i>Rhizopus</i> spp.	Pessegueiro (<i>P. persica</i>) e amendoeira (<i>P. amygdalus</i>)

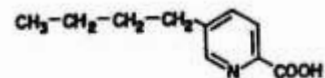
Estruturas de algumas fitotoxinas não-seletivas



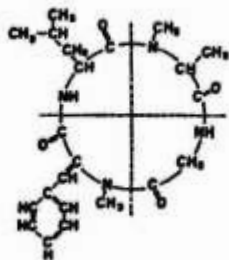
TARGETITOXINA



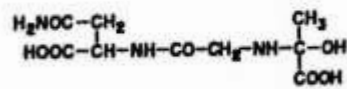
FUSICOCCINA



ÁCIDO FUSÁRICO



TENTOXINA



LICOMARASMINA

Ofiobolina*

Table 1 Effect of *Helminthosporium oryzae* toxin on development of nonpathogenic *H. oryzae* within rice leaf tissues

Treatment	Extent of fungal growth inside leaf tissue p73 ^a
Virulent isolate	+++
Nonpathogenic isolate	-
Toxin alone	-
Toxin + nonpathogenic isolate	+++

^a-, No mycelial growth; +++, abundant inter- and intracellular mycelial growth

Source: Vidhyasekaran et al., 1986.

* Sesquiterpenóide isolado de *H. oryzae* – toxina não-seletiva

Efeito da ofiobolina na abertura do estômato

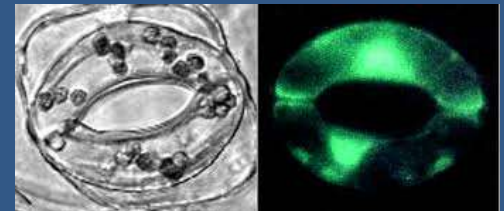
Table 2 Effect of ophiobolin on stomatal opening in *Commelina communis*

Ophiobolin (μM)	Stomatal aperture (μM)	% of control
0	3.5	100
0.01	5.8	166
0.1	4.0	115
1.0	2.0	58
10.0	0.1	4

Source: Nejdat, 1987.



Commelina communis – flor e estômato



Efeito da ofiobolina A na inibição da calmodulina do milho

(Calmodulina alvo da toxina – proteína não se liga ao cálcio)

Table 3 Ca^{2+} dependence of the inhibition of maize calmodulin by ophiobolin A

Additions	PDE activity	
	(n mol Pi/30 min)	%
None (Control)	10.3	100
CaCl_2	22.8	221
CaCl_2 + Ophiobolin A	10.8	105
EGTA + Ophiobolin A	20.6	200

Source: Leung et al., 1985.

Calmodulina – proteína que se liga ao Ca^{2+} (Complexo Ca^{2+} -calmodulina – regulação metabolismo / transporte)

PDE – “Calmodulin-dependent cAMP phosphodiesterase” (para monitorar a atividade da calmodulina)

EGTA – remove Ca^{2+}

Tabtoxina x tabtoxinina

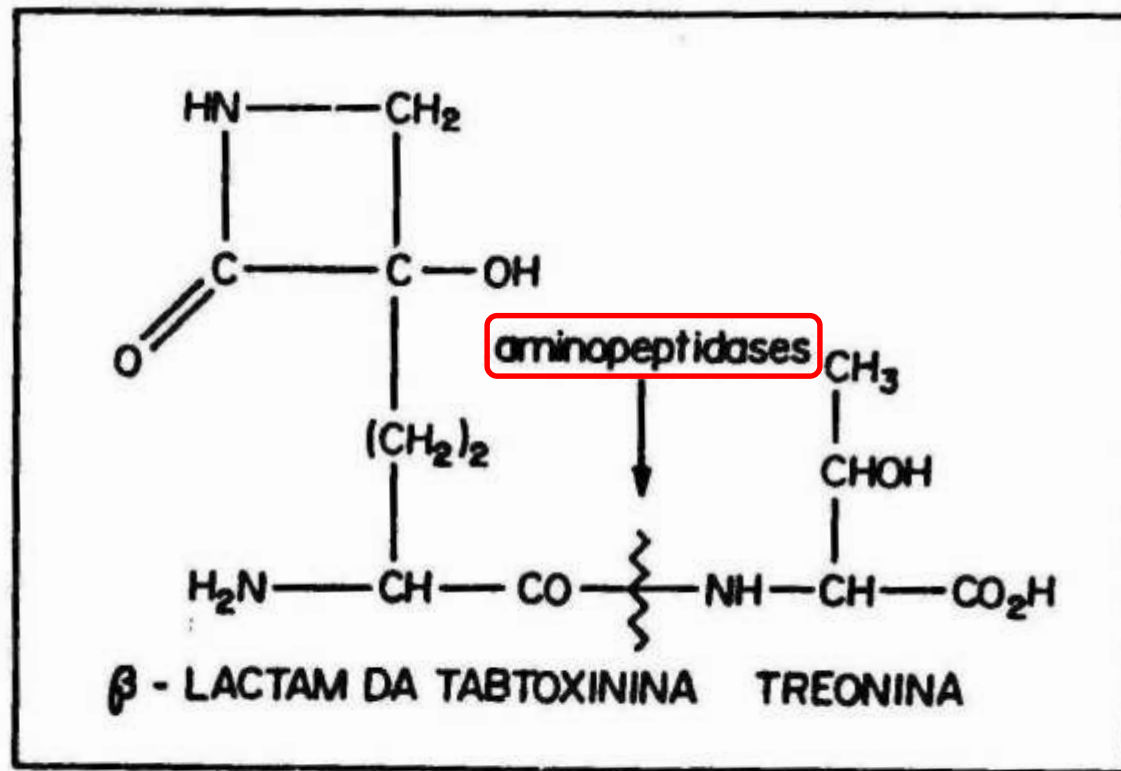


Figura 20.7 - Estrutura da tabtoxina, produzida por *Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*, e sítio de ação das aminopeptidases.

Efeito da tabtoxina em processos fisiológicos em folhas de fumo

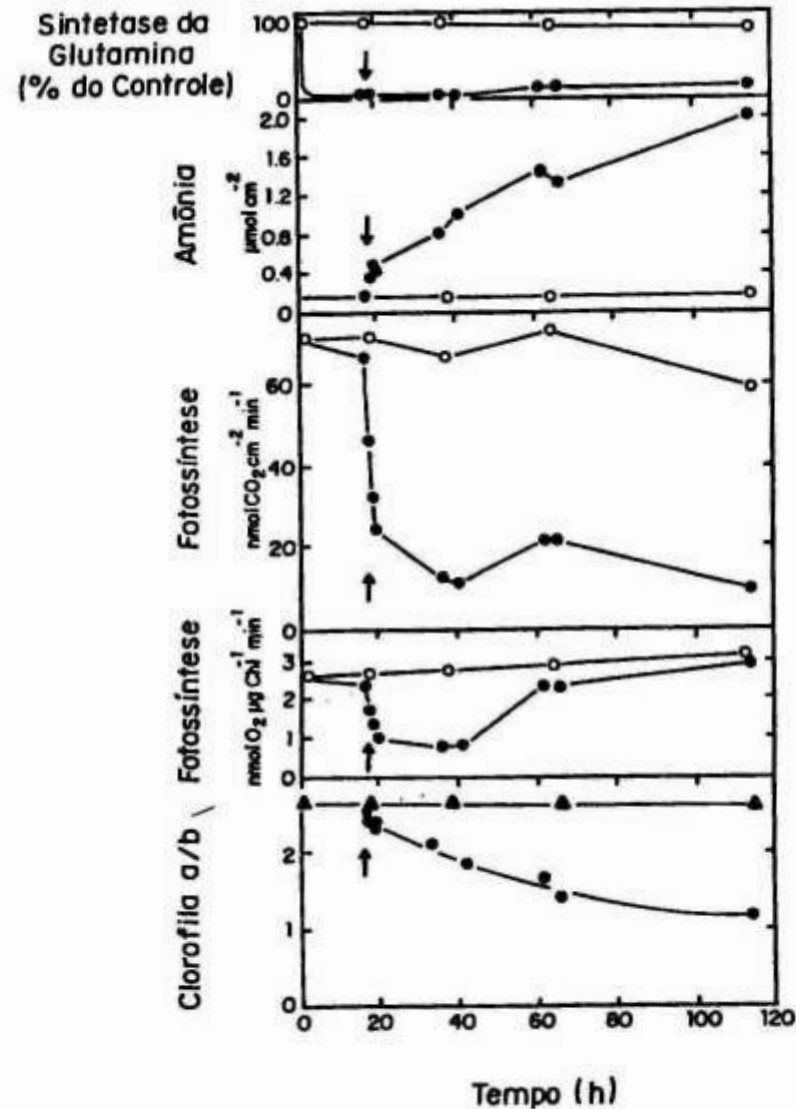
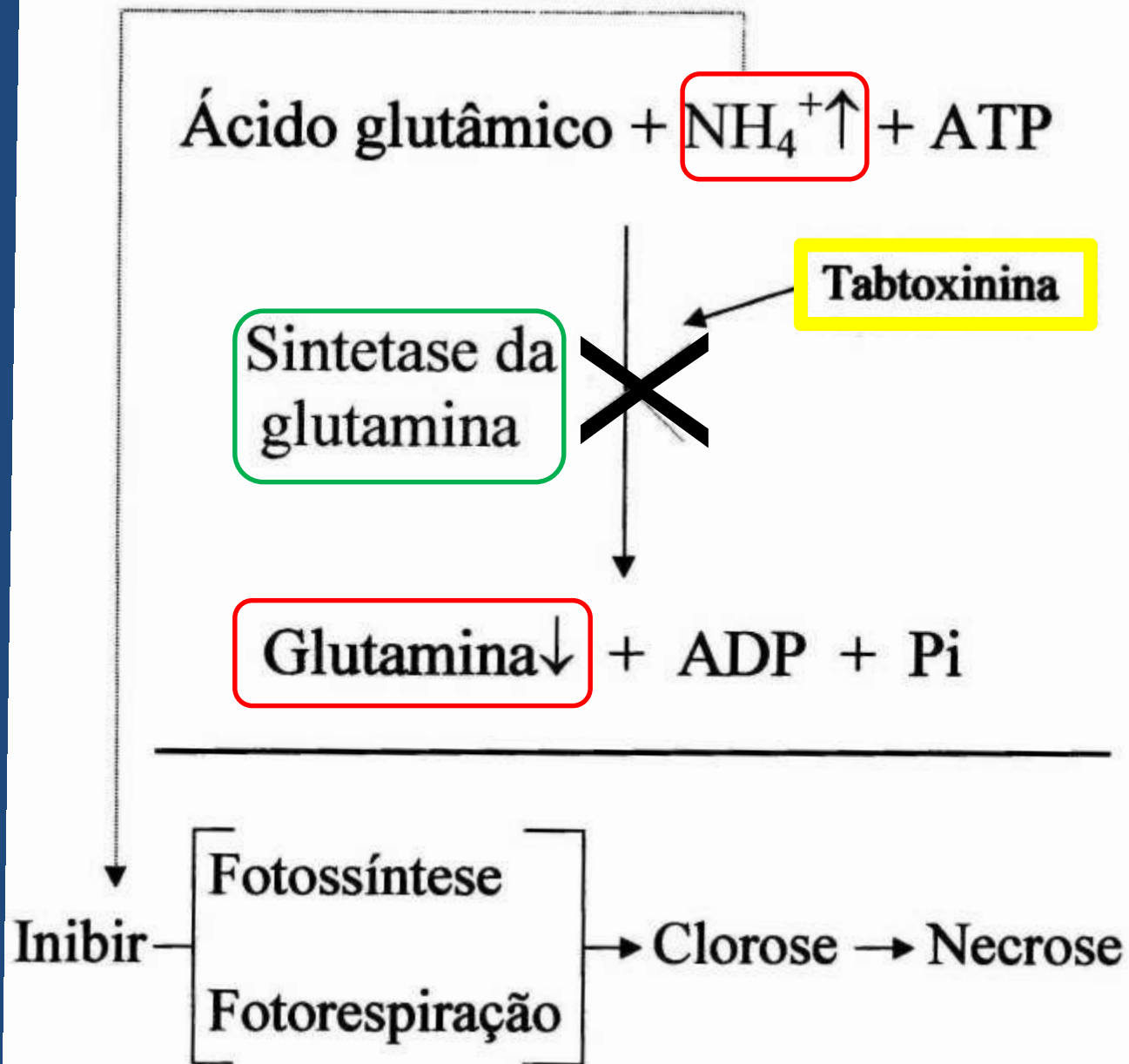
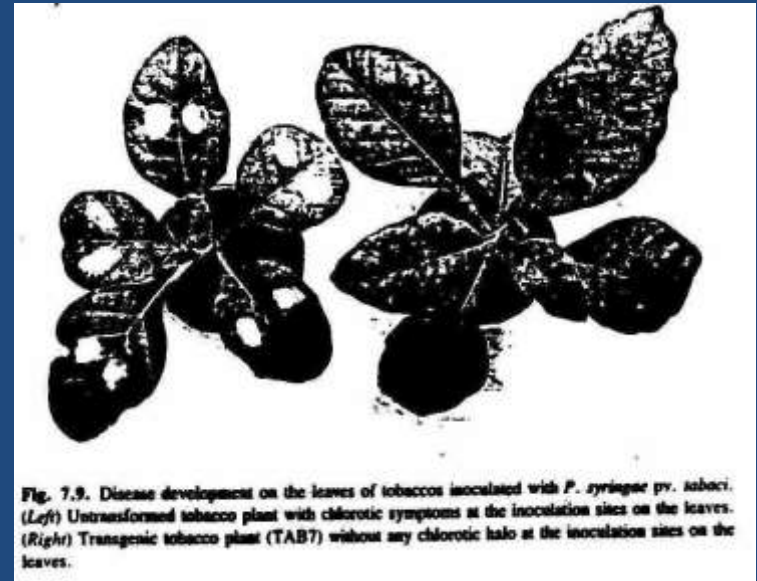
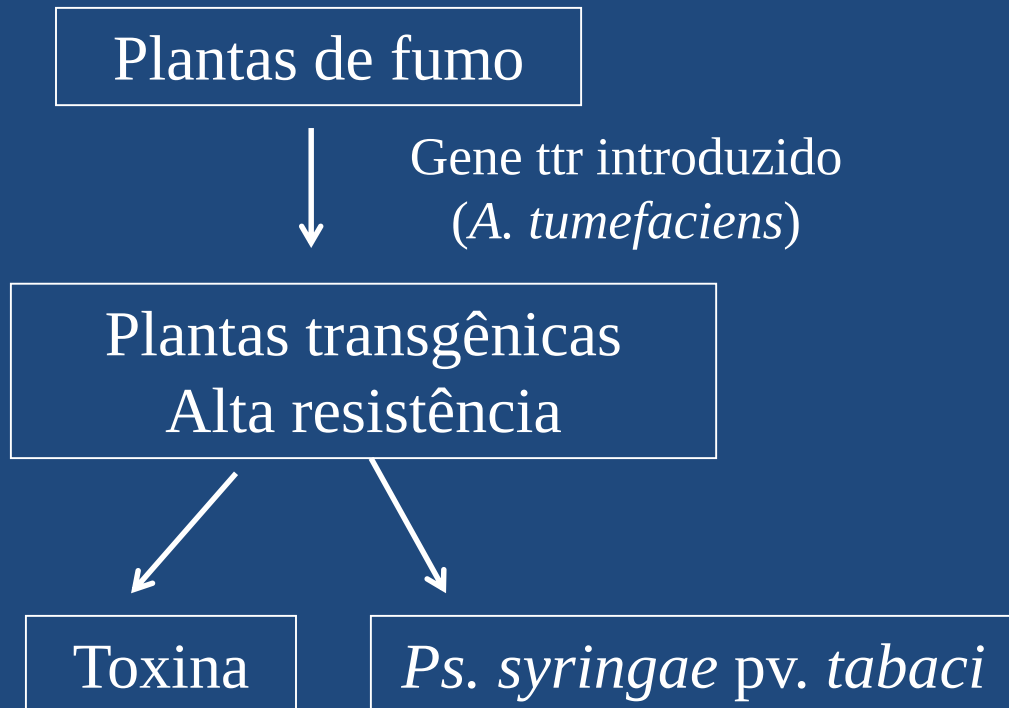
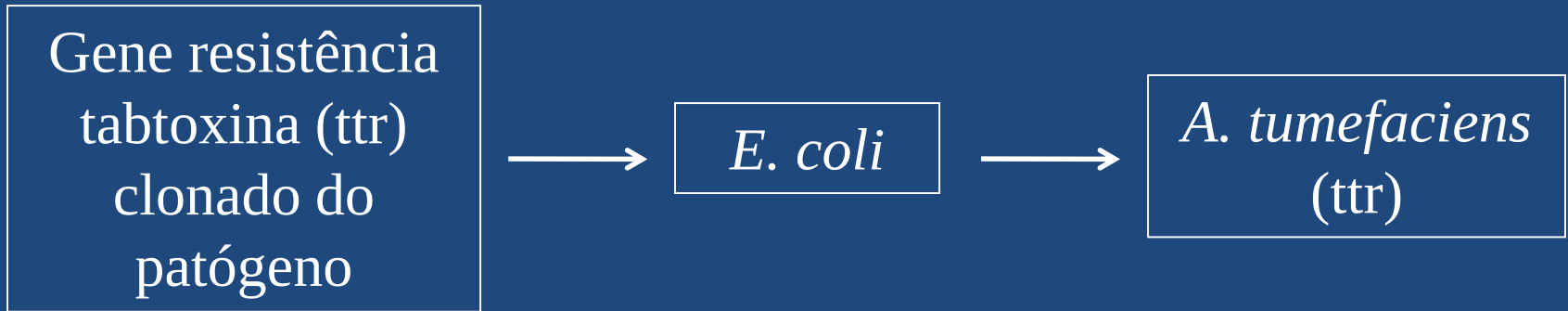


Figura 20.8 - Efeito da tabtoxina (*Pseudomonas syringae* pv. *tabaci*) sobre diferentes processos fisiológicos em tecido foliar de fumo. Folhas infiltradas com a toxina (•) ou água (o) foram mantidas no escuro durante as primeiras 16 horas; após esse período, as plantas foram expostas à luz (setas) (adaptado de Turner, 1989).

Efeito da tabtoxinina sobre a sintetase da glutamina



Detoxificação da tabtoxina por plantas de fumo transgênicas



FITOTOXINAS SELETIVAS

(PATOTOXINAS)

- Tóxicas em concentrações fisiológicas somente às espécies de plantas hospedeiras
- Essenciais para o estabelecimento do patógeno / manifestação dos sintomas
- Determinantes primários de patogenicidade

(*Helminthosporium victoriae* – victorina)

Exemplos de fitotoxinas seletivas (específicas)

Tabela 20.2 - Exemplos de fitotoxinas seletivas (específicas)

Toxina	Fungo produtor	Hospedeiro
IIV (victorina)	<i>Helminthosporium victoriae</i>	Aveia (<i>Avena stiva</i>)
HC	<i>H. carbonum</i> raça I	Milho (<i>Zea mays</i>)
HmT (toxina T)	<i>H. maydis</i> raça T	Milho (<i>Z. mays</i>)
HS (helminthosporoside)	<i>H. sacchari</i>	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum</i> spp.)
PC	<i>Periconia circinata</i>	Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)
AK	<i>Alternaria alternata</i> f.sp. <i>kikuchiana</i>	Pêra japonesa (<i>Pyrus serotina</i>)
AM	<i>A. alternata</i> f.sp. <i>mali</i>	Maçã (<i>Malus sylvestris</i>)
ACRL	<i>A. alternata</i> f.sp. <i>citri</i> patótipo limão	Limão rugoso (<i>Citrus jambhiri</i>)
ACTG	<i>A. alternata</i> f.sp. <i>citri</i> patótipo tangerina	Tangerina Dancy e mandarinas (<i>C. reticulata</i>)
AL	<i>A. alternata</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)
CC	<i>Corynespora cassiicola</i>	Tomate (<i>L. esculentum</i>)
PM	<i>Phyllosticta maydis</i>	Milho (<i>Z. mays</i>)
? *	<i>Hypoxylon mammatum</i>	"Äspen" (<i>Populus tremula</i>) e álamos (<i>Populus</i> spp.)

* Hymatoxins are unusual diterpene sulfates with a molecular mass of about 400. The other toxin group is constituted of trihydroxytetralones. (Genetet et al., 1989)

? Meio sintético

Estruturas de algumas fitotoxinas seletivas

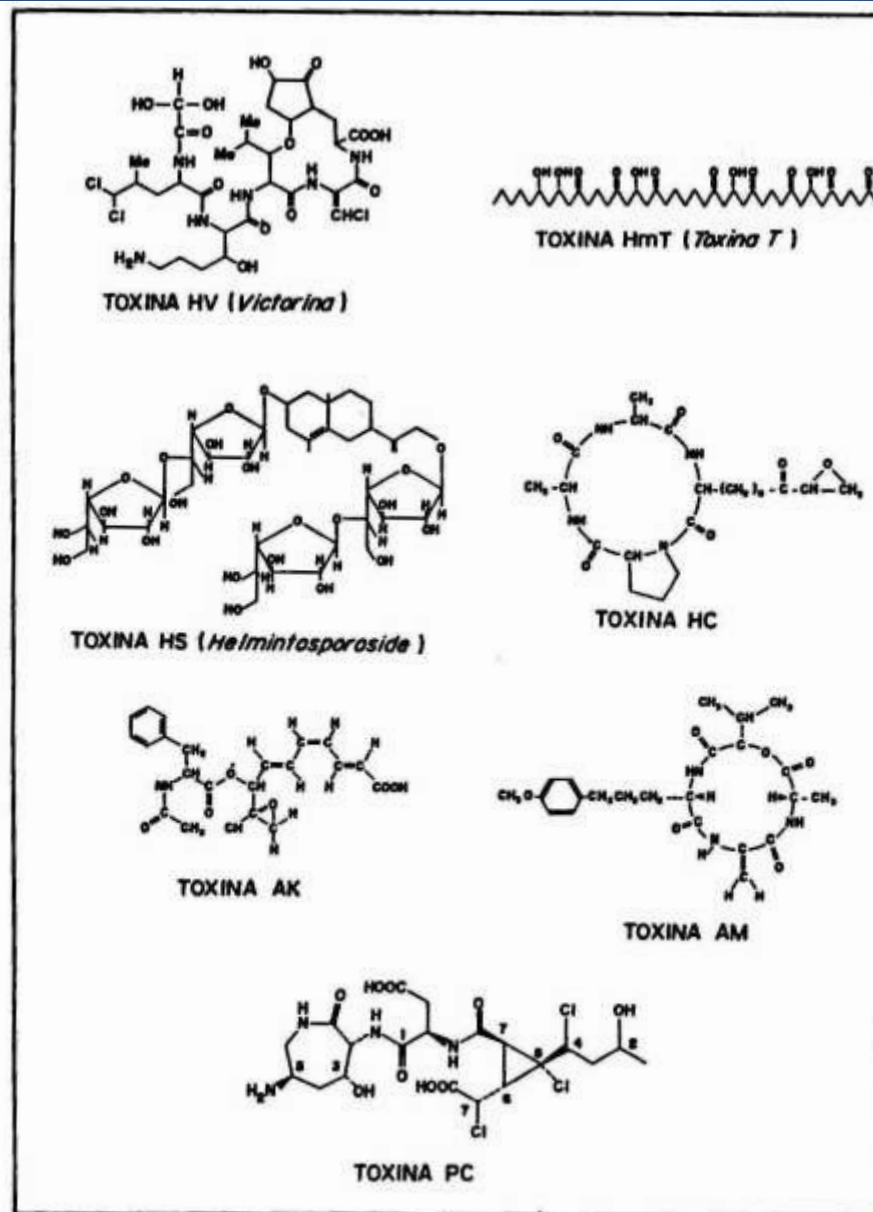


Figura 20.3 - Estruturas de algumas fitotoxinas seletivas (somente um componente representativo é ilustrado para cada toxina).

Exemplos de fitotoxinas seletivas (específicas)

Victorina (*H. victoriae*) – toxina presente nos conídios – liberada dentro de 3 horas durante a germinação (toxina já existente?)

Toxina T (*H. maydis*, raça T) – liberam a toxina dentro de 5 a 10 minutos após suspensão em água (toxina já existente ou precursor presente)

Toxina AK (*Alternaria alternata* f.sp. *kikuchiana*) – conídios dormentes não possuem a toxina – sintetizam dentro de 4 horas após o início da germinação



(Cada esporo libera 10^{-6} ug de toxina – suficiente para alterar as atividades metabólicas de aproximadamente 100 células em folhas de cultivares de pêra suscetíveis)

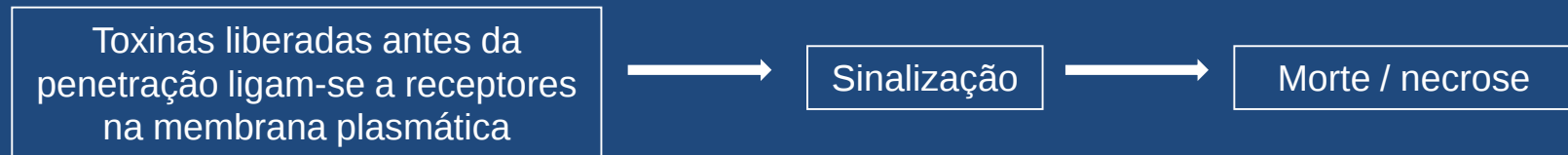
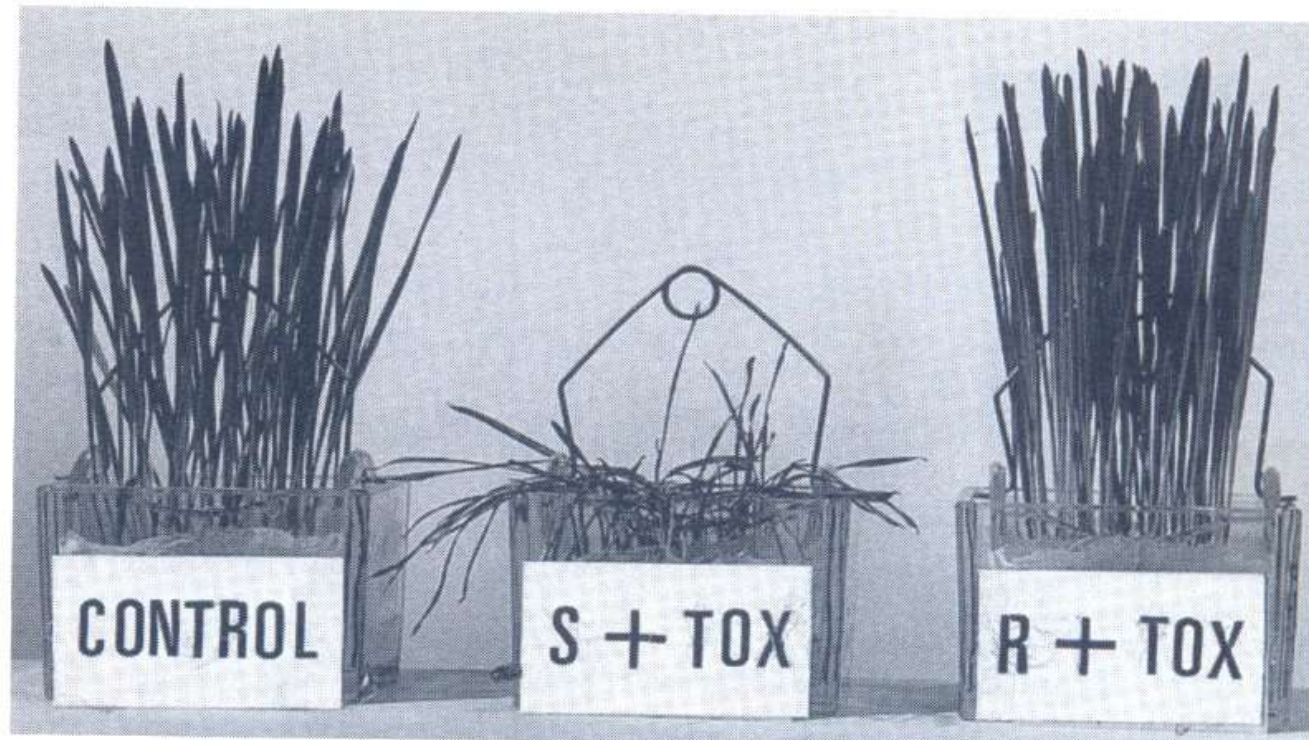


Fig. 8.6 Effects of victorin on resistant (R) and susceptible (S) oat seedlings. Toxin was added to the nutrient solution where indicated, 3 days before the photograph was taken. (From Scheffer & Yoder 1972.)



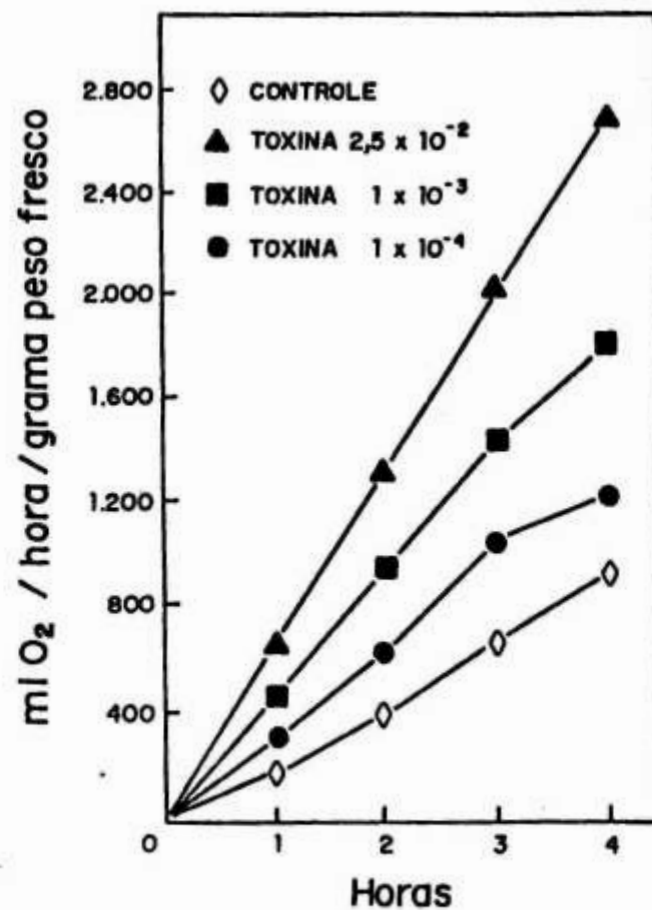


Figura 20.2 - Aumentos na respiração de tecidos suscetíveis de aveia em função da concentração de victorina (*Helminthosporium victoriae*) utilizada (adaptado de Krupka, 1958).

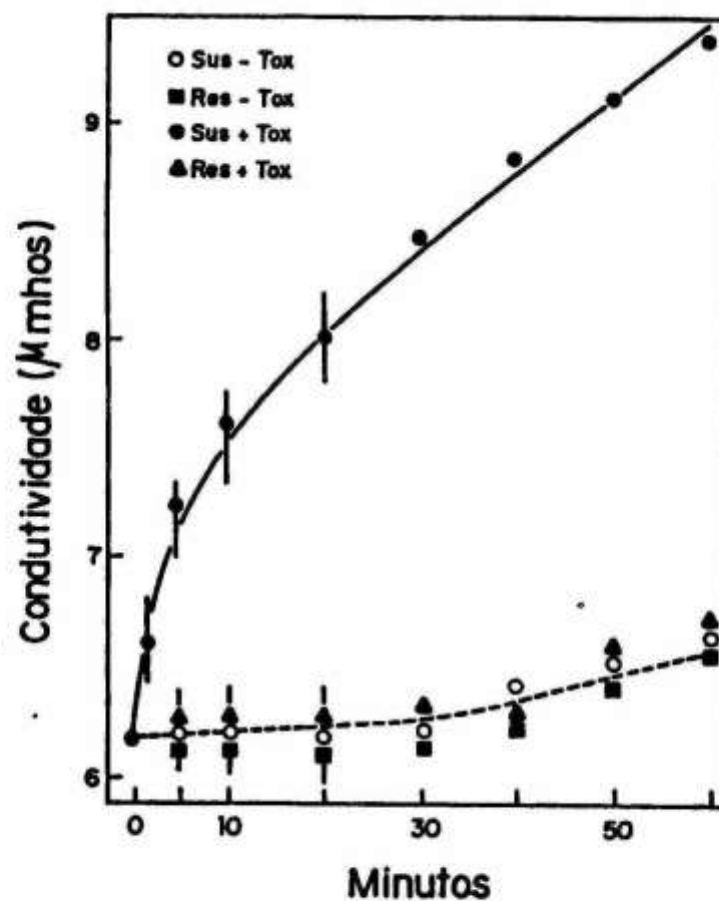


Figura 20.1 - Efeito da victorina (*Helminthosporium victoriae*) na perda de eletrólitos por tecido de aveia. Tempo, em minutos, após o tratamento dos tecidos com a fitotoxina (adaptado de Scl Samaddar, 1970).

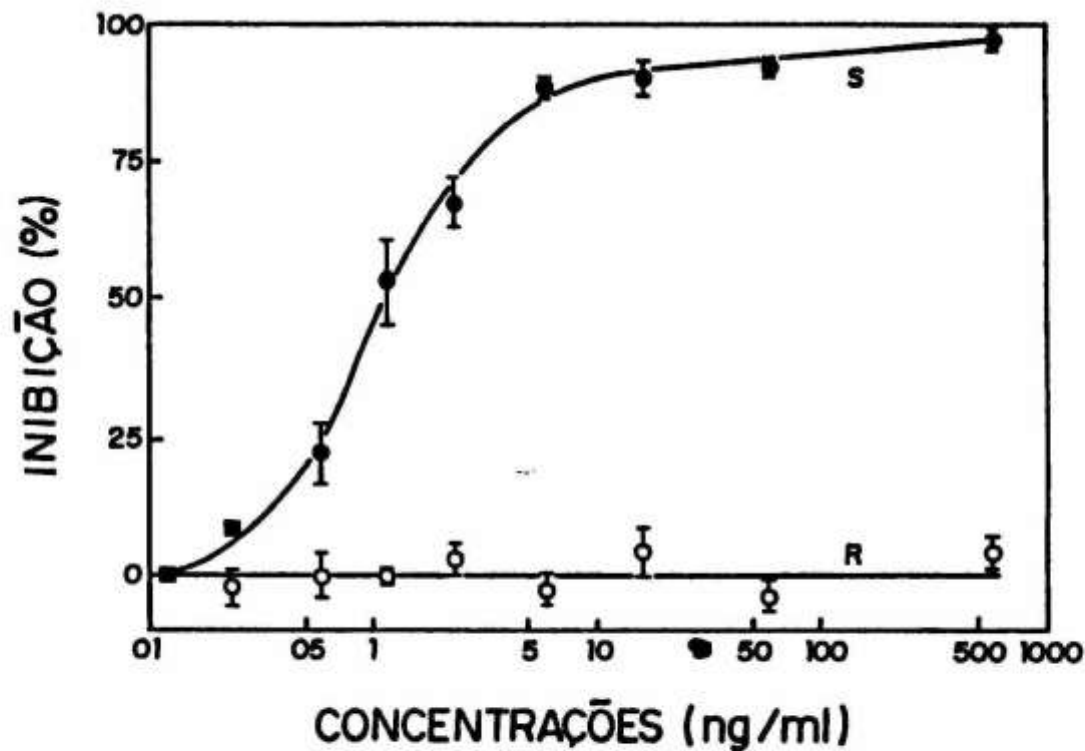


Figura 20.5 - Efeito de diferentes concentrações da toxina PC (*Periconia circinata*) no crescimento de raízes de cultivares de sorgo suscetível (•) ou resistente (o) ao patógeno (adaptado de Wolpert & Dunkle, 1980).

FITOTOXINAS X PATOGÊNESE

- 1) Isolamento da toxina a partir da planta doente
- 2) Reprodução dos sintomas da doença pela toxina
- 3) Correlação entre agressividade e o nível de toxina produzido *in vitro*
- 4) Correlação entre suscetibilidade do hospedeiro e sensibilidade a toxina
- 5) Análise genética do hospedeiro, patógeno ou ambos

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?
- qual ou quais mecanismos moleculares são utilizados pela toxina para exercer sua interferência no metabolismo do hospedeiro ?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?
- qual ou quais mecanismos moleculares são utilizados pela toxina para exercer sua interferência no metabolismo do hospedeiro ?
- de que maneira a interferência da toxina no metabolismo do hospedeiro contribui para o desenvolvimento da doença ?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?
- qual ou quais mecanismos moleculares são utilizados pela toxina para exercer sua interferência no metabolismo do hospedeiro ?
- de que maneira a interferência da toxina no metabolismo do hospedeiro contribui para o desenvolvimento da doença ?
- a toxina contribui para com a seletividade do patógeno em relação ao hospedeiro?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?
- qual ou quais mecanismos moleculares são utilizados pela toxina para exercer sua interferência no metabolismo do hospedeiro ?
- de que maneira a interferência da toxina no metabolismo do hospedeiro contribui para o desenvolvimento da doença ?
- a toxina contribui para com a seletividade do patógeno em relação ao hospedeiro?
- qual o mecanismo de síntese da toxina e como a regulação da mesma é exercida durante o processo doença ?

ESTABELECIMENTO DO PAPEL DE UMA TOXINA NA PATOGÊNESE

- o composto tóxico mostra-se como um agente causal da doença, um artefato de cultivo ou uma substância accidental produzida nos estágios finais da doença ?
- quando a toxina é produzida durante o processo doença?
- qual ou quais funções metabólicas no hospedeiro são especificamente afetadas pela toxina ?
- qual ou quais mecanismos moleculares são utilizados pela toxina para exercer sua interferência no metabolismo do hospedeiro ?
- de que maneira a interferência da toxina no metabolismo do hospedeiro contribui para o desenvolvimento da doença ?
- a toxina contribui para com a seletividade do patógeno em relação ao hospedeiro?
- qual o mecanismo de síntese da toxina e como a regulação da mesma é exercida durante o processo doença ?
- qual a importância da toxina na sobrevivência do patógeno na ausência da planta hospedeira ?

HORMÔNIOS OU SUBSTÂNCIAS DE CRESCIMENTO

Compostos que ocorrem naturalmente nas plantas, ativos em concentrações baixas e que possuem capacidade de promover, inibir ou modificar qualitativamente o crescimento das plantas, geralmente agindo à distância do sítio de produção

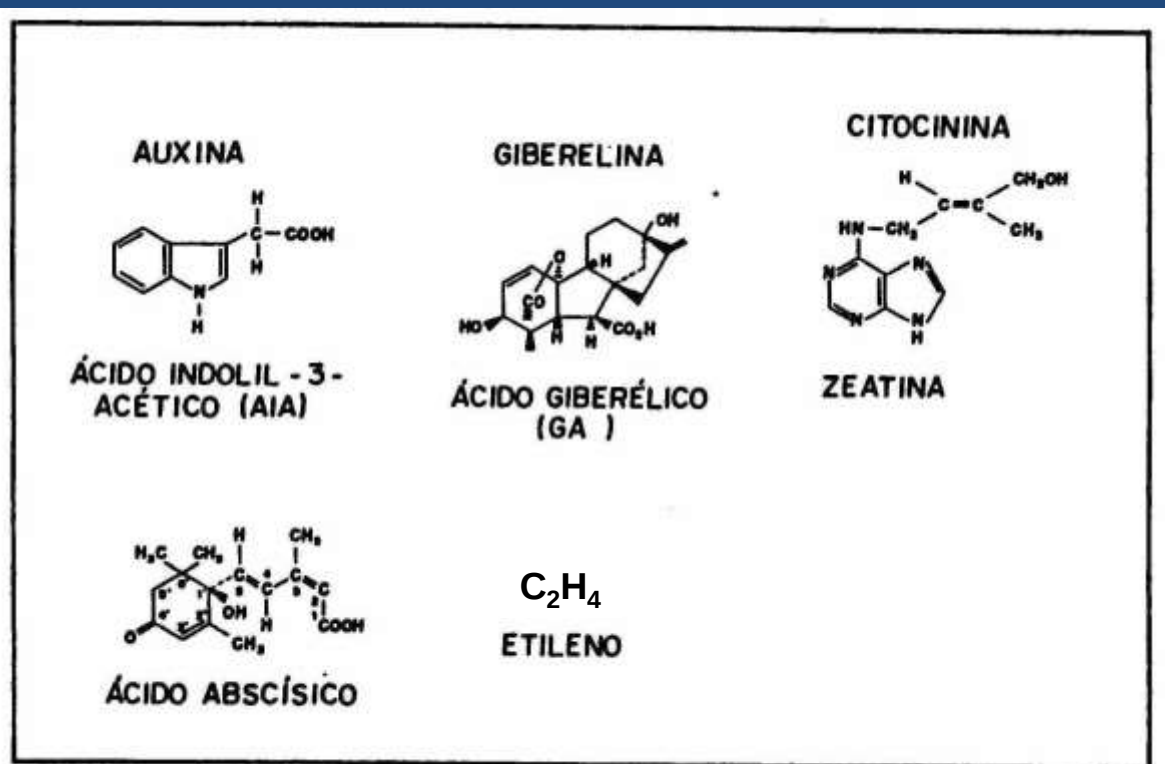
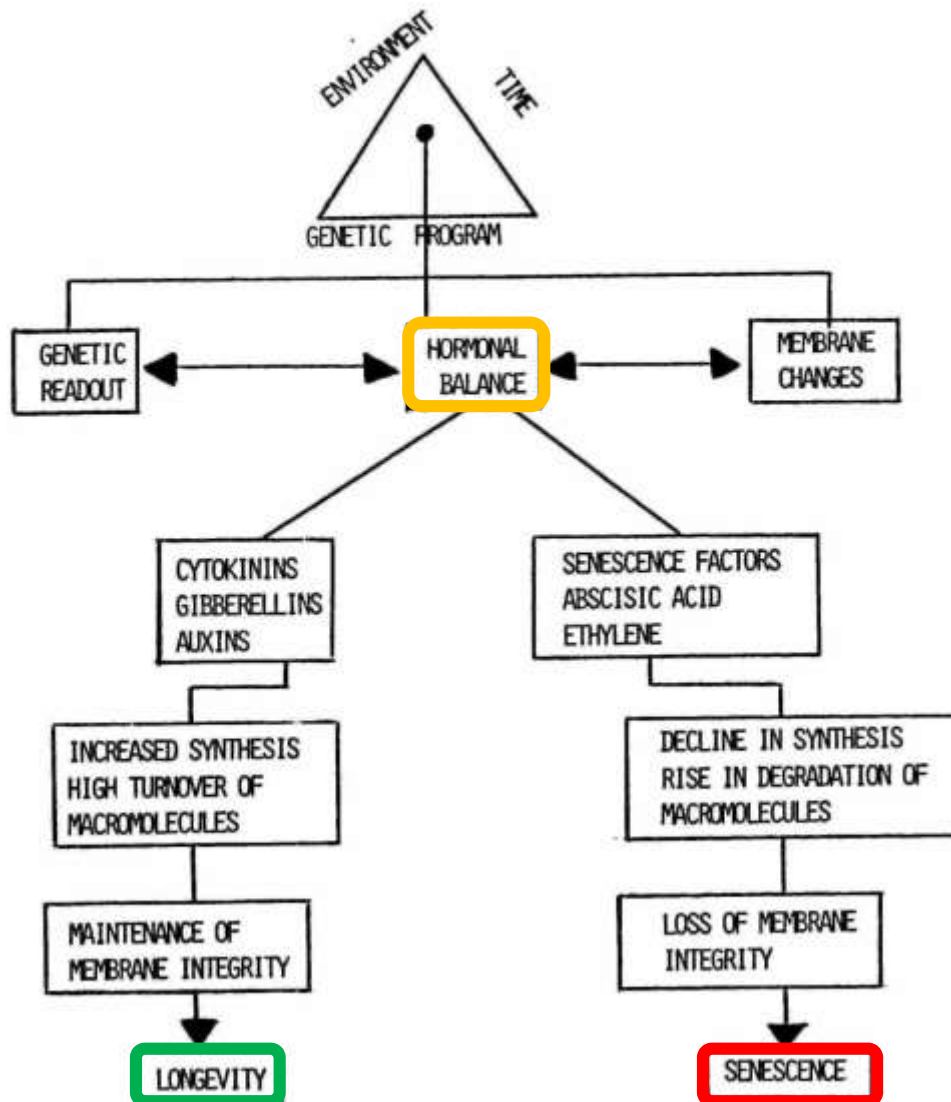


Figura 20.10 - Hormônios vegetais de ocorrência natural (adaptado de Elstner, 1983).

Hormônios vegetais

- **Auxinas** – Aumento da plasticidade da parede celular / alongamento celular
- **Giberelinas** – Manutenção da divisão celular (promoção do crescimento)
- **Citocininas** – Indução da divisão celular / inibição da senescência
- **Etileno** – Estimula senescência / epinastia / desfolha / maturação de frutos
- **Ácido abscísico** – Inibidor do crescimento (abscisão de folhas e frutos / fechamento de estômatos)

Regulação hormonal da senescência nas plantas



Hormônios x doenças

(Distúrbios comuns em interações mais evoluídas)

- “Murchas” – infecção vascular
- Tumores/ galhas
- Hérnias
- Ferrugens
- Carvões
- Míldios
- Oídios

Hormônios x sintomas

- Enfezamento
- Supercrescimento
- Roseta
- Epinastia
- Desfolha
- Ramificação excessiva de raízes/ ramos
- Galhas

“Alterações no equilíbrio hormonal podem redirecionar a atividade metabólica do hospedeiro favorecendo o desenvolvimento do patógeno”

Pseudomonas savastanoi

Corynebacterium fascians

Agrobacterium sp.

Pseudomonas savastanoi

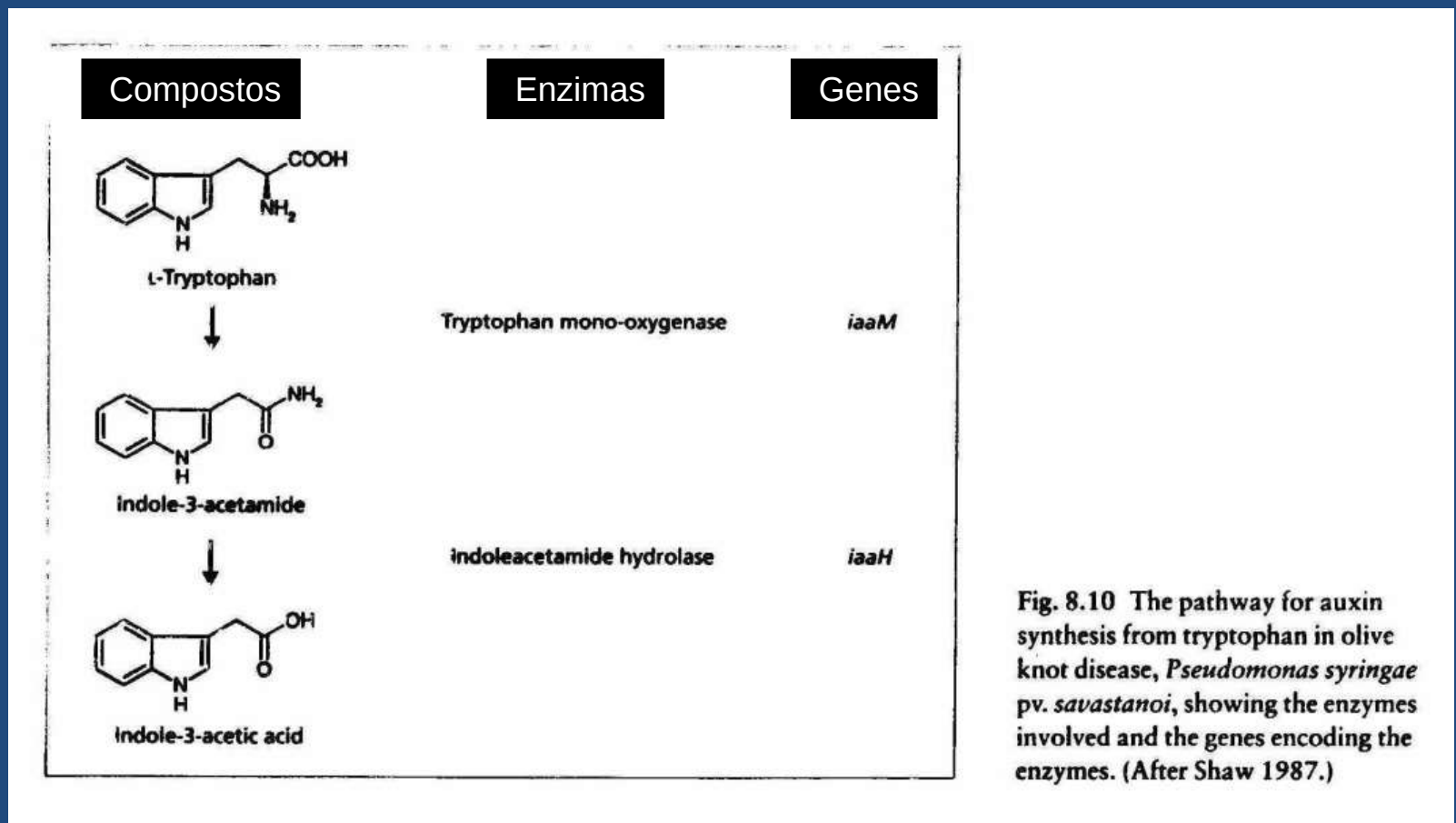
(Galhas em oliveira e espiroleira)

- Bactéria produz AIA *in vitro*
- AIA é necessário para a formação de galhas (virulência)
- Mutantes AIA- não causam galhas → multiplicam nas plantas
- Tamanho das galhas correlacionado com a [AIA] sintetizado *in vitro* pela bactéria
- Enzima-chave localizada em um plasmídio

Pseudomonas savastanoi

(Galhas em oliveira e espiiradeira)

L-Triptofano → Indol-3-acetamida → Ácido indolil-3-acético (AIA)



Agrobacterium tumefaciens x galha (tumor)

(Fitopatógeno bacteriano mais conhecido e estudado)

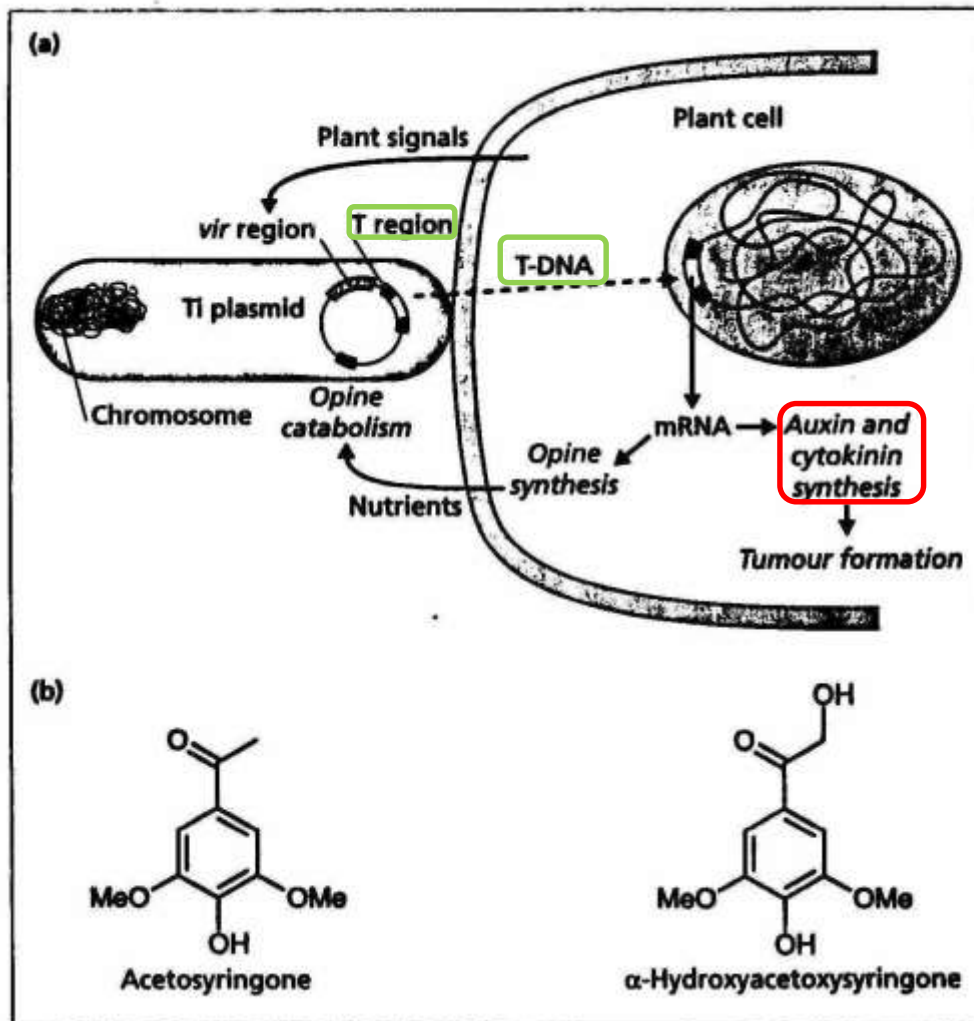
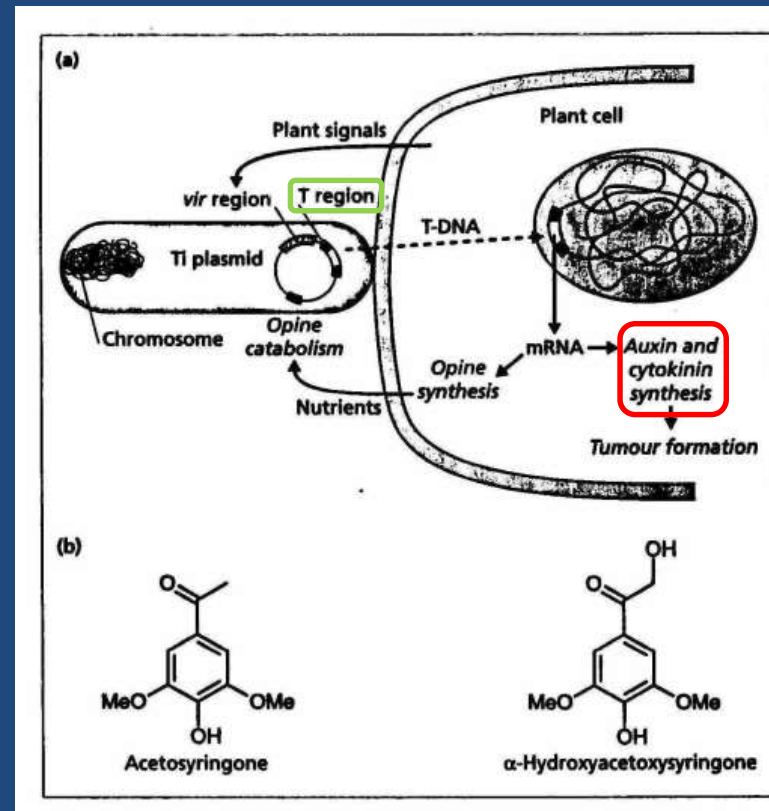
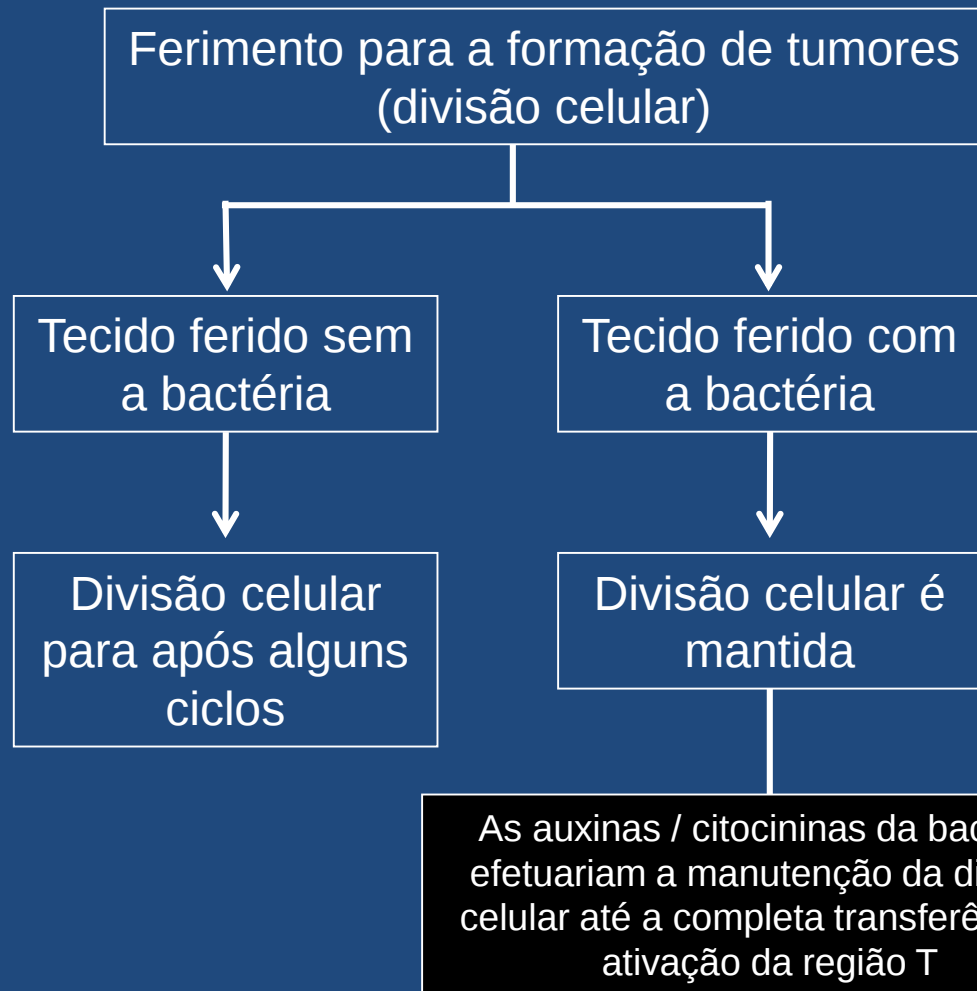


Fig. 8.12 (a) Molecular processes underlying tumour induction in crown gall disease. The bacterium attaches to the plant cell wall, where plant signal molecules such as acetosyringone and related compounds (b) activate the *vir* region of the Ti plasmid. Transfer of the T-DNA and integration into the plant nuclear genome then takes place. Expression of the T-DNA leads to the production of opines and plant hormones. (After Melchers & Hooykaas 1987; by permission of Oxford University Press.)

Agrobacterium tumefaciens x galha (tumor)

(Produz auxinas e citocininas *in vitro*)



Hormônios x patogênese

(Dificuldades no estudo)

- Hormônios atuam em conjunto
- Patógenos podem sintetizar muitos dos hormônios vegetais
- Patógenos podem sintetizar substâncias com atividade semelhante aos hormônios vegetais

POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES (PSE)

➤ Compostos de alta massa molecular (> 50 kda)

- Bactérias fitopatogênicas produzem PSE (na planta hospedeira ou *in vitro*)
- PSEs podem estar associados com a célula bacteriana ou serem secretados para o meio
- Podem produzir também lipopolissacarídeos (LSP) – membrana externa bactérias Gram –
- PSEs podem proteger as bactérias contra: dessecação, aumentar a adesão à superfície, concentrar nutrientes e reduzir o contato com moléculas.

Xylella fastidiosa

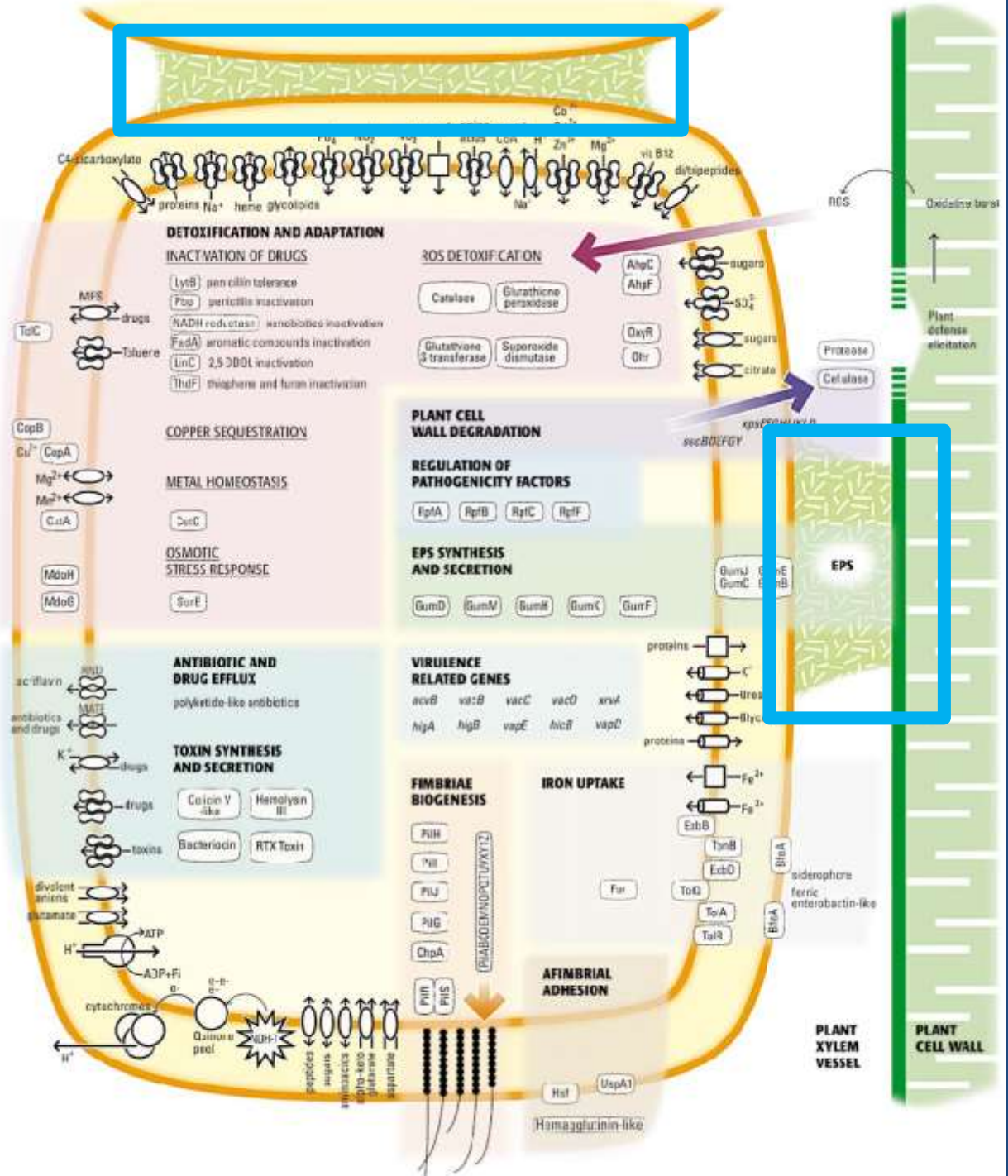
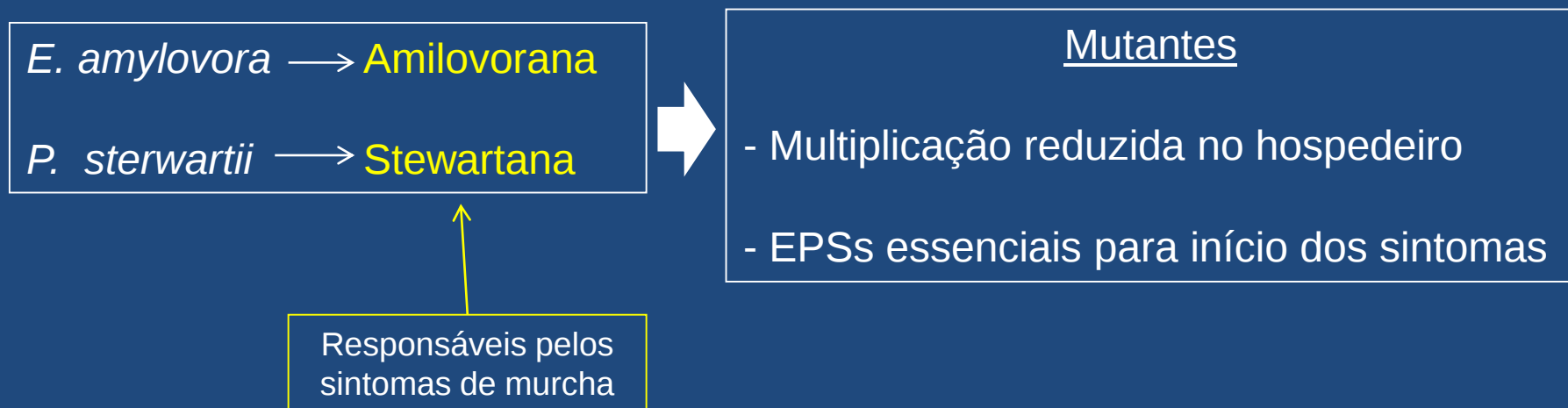


Tabela 34.5 – Exemplos de polissacarídeos extracelulares produzidos por bactérias fitopatogênicas.

Bactéria produtora	Polissacarídeo	Principais componentes
<i>Agrobacterium tumefaciens</i> (<i>Rhizobium radiobacter</i>)	Celulose Glicana- β -1,2 cíclica Succinoglicana	Glicose Glicose Glicose, galactose
<i>Erwinia amylovora</i>	Levana Amilovorana	Frutose Galactose, ácido glicurônico
<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>insidiosus</i>	Tipo A Tipo B	Fucose, galactose, glicose Galactose, fucose, ramnose, manose, glicose
<i>C. michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	Tipo A	Fucose, galactose, glicose
<i>C. michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i>	Tipo A Tipo B	Manose, fucose, galactose, glicose Manose, fucose, galactose, glicose, ramnose, ribose
<i>Pantoea (Erwinia) stewartii</i>	Stewartana	Glicose, galactose, ácido glicurônico
<i>Pseudomonas syringae</i>	Levana Alginato	Frutose Ácido manurônico, ácido glicurônico
<i>Xantomonas campestris</i>	Xantana	Glicose, manose, ácido glicurônico

POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES (PSE)

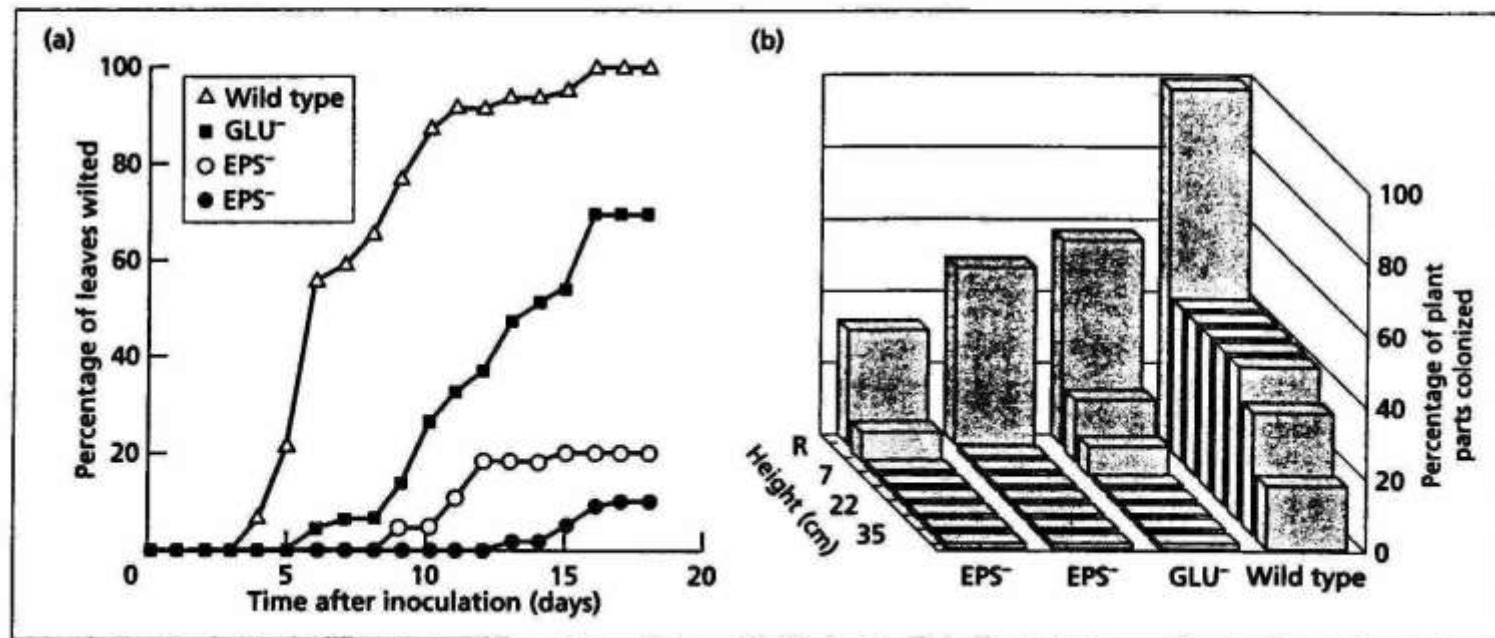
- PSEs também podem atuar como fatores de patogenicidade ou agressividade



POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES

Fig. 8.9 Relationship between extracellular polysaccharide (EPS) production and pathogenicity of *Ralstonia solanacearum* to tomatoes. (a) Time course of wilting caused by wild-type EPS⁺ strain, and mutants lacking EPS (EPS⁻) or the pectolytic enzyme β -1,4 endoglucanase

(GLU⁻). (b) Extent of stem colonization and bacterial multiplication in tomato plants inoculated by soil infestation with wild-type and mutant strains, 5 days after soil inoculation. R, sample taken from root and first centimetre of tissue at the stem base. (After Saile *et al.* 1997.)



OUTROS FATORES

(SUPRESSORES, EFETORES, ETC)

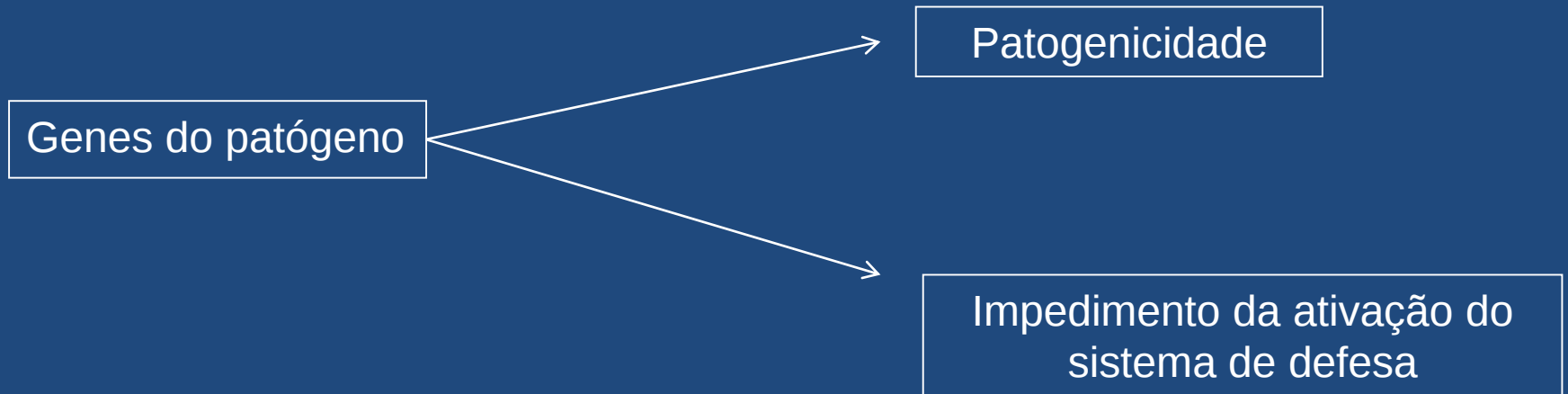


Tabela 34.6 – Exemplos de outros fatores envolvidos na patogenicidade.

Gene/Metabólitos	Patógeno	Papel na interação
Xantomonadina	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i>	Proteção contra espécies ativas de oxigênio (EAOs)
Glucana cíclica	<i>X. axonopodis</i> pv. <i>citri</i>	Adesão da bactéria
Proteína Pth11p	<i>Magnaporthe grisea</i>	Diferenciação do apressório
Melanina	<i>M. grisea</i>	Manutenção turgor no apressório
<i>CgDN3</i>	<i>Glomerella cingulata</i> (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>)	Bloqueio reação de hipersensibilidade (RH) em <i>Stylosanthes</i> sp
Proteínas BR1 e BL1	Vírus do mosaico anão do feijoeiro (BDMV)	Proteínas de movimento
Glicopeptídeos	<i>Mycosphaerella pinodes</i>	Supressores do acúmulo da fitoalexina pisatina
Pisatina demetilase	<i>Haematonectria (Nectria) haematococca</i>	Detoxificação da pisatina
Sideróforos E, D2, X1-7, G1	<i>Erwinia amylovora</i>	Envolvidos na assimilação de ferro do hospedeiro

Outros fatores envolvidos na patogenicidade

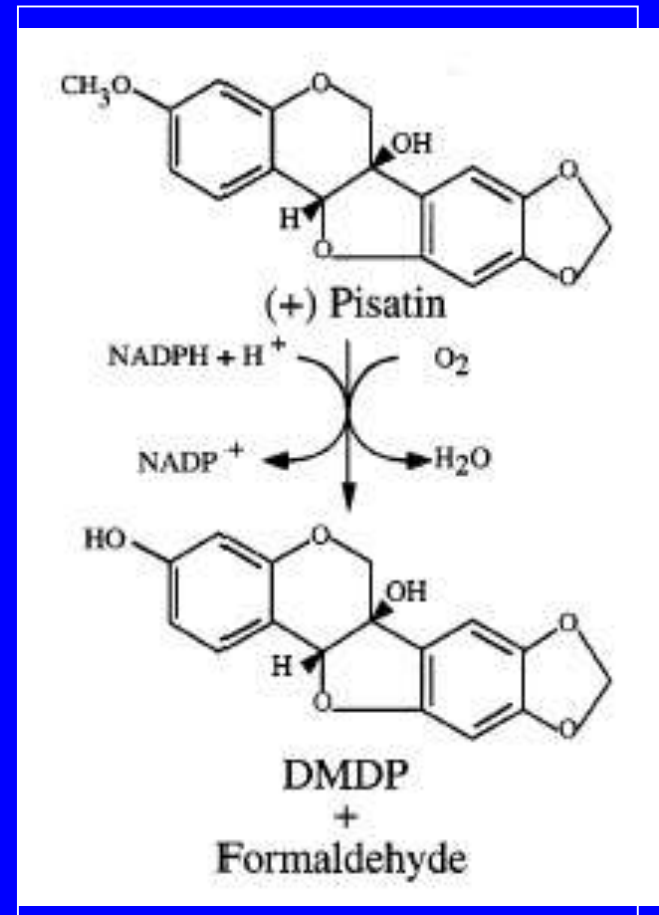
- Detoxificação de fitoalexinas

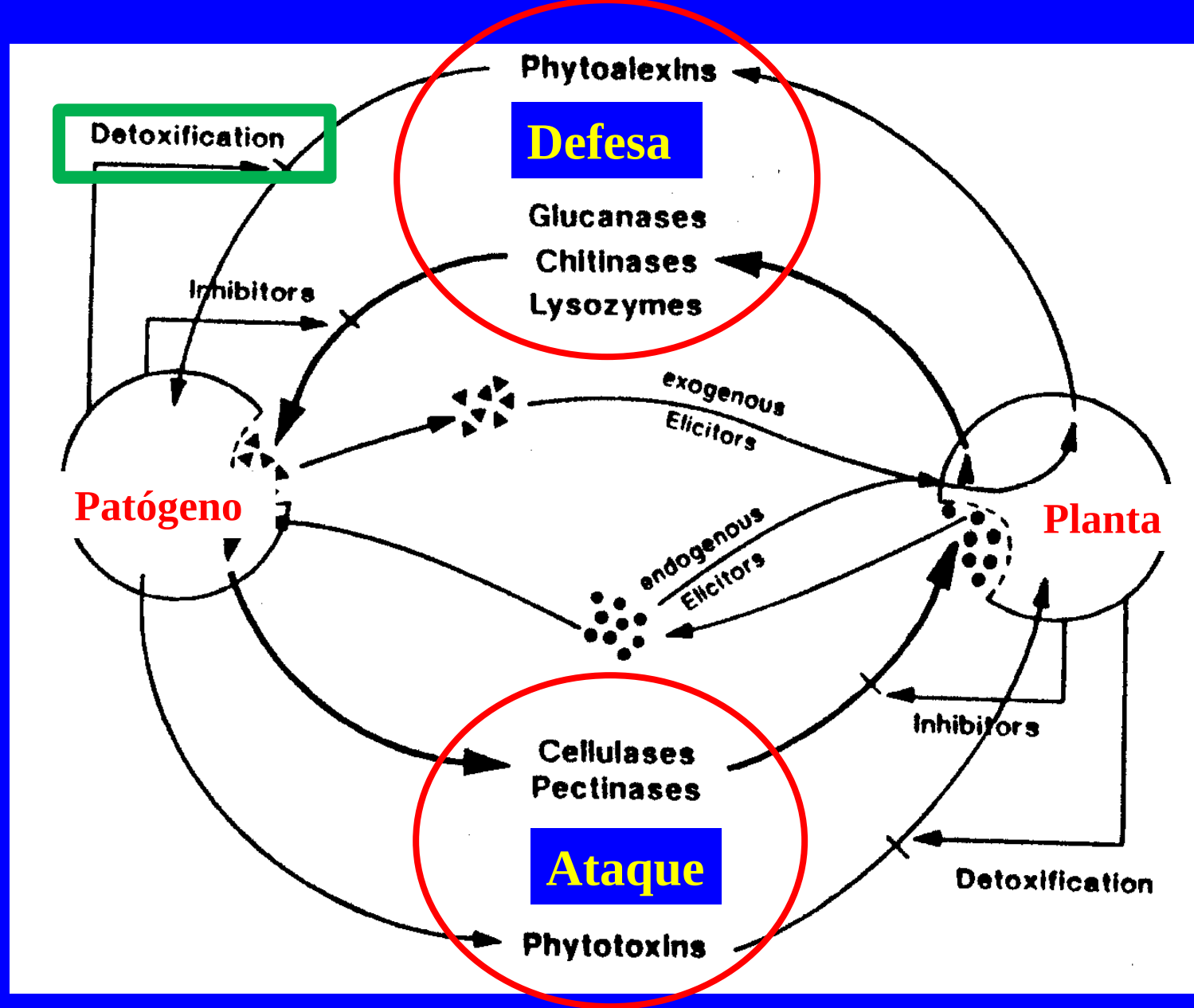
- Pisatina demetilase detoxifica pisatina

- *Nectria hematococca*
- *Ascochita pisi*
- *Phoma pinodella*
- *Micospharella pinodes*

DMDP = 3,6a-dihydroxy-8,9-methylenedioxypterocarpan

Demetilação





Patógeno – outros fatores envolvidos na patogenicidade

Outros fatores envolvidos na patogenicidade

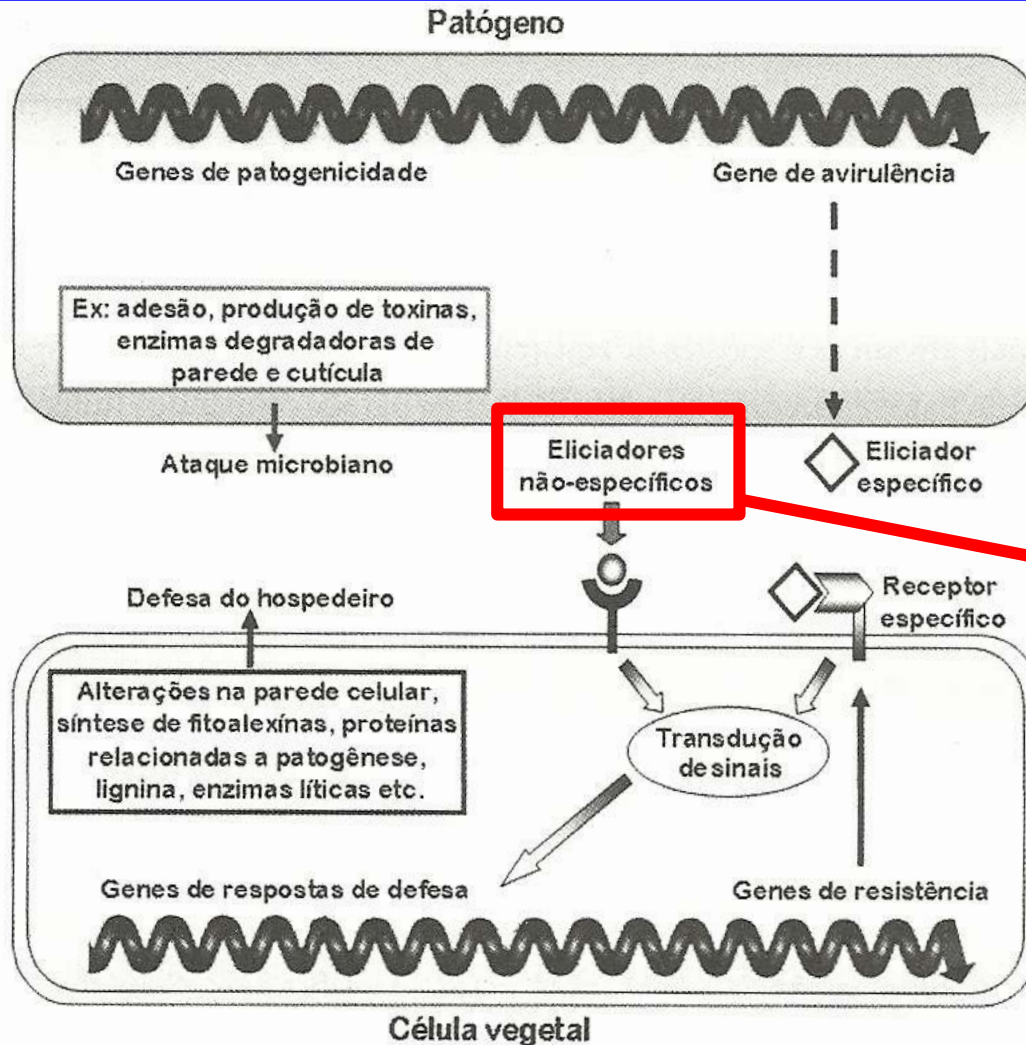


Figura 35.18 - Modelo molecular simplificado ilustrando a interação planta-patógeno (adaptado de Lucas, 1998).

Plantas reconhecem
moléculas derivadas do
patógeno
(eliciadores)

Quitina*
Glucana*
Proteínas
Glicoproteínas
LPS*
Flagelina*

Eliciam
respostas de
defesa em
grande número
de plantas

* Padrões moleculares microbianos - MAMPs

Outros fatores envolvidos na patogenicidade

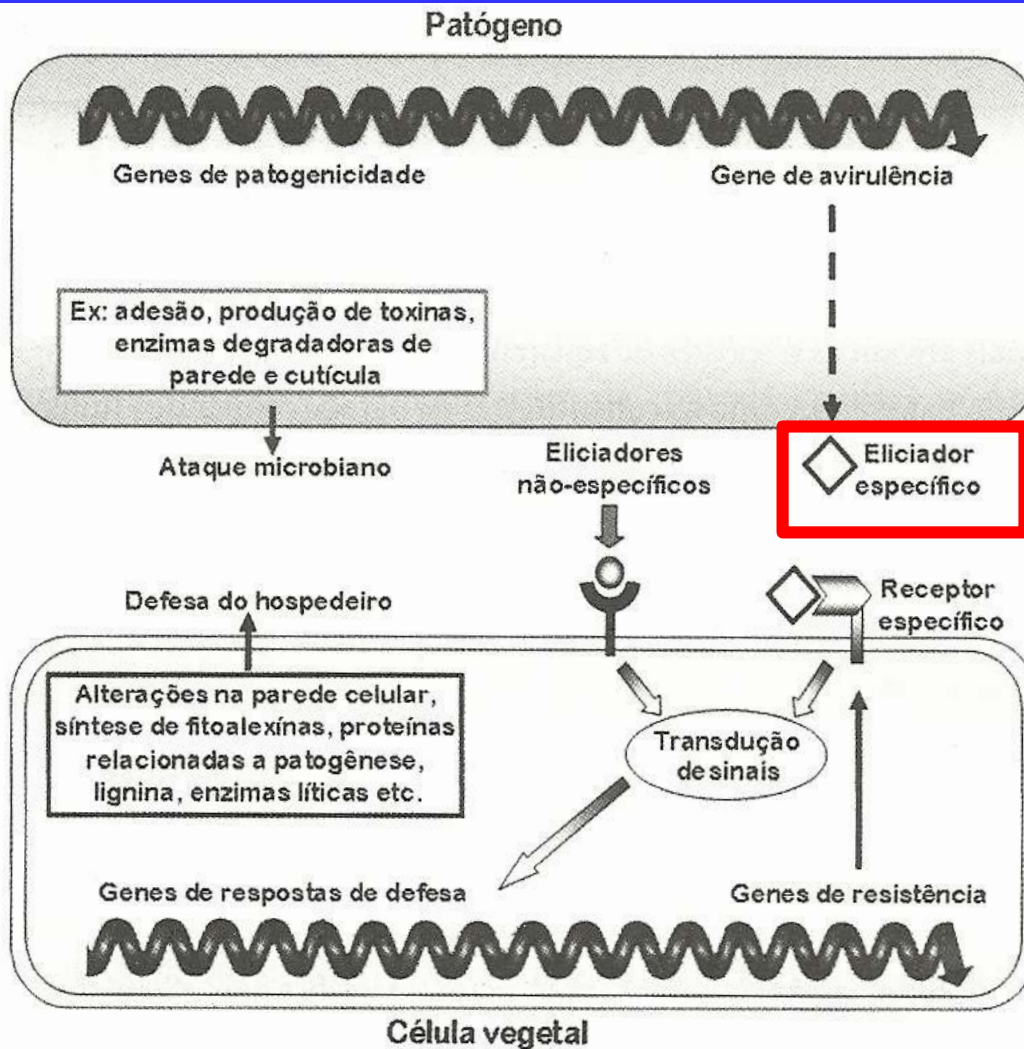


Figura 35.18 - Modelo molecular simplificado ilustrando a interação planta-patógeno (adaptado de Lucas, 1998).

Grupo de eliciadores reconhecidos por um número específico de plantas*

(Proteínas de avirulência – Avr)

Efetores

(podem ser fatores de virulência nas interações com plantas suscetíveis)

Maioria dos efetores fúngicos são proteínas secretadas, ricas em cisteína

* Padrões moleculares associados aos patógenos - PAMPs

Outros fatores envolvidos na patogenicidade

Efetores

Direcionados para alterar a atividade ou expressão de genes do hospedeiro envolvidos no sistema de defesa

(muito efetores são produtos dos genes *avr*)



Bactérias (Gram -)

Efetores de *Pseudomonas syringae*
codificados pelos genes *avrRpm1* e
avrB interagem com o gene *RIN4*
de *Arabidopsis*

Altera a ativação do sistema de
defesa da planta

Outros fatores envolvidos na patogenicidade

Efetores

Direcionados para alterar a atividade ou expressão de genes do hospedeiro envolvidos no sistema de defesa

(muito efetores são produtos dos genes *avr*)



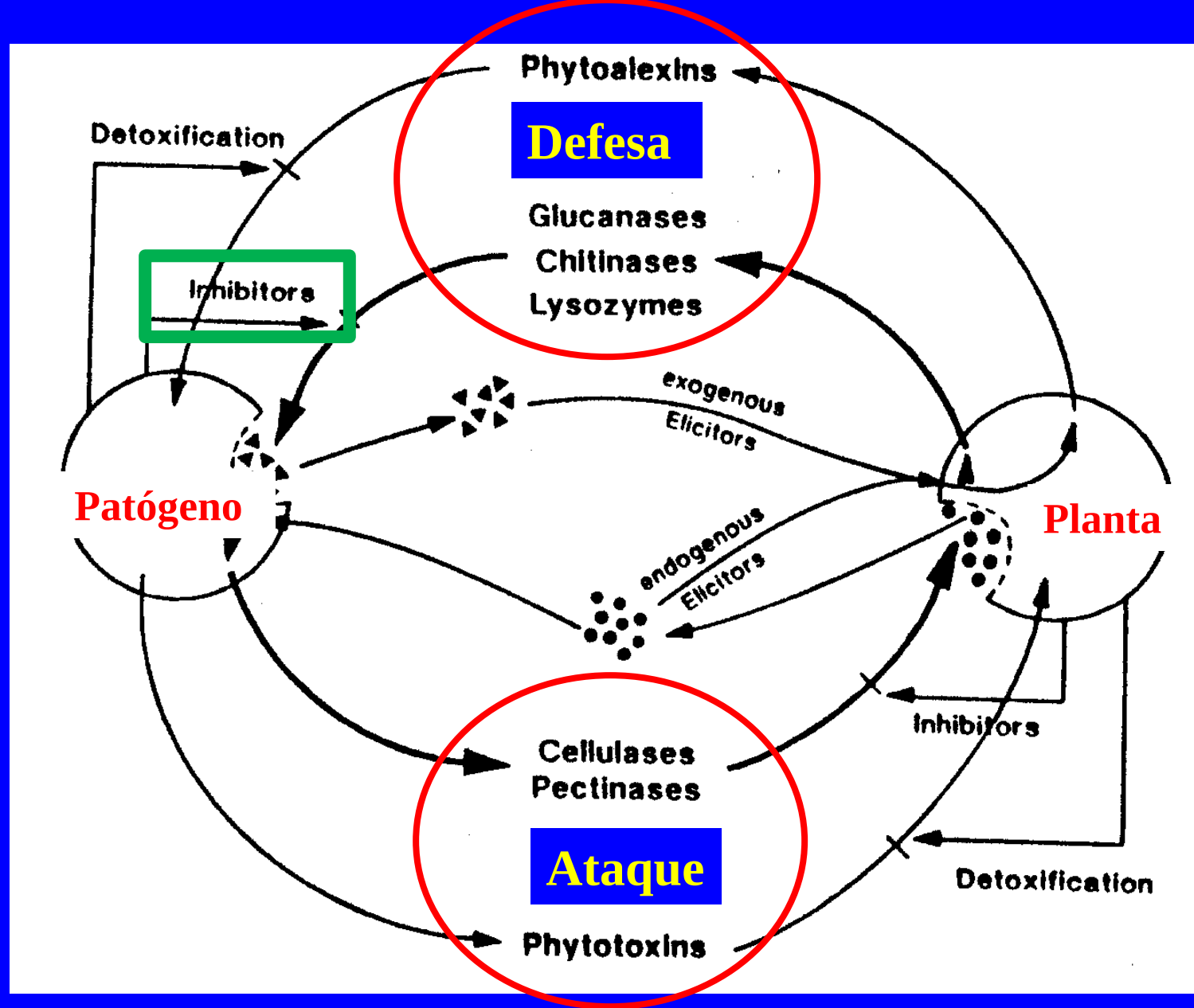
Fungos

Bloqueiam a secreção de moléculas antimicrobianas produzidas pelo hospedeiro (ex. glucanases e quitinases)

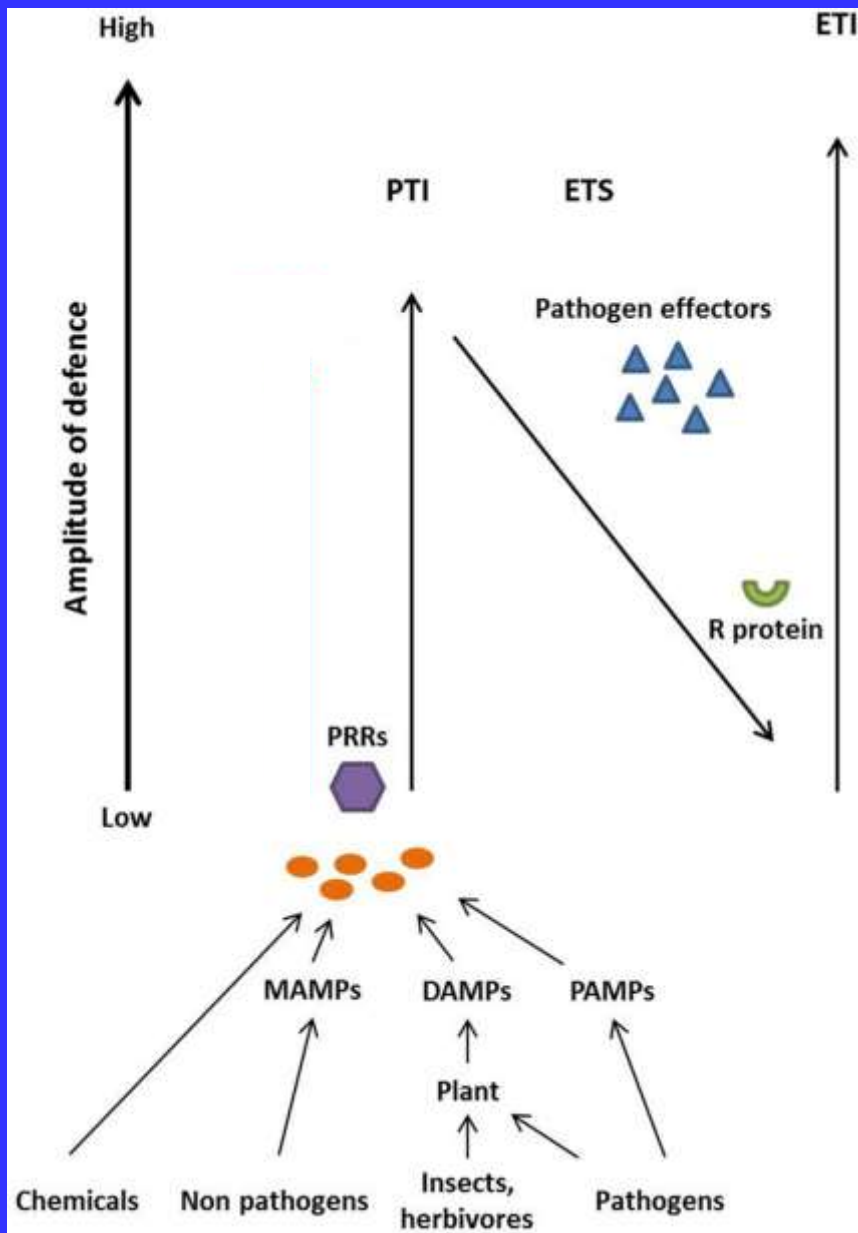
Produto do *gene avr4* de *Cladosporium fulvum* – inibe a produção de quitinase em tomateiro

Desativam essas moléculas antimicrobianas após sua produção

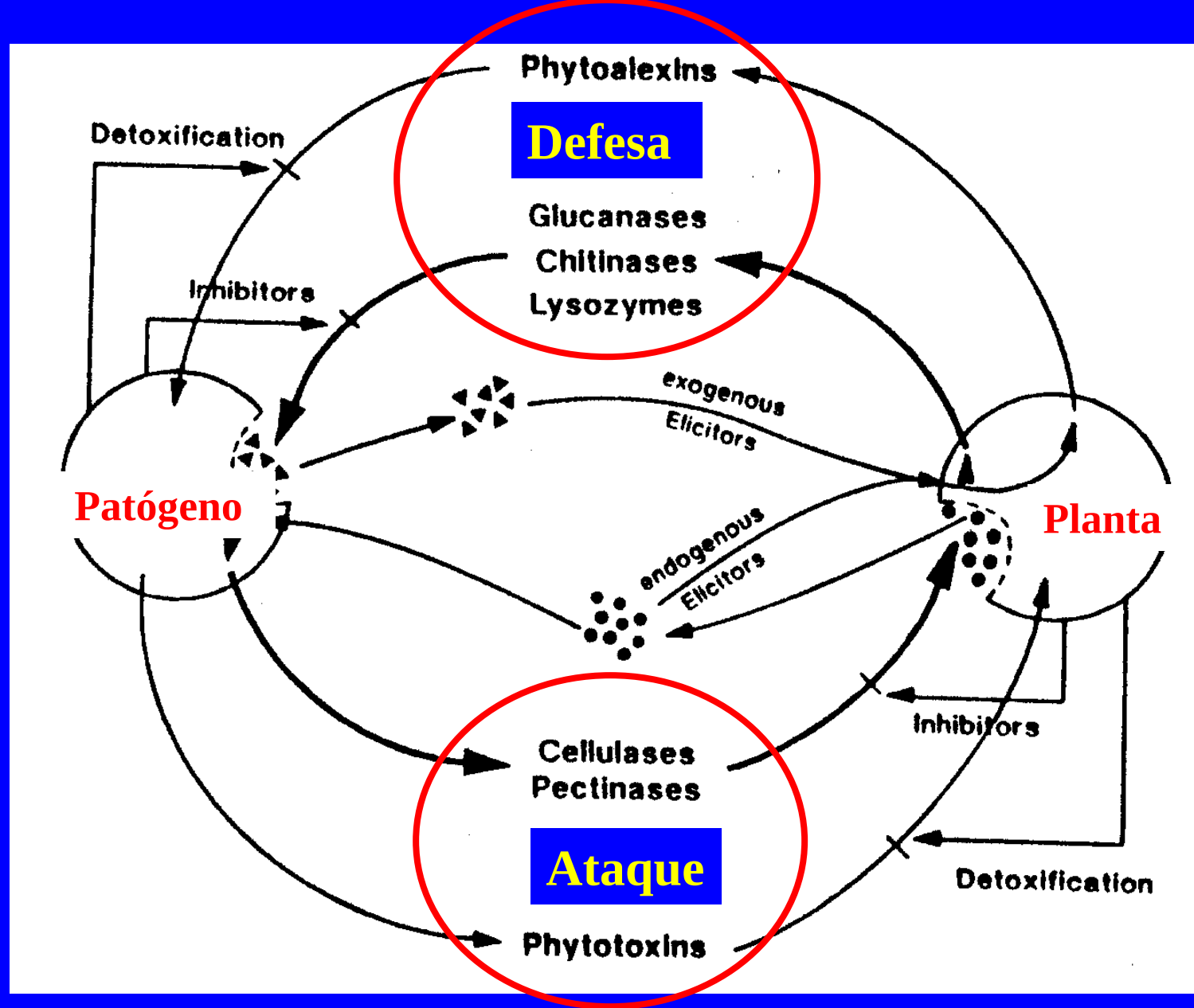
Inibidores de proteases em *Phytophthora infestans* – inibem a ação de proteinases no apoplasto da planta



Patógeno – outros fatores envolvidos na patogenicidade



Plants recognize **chemical elicitors**, Microbe-Associated Molecular Patterns (**MAMPs**) derived from non-pathogenic microbes, Pathogen-Associated Molecular Patterns (**PAMPs**) derived from pathogens and Damage-Associated Molecular Patterns (**DAMPs**) that are produced by plants upon insect, herbivore or pathogen attack, via transmembrane Pattern Recognition Receptors (**PRRs**). The recognition leads to the onset of defense mechanisms referred to as pattern-triggered immunity (**PTI**). Adapted pathogens secrete effectors that disturb plant defense mechanisms leading to effector-triggered susceptibility (**ETS**). Plant resistance (**R**) proteins recognize pathogen effectors and induce effector-triggered immunity (**ETI**).



Patógeno x planta

