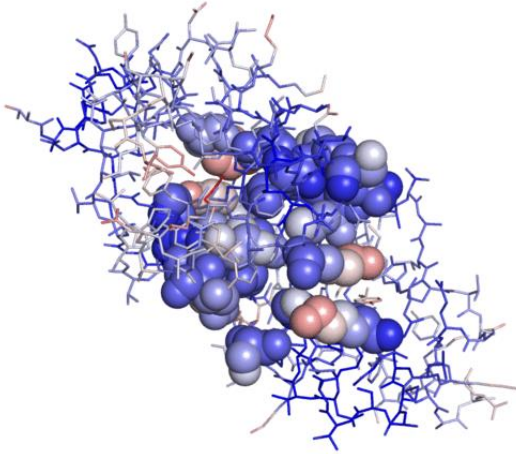
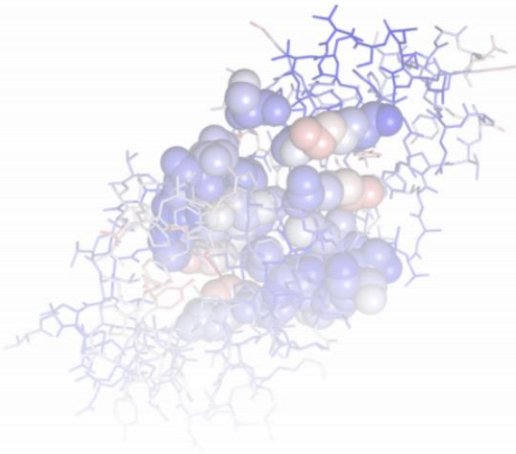




Alterações induzidas por patógenos nos
hospedeiros (susceptibilidade)

Dr. Ronaldo J. D. Dalio



Bactéria
Fungo
Oomiceto
Nematóide
Vírus

Biotrófico
Hemibiotrófico
Necrotrófico

Folhas
Frutos
Flores
Caule
Raízes

Epiderme
Córtex/parenquima
Xilema
Floema
estômatos
todos

Permeabilidade de membrana
Relações hídricas
Transcrição/tradução
Hormônios
Respiração
Fotossíntese

Grupos de doenças

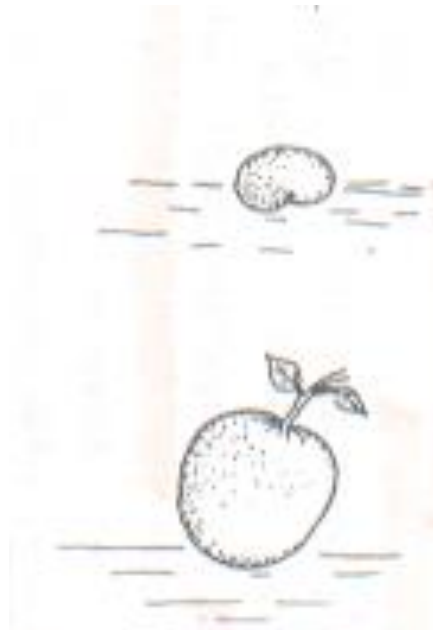
O processo doença envolve alterações na fisiologia do hospedeiro

Classificação de McNew (1960) - Classificação com base nos processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

(6 Processos Fisiológicos - 6 Grupos de Doenças)

Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.



Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

- I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.
- II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.



Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

- I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.
- II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.
- III - Absorção de água e elementos minerais a partir de um substrato.



Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

- I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.
- II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.
- III - Absorção de água e elementos minerais a partir de um substrato.
- IV - Transporte de água e elementos minerais através do sistema vascular.



Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

- I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.
- II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.
- III - Absorção de água e elementos minerais a partir de um substrato.
- IV - Transporte de água e elementos minerais através do sistema vascular.
- V - Fotossíntese.

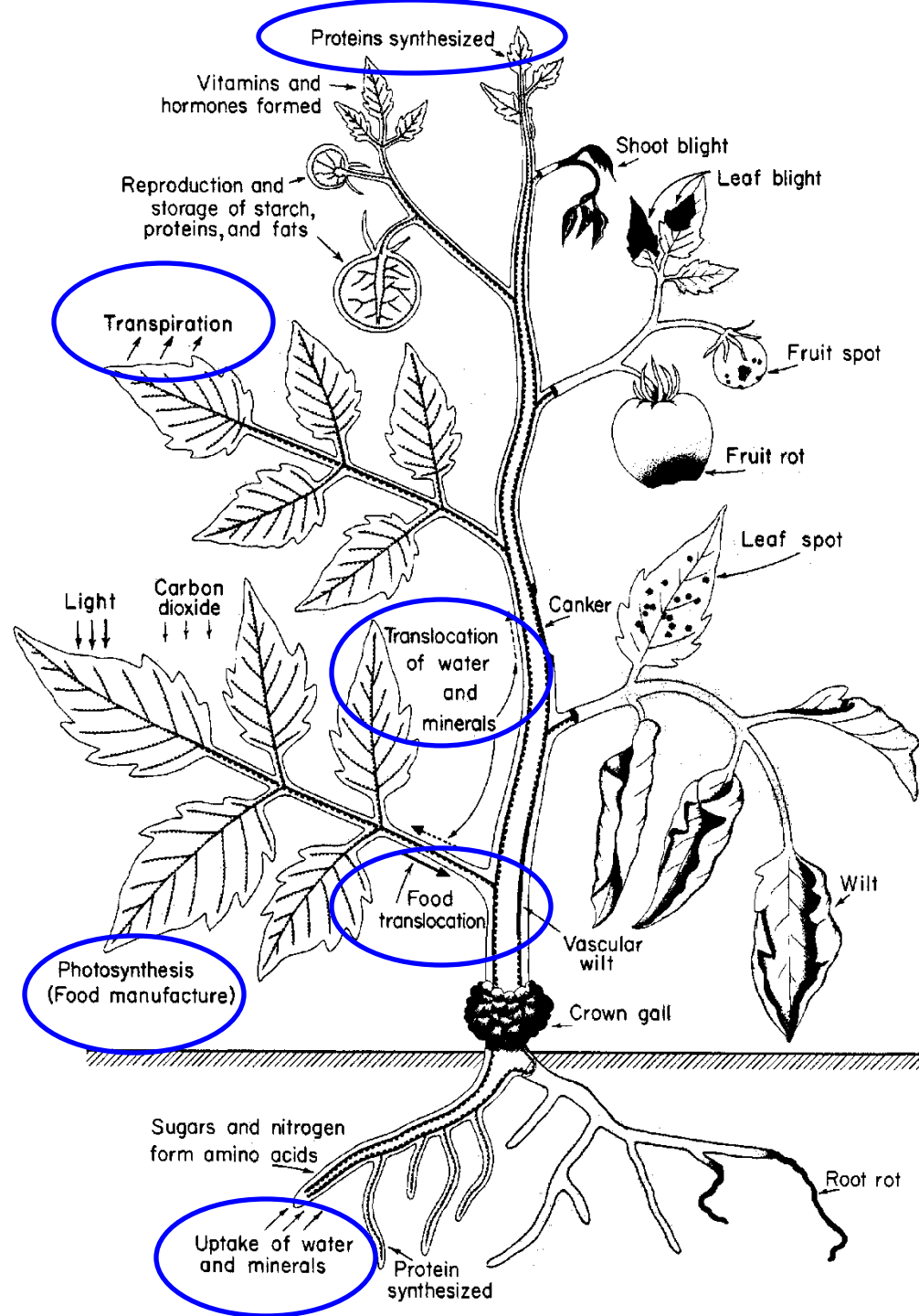


Processos fisiológicos vitais da planta interferidos pelos patógenos

- I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.
- II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.
- III - Absorção de água e elementos minerais a partir de um substrato.
- IV - Transporte de água e elementos minerais através do sistema vascular.
- V - Fotossíntese.
- VI - Utilização, pela planta, das substâncias elaboradas através da fotossíntese.

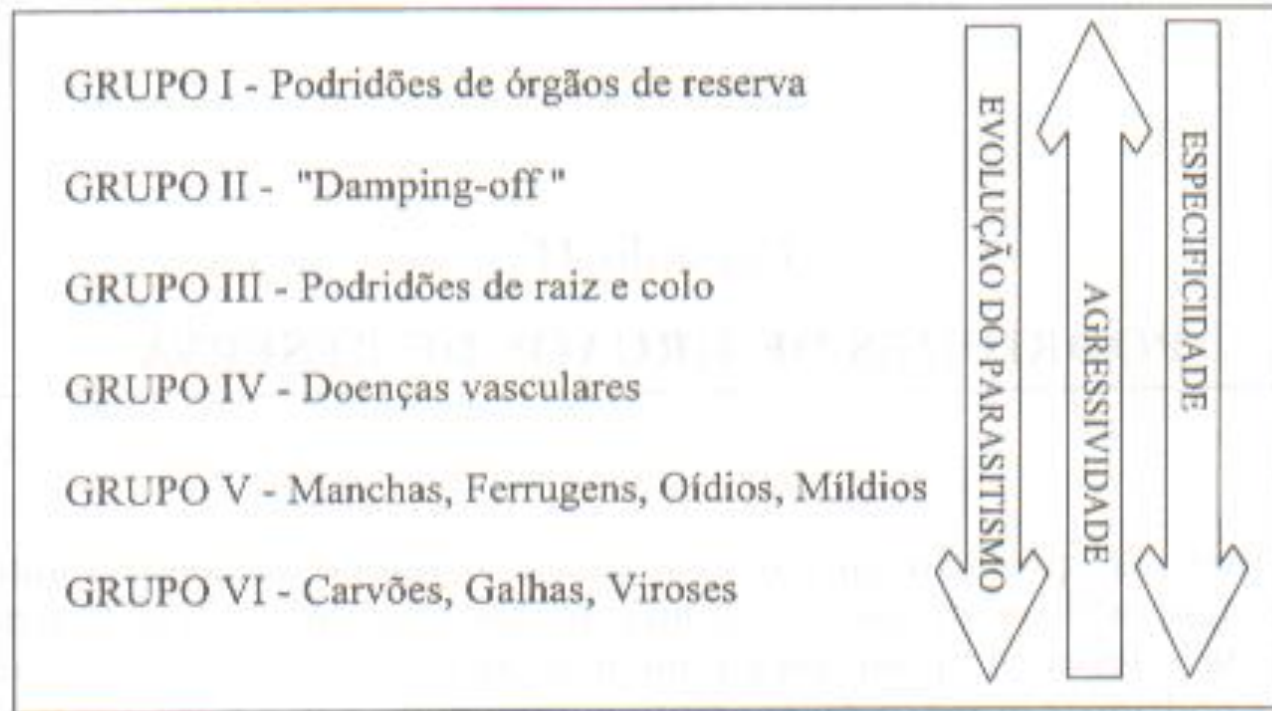


Processo fisiológico interferido



Tipos de doenças

Grupos de doenças de plantas



Grupos de doenças de plantas e sua relação com especificidade, agressividade e evolução do parasitismo do agente fitopatogênico.

Grupos de doenças de plantas

I - Acúmulo de nutrientes em órgãos de armazenamento para o desenvolvimento de tecidos embrionários.

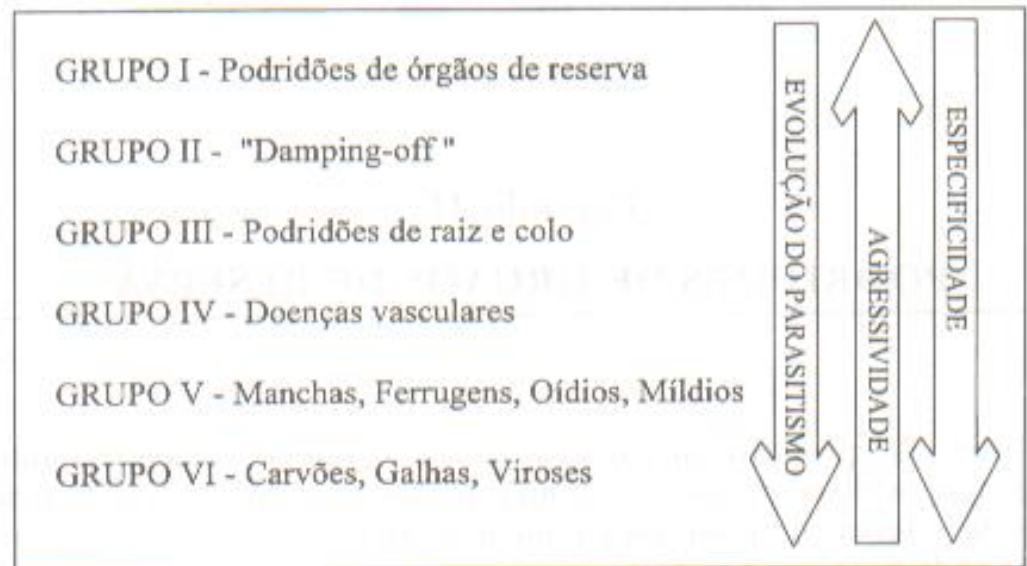
II - Desenvolvimento de tecidos jovens às custas dos nutrientes armazenados.

III - Absorção de água e elementos minerais a partir de um substrato.

IV - Transporte de água e elementos minerais através do sistema vascular.

V - Fotossíntese.

VI - Utilização, pela planta, das substâncias elaboradas através da fotossíntese.

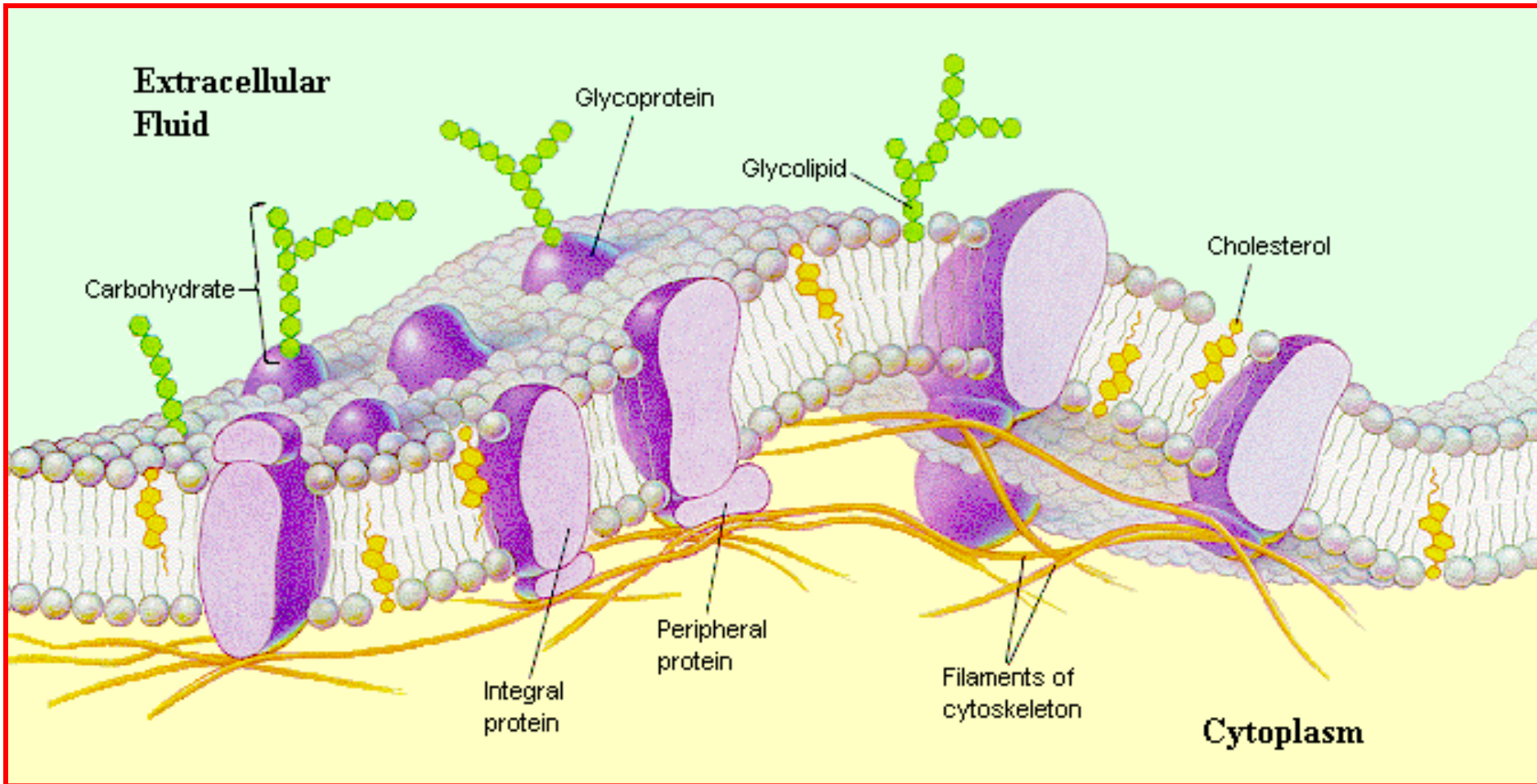


Grupos de doenças de plantas e sua relação com especificidade, agressividade e evolução do parasitismo do agente fitopatogênico.

INTERAÇÕES PLANTA-PATÓGENO: ALTERAÇÕES NA SUSCETIBILIDADE

- 1) Na permeabilidade de membranas
- 2) Nas relações hídricas
- 3) Na transcrição / tradução
- 4) No equilíbrio hormonal
- 5) No metabolismo de carboidratos

ESTRUTURA

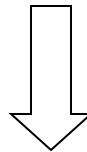


MOSAICO FLUIDO

FUNÇÃO

- ✓ barreiras permeáveis;
- ✓ controlam seletivamente o transporte de íons e moléculas nas células (mecanismos passivos e ativos);
- ✓ impermeável a muitas moléculas: íons, açúcares e amino ácidos bombeados através de canais (proteínas)

ALTERAÇÕES



comprometimento do reconhecimento e sinalização celular

ATIVAÇÃO DE RESPOSTAS DE DEFESA

PATÓGENOS CAUSAM DISFUNÇÃO DAS MEMBRANAS

MUDANÇAS ESTRUTURAIS

- espessamento e inchaço das membranas do retículo endoplasmático e da mitocôndria;
- rompimento da plasmalema, tonoplasto, e membranas cloroplasto

Ex.: *Cercospora x beterraba*

MUDANÇAS PERMEABILIDADE

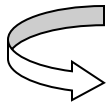
- 1º evento detectável no início da doença;
- principalmente induzidas por toxinas;
- perda de eletrólitos

MEMBRANA CELULAR – LOCAL PARA INDUÇÃO DE MECANISMOS DE DEFESA

- ✓ **membrana: local ativo para indução de vários mecanismos resistência;**
- ✓ **receptores de moléculas elicitoras (moléculas da parede celular fúngica ou do hospedeiro);**
- ✓ **transdução de sinais intracelulares ocorre através da membrana;**
- ✓ **Ca⁺² (mensageiro secundário) atravessa passivamente a membrana (proteína formadora de canal);**
- ✓ **enzimas ligadas à membrana (fosfolipases, proteínas quinase, e ATPases)→ fazem parte sistema transdução sinais;**
- ✓ **elicitores induzem hiperpolarização.**

MEMBRANA CELULAR – LOCAL PARA INDUÇÃO DE MECANISMOS DE DEFESA

- ✓ moléculas sinais sistêmicos – receptores na membrana;



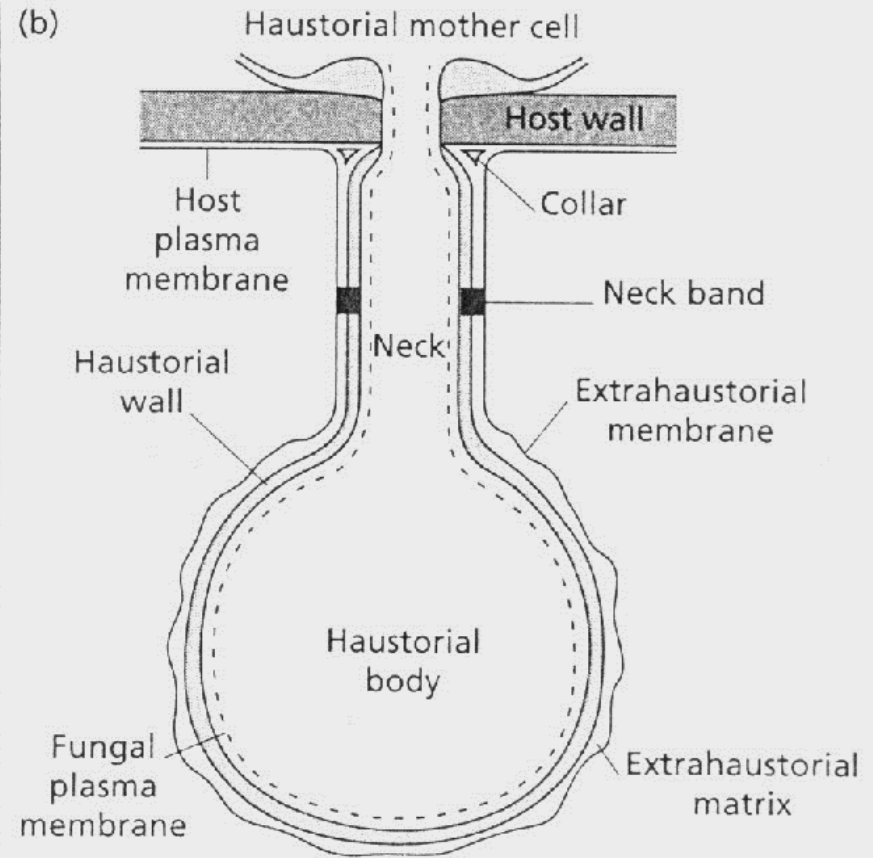
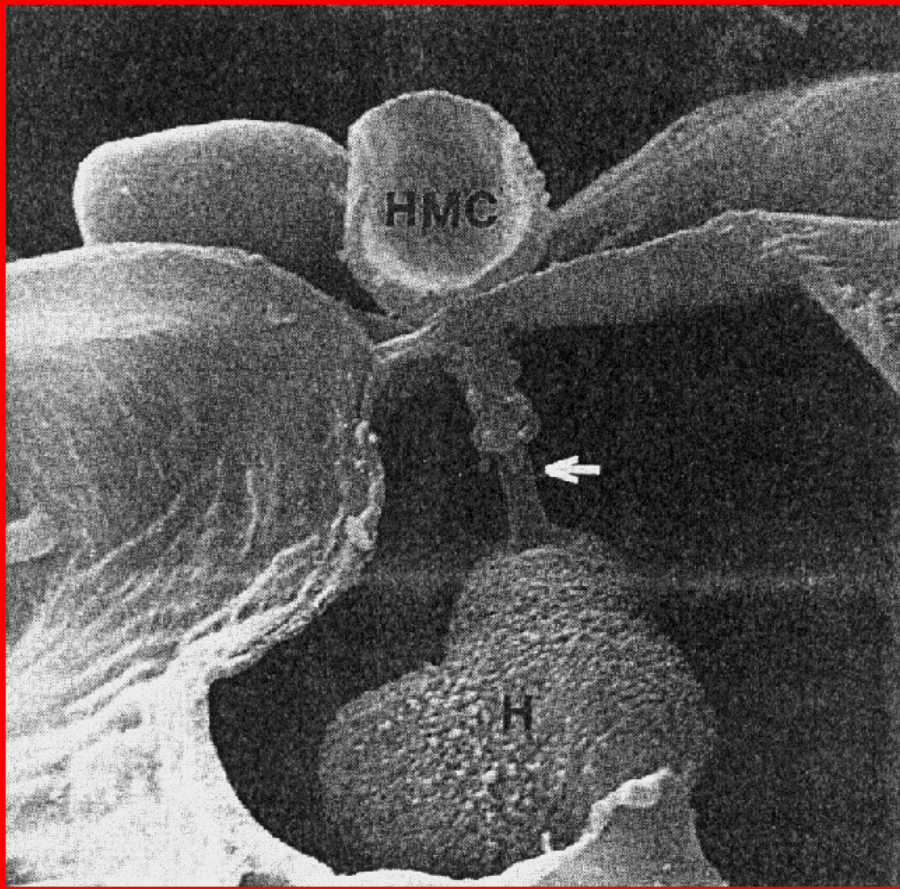
ác. jasmônico – ação controlada pela liberação de ác. graxos pelas fosfolipases ligadas à membrana;

- ✓ elicitores induzem síntese de vários compostos de defesa;
- ✓ espécies reativas de O_2 – induzidas pela deterioração da membrana.



PATÓGENOS PODEM SUPRIMIR OS MECANISMOS DE DEFESA

FUNGOS BIOTRÓFICOS



Café x *H. vastatrix*, HMC = célula mãe do haustório, H = haustório (Lucas, 1998)

Diminuem a permeabilidade da membrana devido a mudanças estruturais na dupla camada de fosfolípidos → redução da fluidez

ALTERAÇÕES INDUZIDAS POR FITOPATÓGENOS

- ✓ estimula certas enzimas ligadas à membrana

ATPase - bombeamento de H^+ e K^+ ;

- ✓ interfere com processos necessários para a manutenção ou reparo do filme fluido;
- ✓ degrada lipídeos ou proteínas da membrana.

Relações hídricas

Importância da água e sua absorção

- ❖ **componente vital das células vivas em termos de:**
 - **hidratação do citoplasma e paredes celulares;**
 - **solvente de metabólitos e componentes essenciais.**
- ❖ **absorção da água e sais minerais do solo através do sistema radicular, por osmose e por transporte ativo;**
- ❖ **absorção ao longo de toda a raiz, particularmente na zona pilosa, que aumenta a superfície de absorção;**

Efeitos dos patógenos sobre a translocação de água

❖ muitos patógenos interferem na translocação de água e nutrientes inorgânicos, podendo afetar:

- a integridade ou as funções da raiz;
- os vasos do xilema, devido ao seu crescimento;
- os vasos de floema;
- as folhas e os estômatos

Efeitos dos patógenos sobre a translocação de água

❖ esta mudança no transporte de água é o resultado de uma gama de efeitos sobre o funcionamento normal da planta hospedeira, causadas pela combinação de:

- bloqueio do sistema vascular;
- destruição dos vasos de xilema, levando ao stress hídrico e murcha;
- alterações nas taxas de transpiração;
- mudanças nos gradientes do potencial hídrico;

Efeito sobre a absorção de água pelas raízes

- **muitos patógenos causam:**

- **extensa destruição das raízes antes do aparecimento de sintomas;**
- **injúria na raiz, que afeta suas funções e diminui a quantidade de água absorvida;**
- **alteração da permeabilidade das células da raiz, interferindo na absorção normal de água;**
- **redução no tamanho do sistema radicular, resultando na redução do transporte de água.**

Efeito sobre a translocação de água através do xilema

- ❖ quaisquer efeitos sobre o movimento da água tem grande significado fisiológico para a planta;
- ❖ patógenos necrotróficos tendem a produzir efeitos drásticos, como bloqueio ou destruição dos vasos (embolismo);
- ❖ patógenos biotróficos alteram o fluxo de água (potencial hídrico), aumentam a respiração e diminuição da fotossíntese;
- ❖ vasos podem ser preenchidos com: corpos de frutificação dos patógenos, substâncias secretadas pelo patógeno e/ou pelo hospedeiro.

Efeito sobre a translocação de água através do xilema

a) Bloqueio do sistema vascular – Murchas Vasculares

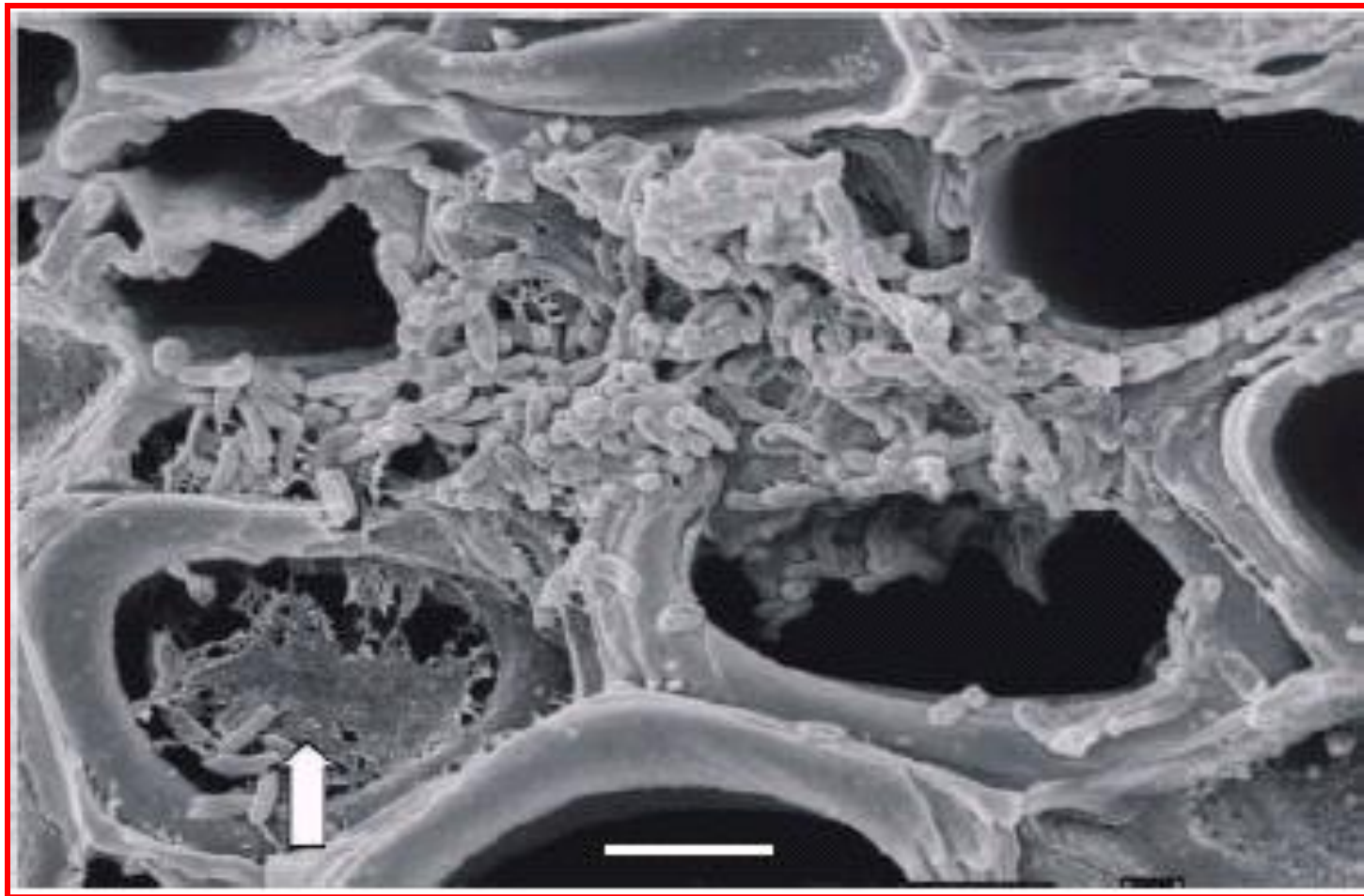
❖ ocasiona stress hídrico, devido ao crescimento de micélio e/ou esporos, células bacterianas e polissacarídeos extracelulares (menor absorção – maior transpiração);

❖ exemplos: *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Pseudomonas* e *Erwinia*;

❖ existem outros fatores (toxinas, enzimas, etileno), mas a maior causa de murcha é o bloqueio do sistema vascular;

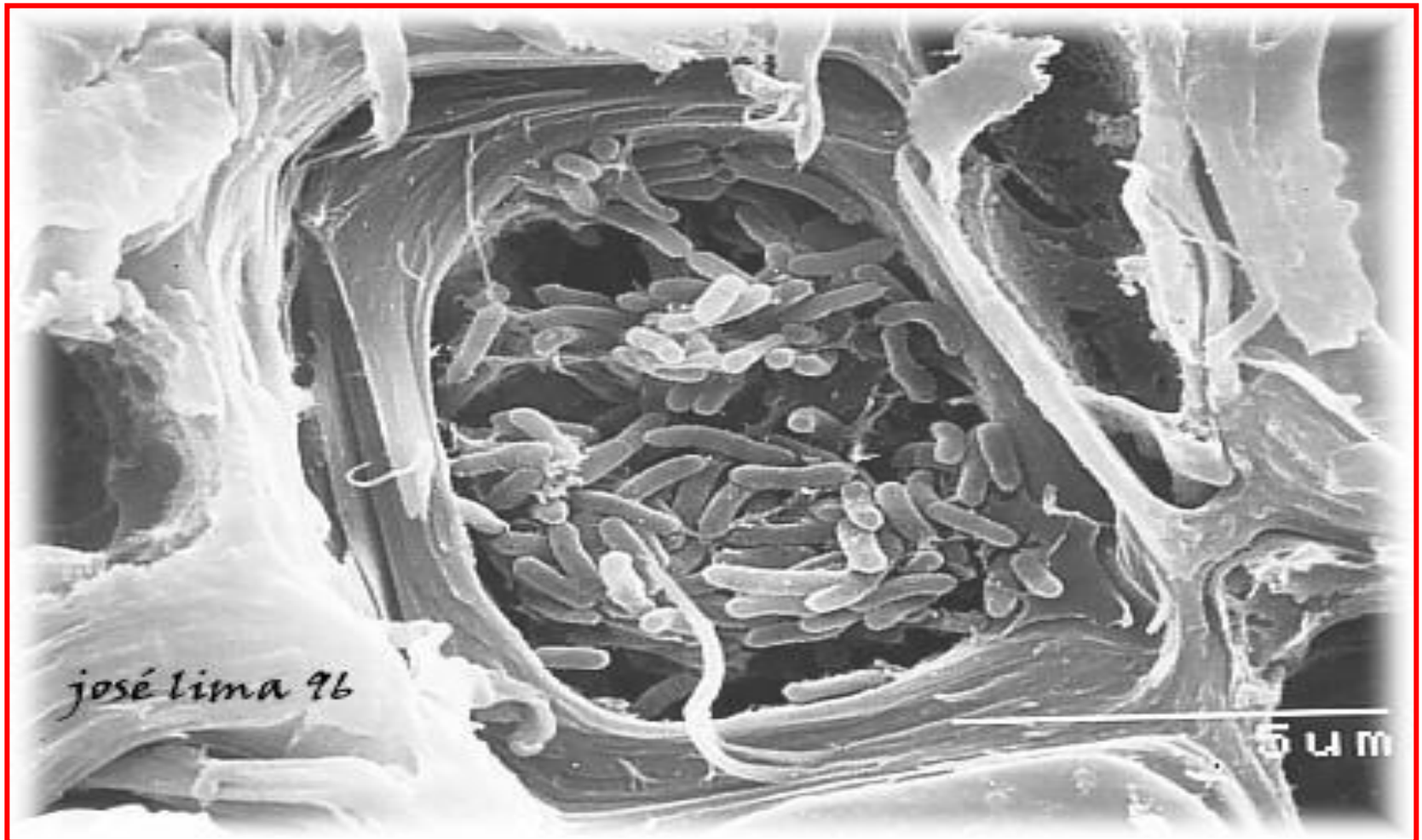
Efeito sobre a translocação de água através do xilema

a) Bloqueio do sistema vascular – Murchas Vasculares



Efeito sobre a translocação de água através do xilema

b) Bactérias limitadas ao xilema – *Xylella fastidiosa*



Efeito sobre o floema

- ❖ **tres fatores ambientais que governam o transporte: potencial hídrico, luz (influência na fotossíntese) e temperatura;**
- ❖ **Fitoplasmas e bactérias podem ser detectados no floema (alta concentração osmótica);**
- ❖ **os fitoplasmas interrompem o fluxo normal de reguladores de crescimento, causando sintomas como murcha, amarelecimento, etc;**

Efeito sobre o floema



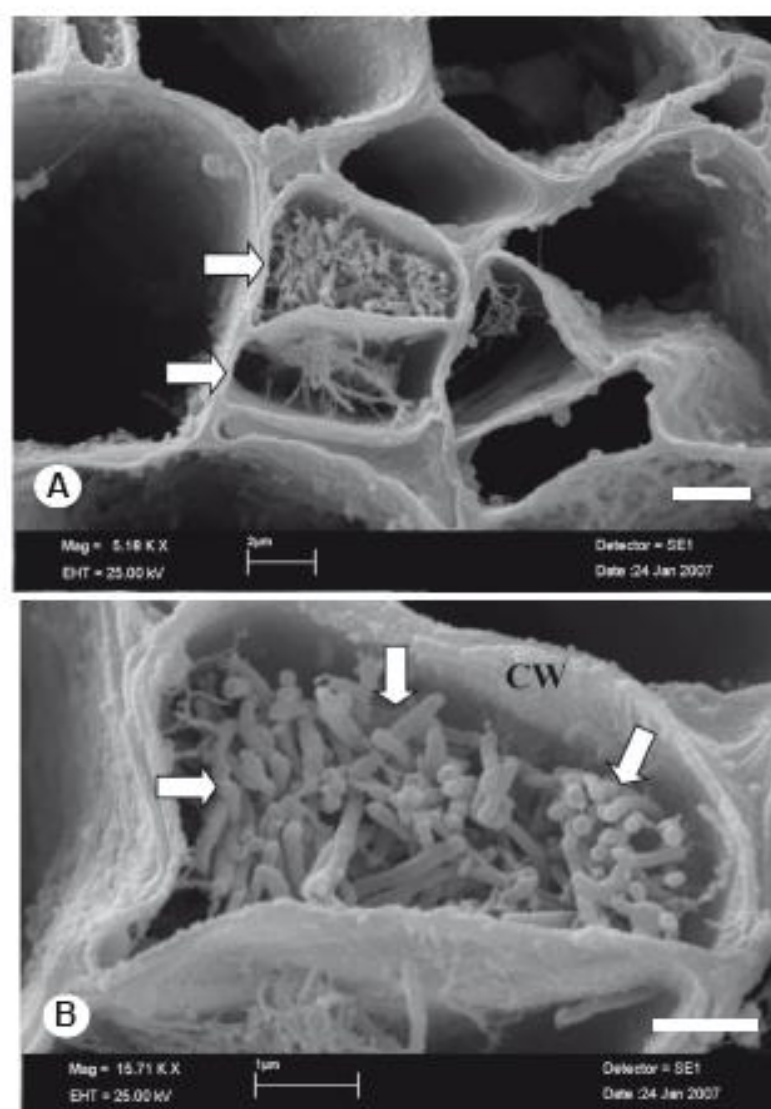


FIG. 1 – A. Scanning electron micrograph of phloem vessels (arrows) in cross section in a frozen-fractured leaf midvein of a periwinkle (*Catharanthus roseus*) experimentally infected by *Ca. Liberibacter americanus* using dodder. One of the vessels is filled by bacilliform cells of *Ca. L. americanus* (bar = 2 μm). **B.** Detail of A, showing the bacterial cells (arrows) within the phloem element (bar = 1 μm).

Transcrição / tradução

DNA - RNA- Proteína

<https://www.youtube.com/watch?v=AFOfA3ann1o>

Major Transcriptome Reprogramming Underlies Floral Mimicry Induced by the Rust Fungus *Puccinia monoica* in *Boechera stricta*

Liliana M. Cano , Sylvain Raffaele , Riston H. Haugen, Diane G. O. Saunders, Lauriebeth Leonelli, Dan MacLean, Saskia A. Hogenhout, Sophien Kamoun 

Published: September 17, 2013 • DOI: 10.1371/journal.pone.0075293

Article

About the Authors

Metrics

Comments

Related Content

Download PDF

Print

Share

Abstract

Introduction

Results and Discussion

Conclusions

Materials and Methods

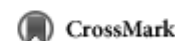
Supporting Information

Acknowledgments

Author Contributions

Abstract

Puccinia monoica is a spectacular plant parasitic rust fungus that triggers the formation of flower-like structures (pseudoflowers) in its Brassicaceae host plant *Boechera stricta*. Pseudoflowers mimic in shape, color, nectar and scent co-occurring and unrelated flowers such as buttercups. They act to attract insects thereby aiding spore dispersal and sexual reproduction of the rust fungus. Although much ecological research has been performed on *P. monoica*-induced pseudoflowers, this system has yet to be investigated at the molecular or genomic level. To date, the molecular alterations underlying the development of pseudoflowers and the genes involved have not been described. To address this, we performed gene



Subject Areas

Arabidopsis thaliana

Biological transport

Biosynthesis

Flowering plants

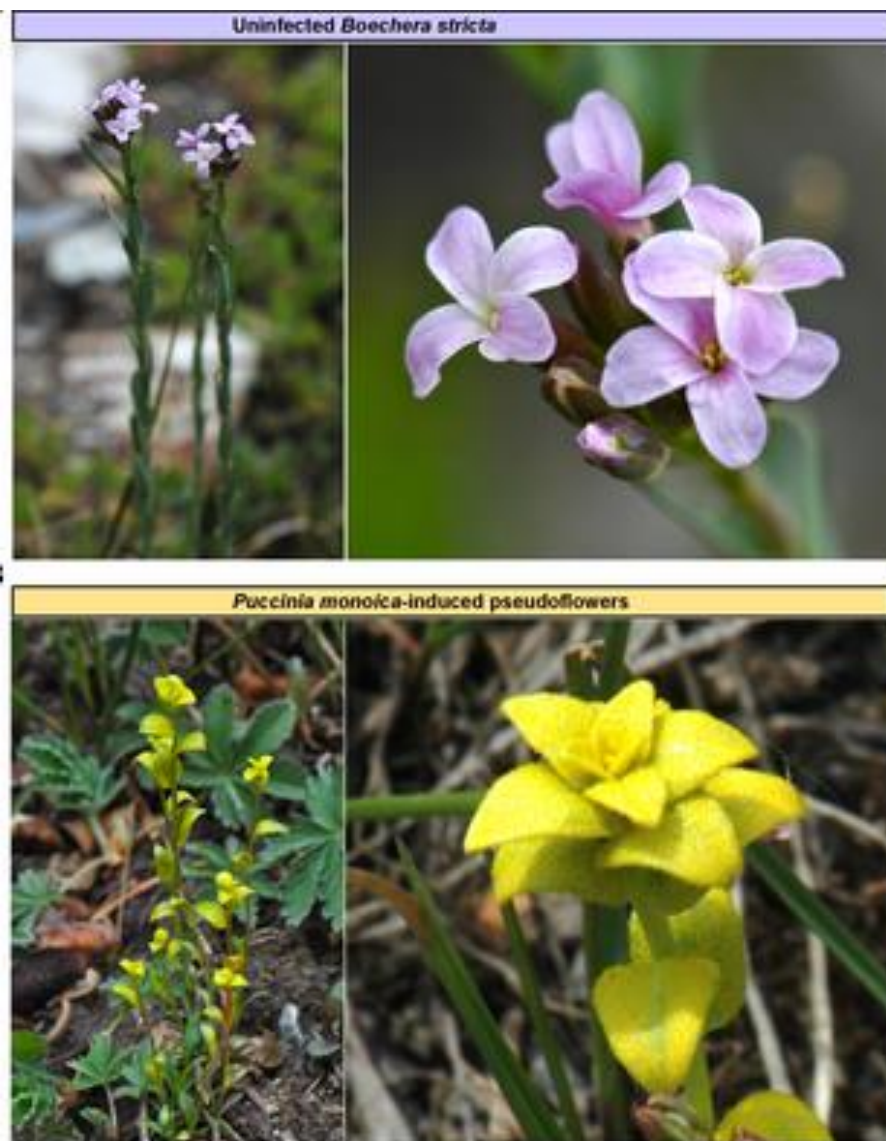


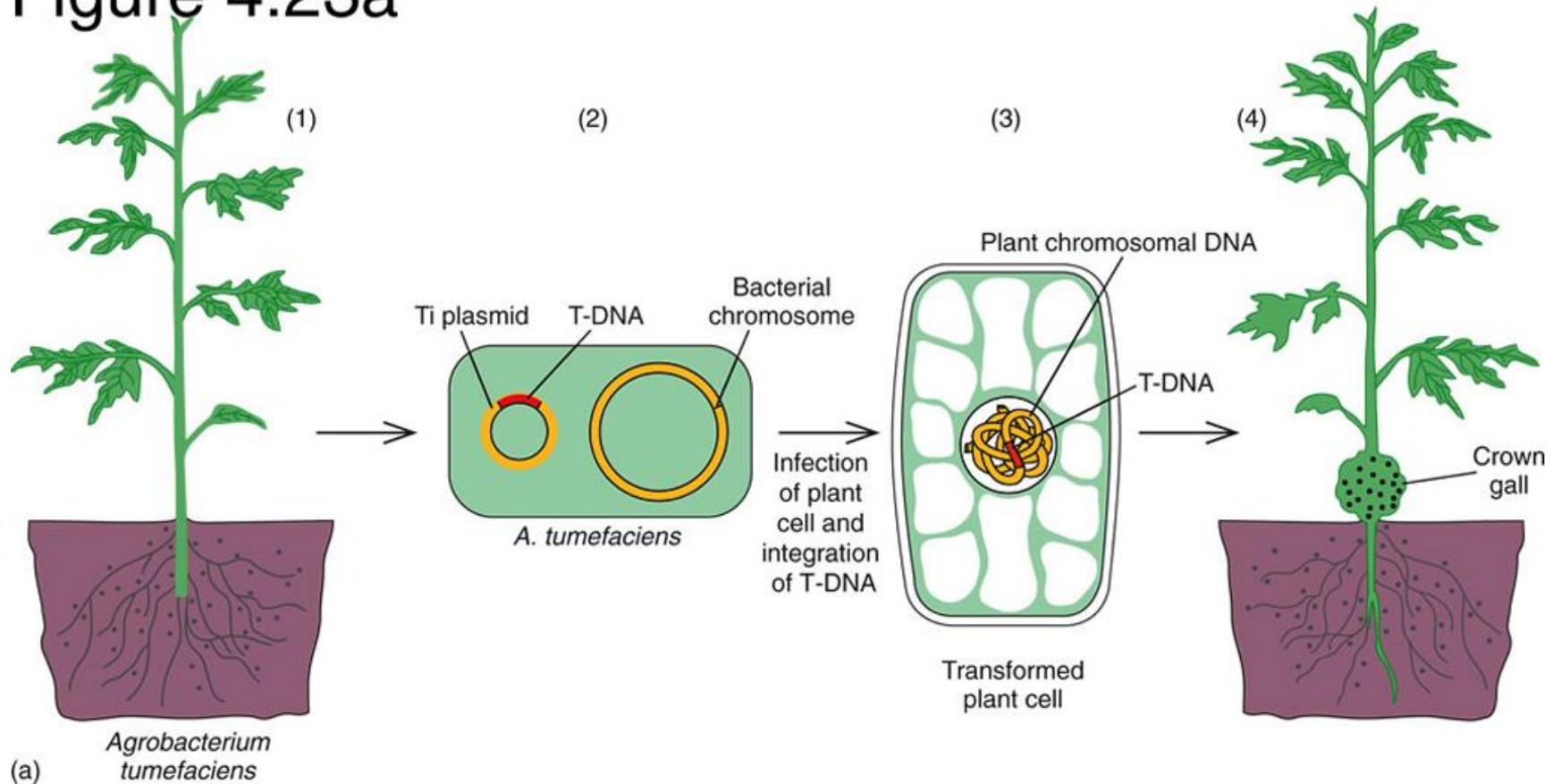
Figure 1. Illustration of floral mimicry produced by the pseudoflower-forming rust fungus *Puccinia monoica*.

Abstract

Puccinia monoica is a spectacular plant parasitic rust fungus that triggers the formation of flower-like structures (pseudoflowers) in its Brassicaceae host plant *Boechea stricta*. Pseudoflowers mimic in shape, color, nectar and scent co-occurring and unrelated flowers such as buttercups. They act to attract insects thereby aiding spore dispersal and sexual reproduction of the rust fungus. Although much ecological research has been performed on *P. monoica*-induced pseudoflowers, this system has yet to be investigated at the molecular or genomic level. To date, the molecular alterations underlying the development of pseudoflowers and the genes involved have not been described. To address this, we performed gene expression profiling to reveal 256 plant biological processes that are significantly altered in pseudoflowers. Among these biological processes, plant genes involved in cell fate specification, regulation of transcription, reproduction, floral organ development, anthocyanin (major floral pigments) and terpenoid biosynthesis (major floral volatile compounds) were down-regulated in pseudoflowers. In contrast, plant genes involved in shoot, cotyledon and leaf development, carbohydrate transport, wax biosynthesis, cutin transport and L-phenylalanine metabolism (pathway that results in phenylethanol and phenylacetaldehyde volatile production) were up-regulated. These findings point to an extensive reprogramming of host genes by the rust pathogen to induce floral mimicry. We also highlight 31 differentially regulated plant genes that are enriched in the biological processes mentioned above, and are potentially involved in the formation of pseudoflowers. This work illustrates the complex perturbations induced by rust pathogens in their host plants, and provides a starting point for understanding the molecular mechanisms of pathogen-induced floral mimicry.

Figure 4.23a

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Permission required for reproduction or display.



https://www.youtube.com/watch?v=L7qnY_GqytM

RNA silencing suppression by plant pathogens:
defence, counter-defence and counter-
counter-defence

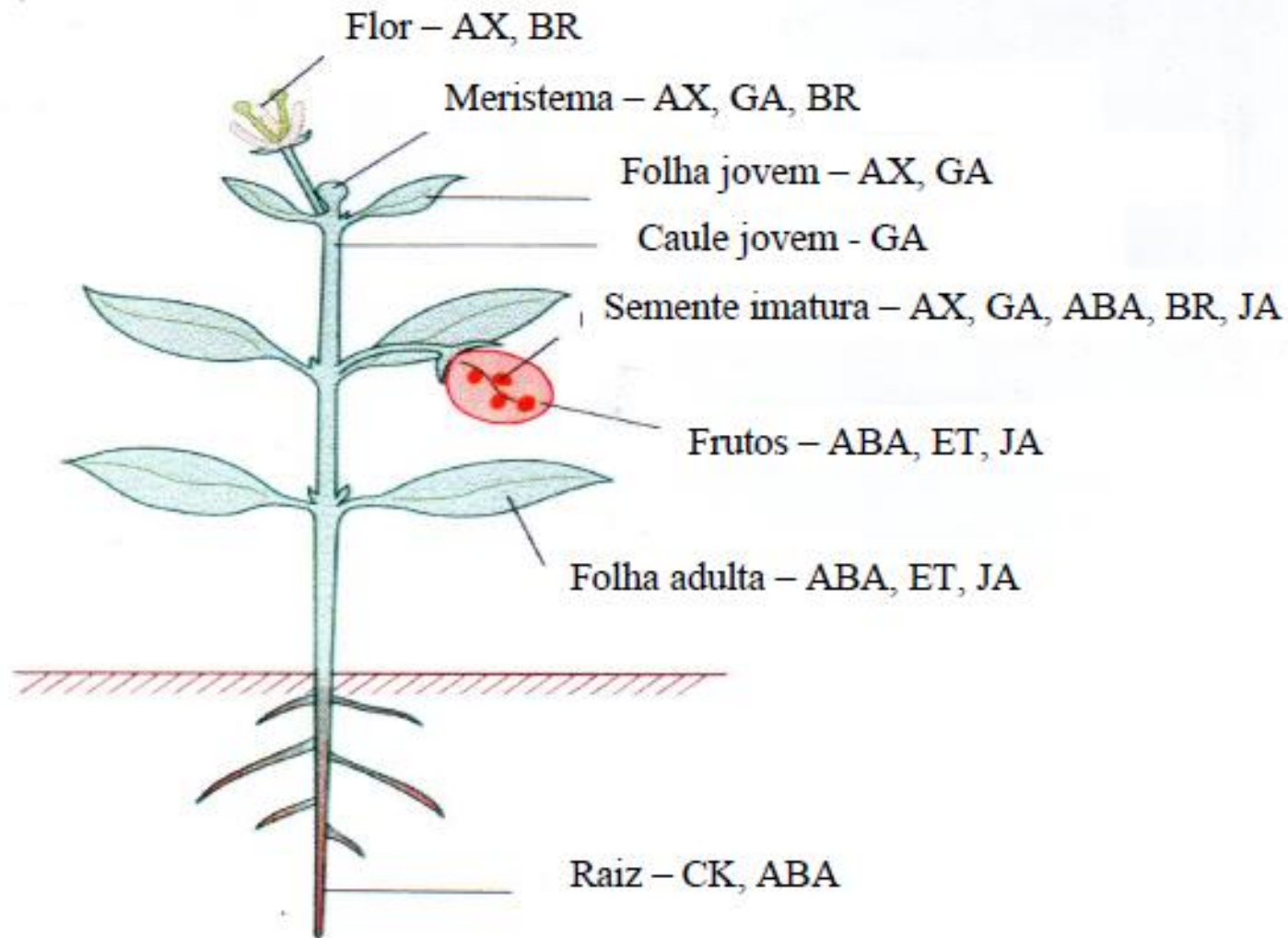
[http://www.nature.com/nrmicro/journal/v11/
n11/abs/nrmicro3120.html](http://www.nature.com/nrmicro/journal/v11/n11/abs/nrmicro3120.html)

Alterações hormonais

“Hormônios vegetais, também conhecidos como fitormônios, são substâncias orgânicas, que em concentrações baixas, promovem, inibem ou modificam processos fisiológicos do vegetal”

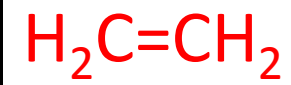
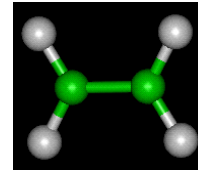
- Etileno (ET)
- Ácido jasmônico (JA)
- Ácido salicílico (SA)
- Auxinas (AX)
- Ácido Abscísico (ABA)
- Giberelinas (GA)
- Citocininas (CK)
- Brassinosteróides (BR)

Principais sítios de síntese dos hormônios vegetais



Normalmente os hormônios não agem nos locais onde foram produzidos

Etileno



Maturação de frutos



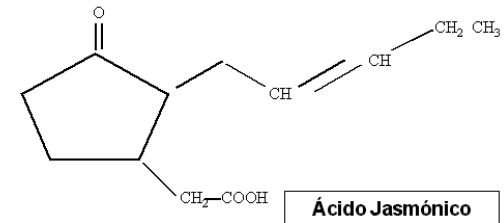
Senescência



Abscisão de folhas



Ácido jasmônico



Inibe a germinação de sementes



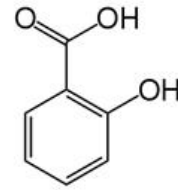
Inibe crescimento de raízes e caule



Causa degradação de clorofilas e folhas



Ácido salicílico

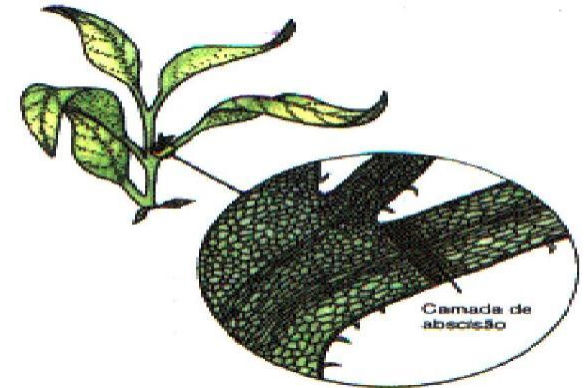


Inibe a germinação e o crescimento



Inibição da germinação pelo ác. salicílico

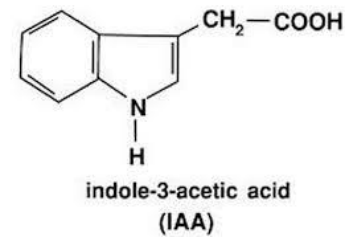
Abscisão das folhas



Interfere na absorção das raízes,
reduzindo a transpiração



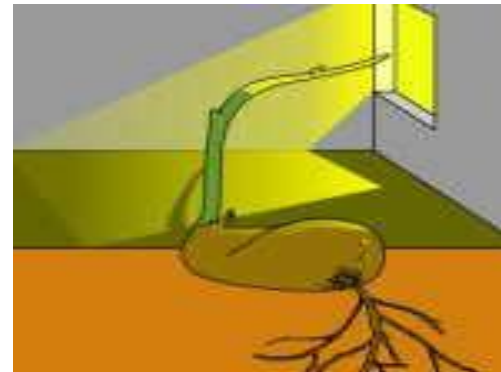
Auxinas



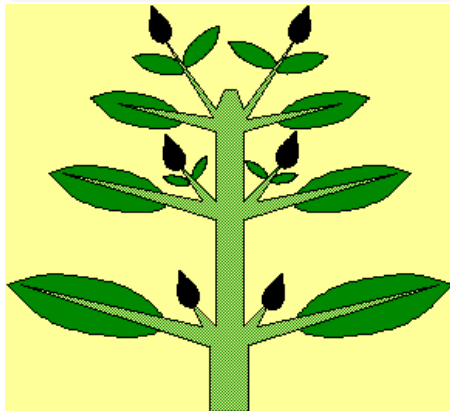
Alongamento celular



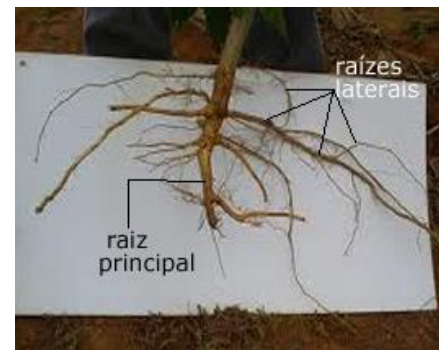
Fototropismo



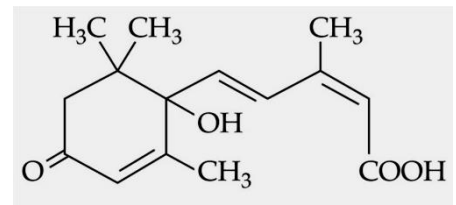
Dominância apical



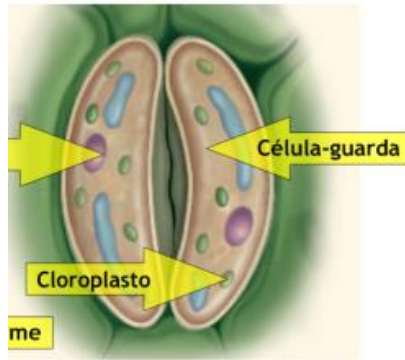
Formação de raízes laterais e adventícias



Ácido Abscísico (ABA)



Fechamento dos estômatos



Inibe o crescimento

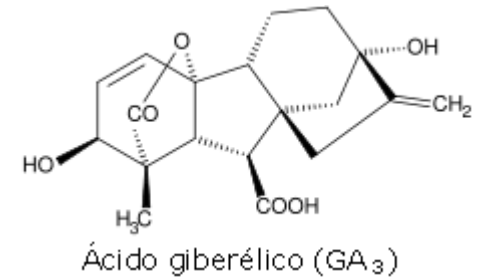
Dormência das
gemas

Queda das
folhas

Dormência das sementes

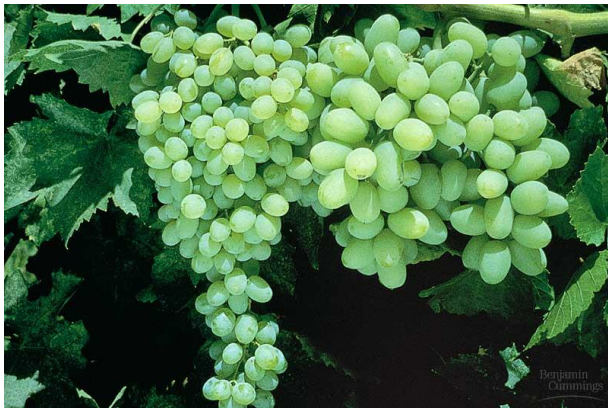


Giberelinas



❑ Efeito promotor de crescimento

Crescimento de frutos e folhas



Promove florescimento



Alongamento de haste e raízes

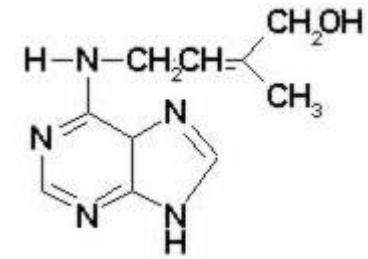


Without gibberellin

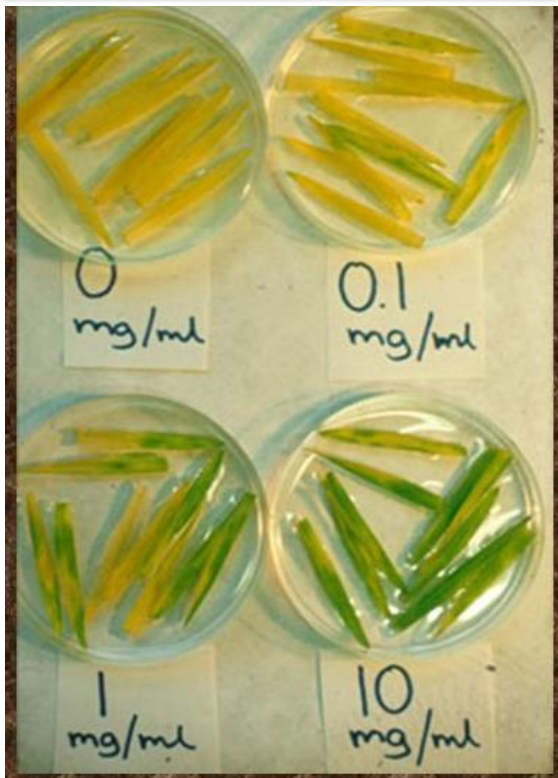
With gibberellin

LIFE: THE SCIENCE OF BIOLOGY, Seventh Edition, Figure 38.6 Bolling
© 2004 Sinauer Associates, Inc. and W. H. Freeman & Co.

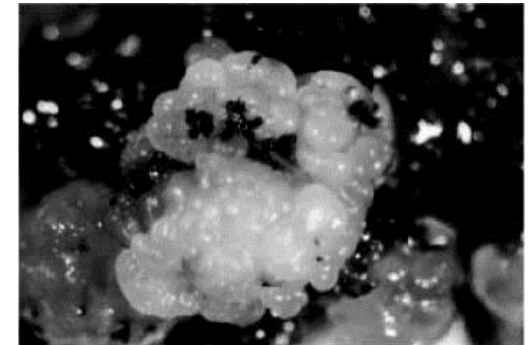
Citocininas



Inibição da senescência

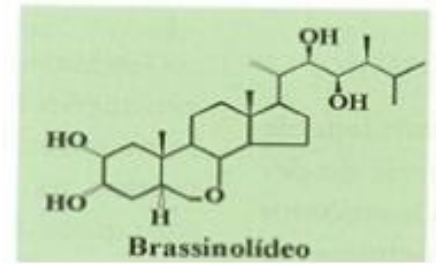


Estimula diferenciação e divisão celular



Estimula germinação e floração

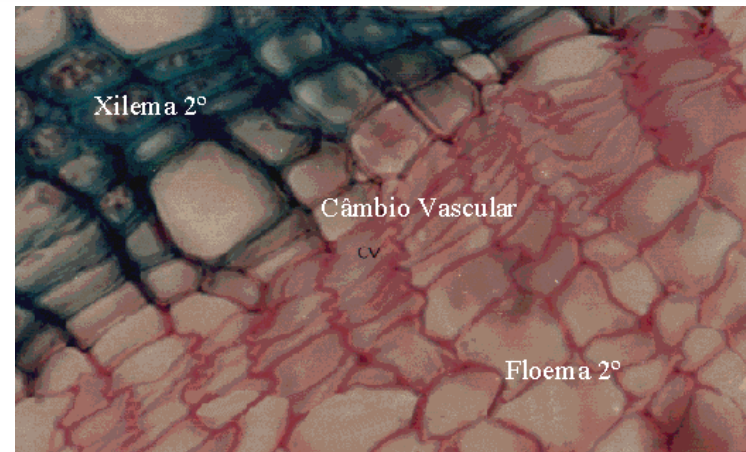
Brassinosteróides



Alongamento celular



Promovem a diferenciação do xilema



Promovem o crescimento do tubo polínico



Germinação de sementes



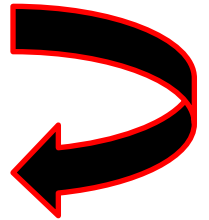
Fitopatógenos

Produzem fitormônios - Fator de virulência

Desequilíbrio hormonal



Crescimento anormal



Hipertrofia
Hiperplasia

- Superalongamento
- Galha
- Tumor
- Proliferação exagerada de caules e raízes
- Enfezamento
- Desfolha
- Epinastia
- Murcha
- Ferrugem

Fitopatógenos

auxina



Raízes de café

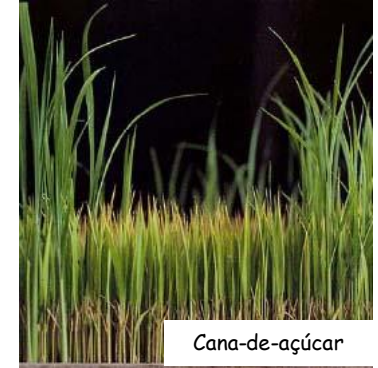
Nematóide (*Meloidogyne exigua*)
(galha)

Auxina e citocinina



Agrobacterium tumefaciens
(galha da coroa)

Giberelina



Cana-de-açúcar

Fungo *Gibberella fujikuroi*
(Super-alongamento)



Batata

Bactéria *Erwinia carotovora* (podridão mole)

etileno



berinjela

Fungo *Verticillium dahliae*
berinjela

ABA

Doenças em que a invasão pelo patógeno leva a crescimento anormal da planta (= alteração no estado hormonal) (Leite & Pascholati, 1995)

Doença	Agente causal	Hormônios envolvidos
“Bakanae”	<i>Giberella fujikuroi</i>	Giberelinas/auxinas
Carvão do milho	<i>Ustilago maydis</i>	Auxinas
Crespeira do pessegueiro	<i>Taphrina deformans</i>	Auxinas/citocininas
Fasciação	<i>C. fascians</i>	Citocininas
Ferrugem branca	<i>Albugo candida</i>	Auxinas
Galha da coroa	<i>A. tumefaciens</i>	Auxinas/citocininas
Galha das raízes	<i>Meloidogyne sp.</i>	Auxinas
Hérnia das crucíferas	<i>P. brassicae</i>	Auxinas
Murcha de Fusarium	<i>F. oxysporum</i>	Etileno/auxinas
Murcha de Verticillium	<i>V. albo-atrum</i>	ABA
Murchas bacterianas	<i>P. solanacearum</i>	Auxinas/etileno
Requeima da batata	<i>P. infestans</i>	Auxinas
Super alongamento da mandioca	<i>Sphaceloma manihoticola</i>	Giberelinas

Dificuldades no estudo dos reguladores de crescimento na patogênese

- Efeitos fisiológicos sobrepostos (muitos casos)
- Planta em crescimento e desenvolvimento normal $\leftrightarrow$ ação integrada de diversos tipos de hormônios (antagônicas ou sinérgicas)
- Aumento dos níveis hormonais indica acúmulo do hormônio produzido pela planta ou são compostos similares produzidos pelo patógeno?
- Difícil distinguir entre mudanças pós-infecção (ligadas a processos de resistência) daquelas relacionadas à patogênese (estabelecimento da doença)
- Concentrações variam entre diferentes partes da planta, com a idade da planta, com a extensão da infecção

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12270/abstract>

Effector interfering with auxin.

O metabolismo hormonal de plantas infectadas por bactérias

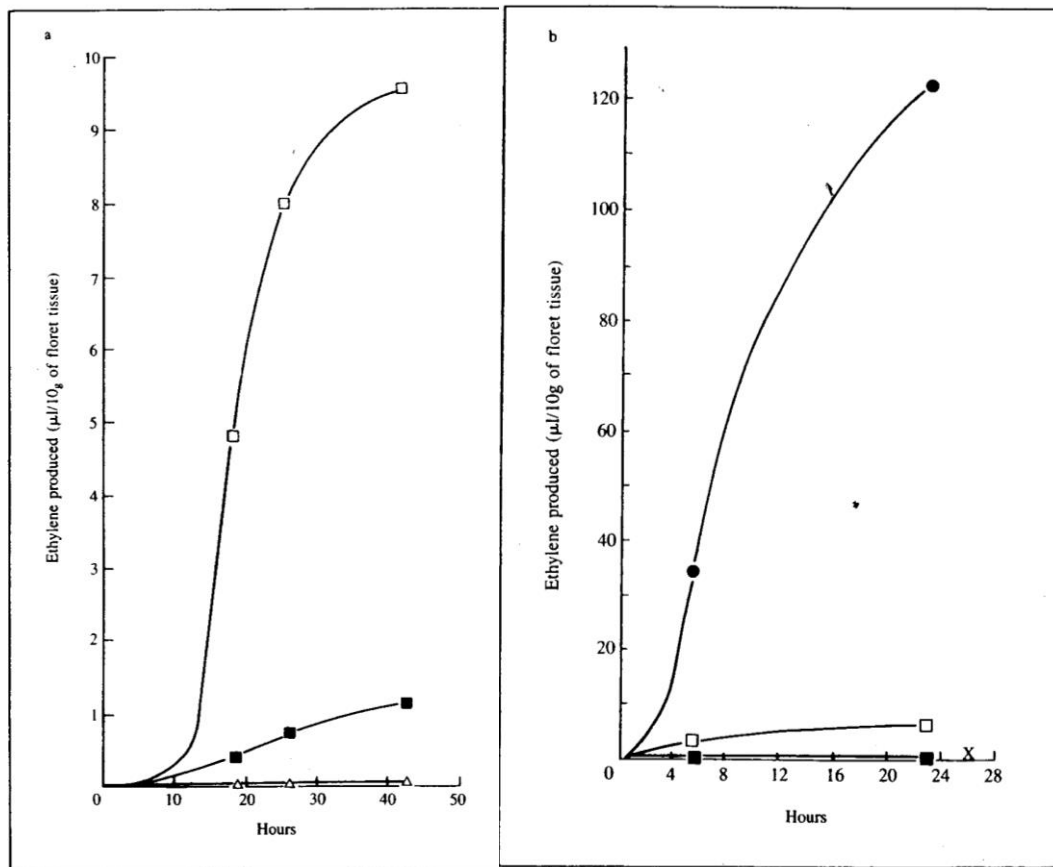


Fig. 7-17. (a) Stimulation of ethylene production dependent on both plant and bacterial enzymes. Floret tissue (10 g) was incubated in 8 ml of phosphate buffer (0.1 M), pH 6.8, to which the following additions were made: □, 2 ml of bacterial enzyme preparation; ■, 2 ml of autoclaved bacterial enzyme preparation; △, 2 ml of bacterial enzyme preparation, but enzymes of floret tissue had been inactivated by heat before addition (after Lund and Mapson, 1954).

(b) Stimulation by bacterial enzyme preparation from *E. carotovora* of the synthesis of ethylene from 4-methylmercapto-2-oxobutyric acid by homogenate of cauliflower tissue. Homogenate was prepared from floret tissue (20 g) with 15 ml of a solution containing 0.4 M sucrose, 2 mM EDTA, and 0.1 M phosphate buffer, pH 6.5. Homogenate (5g) was placed in each flask with the following additions: ●, oxo acid (3 mM) and bacterial enzyme preparation (0.5 ml); □, oxo acid (3 mM); ■, no addition; x, bacterial enzyme preparation (after Lund and Mapson, 1954).

Couve-flor infectadas por *Erwinia carotovora* ou *Xanthomonas campestris*:

Filtrados das bactérias induziram à produção de grandes quantidades de etileno

Agrobacterium tumefaciens: papel essencial do AIA na formação do tumor

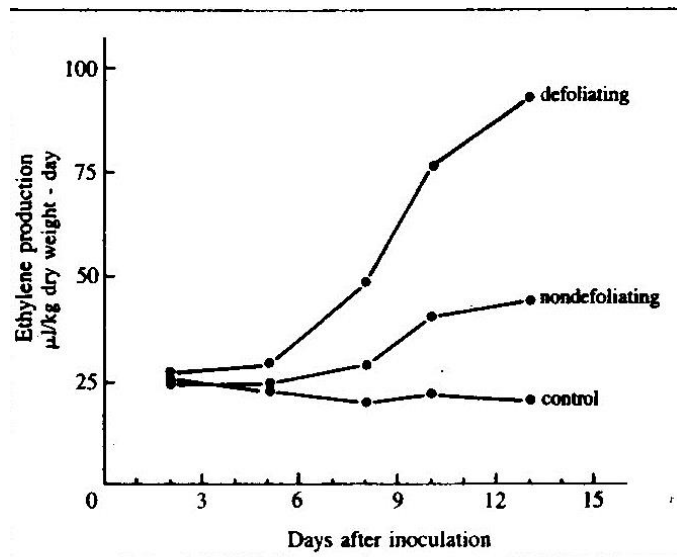


Plantas podadas e inoculadas: ocorre indução de tumor só com aplicação de AIA

Células do tumor adquirem grande capacidade de produzir AIA e citocininas

Galha da coroa em macieira

Queda de folhas correlacionada com queda no conteúdo de hormônios de crescimento ou com estímulo da ação do etileno e ABA



Algodão x *Verticillium albo-atrum*

Fig. 7-26. Ethylene production by healthy and infected plants at intervals after inoculation (after Wiese and DeVay 1999).

RESPIRAÇÃO

Boxe 21.1- Respiração aeróbica

A respiração aeróbica da glicose obedece à seguinte equação:



Trata-se de processo mitocondrial gerador de ATP (energia) através do qual um composto inorgânico (oxigênio) serve como aceptor final da oxidação de substâncias orgânicas (glicose) até compostos mais simples como água e gás carbônico. O ciclo do ácido cítrico gera NADH e FADH₂ e, para cada uma dessas moléculas oxidadas, dois elétrons são direcionados para a cadeia transportadora de elétrons, que reduz um átomo de oxigênio (1/2 de O₂), formando H₂O.

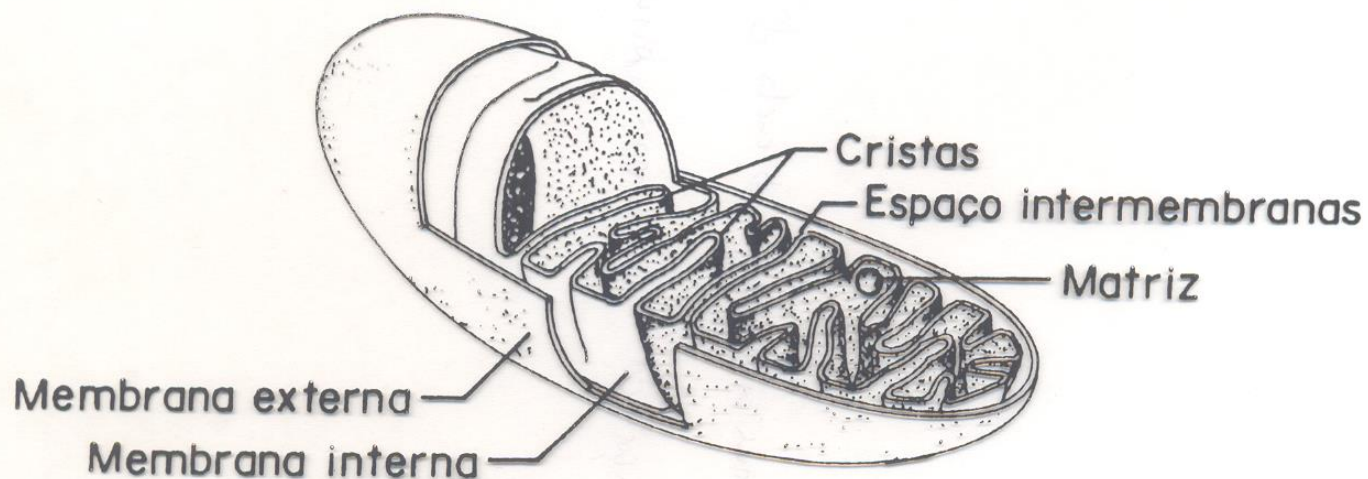
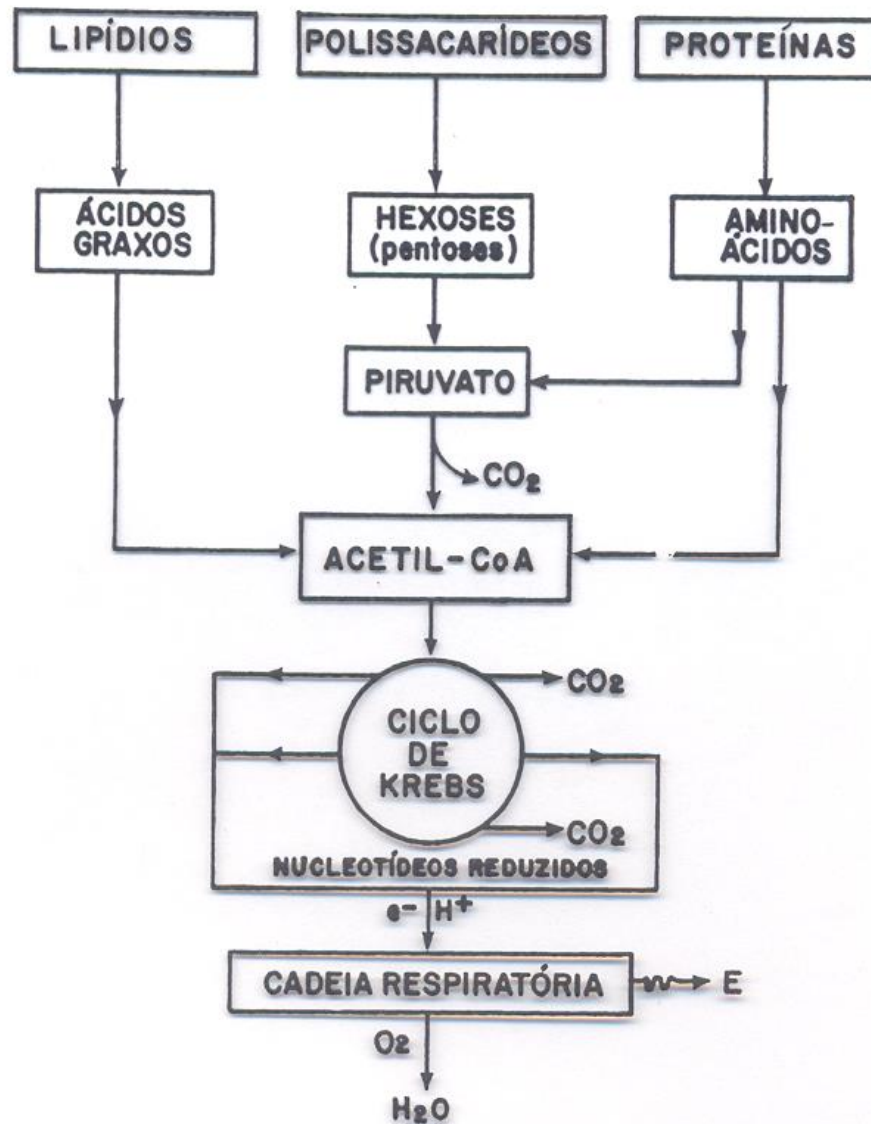


Figura 21.5 - Diagrama de um mitocôndrio (adaptado de Salisbury & Ross, 1978).

Respiração - Catabolismo dos principais substratos



AUMENTOS RESPIRAÇÃO



Comum à diferentes patógenos

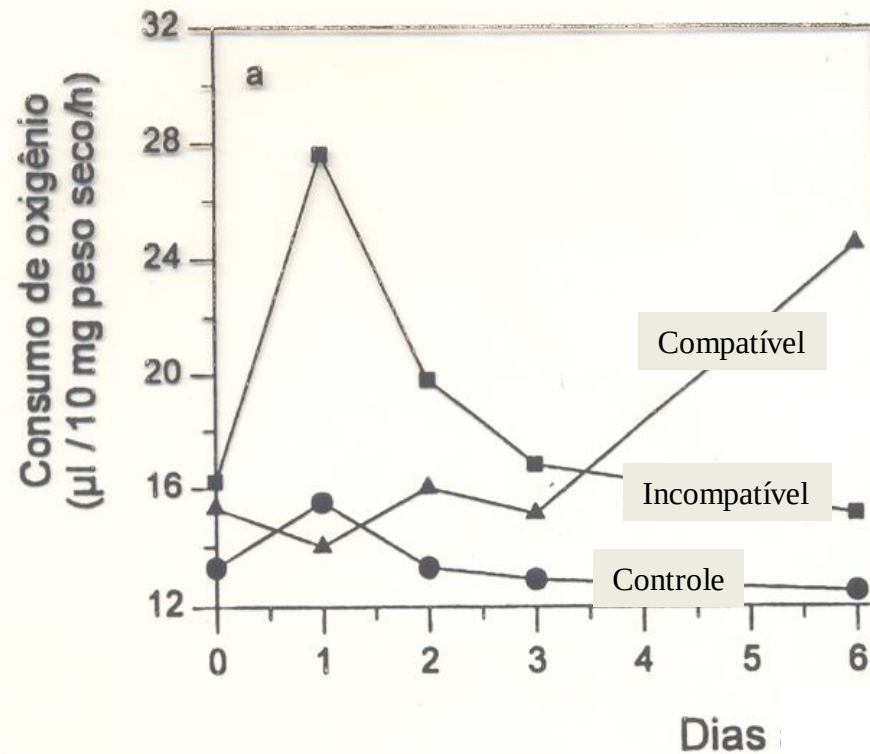
Interações resistência

- Biossíntese compostos x resistência

Interações suscetibilidade

- Fonte de carbono
 - Fonte de ATP
- Para Patógeno

Respiração em interações compatível e incompatível de cevada com *Erysiphe graminis*



↑ Respiração x mecanismos

- Desacoplamento fosforilação oxidativa x transporte eletrônico
- ↑ Atividade “caminho das pentoses fosfatadas”
- ↑ Atividade oxidases
- ↑ Biossíntese

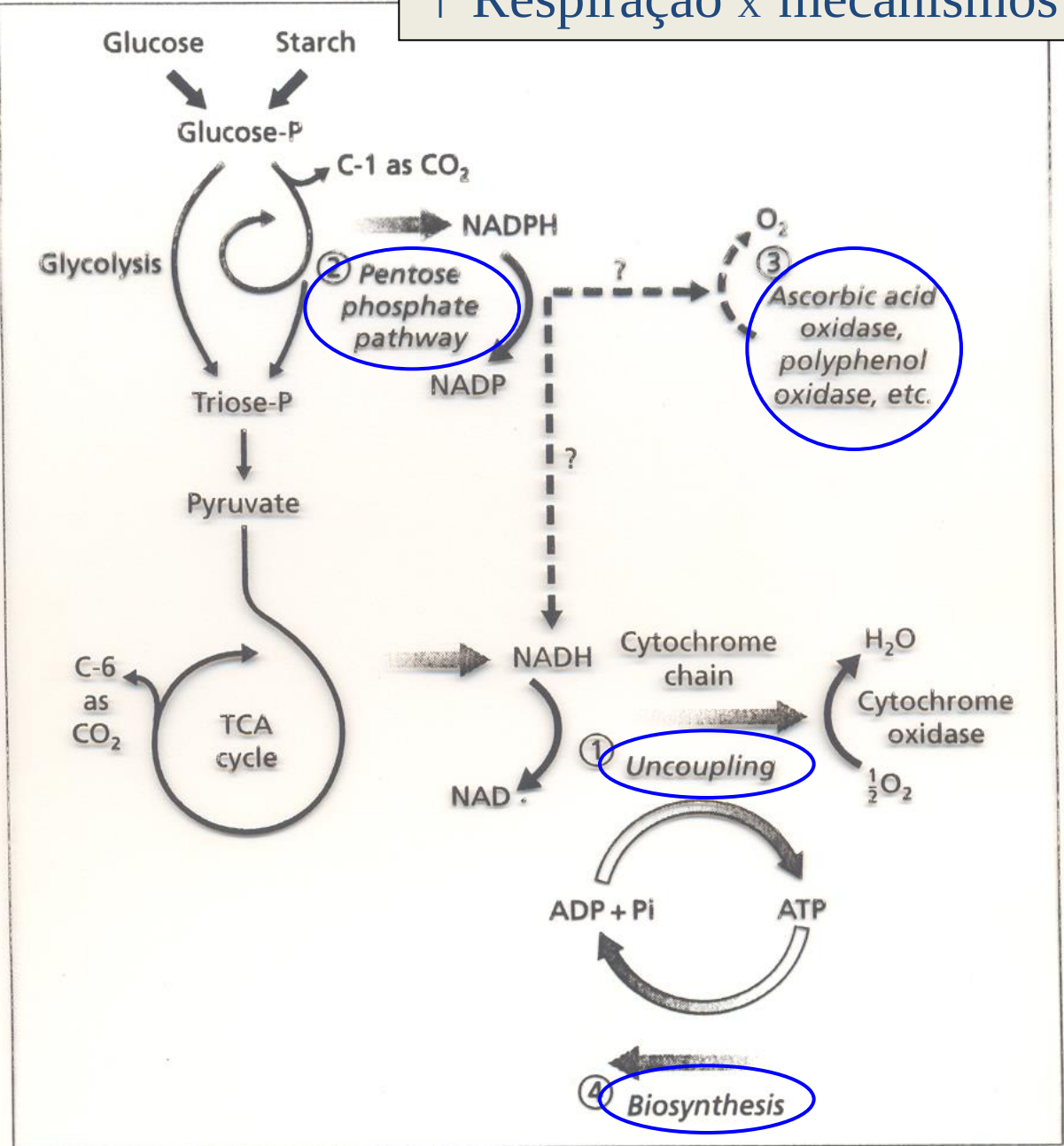
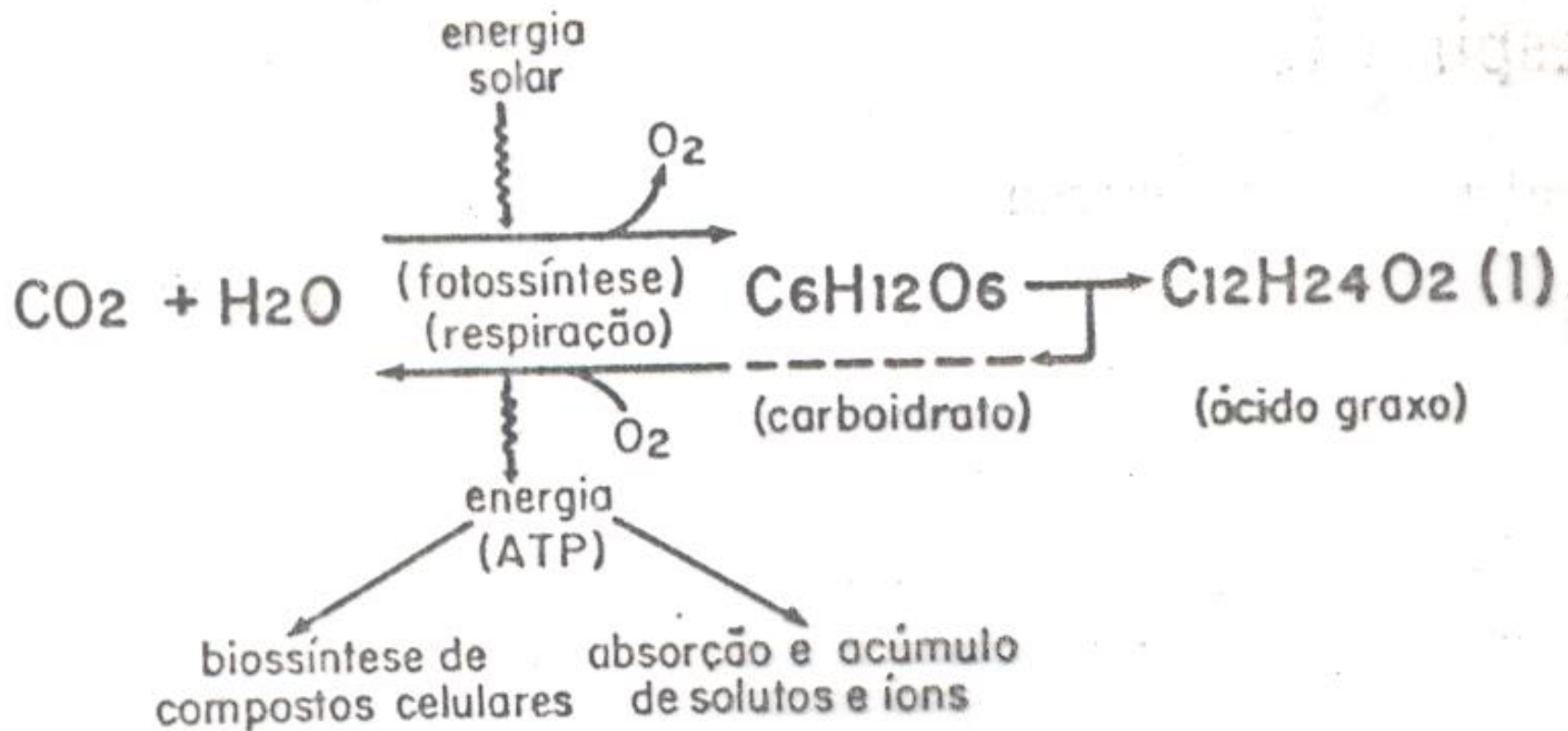


Fig. 7.2 Theories concerning stimulation of respiration in infected plants. ADP, adenosine diphosphate; ATP, adenosine triphosphate; NAD, nicotinamide adenine dinucleotide; NADH, reduced NAD; NADP, nicotinamide adenine dinucleotide diphosphate; NADPH, reduced NADP; Pi, inorganic phosphate; TCA, tricarboxylic acid. See text for further details of ①–④.



Em termos gerais: “a taxa de respiração aumenta em um tecido doente e, contrariamente, a taxa de fotossíntese tende a diminuir”.

FOTOSSÍNTESE x PATÓGENOS

- Clorose / amarelecimento
- Lesões / áreas necróticas
- Desfolha

Organismos não biotróficos – dano extensivo dos tecidos

REDUÇÃO FOTOSSÍNTESE !

(Nos estágios mais avançados da maior parte das doenças - taxa de fotossíntese reduzida em 75%)

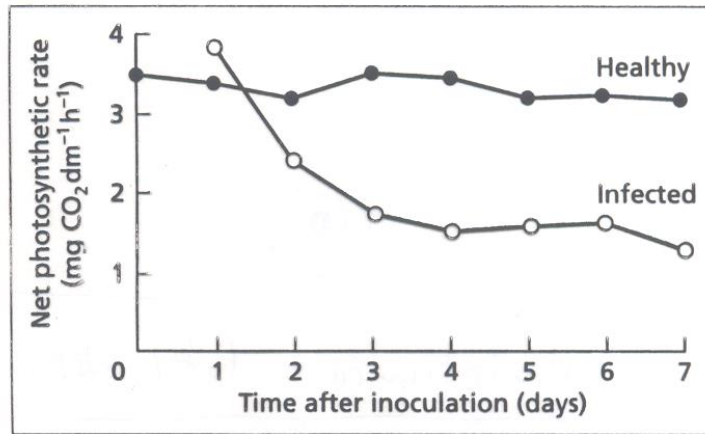


Fig. 7.3 Changes in photosynthesis of oak leaves following infection by the powdery mildew fungus *Microsphaera alphitoides*. (Data from Hewitt & Ayres 1975.)

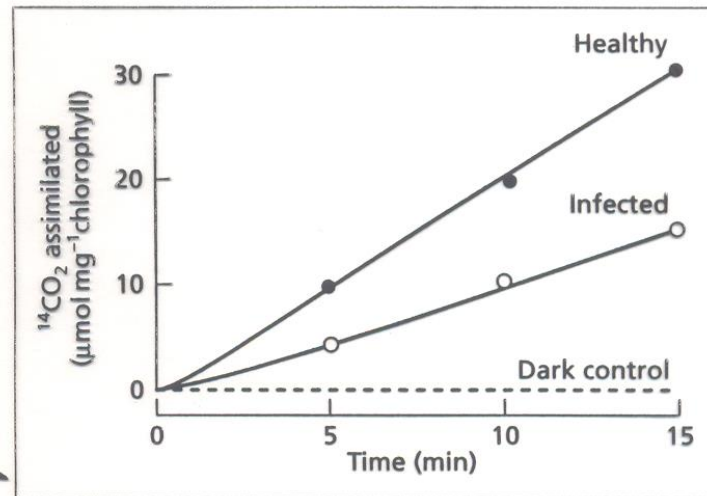


Fig. 7.4 Effect of *Erysiphe polygoni* on the rate of photosynthetic $^{14}\text{CO}_2$ assimilation by sugarbeet leaf discs. (Data from Magyarosy *et al.* 1976.)

MECANISMOS x FOTOSSÍNTESE

➡ Diminuição na captura de energia

- Orientação folha
- Área foliar (desfolha / má formação)
- Destruição tecido fotossintético
- Micélio na superfície

➡ Mudanças na taxa de “uptake” CO₂

- Comportamento dos estômatos
- Difusão no mesófilo

➡ Efeito de metabolitos (toxinas) produzidos pelos patógenos

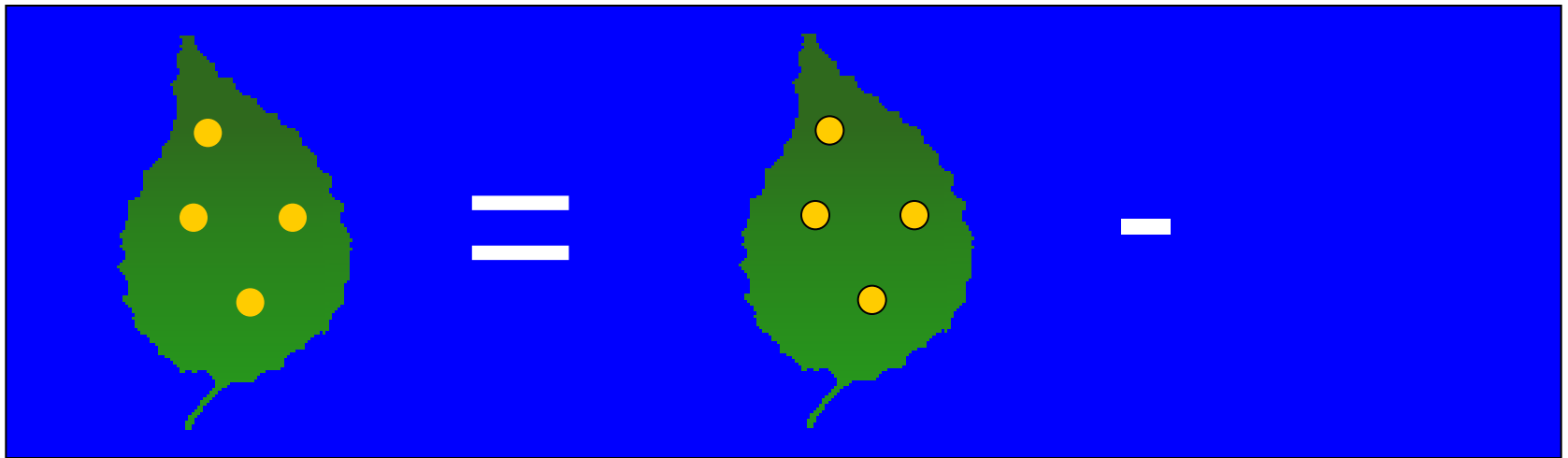
- Fotofosforilação
- Enzimas (ribulose 1,5 bifosfato carboxilase)

EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTETICA

“ A produção depende da quantidade de radiação interceptada pela porção verde da planta, assim como na eficiência da conversão dessa radiação ” – Johnson, 1987



EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTETICA

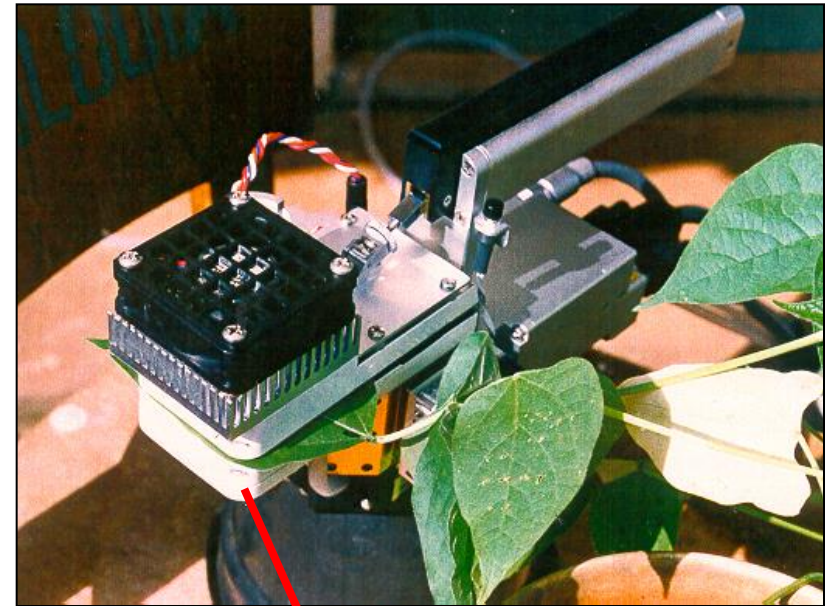


Eficiência fotossintética seria equivalente
a área verde remanescente (1-x)



EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTETICA

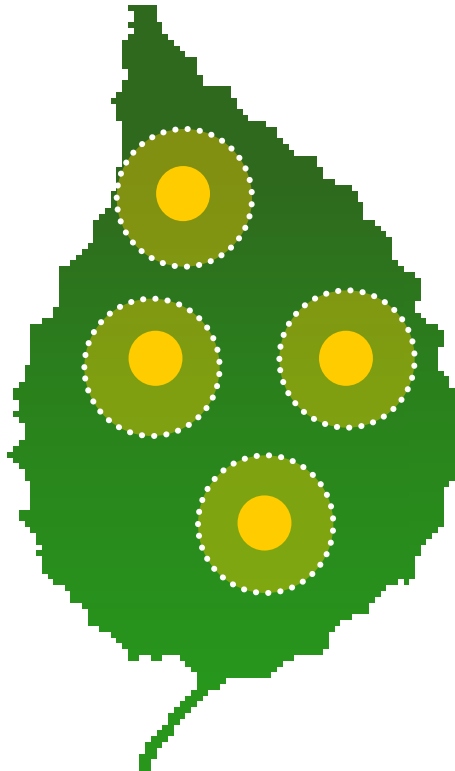
Eficiência fotossintética seria equivalente
a área verde remanescente (1-x)



câmara de
troca gasosa

LICOR 6400

EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTETICA



Fotossíntese alterada

<https://www.youtube.com/watch?v=fpgTD5pJoWQ>

Efeito da infecção por
CMV (Cucumber
mosaic virus) no
conteúdo de clorofila e
atividade de clorofilase
em discos de cotilédone
de pepino

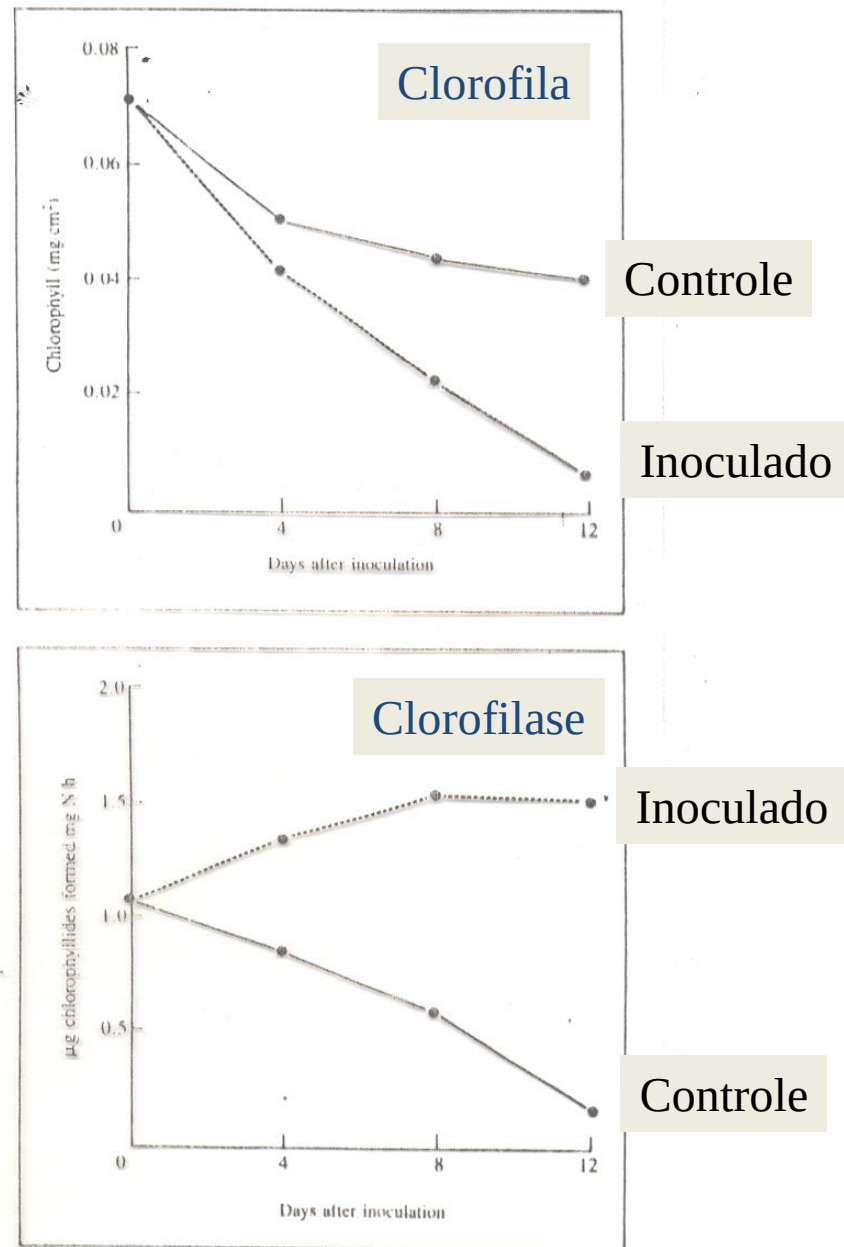
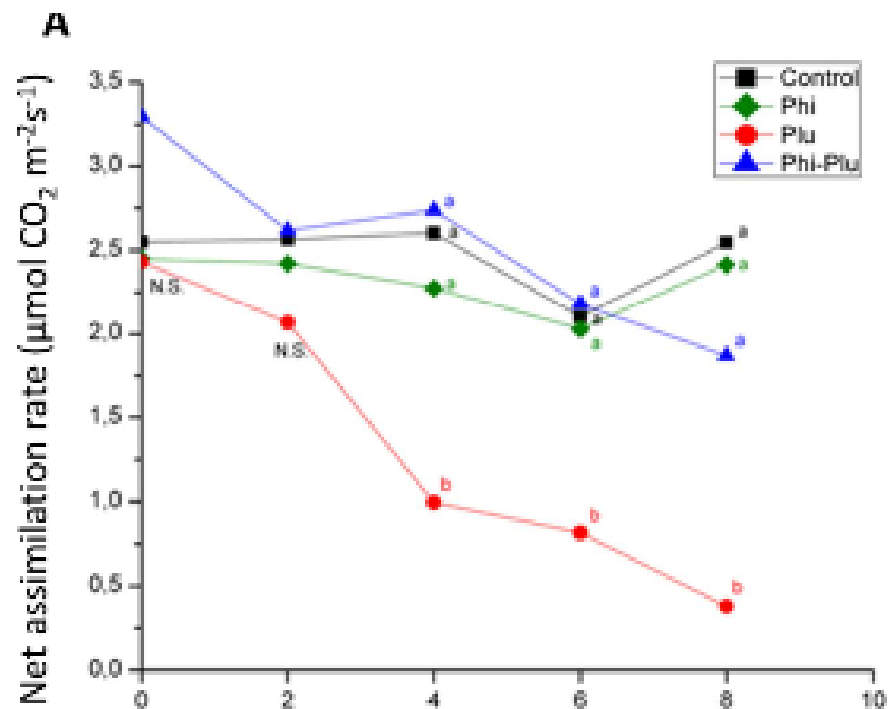


Fig. 2-14. The effect of infection by CMV on chlorophyll content (a) and chlorophyllase activity (b) of cucumber cotyledon discs; $\text{—}\bullet\text{—}$ = control (after Bailiss, 8).

Phosphite Protects *Fagus sylvatica* Seedlings towards *Phytophthora plurivora* via Local Toxicity, Priming and Facilitation of Pathogen Recognition

Ronaldo J. D. Dalio, Frank Fleischmann, Martina Humez, Wolfgang Osswald 

Published: January 28, 2014 • <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0087860>



Vídeo eficiência do fotossistema II

REDUÇÃO NO NÚMERO DE CLOROPLASTO

- Zucchini Yellow Mosaic Virus (ZYMV)



C – folhas de abóbora sadias V – folhas de abóbora vírus-infectadas

FECHAMENTO DOS ESTÔMATOS

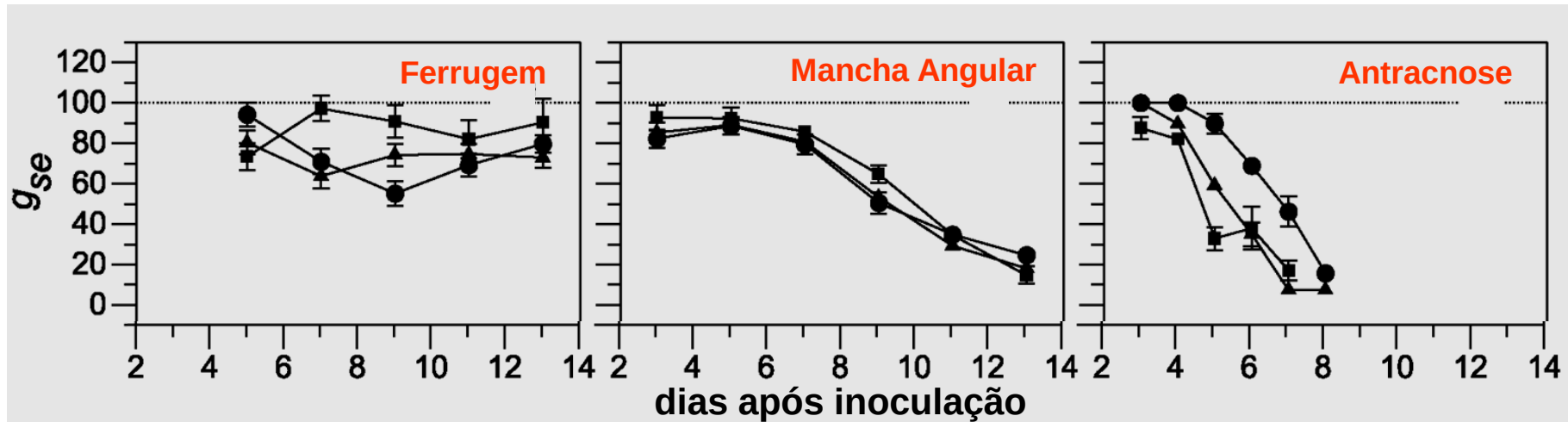


Fig. Condutância estomática em relação (%) a folha sadia

Bassanezi et al., 2002

INIBIÇÃO DO CICLO DE CALVIN

- Acúmulo de carboidratos

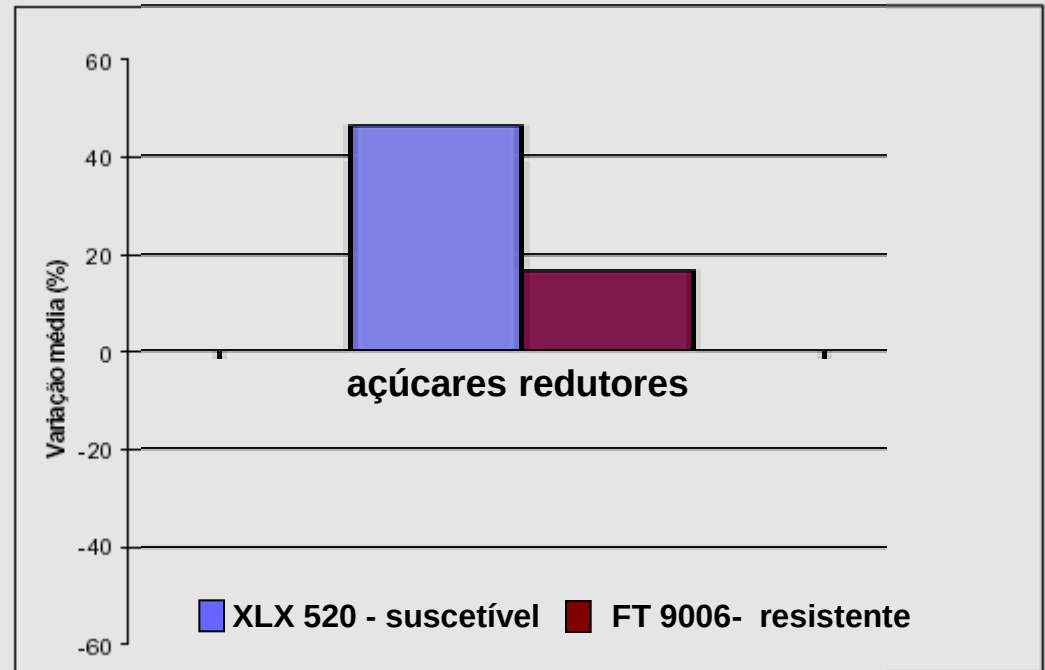


Fig. Relação(%) do teor de carboidrato em híbridos de milho com fitoplasma do enfezamento vermelho e plantas saudias

Junqueira, 2003

- Mudança na translocação de fotoassimilados (patógenos vasculares)
- ↑ atividade da invertase (α -glucosidase) - ↑ glicose, frutose

QUANTIDADE DA RUBISCO

- ***Phytophthora infestans***

- folhas infectadas com *P. infestans* ou tratadas com solução da cultura líquida do patógeno, redução nos níveis de mRNA que codificam rubisco
- sistêmica repressão gênica

- **Tagetitoxina**

- *Pseudomonas syringae*
- redução nos níveis de mRNA codifica grande subunidades da rubisco

REDUÇÃO NA FOTOSÍNTESE

- **Mecanismos físicos:**

- ↓ interceptação radiação solar
- fechamento dos estômatos ↓ CO_2
- ↓ difusão de CO_2
- redução ou destruição de clorofila (clorose) ou de cloroplastos (amarelecimento)

- **Mecanismos bioquímicos:**

- alteração na relação de solutos nas células do hospedeiro
- inibição na cadeia transportadora de elétrons
- redução na quantidade e/ou atividade de enzimas do ciclo de Calvin:
rubisco, frutose-1,6-bifosfatase
- acúmulo de carboidratos (retroinibição)
- seqüestro de fósforo inorgânico (Pi) do citoplasma ↓ ATP ↓ 3-fosfoglicerato