

# AUGU AIZSARGSAVIENOJUMI

---

# Aizsardzības vispārējie principi Iekšējās vides aizsardzība Ar pretestību saistītie savienojumi



# Aizsardzības vispārējie principi

## Iekšējās vides aizsardzība

### Ar pretestību saistītie savienojumi

# Fizioloģiskā atbildes reakcija uz vides apstākļu izmaiņu



# Aizsardzības īpašību raksturs

**AIZSARDZĪBA**

var būt

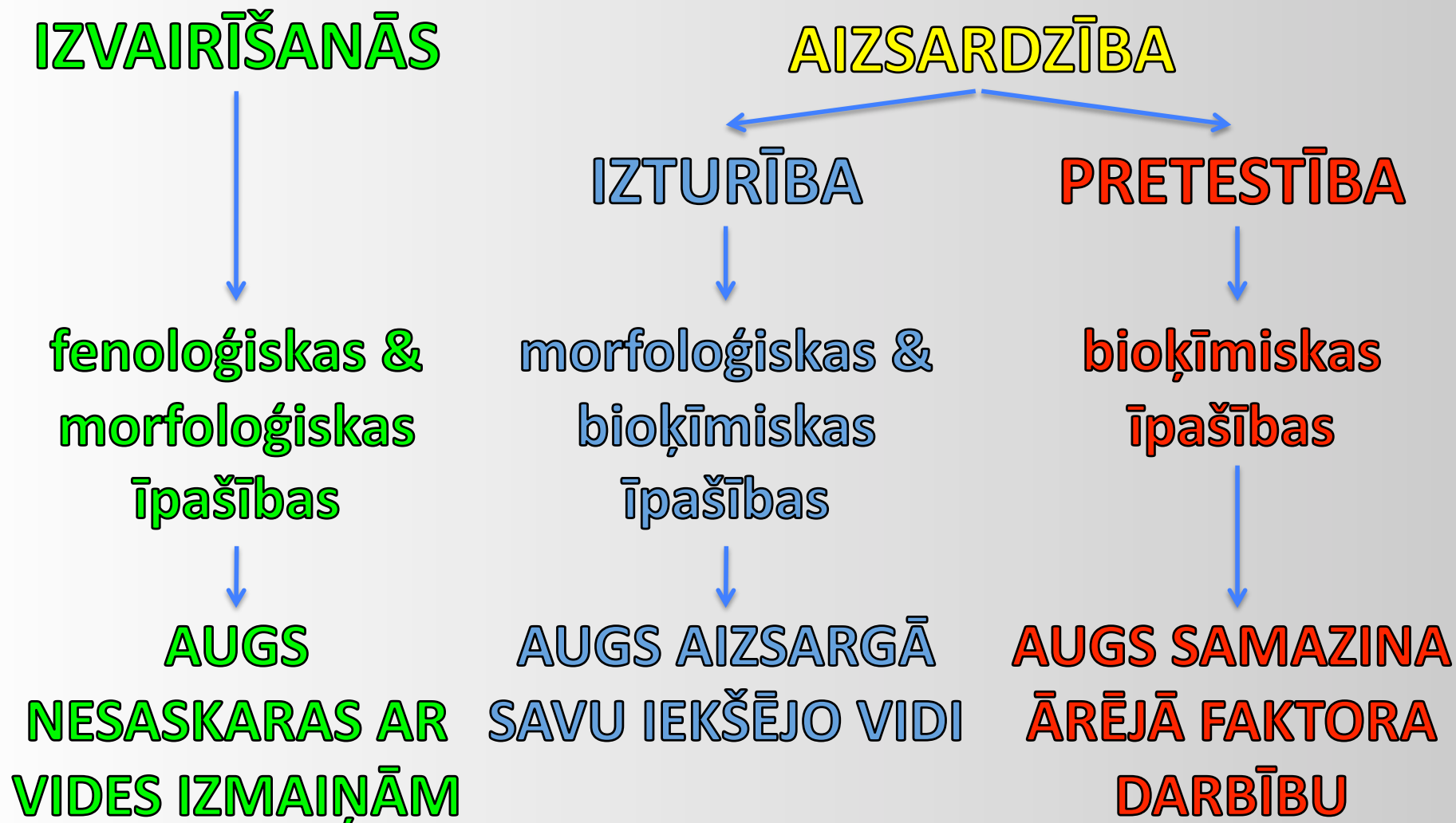
**PATSTĀVĪGĀ/  
KONSTITUTĪVĀ**

(piemīt visu  
laiku)

**IEROSINĀTĀ/  
INDUCĒTĀ**

(tikai pēc  
attiecīgā vides  
faktora  
ietekmes)

# Fizioloģiskie pielāgojumi iespējamai vides apstākļu izmaiņai / faktora ietekmei





# Fizioloģiskie pielāgojumi iespējamai vides apstākļu izmaiņai



# Augu aizsargsavienojumu klasifikācija

## PĒC RAKSTURA

- iekšējo vidi aizsargājoši savienojumi:
  - proteīni
  - mazmolekulārie savienojumi
- ar pretestību saistīti savienojumi:
  - proteīni
  - mazmolekulārie savienojumi
  - gaistošie savienojumi

# Patogēnu inducētie (PR) proteīni

1970. gadā izolē no tabakas, kura hipersensitīvi reaģē uz TMV infekciju

Uzskata, ka specifiski saistīti ar patogēnēzes procesu (*pathogenesis-related*)

## PR proteīni:

- nav konstatējami neinficētos augos;
- uzkrājas pēc infekcijas lokāli un sistēmiski;
  - lokalizācija šūnā:
    - skābie PR – starpšūnu telpā;
    - bāziskie PR – g.k. vakuolā.



# Patogēnu inducētie (PR) proteīni

GRUPA	RAKSTUROJUMS
PR-1	pretsēņu 14-17 kD
PR-2	endo-beta-glikanāzes (I, II, III) 25-35 kD
PR-3	endohitināzes (I, II, IV, V, VI, VII) 30 kD
PR-4	pretsēņu, endohitināzes aktivitāte
PR-5	pretsēņu, taumatīns, osmotīni, amilāzes inhibitori
PR-6	proteināžu inhibitori 6-13 kD
PR-7	endoproteināzes
PR-8	hitināzes (III), lizozīms
PR-9	peroksidāzes
PR-10	ribonukleāzes
PR-11	endohitināzes aktivitāte
PR-12	defensīni
PR-13	tionīni
PR-14	nespecifiski lipīdu pārneses proteīni (LTP)
PR-15	oksalāta oksidāze
PR-16	oksalāta oksidāzei līdzīgs

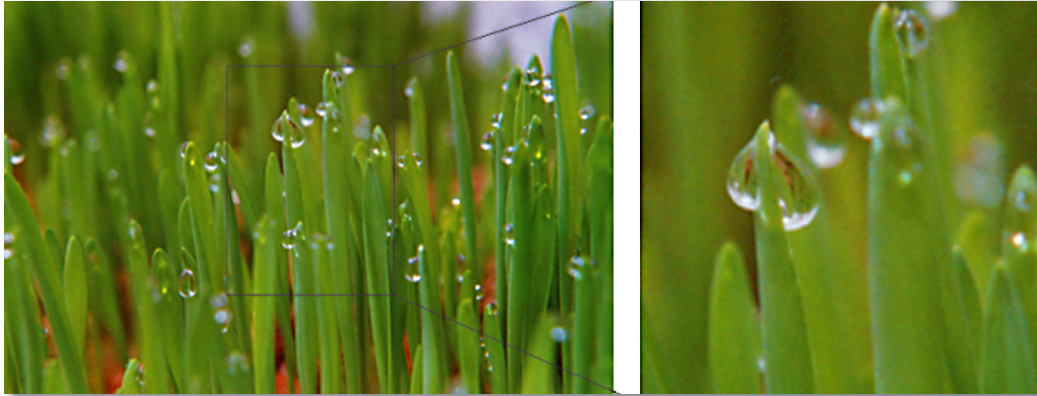
# Patogēnu inducētie (PR) proteīni

## GRUPA RAKSTUROJUMS

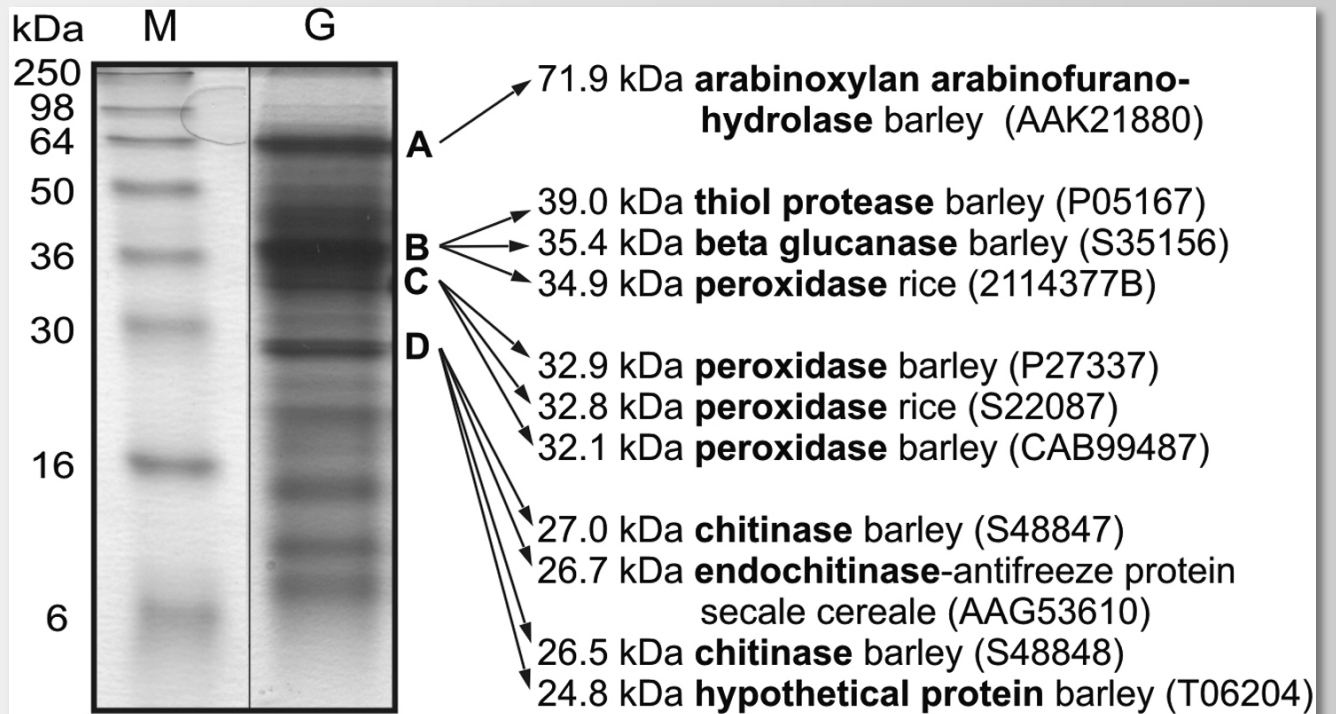
- PR-1 pretsēņu 14-17 kD
- PR-2 endo-beta-glikanāzes (I, II, III) 25-35 kD
- PR-3 endohitināzes (I, II, IV, V, VI, VII) 30 kD
- PR-4 pretsēņu, endohitināzes aktivitāte
- PR-5 pretsēņu, taumatīns, osmotīni, amilāzes inhibitori
- PR-6 proteināžu inhibitori 6-13 kD
- PR-7 endoproteināzes
- PR-8 hitināzes (III), lizozīms
- PR-9 peroksidāzes
- PR-10 ribonukleāzes
- PR-11 endohitināzes aktivitāte
- PR-12 defensīni
- PR-13 tionīni
- PR-14 nespecifiski lipīdu pārneses proteīni (LTP)
- PR-15 oksalāta oksidāze
- PR-16 oksalāta oksidāzei līdzīgs

INDUCĒJAS ARĪ  
AUGĒDĀJU  
IETEKMĒ

# Patogēnu inducētie (PR) proteīni



PR proteīnu  
lokalizācija  
neinficētu miežu  
dīgstu gutācijas  
šķidrumā



# Patogēnu inducētie (PR) proteīni

- atrodami intaktos neinficētos augos
- pieaug citu stresa faktoru ietekmē (ievainošana, aukstums, augēdāji)

NAV SPECIFISKI AUGU–PATOĢĒNU MIJEDARBĪBAI

# Augu aizsargsavienojumu klasifikācija

## PĒC FUNKCIJĀM

- **antioksidatīvā aizsardzība**
- **iekšējo vidi aizsargājoši savienojumi:**
  - membrānu un šūnapvalka protektori
    - proteīnu stabilizācija
  - osmotiskā un dehidratīvā aizsardzība
    - ledus kristalizācijas vadīšana
  - detoksifikācija (smagie metāli, ksenobiotiķi)
    - aizsardzība pret starojumu (PAR, UV)
- **ar pretestību saistīti savienojumi:**
  - oksidatīvie enzīmi & prooksidanti
    - antibiotiskie, antinutritīvie
  - gaistošie signāli (3. trofiskā sistēma)

Aizsardzības vispārējie principi

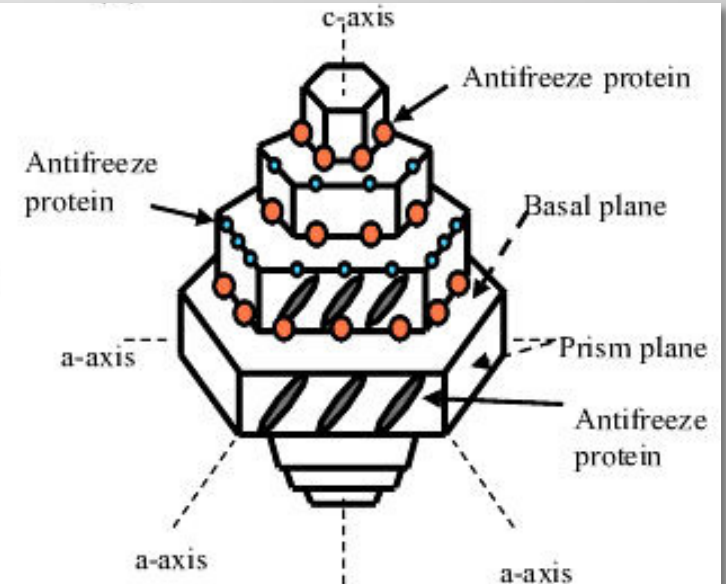
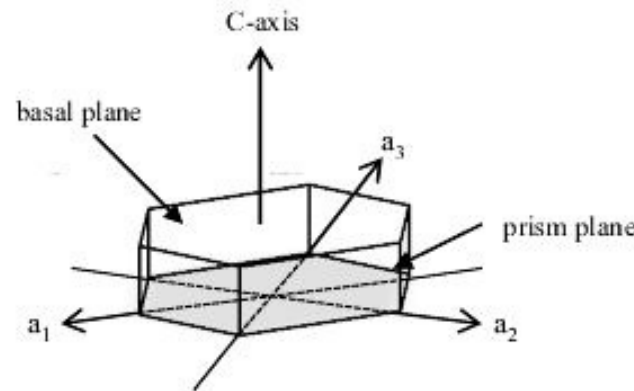
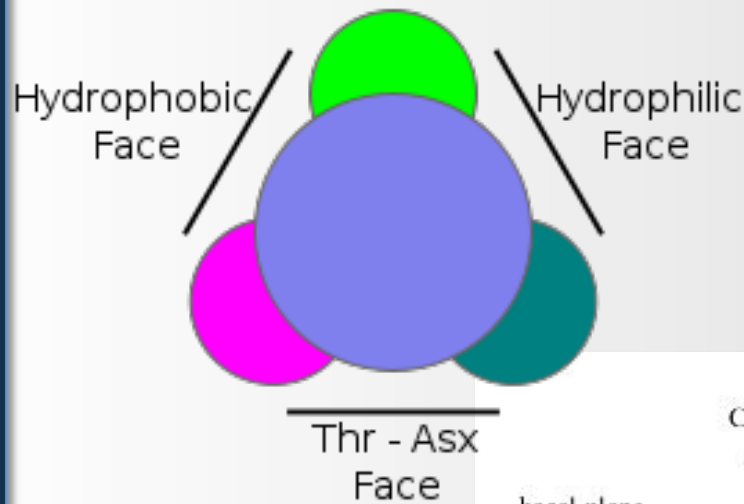
## **lekšējās vides aizsardzība**

Ar pretestību saistītie savienojumi

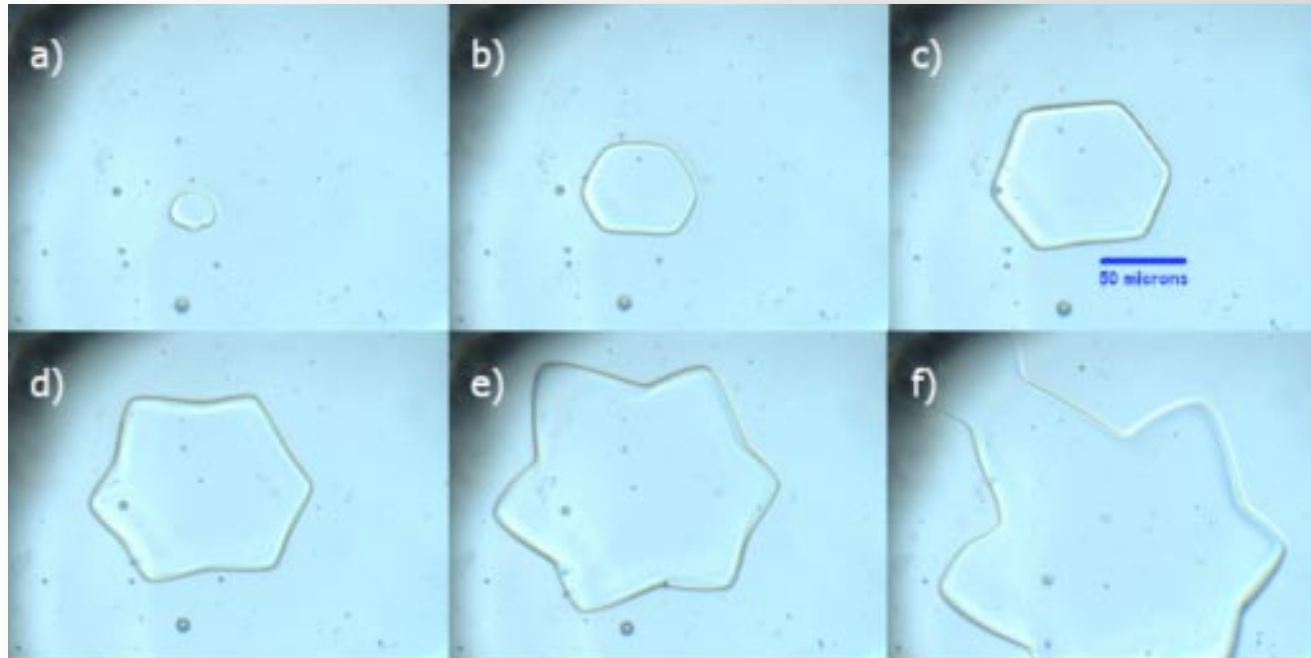


# Antifrīza proteīni

Kavē ledus kristālu augšanu,  
neļaujot ūdenim tiem piekļūt.  
PR proteīni, pretsēņu aktivitāte

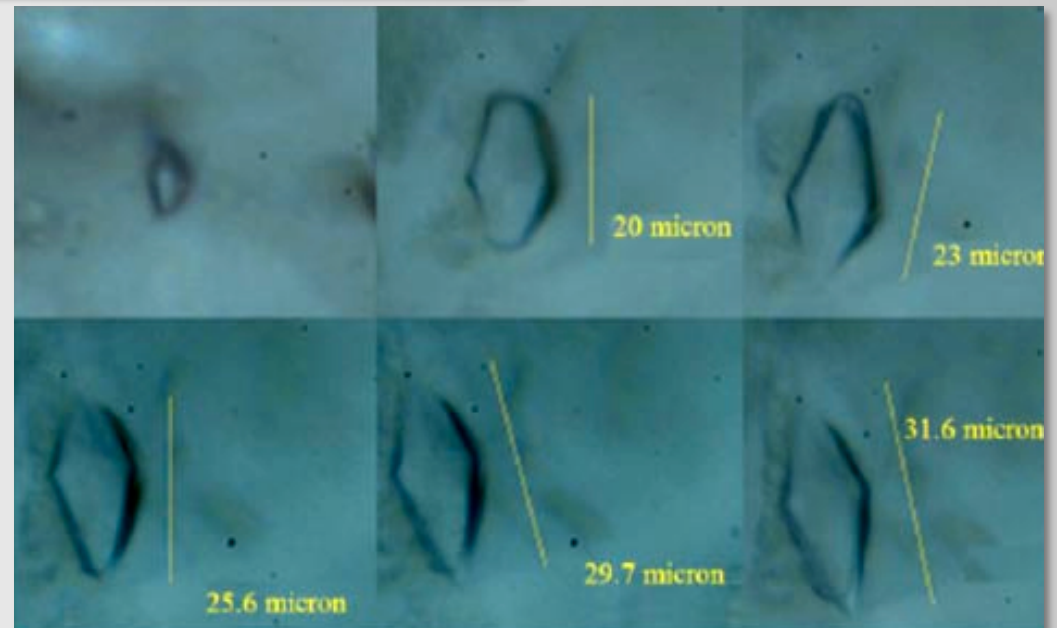


# Antifrīza proteīni



Tīrā ūdenī

AFP klātbūtnē





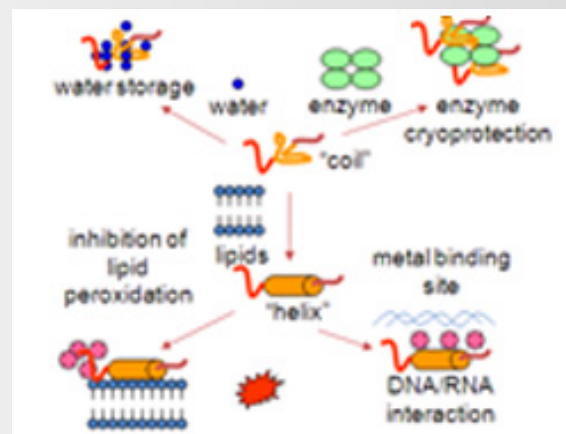
# Dehidrīni

Hidrofilī, termostabili LEA II grupas proteīni.

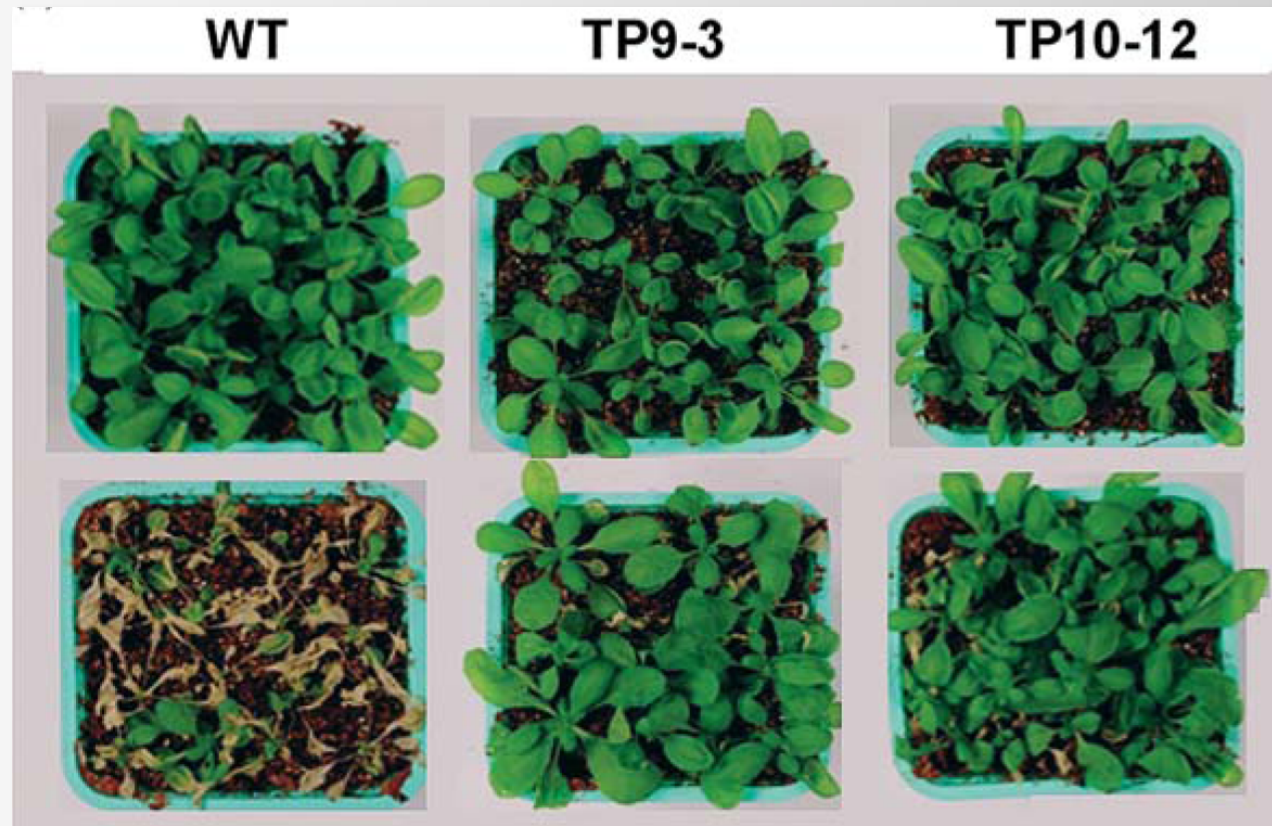
Sintēzi inducē aukstums un sausums.

Pasargā citus proteīnus no agregācijas.

Aizsargā membrānas



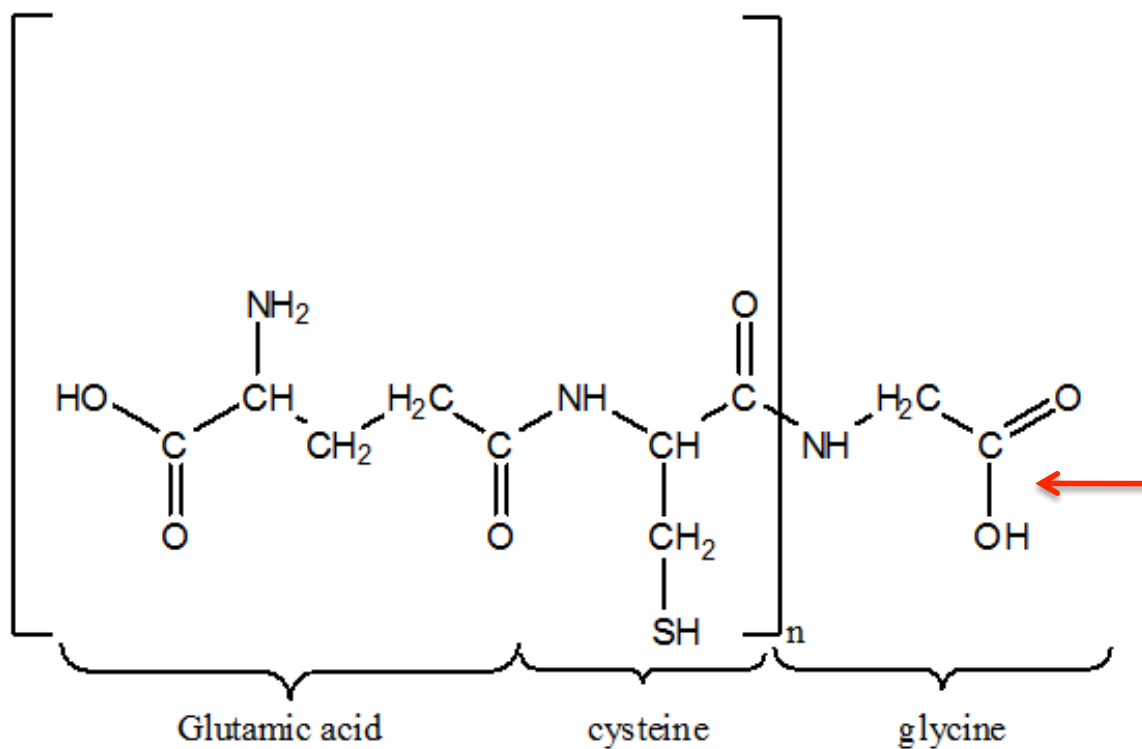
# Dehidrīni



-10 °C  
8 h

Dehidrīna pārekspresija palielina sala izturību  
*Arabidopsis thaliana*

# Fitohelatīni



Var aizvietot

ar:

Ala

Ser

Glu

Gln



Metālkompleksi peptīdi (nekodē gēni),  
no glutationa sintezē fitohelatīnu sintāze.

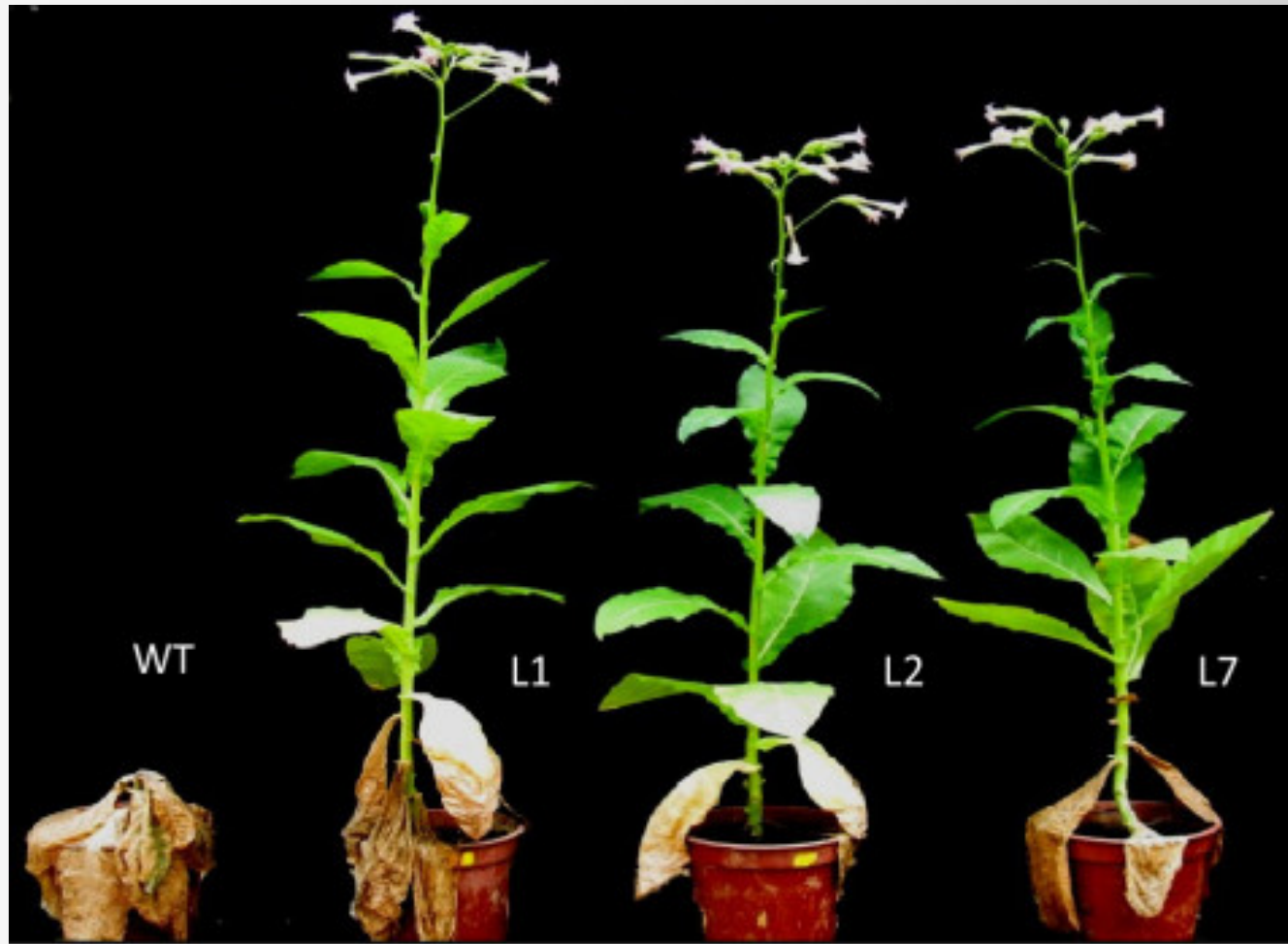
Piesaista smagos metālus (Cd, As), uzglabājas vakuolā

# Metalotioneīni



Metālkompleksi proteīni (kodē gēni).  
Satur metālus piesaistošu Cys domēnu.  
Piesaista smagos metālus (Cd, Zn, Cu, Hg, As u.c.)

# Metalotioneīni



Tabakas augi, kas pārekspresē metalotioneīna gēnu  
izdzīvo 200mM NaCl klātbūtnē

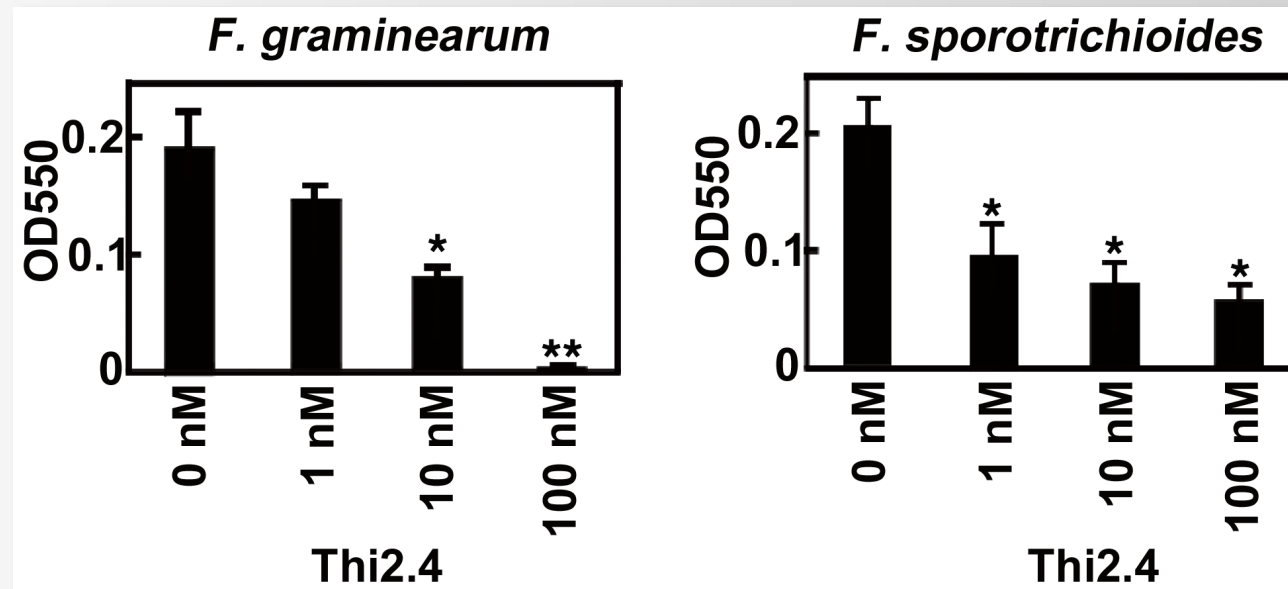
Aizsardzības vispārējie principi  
Iekšējās vides aizsardzība  
**Ar pretestību saistītie savienojumi**

# Osmotīni

Augu PR proteīni ar pretsēņu aktivitāti.  
Izraisa ātru šūnu bojāeju *Saccharomyces cerevisiae*

# Tionīni

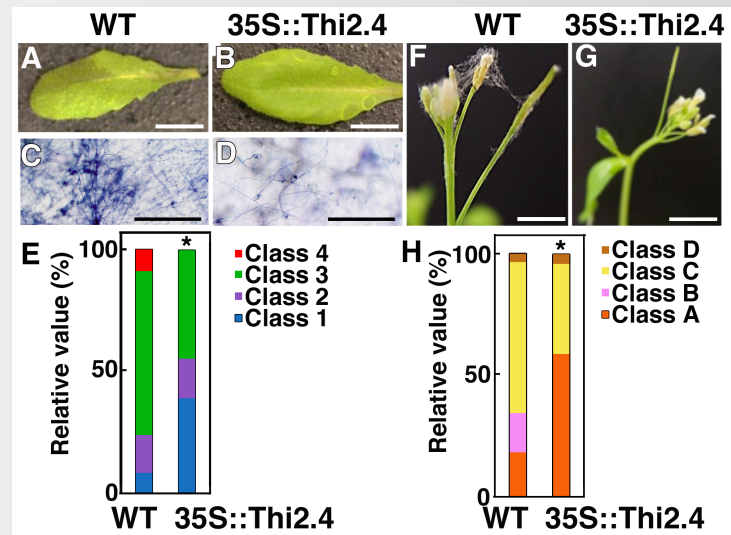
Augu PR proteīni ar pretbaktēriju un pretsēņu aktivitāti.  
Nelieli proteīni (44 – 47 amsk.)



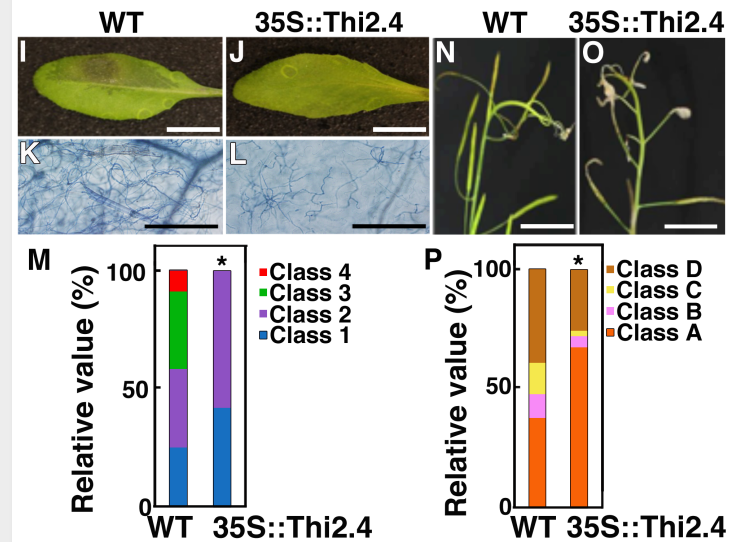
Inhibē *Fusarium* augšanu



# Tionīni



## *F. graminearum*

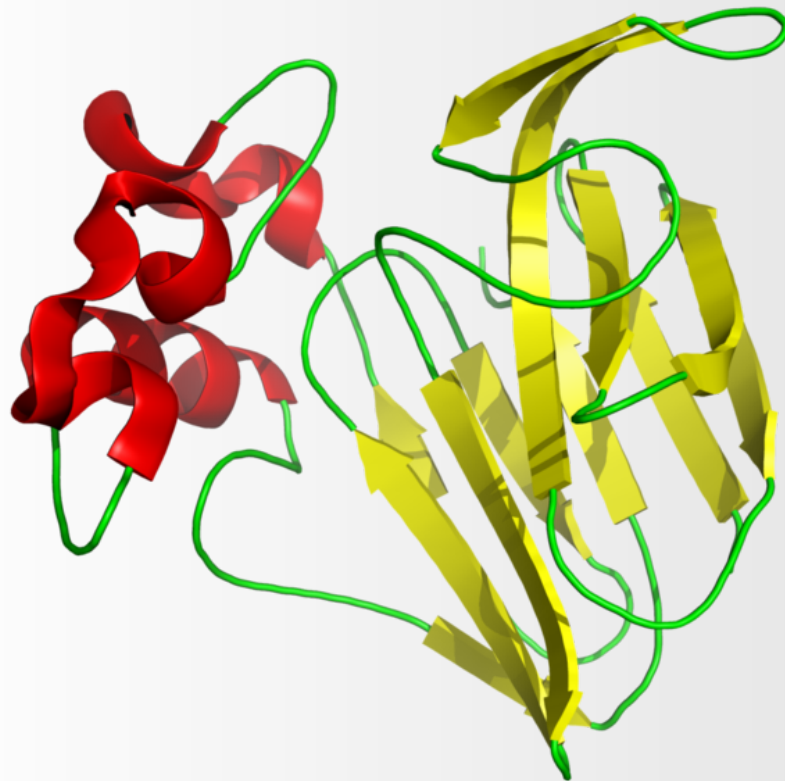


## *F. sporotrichioides*

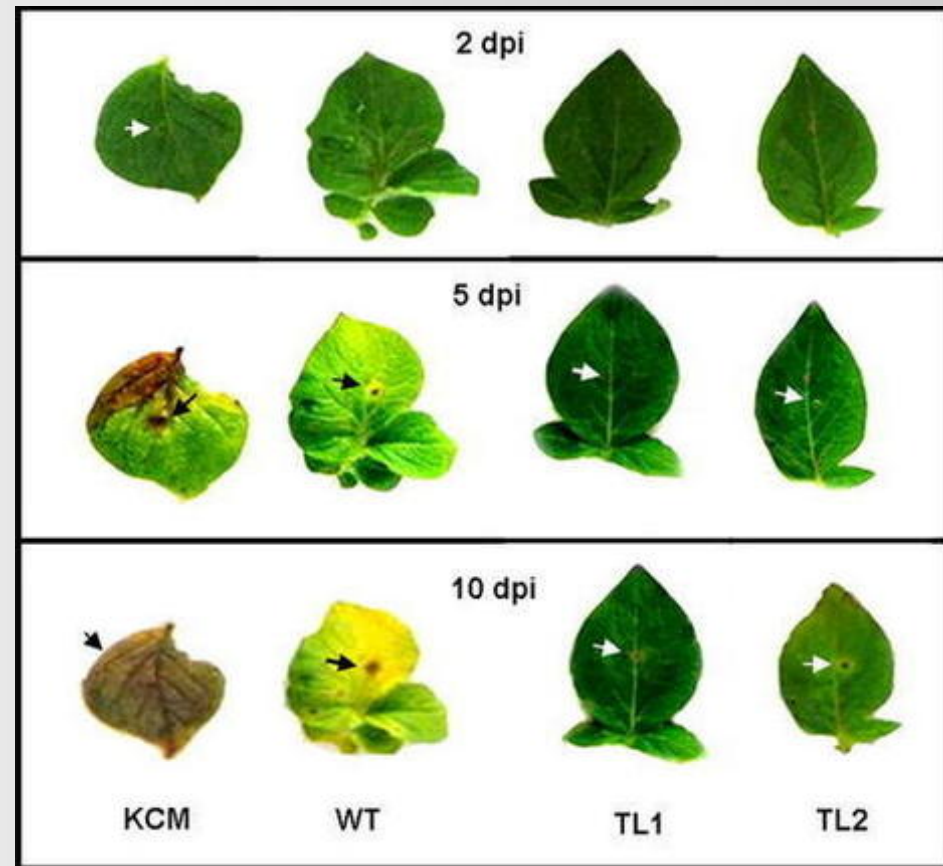
**Palielina *Arabidopsis* izturību pret *Fusarium***

# Taumatīns

Izolēts no *Thaumatococcus danielli* augļiem.  
Karstumizturīgs. Inducē vīrusu infekcija. PR proteīns



# Taumatīns



*Camellia sinensis* thaumatin-like protein ekspresija kartupeļiem rada rezistenci pret *Macrophomina phaseolina* un *Phytophthora infestans*

# Lītisko enzīmu inhibitori

Kavē biotisko aģentu lītisko (sašķeļošo) enzīmu darbību.

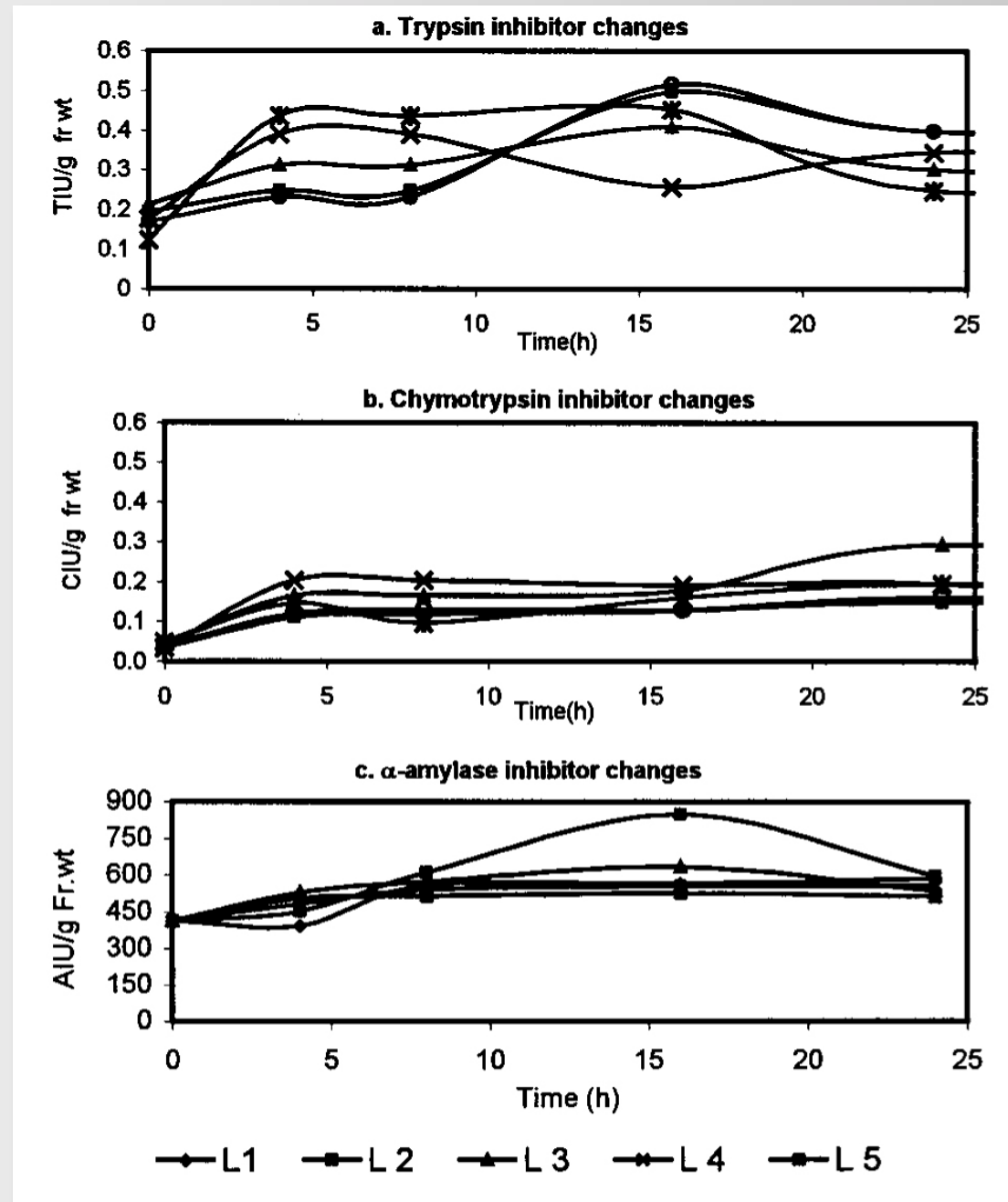
Patogēna gadījumā (ārpusorganisma barošanās):  
kavē augu šūnu sadalīšanu un komponentu uzņemšanu

Augēdāja gadījumā:  
bremzē uzņemto barības vielu (proteīni, ciete)  
sašķelšanu un izmantošanu

- **Proteāžu (proteīnāžu) inhibitori**  
(vairāk nekā 10 veidi)
  - **Amilāzes inhibitori**
  - **Poligalakturonāzes inhibitori**

# Lītisko enzīmu inhibitori

Lapu ievainojums  
*Ipomea batatas*  
inducē lītisko  
enzīmu inhibitoru  
sintēzi



# Proteāžu (proteīnāžu) inhibitori

Proteolītisko enzīmu (proteāžu, proteīnāžu) inhibitori (PI).

Proteīni vai peptīdi, kas piesaistās proteolītiskā enzīma molekulai.

Inhibē gan posmkāju, gan mikroorganismu proteīnāzes.

**Klasificē atbilstoši proteīnāzes tipam, ko inhibē PI:**

- **serīna PI – galvenais PI augos (serīna proteīnāze – galvenais kukaiņu proteolītiskais enzīms;**
  - **cisteīna PI;**
  - **asparagīnskābes PI;**
  - **metāla-PI.**

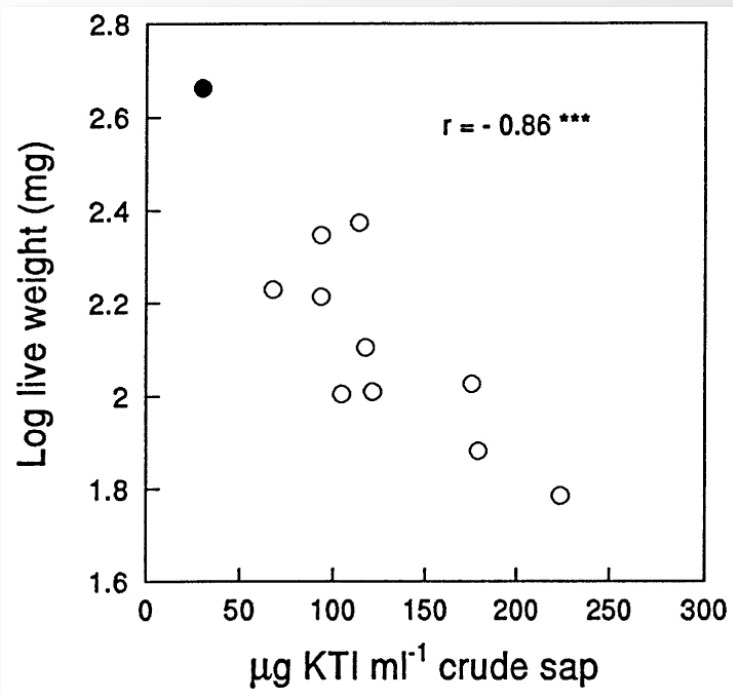


# Proteāžu (proteināžu) inhibitori

Cisteīna PI no sojas sēklām ir gan pretsēņu aktivitāte, gan PI aktivitāte, kas atkarīga no dažādiem aktīvajiem centriem:

<b>MODIFIKĀCIJA</b>	<b>PRETSĒŅU AKTIVITĀTE</b>	<b>PI AKTIVITĀTE</b>
<b>Kontrole</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Cisteīns</b>	<b>0</b>	<b>94</b>
<b>Lizīns</b>	<b>100</b>	<b>102</b>
<b>Tirozīns</b>	<b>100</b>	<b>90</b>
<b>Aspar.sk./Glut.sk.</b>	<b>0</b>	<b>90</b>
<b>Histidīns</b>	<b>100</b>	<b>190</b>
<b>Arginīns</b>	<b>0</b>	<b>158</b>
<b>Serīns</b>	<b>100</b>	<b>0</b>

# Proteāžu (proteināžu) inhibitori



Sojas *Kunitz* tripsīna  
proteināzes inhibitora  
ekspresija tabakai palielina  
izturību pret  
*Spodoptera littoralis*

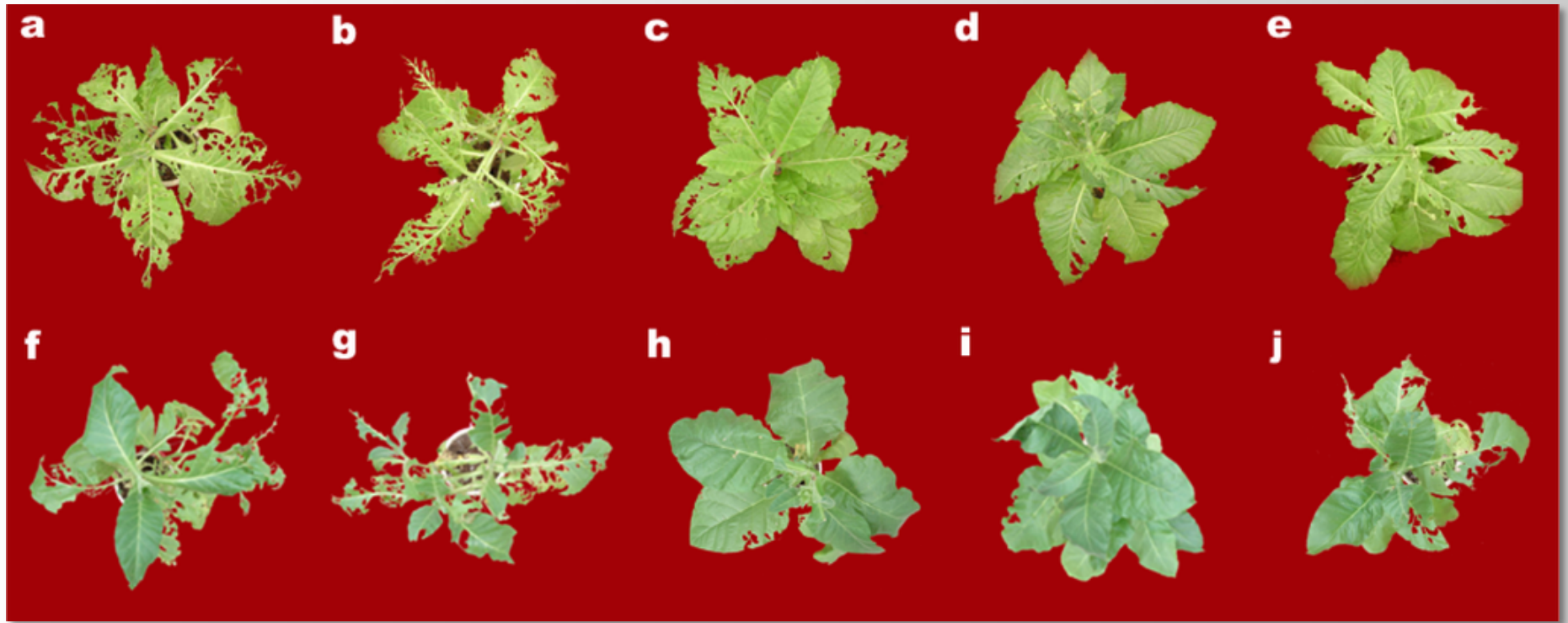


Control

Transgenic  
( $KTi_3$ )

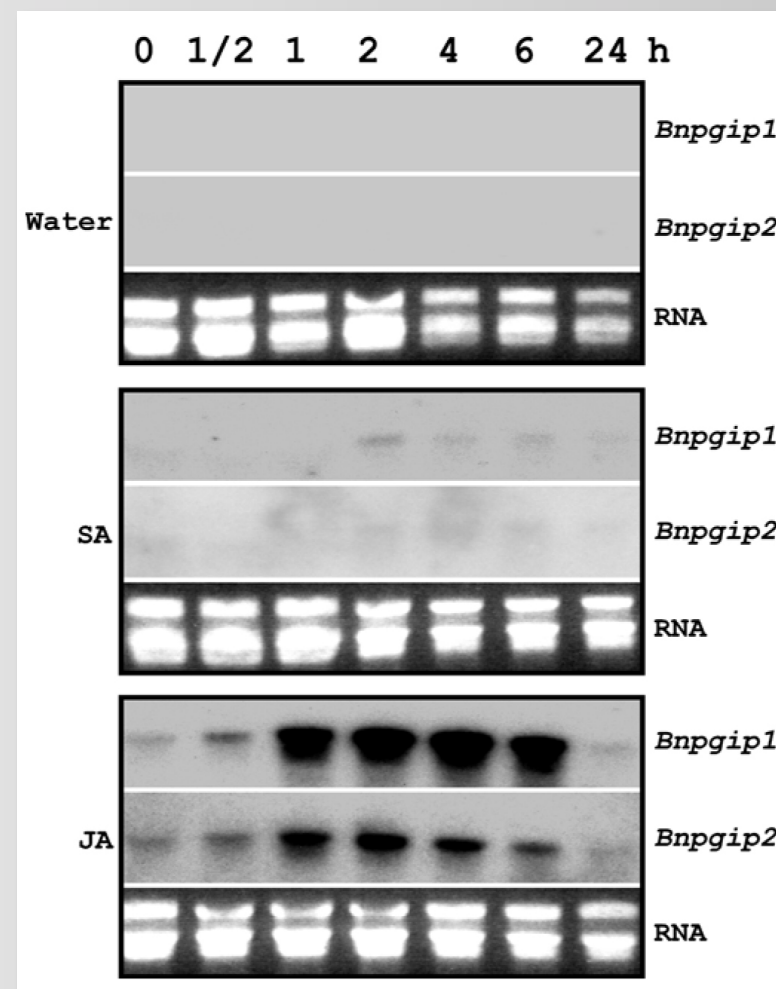
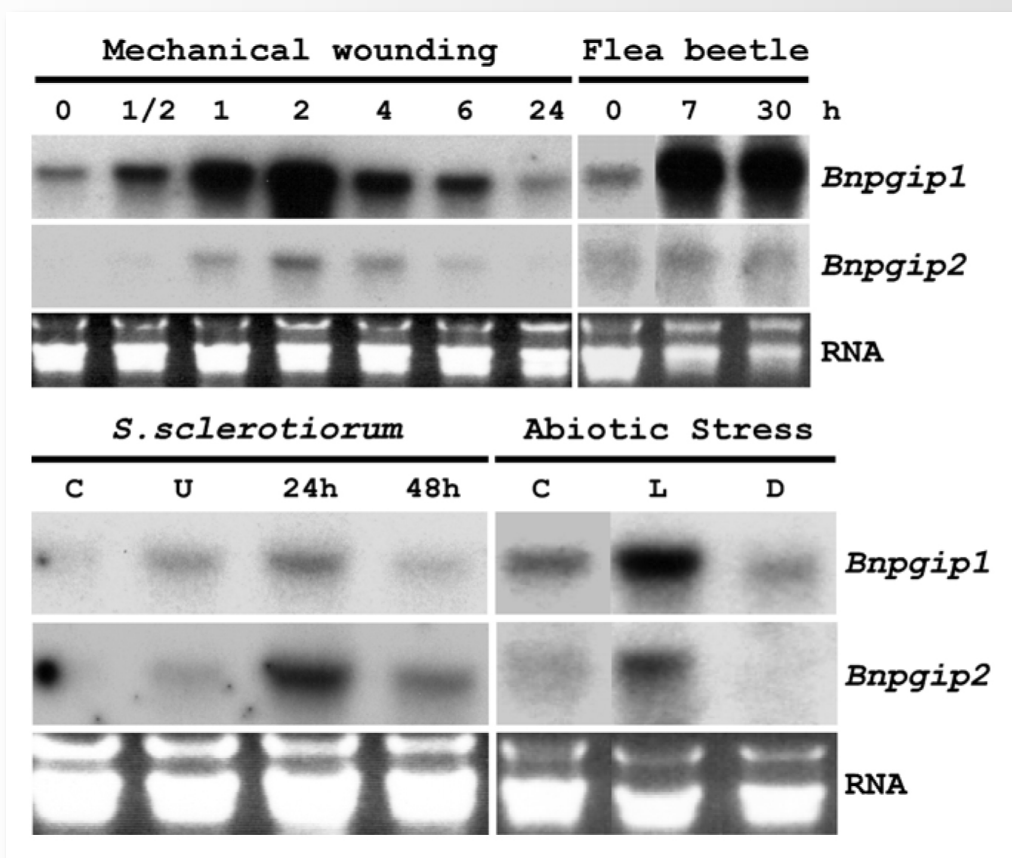


# Serīna proteāzes inhibitori



Pārekspresija tabakas augos izsauc rezistences  
pieaugumu pret *Helicoverpa armigera* un  
*Spodoptera litura*

# Poligalakturonāzes inhibitori



Poligalakturonāzes inhibitorus no *Brassica napus* inducē dažādas stresa ietekmes un jasmonāts kā endogēnais regulators

# Oksidatīvie enzīmi

Enzīms	Antinutrients	Citas funkcijas
POLIFENOLOKSIDĀZE	+	?
PEROKSIDĀZE	+	+
LIPOKSIGENĀZE	+	+
ASKORBĪNSKĀBES OKSIDĀZE	+	?

Oksidatīvo enzīmu antinutritīvais efekts saistīts ar to spēju sadalīt biotiskajam aģentam (augēdājs, patogēns) nepieciešamās barības vielas

# Oksidatīvie enzīmi – polifenoloksidāze

**Polifenoloksidāze (PPO) katalizā fenolu savienojumu oksidāciju ar molekulāro skābekli, veidojot orto-hinonus.**

## ORTO-HINONI:

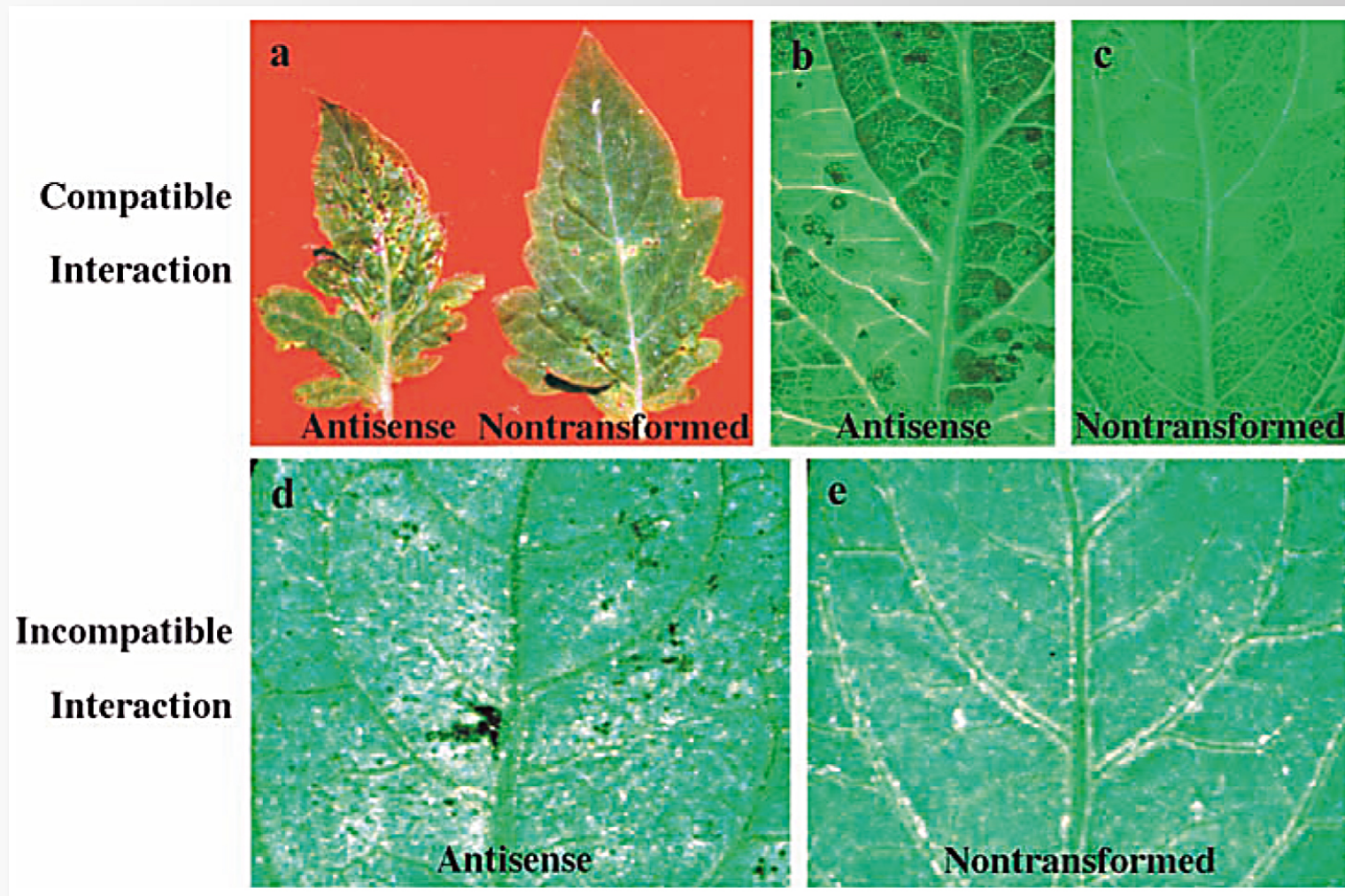
augsti reaģētspējīgi savienojumi, veido krusteniskās saites ar citām biomolekulām (proteīnu sulfhidril- un amīnu grupas)

## PPO inducē:

- ievainojums (tikai 4 sugām no 20);
  - augēdāji;
  - patogēnu infekcija;
- jasmonāts kā endogēnais regulators.

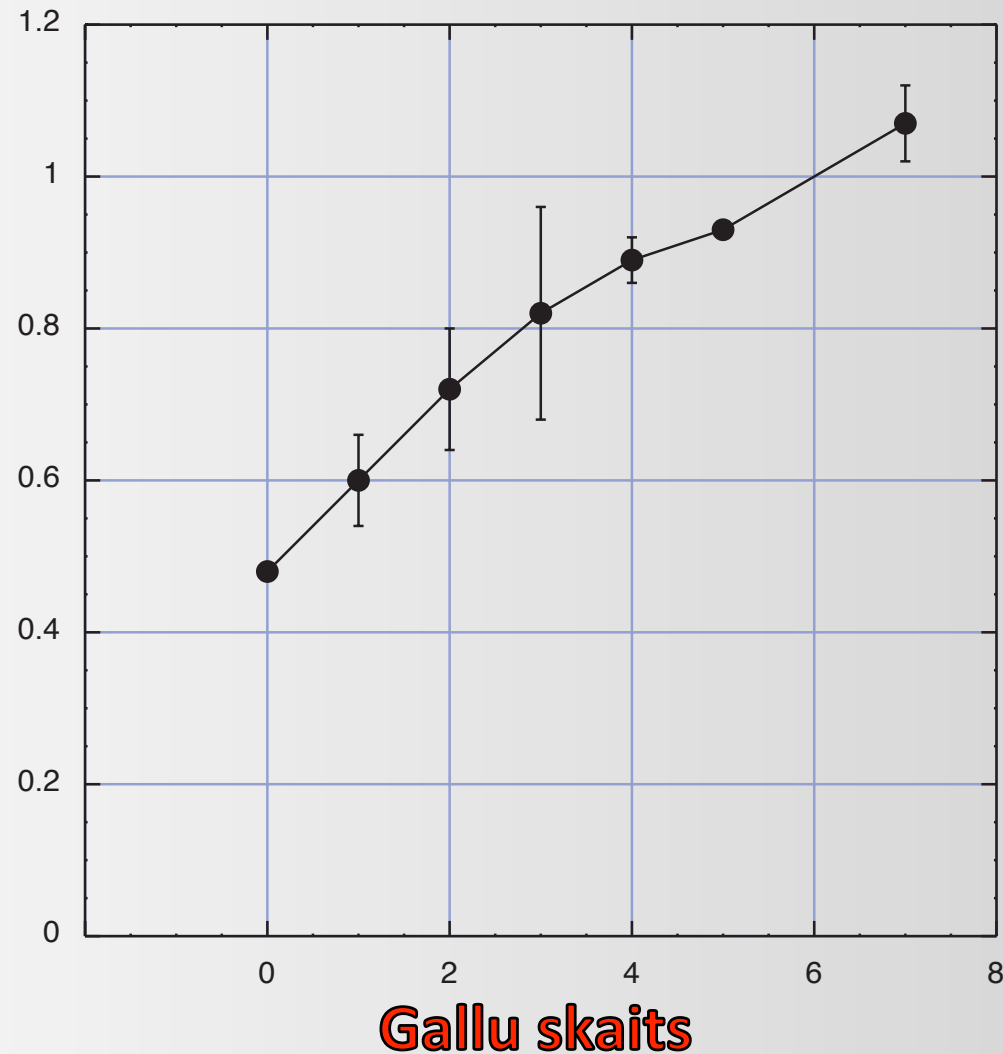


# Oksidatīvie enzīmi – polifenoloksidāze



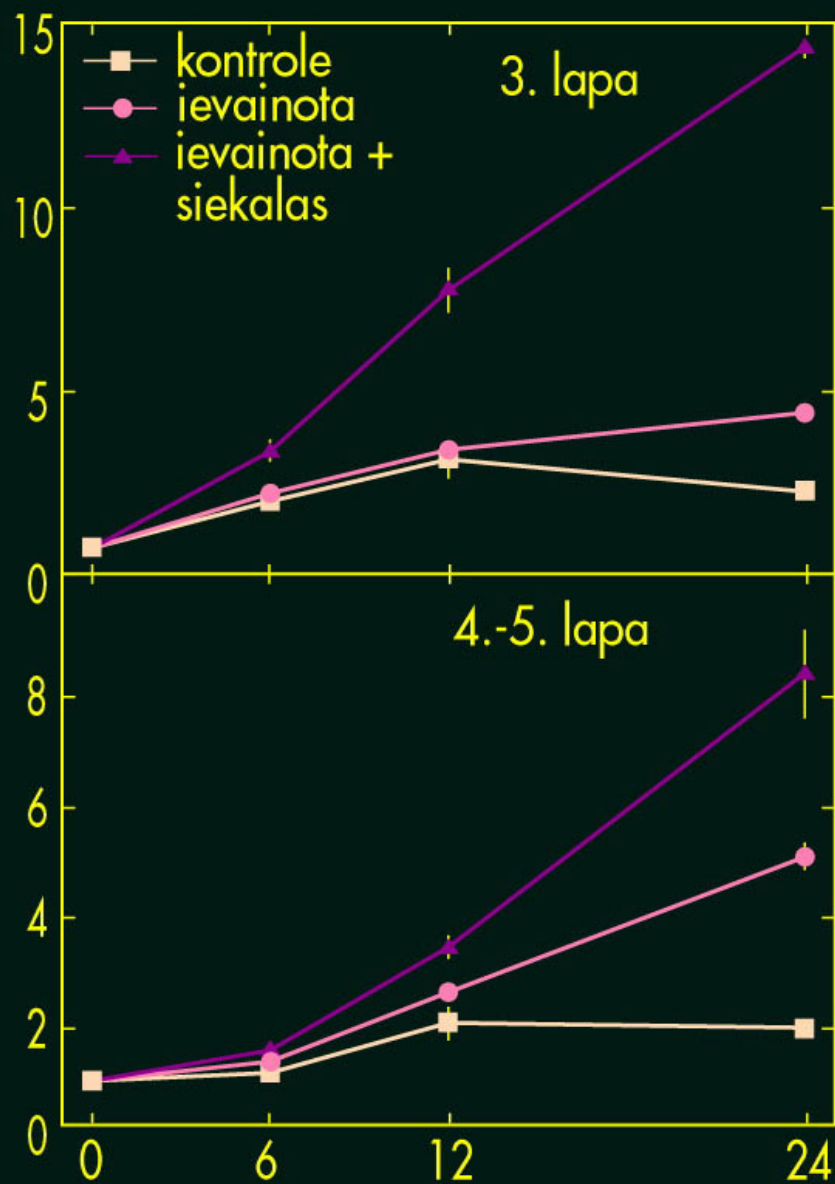
**PPO antisenss tomātu augiem pastiprina uzņēmību pret baktēriju *Pseudomonas syringae* pv. *tomato***

# Oksidatīvie enzīmi – polifenoloksidāze

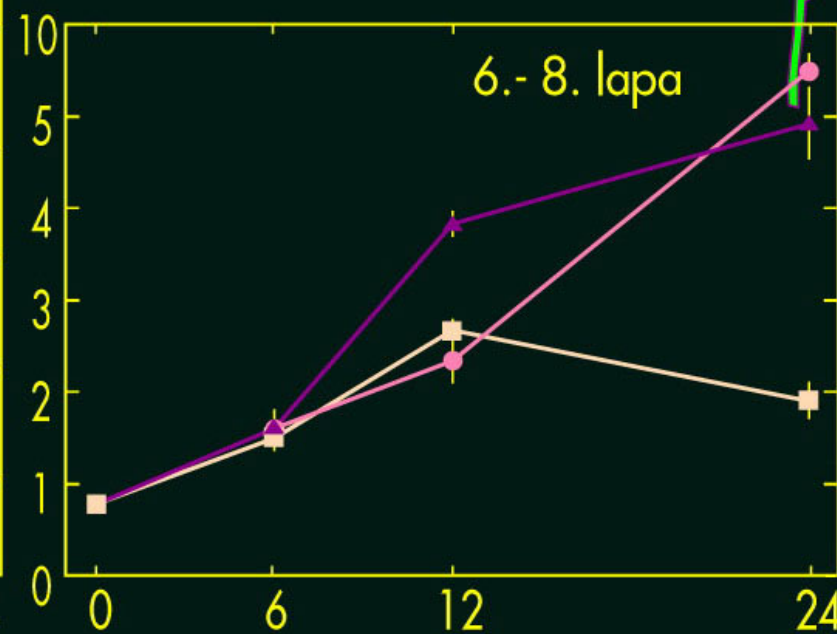
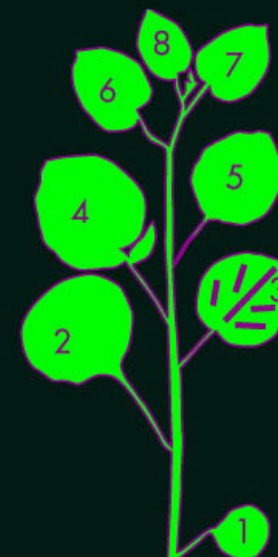


**PPO aktivitātes atkarība no gallu skaita uz vītola lapām  
(*Pontania vesicator* uz *Salix fragilis*)**

# Oksidatīvie enzīmi – polifenoloksidāze



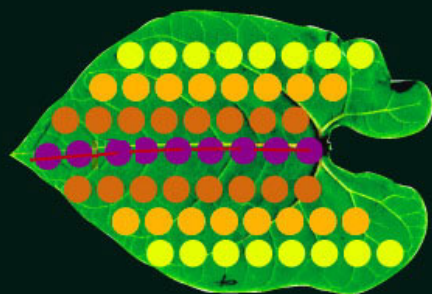
Polifenol-  
oksidāzes  
aktivitātes  
dinamika pēc  
lapas apstrādes



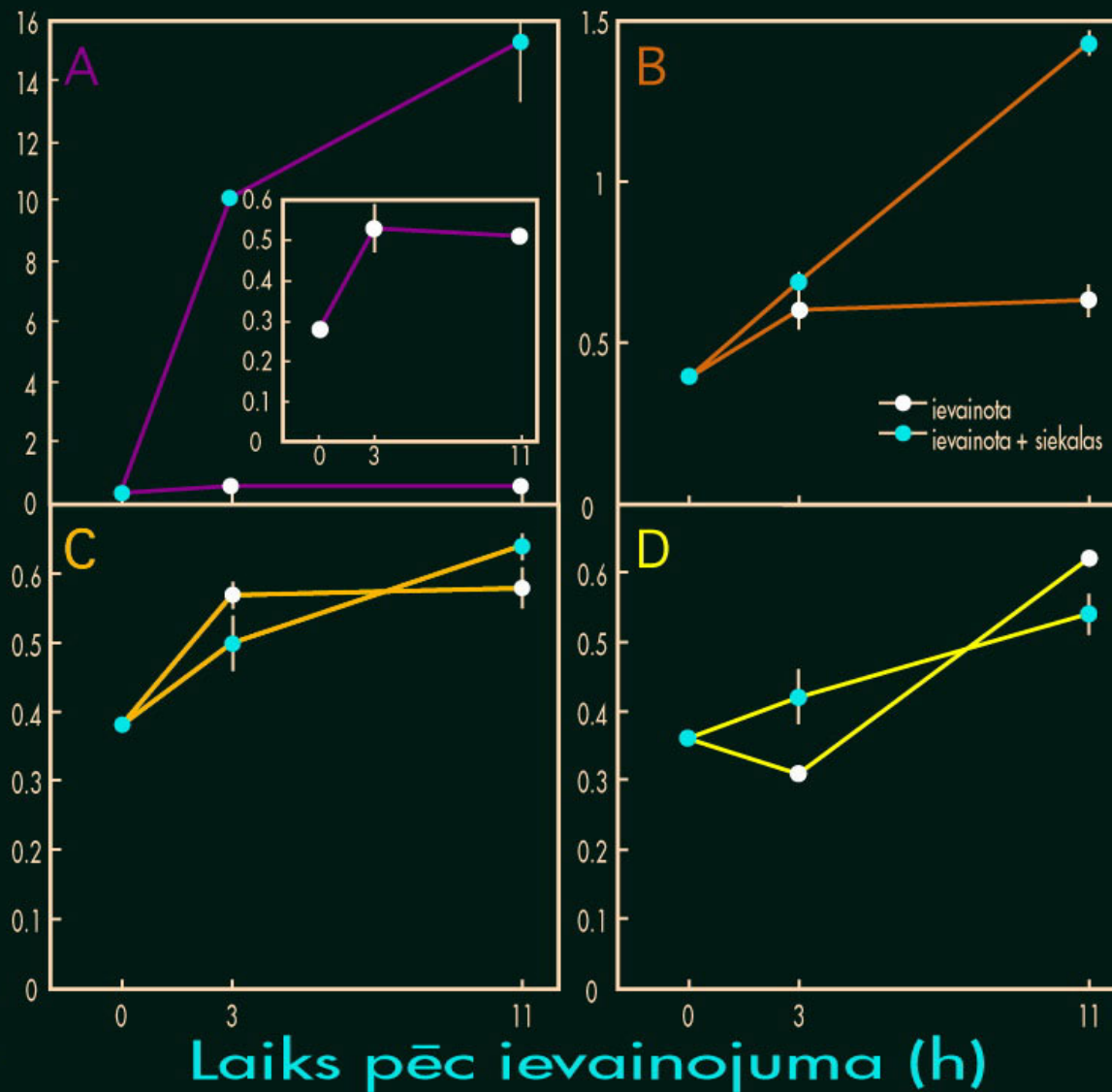
Laiks pēc ievainojuma (h)



# Oksidatīvie enzīmi – polifenoloksidāze



Polifenol-  
oksidāzes  
aktivitātes  
dinamika  
dažādā  
attālumā no  
ievainojuma  
un tās  
izmaiņas  
*L. decemlineata*  
siekalu ietekmē



# Oksidatīvie enzīmi – peroksidāze

Peroksidāzes primārās funkcijas saistītas ar šūnapvalka polimēru veidošanos (lignīns) attīstības procesā

**PRETSTRESA AIZSARDZĪBĀ: šūnapvalka mehāniskās izturības palielināšanās**

## **PEROKSIDĀZE KĀ ANTINUTRIENTS:**

- oksidē fenolus, kas var piesaistīties barības proteīniem, izsaucot to modifikāciju

**Peroksidāzes aktivitāte pieaug:**

- praktiski visu stresu gadījumā;
  - īpaši infekcijas procesā;
  - augēdāju iedarbībā.

# Oksidatīvie enzīmi – lipoksigenāze

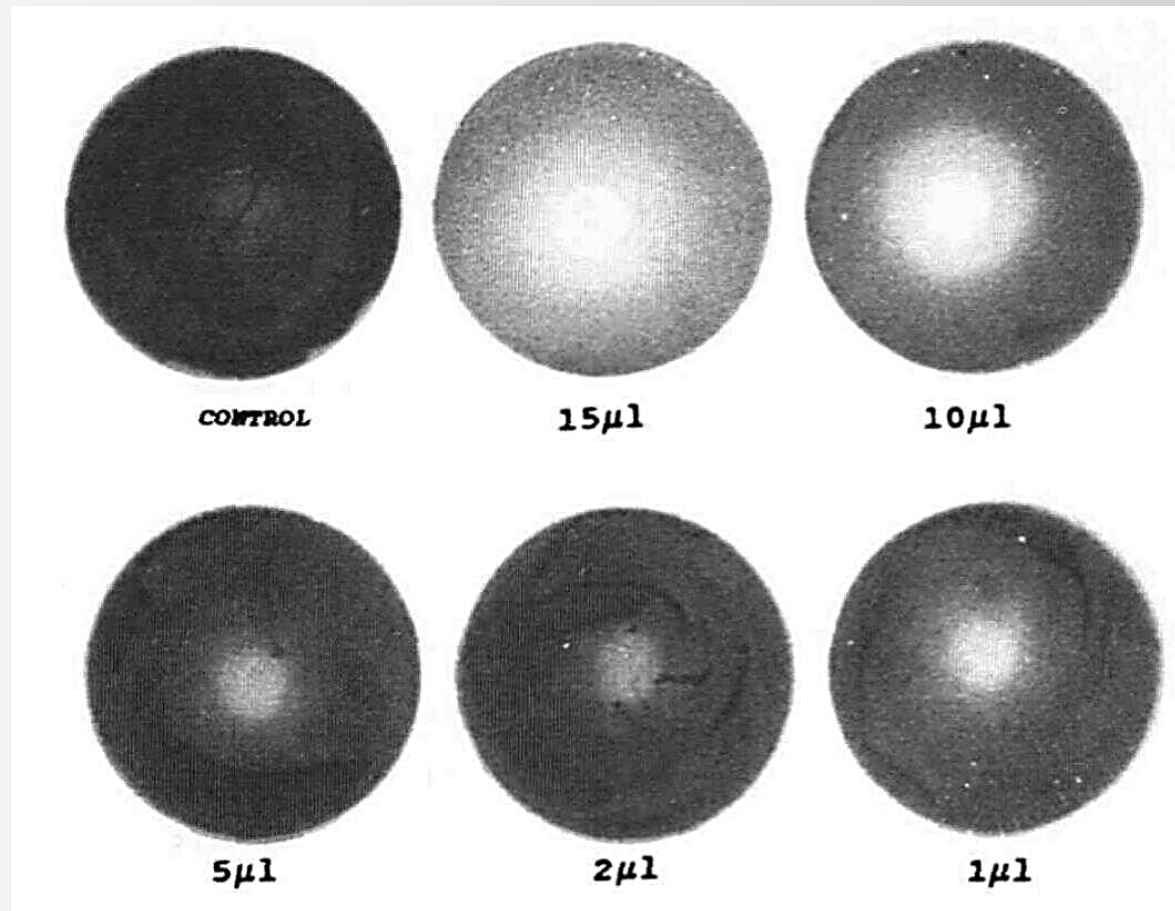
## LIPOKSIGENĀZES PRODUKTI IR NOZĪMĪGI AIZSARGREAKCIJĀS:

- endogēnie signāli ievainojuma, augēdāju, patogēnu atbildes reakcijās;
  - gaistošie signāli;
  - antimikrobiālie aģenti

Lipoksigenāzes tiešie antinutritīvie efekti:

- sadala polinepiesātinātās taukskābes, kas ir svarīgas augēdāju diētai;
- lipoksigenāzes ģenerētie taukskābju hidroperoksīdi un to radikāļi reaģē ar neaizvietojamajām aminoskābēm

# Oksidatīvie enzīmi – lipoksigenāze



Izturīgi pupiņu augi, kas inficēti ar baktēriju, HR laikā izdala gaistošus savienojumus (3-heksanolu u.c.). Lipoksigenāzes produkts 3-heksenols inhibē baktērijas *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* šūnu augšanu

# Sekundāro savienojumu sintēzes enzīmi

## FENILPROPANOĪDU un saistīto savienojumu sintēzes enzīmi (piedalās arī LIGNĪNA biosintēzē):

- fenilalanīna amonija liāze (PAL);
- tirozīna amonija liāze (TAL);
- 4-kanēļskābes hidroksilāze;
- kafijskābes O-metiltransferāze;
- halkona sintāze u.c.

### INDUCĒ:

- ievainojums;
- augēdāji;
- patogēni;
- abiotiskie stresi (UV starojums)



# Mazmolekulārie aizsargsavienojumi

T.s. **SEKUNDĀRIE SAVIENOJUMI**, bez zināmas primārās (dzīvības pamatprocesu nodrošināšanas) funkcijas augos

## DAUDZVEIDĪBA:

Daudzi tūkstoši savienojumu, konkrētais savienojums var būt sastopams tikai vienai sugai (parasts gadījums!) vai arī vairākiem sugu (rets gadījums!).

## GAN INDUCĒJAMI, GAN KONSTITUTĪVI

Sintēze pastiprinās:

- patogēnu ietekmē;

**Pret-patogēnu un pret-augēdju funkcijas (toksiski)**

# Mazmolekulārie aizsargsavienojumi



**Speciālists *Tyria jacobaeae*  
izmanto *Senecio jacobaea*  
alkaloīdus savai  
aizsardzībai**



# Gaistošie savienojumi

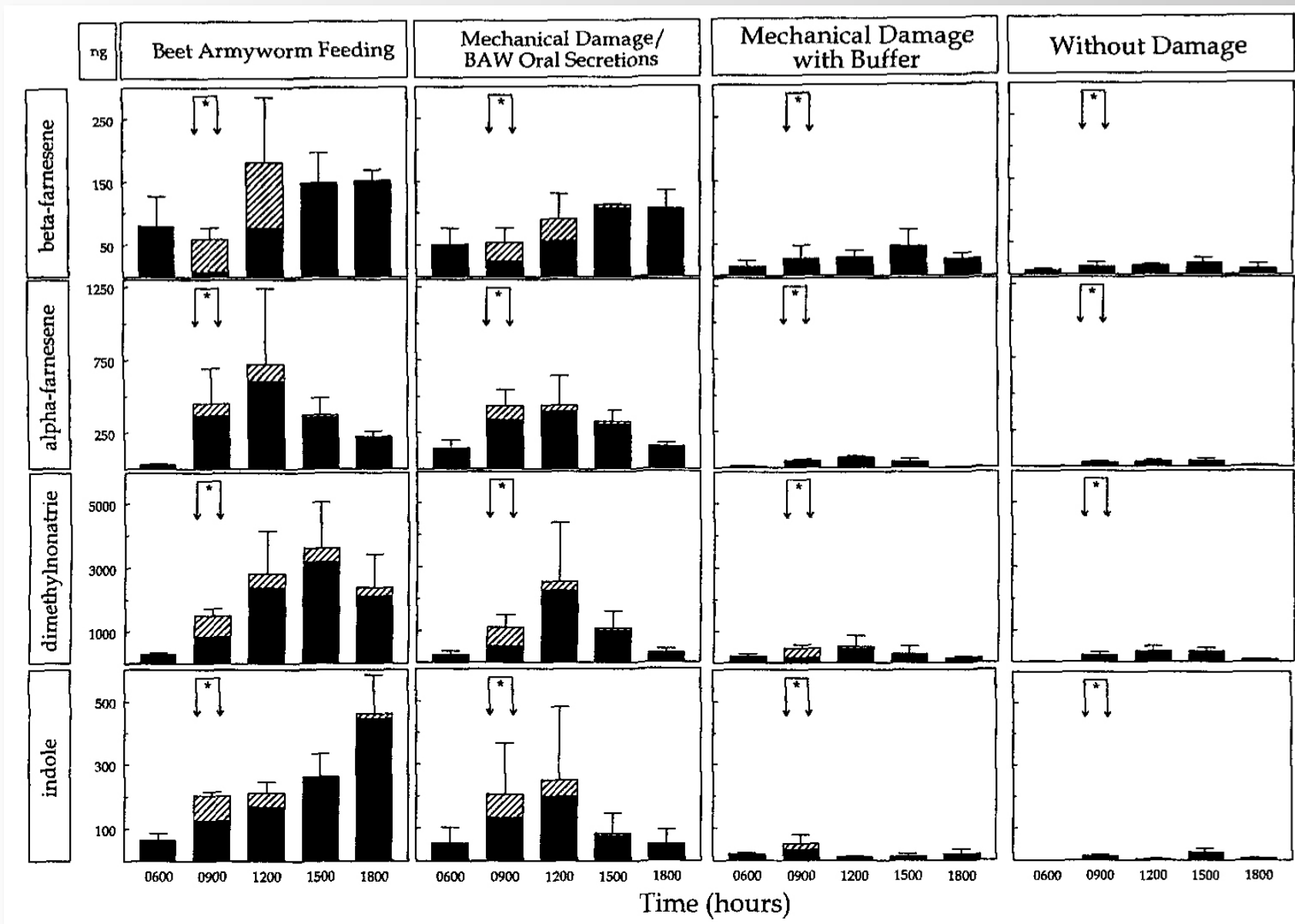
**AUGU SMARŽAS ĶĪMISKIE KOMPONENTI:**  
kritiskie savienojumi starporganismu komunikācijā  
(ziedu un veģetatīvo daļu smarža)

**Gan pozitīvs, gan negatīvs efekts no auga “viedokļa”:**

- **pievilina apputeksnētājus;**
  - **pievilina augēdājus;**
  - **starpaugu komunikācija;**
- **pievilina augēdāju ienaidniekus**

**AUGSTS GAISTOŠO SAVIENOJUMU SASTĀVA  
SPECIFISKUMS  
ATKARĪBĀ NO IEDARBĪBAS FAKTORA**

# Gaistošie savienojumi



# Ķīmiskās aizsardzības daļa – trihomi

