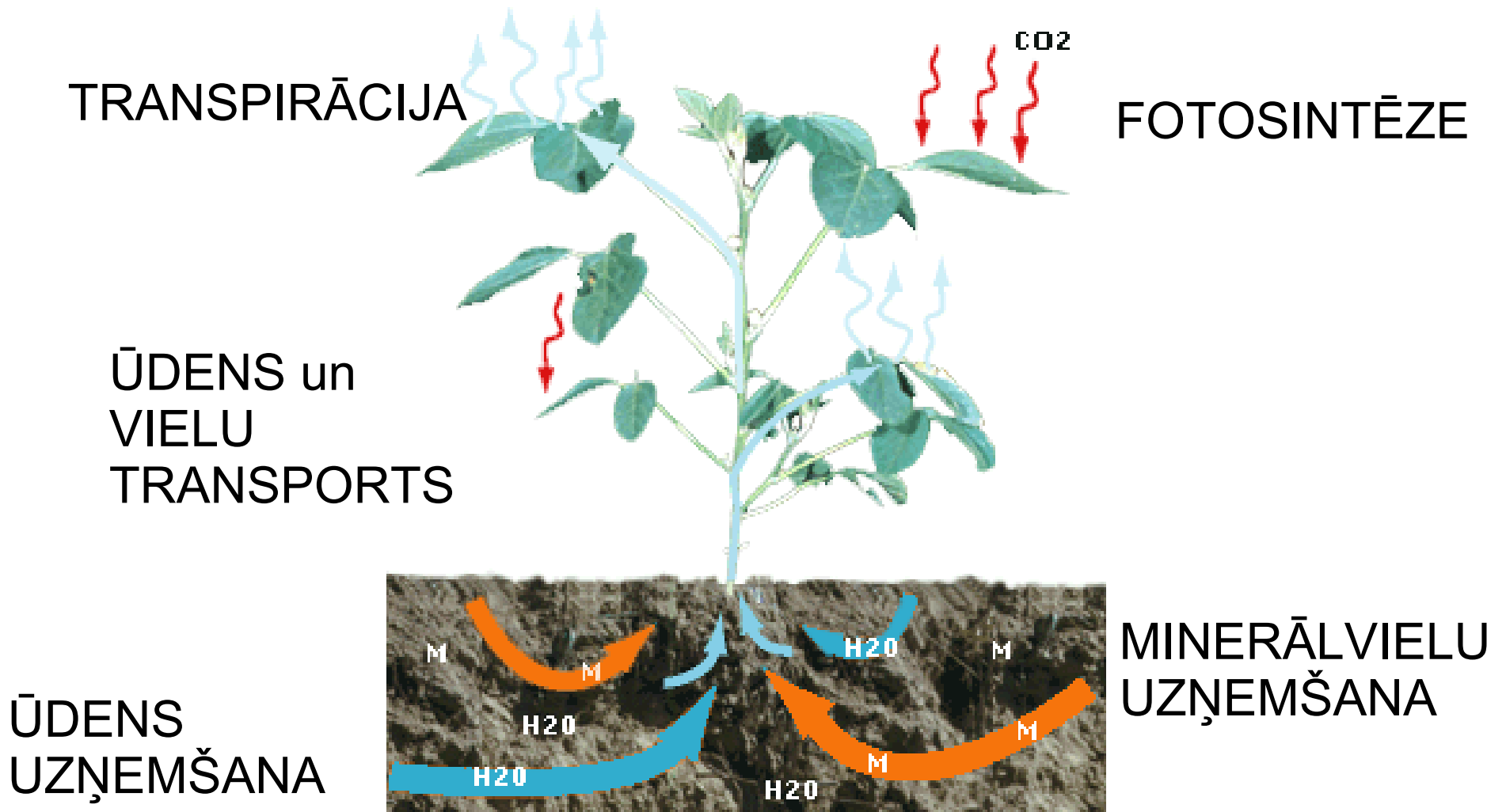


## «Bioloģija nebiologiem»: augu fizioloģija

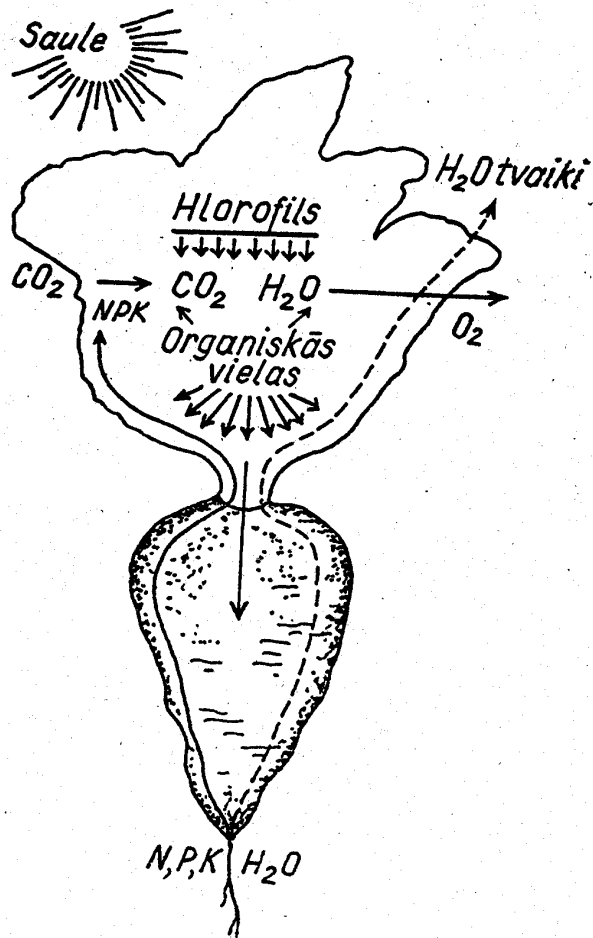
- Augu minerālā barošanās
- Fotosintēze
- Augu elpošana
- Transpirācija



# Fizioloģiskie procesi augā



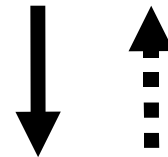
# Vielu transports augā: dažādi virzieni



Organisko vielu aprīte augā, pēc  
Vītols 1975

## Tālais transports:

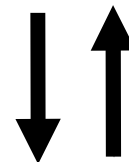
Ūdenī izšķīdušas  
organiskās vielas



Ūdenī izšķīdušās  
minerālvielas



Fizioloģiski aktīvās  
vielas (fitohormoni,  
augšanas regulatori)



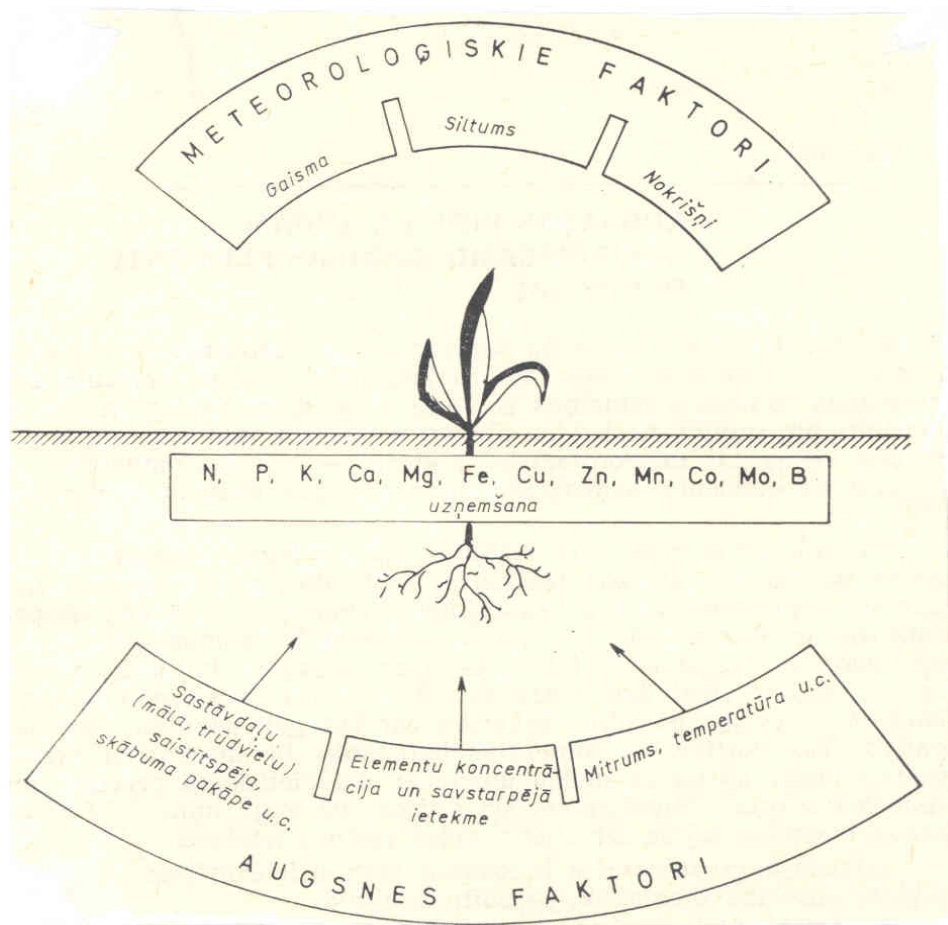
Aminoskābes,  
organiskās skābes



## Tuvais transports:

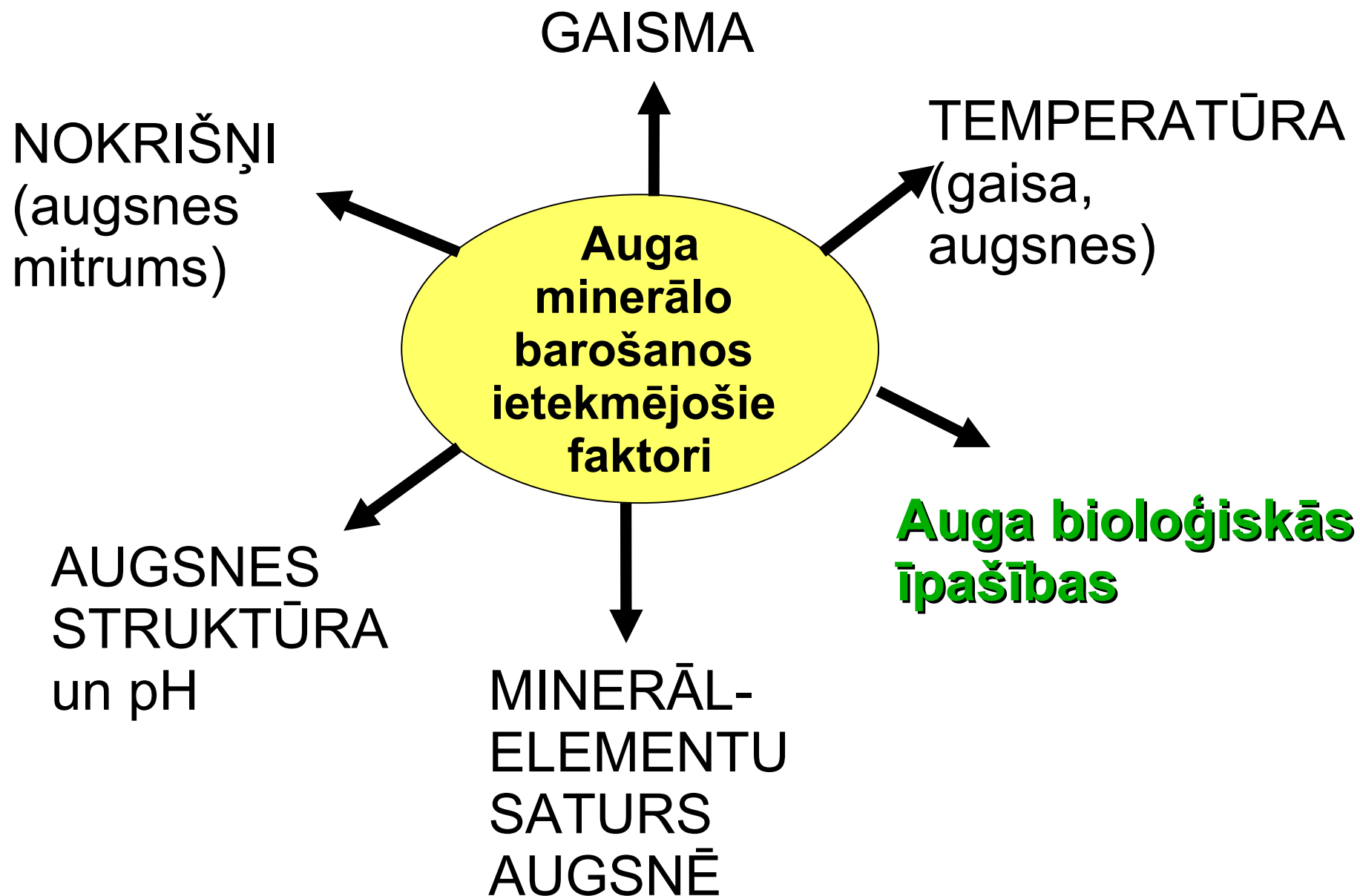
CO<sub>2</sub>, organiskās vielas, augšanas  
regulatori, signālmolekulas u.c.

# Augu minerālā barošanās



Riņķis, Ramane, 1989

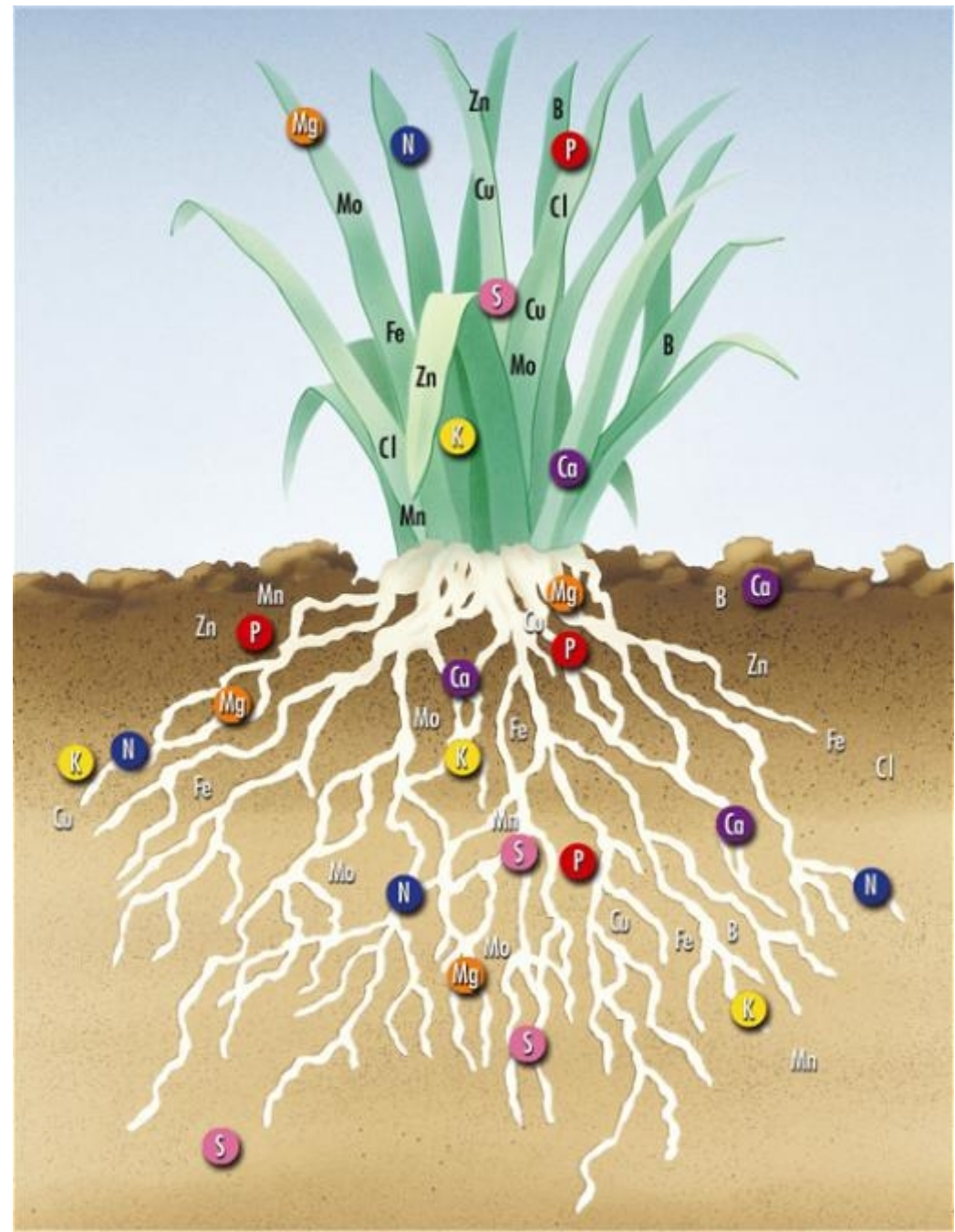




# Augu ķīmiskais sastāvs

Makroelementi	Mikroelementi
( $10^1$ - $10^{-2}$ )	( $10^{-3}$ - $10^{-5}$ )
<b>C</b> – 45%	<b>Mn</b>
<b>H</b> – 6,5%	<b>Cu*</b>
<b>O</b> – 42%	<b>Zn</b>
<b>N</b> – 1,5%	<b>Mo*</b>
<b>P</b> – 0,05-0,3%	<b>B*</b>
<b>S</b> – 0,2-1%	<b>Cl</b>
<b>K</b> – 0,5-1,2%	<b>Na</b>
<b>Ca</b> – 0,2-3,5%	<b>Si</b>
<b>Mg</b> – 0,02-3,1%	<b>Co</b>
<b>Fe</b> – 0,01-0,015%	<b>Al</b>
	<b>Ni</b>
	<b>Li</b>
	<b>Se</b>

\* - elementi, kuri visbiežāk trūkst Latvijas augsnēs



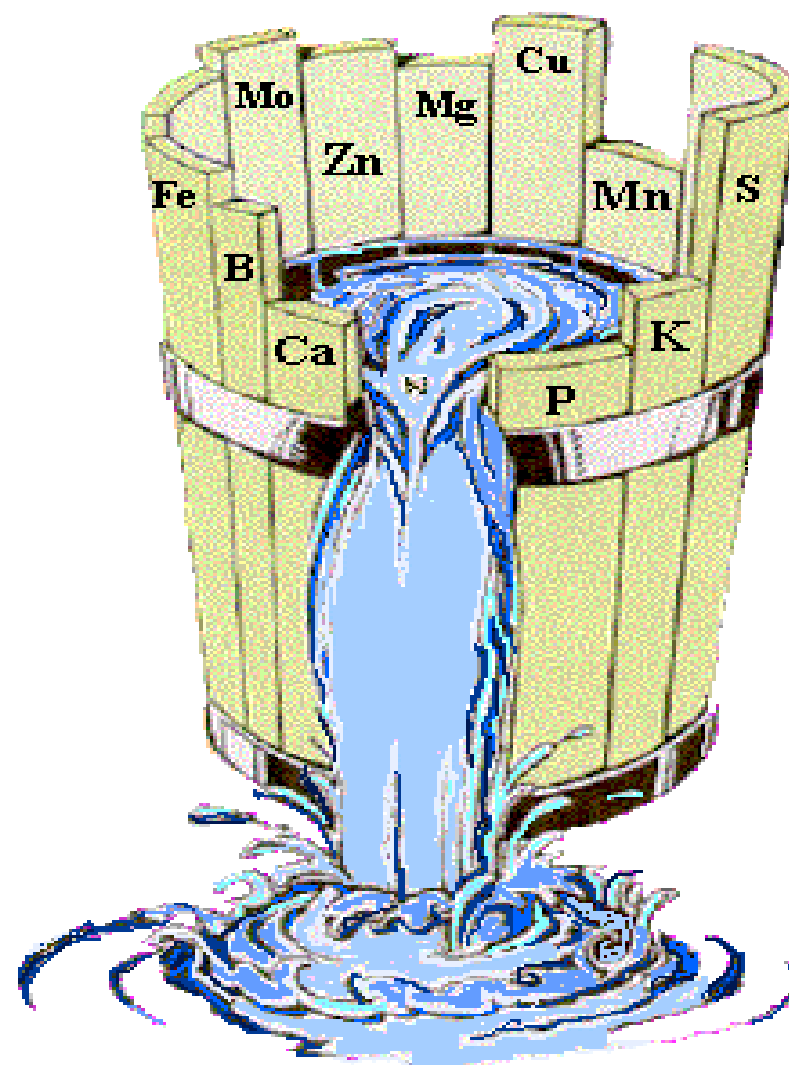
# Lībīga, vai minimuma likums

«Augšanu nosaka nevis kopējais resursu daudzums, bet limitējošais (minimāli pieejams) resurss»

Karls Šprengels,  
Justs fon Lībigs



Justus von Liebig



«Lībīga muca»

# Minerālelementu trūkuma simptomi augos

Trūkuma simptomi izriet no attiecīgā elementa funkcijas augā:

**MAKROELEMENTI** — struktūrelementi,  
veido auga šūnas un to struktūras, enzīmus

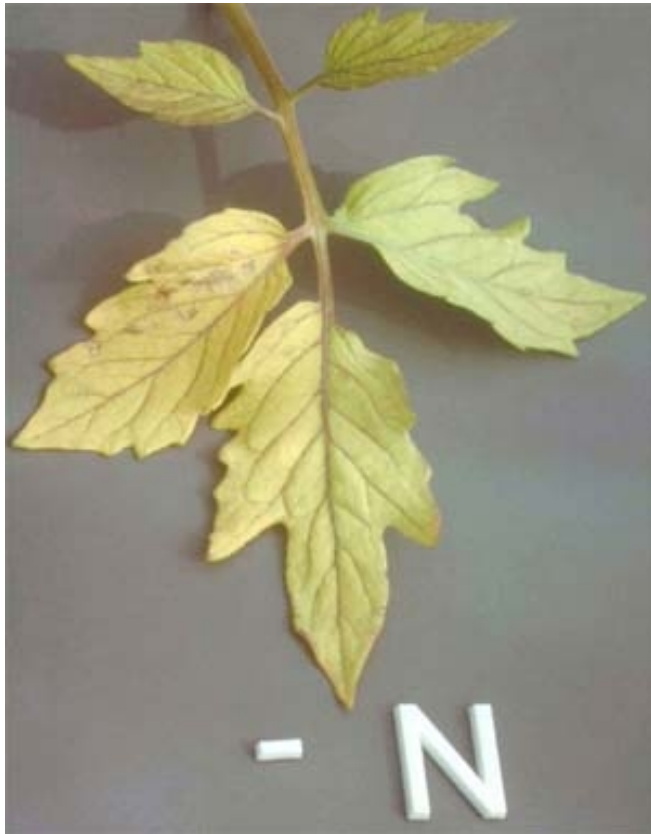
**MIKROELEMENTI** — regulatorie elementi, enzīmu kofaktori

Izņēmumi -K un Si



# Slāpekļa trūkums

Vienmērīga lapu dzeltēšana, vispirms — **vecajām** lapām (N reutilizējas), samazināts izmērs (lēnāka augšana)



Epstein and Bloom 2004  
<http://4e.plantphys.net> Topic 5.1



Bergmann 1986

N ir **proteīnu (aminoskābju)**, nukleīnskābju, hlorofila fitohormonu u.c. vielu sastāvā



# Fosfora trūkums

Lēnāka augšana, samazināts izmērs (augi izskatās jaunāki), lapas ieritinās, novēro sarkanus, violetus plankumus vai joslas (P reutilizējas)



Lyle Cowell of Saskatchewan,  
Canada 2007 Crop Nutrient  
Deficiency Photo Contest  
<http://www.ipni.net/>

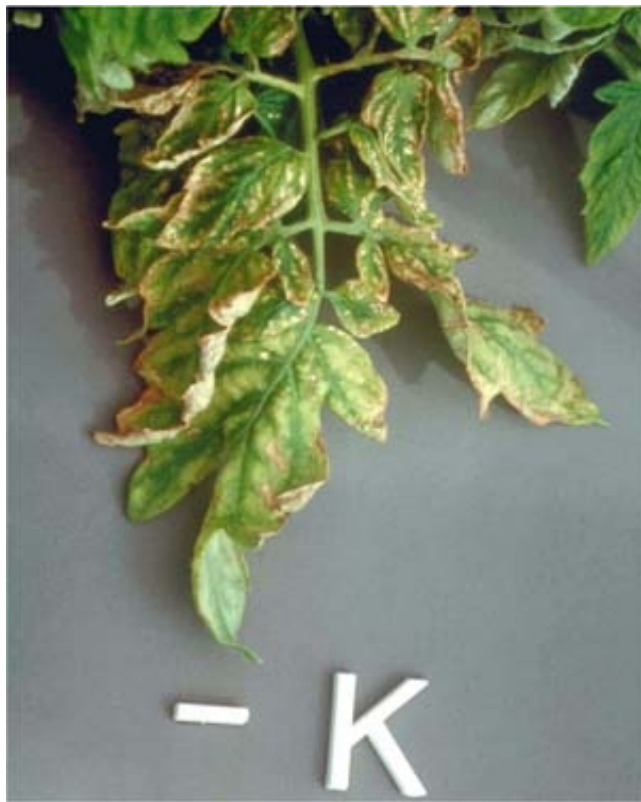
Bergmann 1986

P ir proteīnu,  
nukleīnskābju, ATF,  
fosfolipīdu sastāvā;

P trūkuma gadījumā  
mainās fosfolipīdu un  
cukuru sintēzes  
līdzsvars.

# Kālija trūkums

Lapu malu dzeltēšana, vispirms — vecajām lapām (K reutilizējas); brūngani plankumi malās un lapu galos, vēlāk — starp dzīslām



Epstein and Bloom 2004



Bergmann 1986

K regulē atvārsnīšu darbību, cukuru vielmaiņu, membrānu caurlaidību, šūnu osmotisko potenciālu u.c. procesus

# Kalcija trūkums

Neattīstās jauni meristēmatiskie audi (galotne, saknes),  
glotaini šūnapvalki; izpaužas vispirms aktīvi augošās auga  
daļās



Ca ir šūnapvalku  
sastāvā (Ca pektāti -  
želejveidīgās vielas)

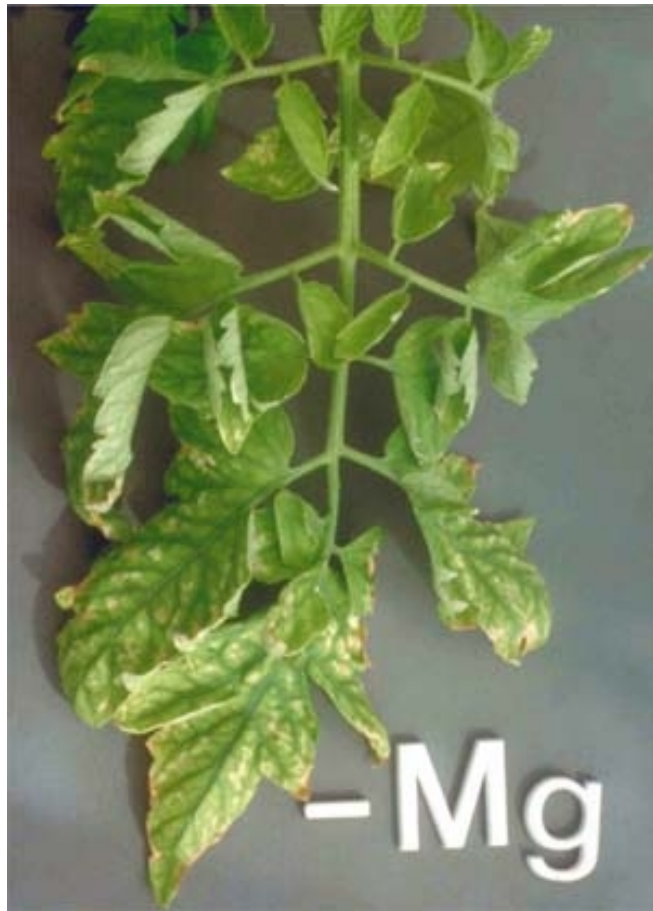
Ca<sup>2+</sup> joni šūnās pilda  
signālfunkcijas

-Ca Sugar beet; 2007 Crop Nutrient  
Deficiency Photo Contest



# Magnija trūkums

Lapu hloroze (zaļā pigmenta trūkums) starp dzīslām vecajām lapām (Mg reutilizējas); lapas kļūst raibas.



Epstein and Bloom 2004



Bergmann 1986

Mg ietilpst  
hlorofila  
sastāvā

# Sēra trūkums

Lapas vienmērīgi dzeltē, kļūst bālas vispirms jaunās, kopumā vienmērīgi visā augā (S reutilizējas, bet tas nekompensē trūkumu). Trauslas lapas.



S ir aminoskābju,  
koenzīmu, vitamīnu  
sastāvā



# Dzelzs trūkums

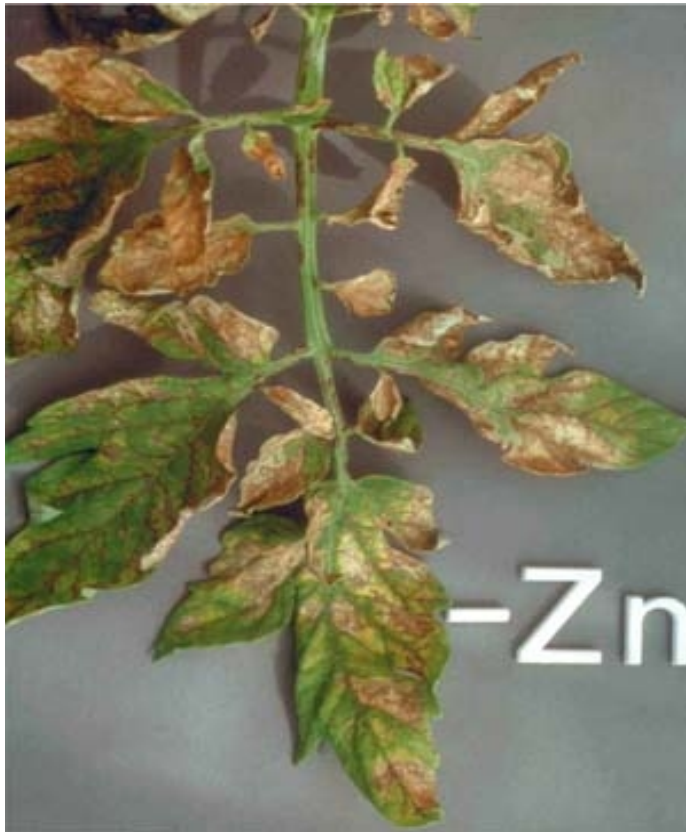
Hloroze jaunajām lapām (Fe nereutilizējas); vispirms starp dzīslām, vēlāk lapu plātnes var kļūt pilnīgi bālas.



Fe ir hlorofilu sintēzējošo enzīmu sastāvā, arī citu enzīmu kofaktors

# Cinka trūkums

Rozetveida lapas, nekroze starp lapu dzīslām



Epstein and Bloom 2004



-Zn Corn; 2007 Crop Nutrient  
Deficiency Photo Contest

Zn piedalās  
aminoskābes  
triptofāna sintēzē,  
ir vairāk nekā 200  
enzīmu kofaktors

# Bora trūkums

Augšanas konusi (galotnes) un vadaudi, slikti attīstās; lapu vīšana, trauslums; augļu pūšana, nekrozes



Bergmann 1986



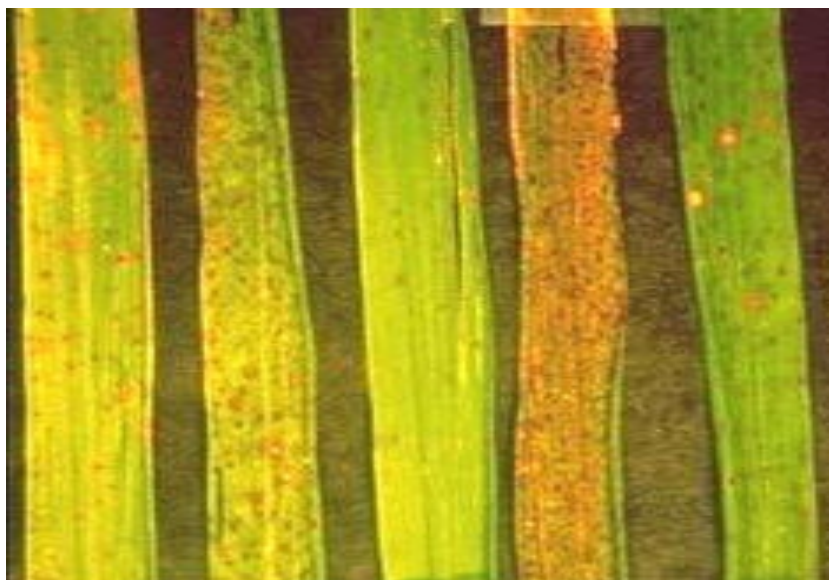
[www.bitkisagligi.net](http://www.bitkisagligi.net)

B piedalās cukuru transportā (veido kompleksus ar cukuriem) un ir nepieciešams lignīna sintēzei



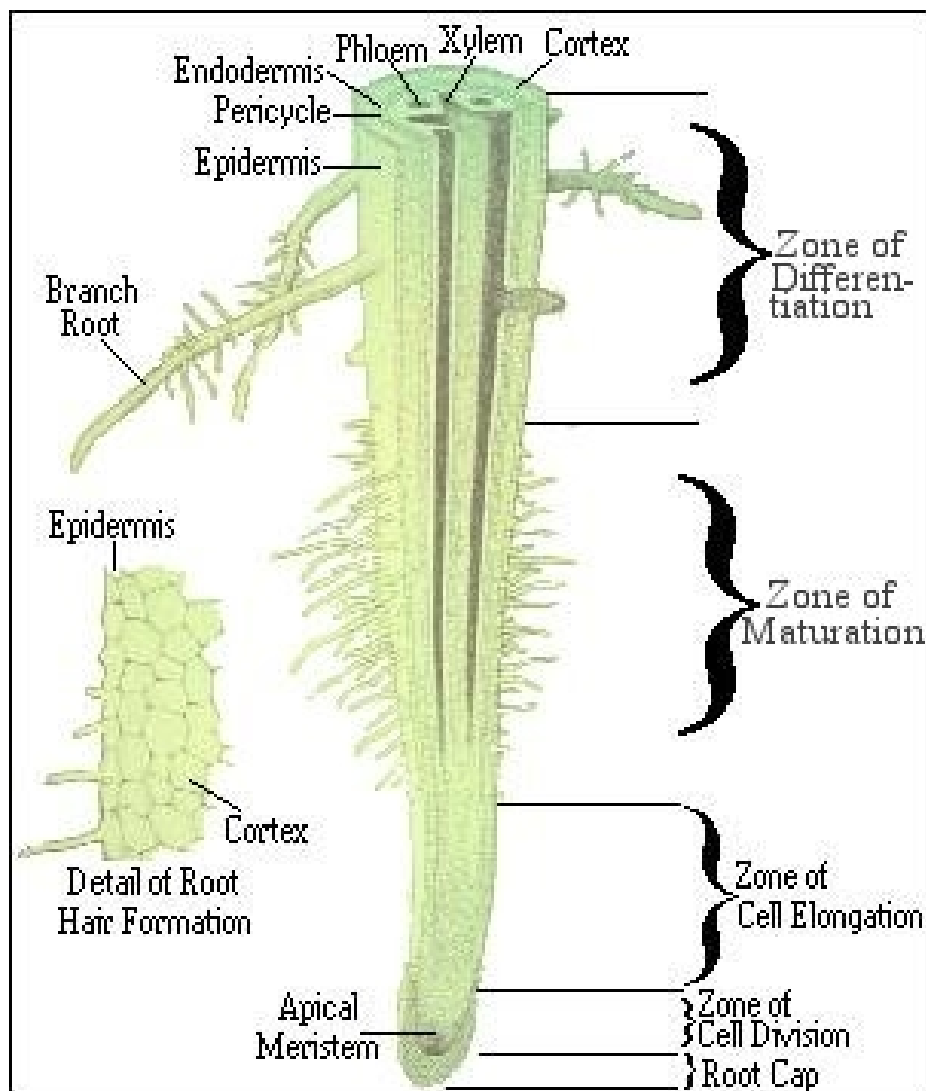
# Silīcija trūkums

Augs zaudē formu, atgādina vītušu augu



Si ietilpst šūnapvalku sastāvā, piedod tiem mehānisku izturību. Zālaugu meristēmās ir Si uzkrājējšūnas

# Minerālelementu uzņemšana



**Spurgaliņas** — epiblēmas  
(saknes epidermas)  
šūnu izaugumi

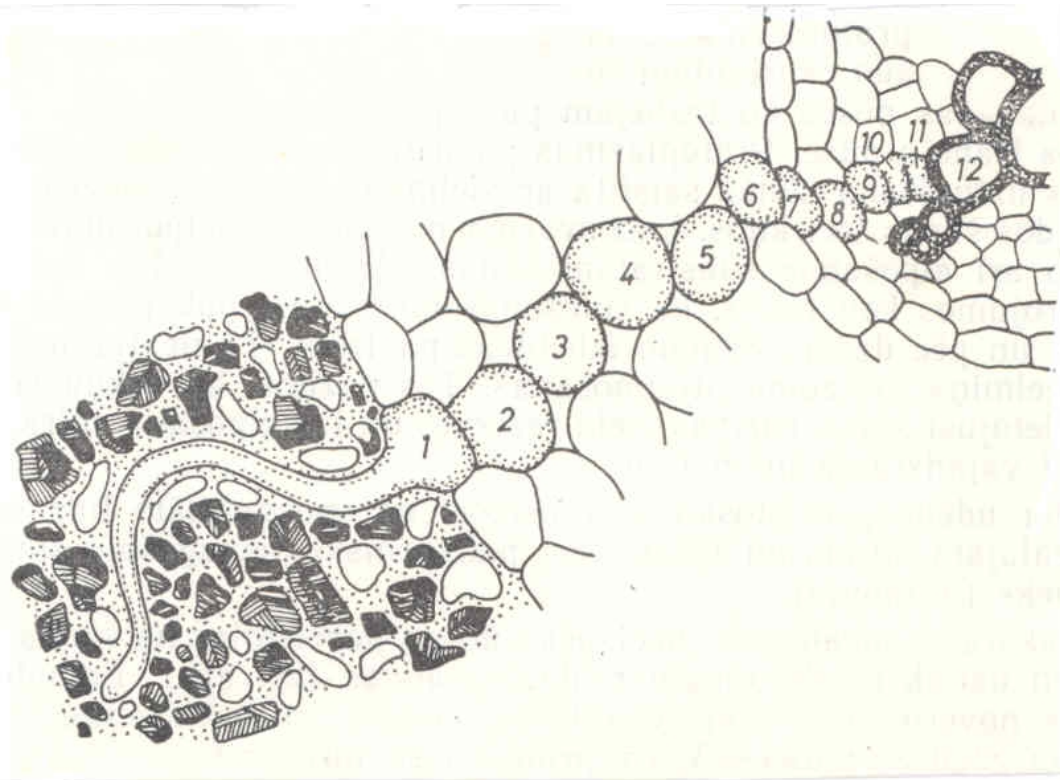
UZSŪCĒJ- vai  
SPURGALIŅU ZONA

STIEPŠANĀS ZONA

DALĪŠANĀS ZONA



# Ūdens un minerālvielu transports saknes šūnās



1 — saknes spurgaliņa

2-6 — saknes mizas  
parenhīmas šūnas

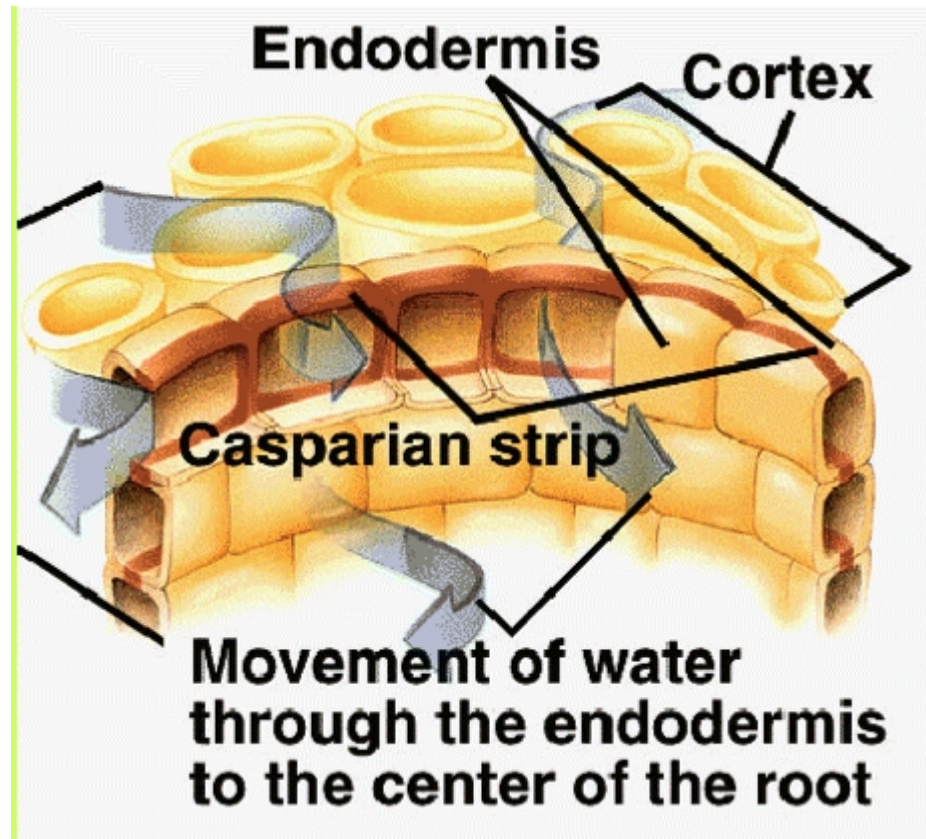
7 — endodermas šūna

8 — pericikla šūna

9-11 — centrālā cilindra  
parenhīmas šūnas

12 — vadaudu šūna (traheja)

# Minerālelementu transports uz saknes centrālo cilindru



# Saknes izdalījumi, alelopātija

Atbilstoši auga sugas un augšanas apstākļiem saknes var izdalīt augsnē:

- aminoskābes
- skābes
- minerālelementus (Ca, Na, K, Co)
- cukurus
- DNS u.c. Nukleīnskābes, fenolus
- fizioloģiski aktīvus savienojumus

Piemēri:

**pupas** (*Fabaceae*) — aminoskābes

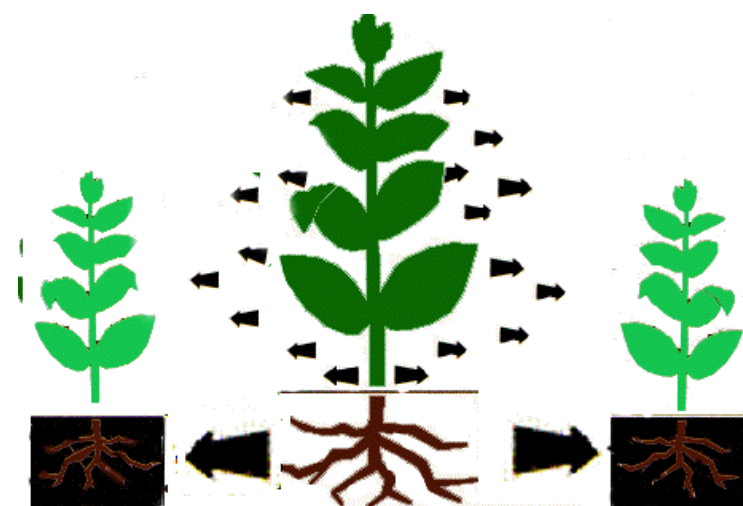
**eļļas augi** — fosforskābe, minerālelementi

**ābele** (*Malus*) — fenoli

**vārpata** (*Elytrigia repens*) — benzoskābe, kanēļskābe, kas kavē citu augu sakņu

attīstību (Baziramakenga et al. 1994); fenoli

**Alelopātija** - vienas sugas augu (t. s. sakņu izdalījumu) ietekme uz citām sugām.



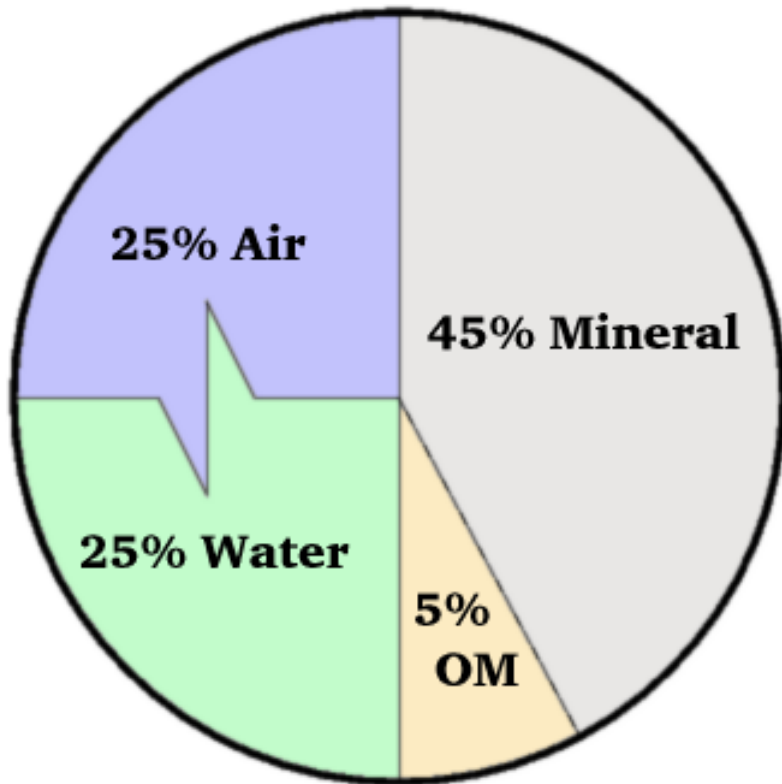
# Augsnes sastāvs

## Augiem nepieciešamās barības vielas

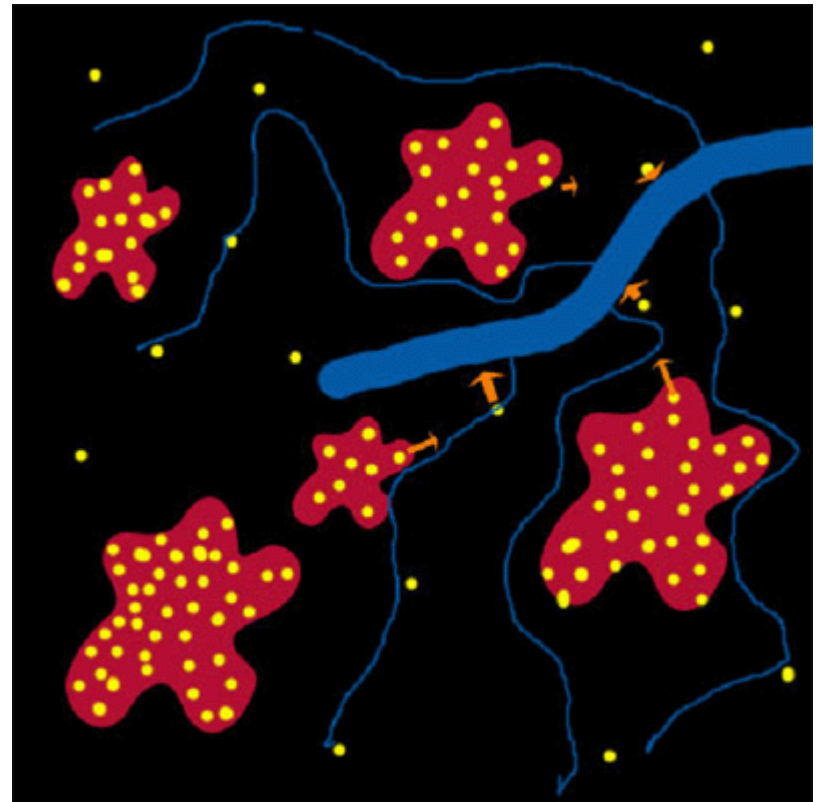
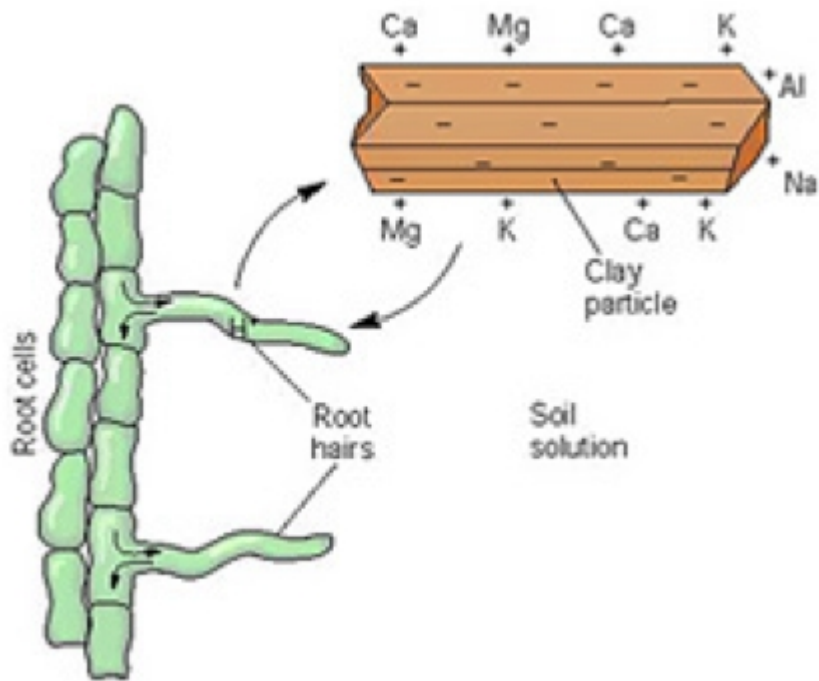
- izšķīdušas augsnes šķīdumā  
(pieejamas augiem, bet izskalojas)

- adsorbētas uz augsnes daļiņām  
(augiem pieejamas apmaiņas  
absorbcijas rezultātā)

- nešķīstošu savienojumu veidā  
(augiem maz pieejamas)

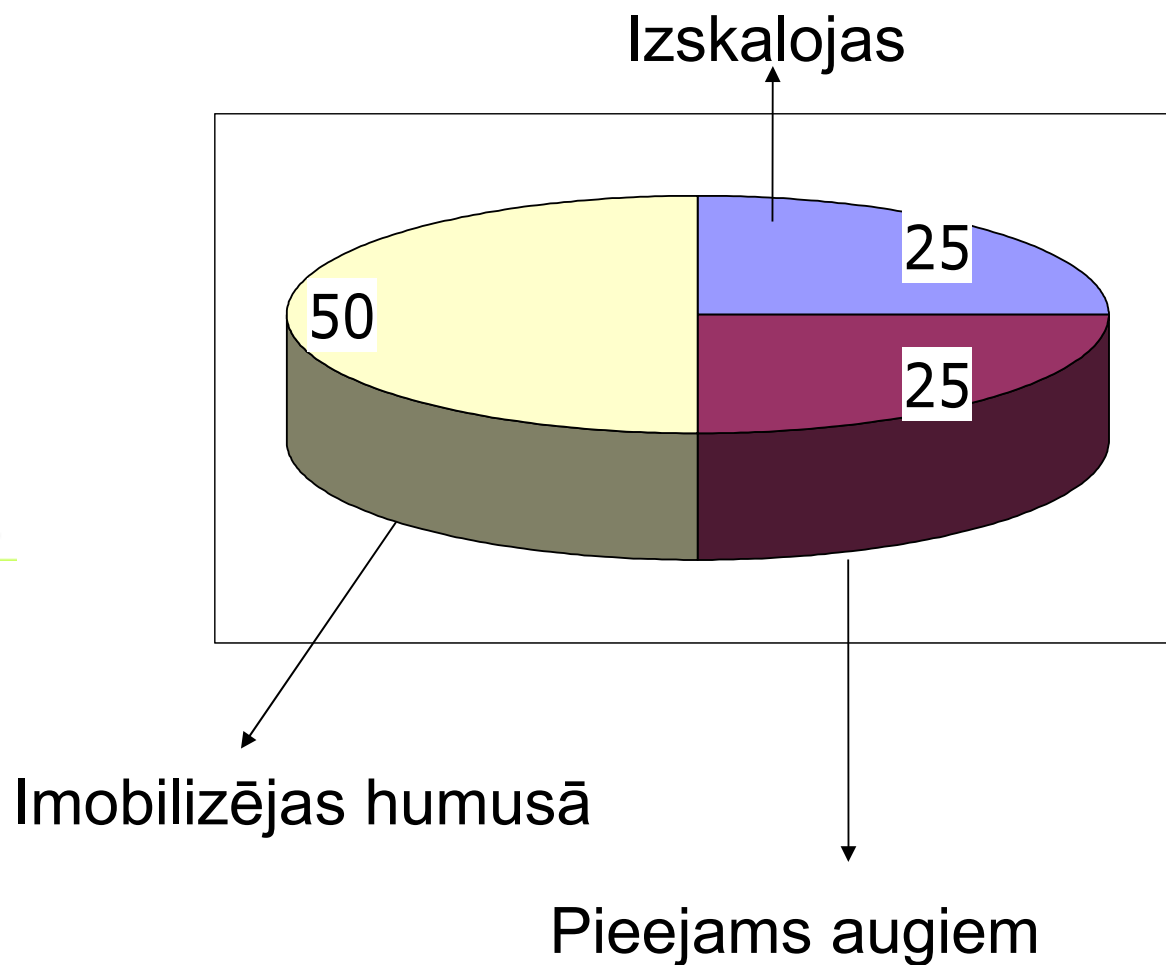
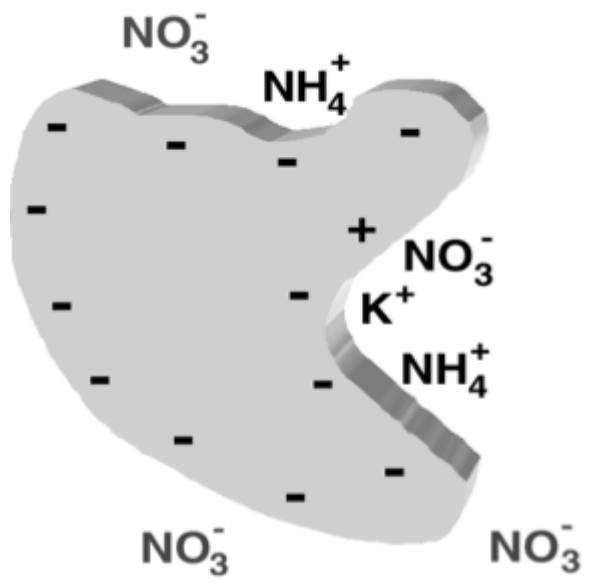


# Jonu apmaiņas absorbcija

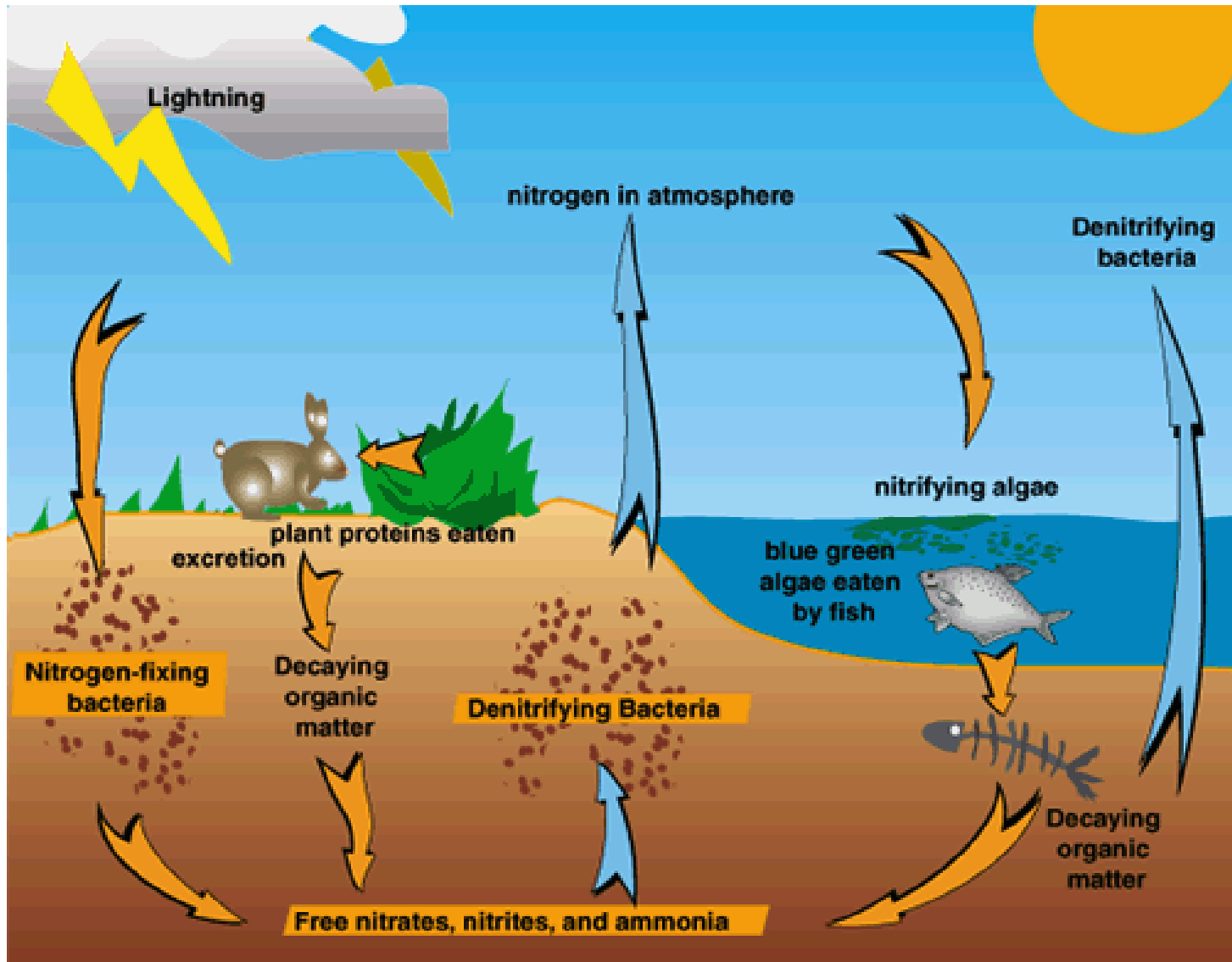




# Slāpeklis augsnē

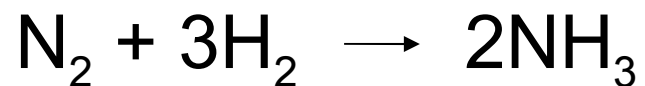


# Slāpekļa cikls





**Kāpēc slāpeklis ir grūti pieejams?**



300-500 °C, 25 MPa (246 atm)  
Habera-Boša process



# Bakterioriza, simbioze ar slāpekli fiksējošām baktērijām

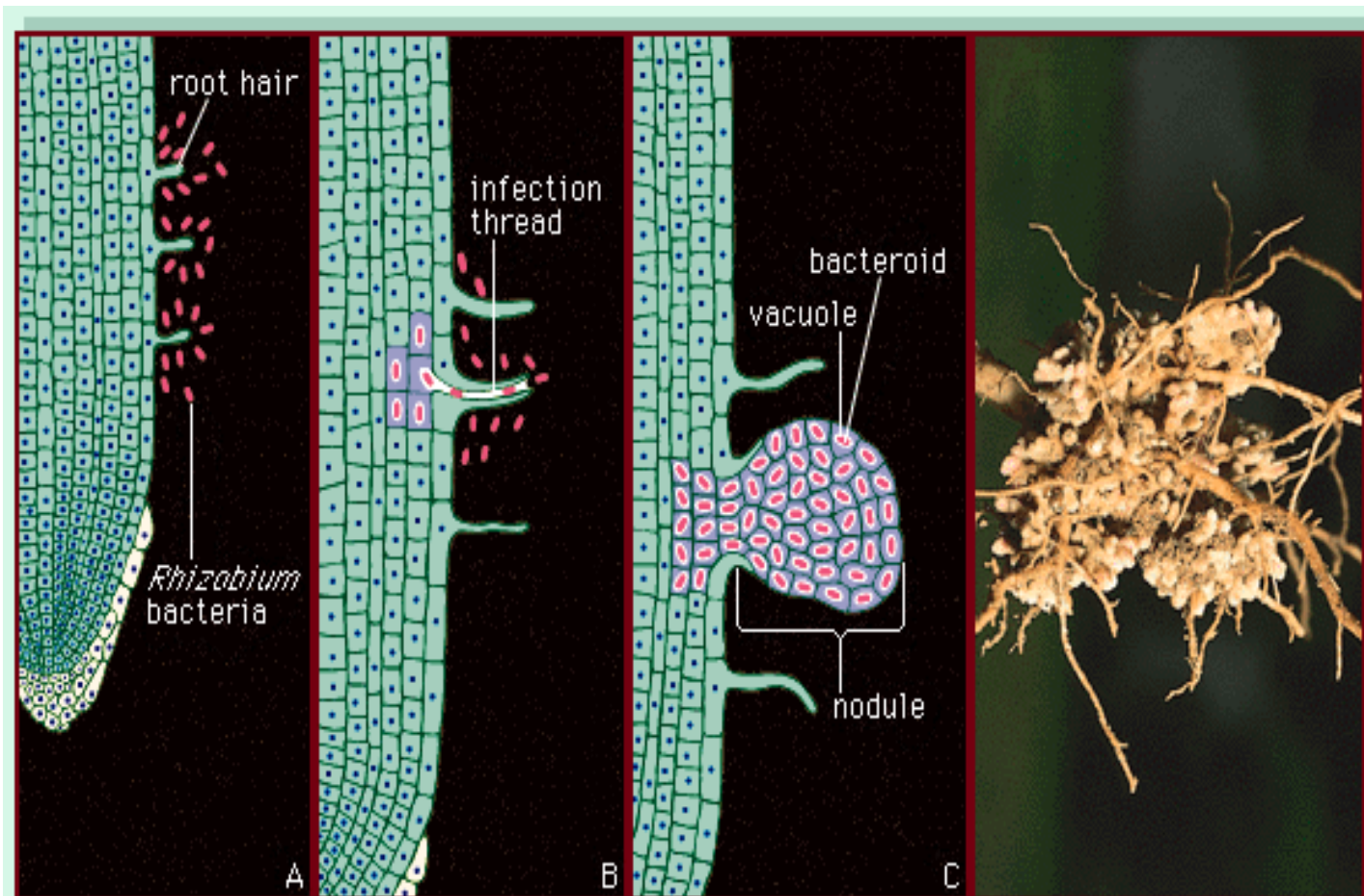


**Smilšu kultūrā izaudzēti  
zirņi.**

**1, 2 – bez  
gumiņbaktērijām,  
3 – gumiņbaktērijas uz  
tauriņziežu saknēm**



# Bakterioriza, simbioze ar slāpekli fiksējošām baktērijām



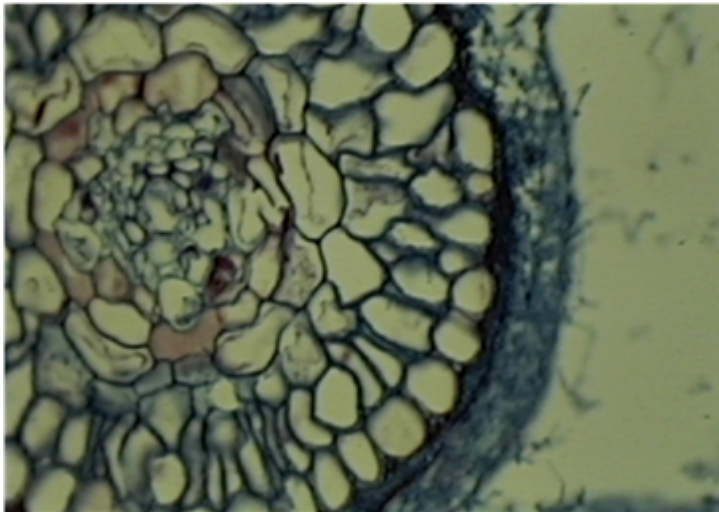
# Bakteriorizas bioloģiskā nozīme:

- Augi ar saknēm uzņem mikroorganismu izdalījumus - vitamīnus, enzīmus u. c. fizioloģiski aktīvus savienojumus
- Mikroorganismi izmanto augu organiskos savienojumus
- Gaisa slāpekli saistītājas baktērijas: *Azotobacter*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Rhizobium*, *Actinomyces*, *Frankia*, *Azospirillum*, *Anabaena*, *Nostoc* pārvērš  $N_2$  augiem izmantojamā formā (pateicoties fermenta **nitrogenāzes** darbībai).

# Mikoriza, simbioze ar sēnēm

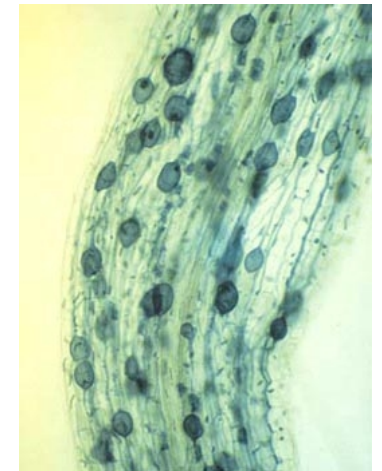
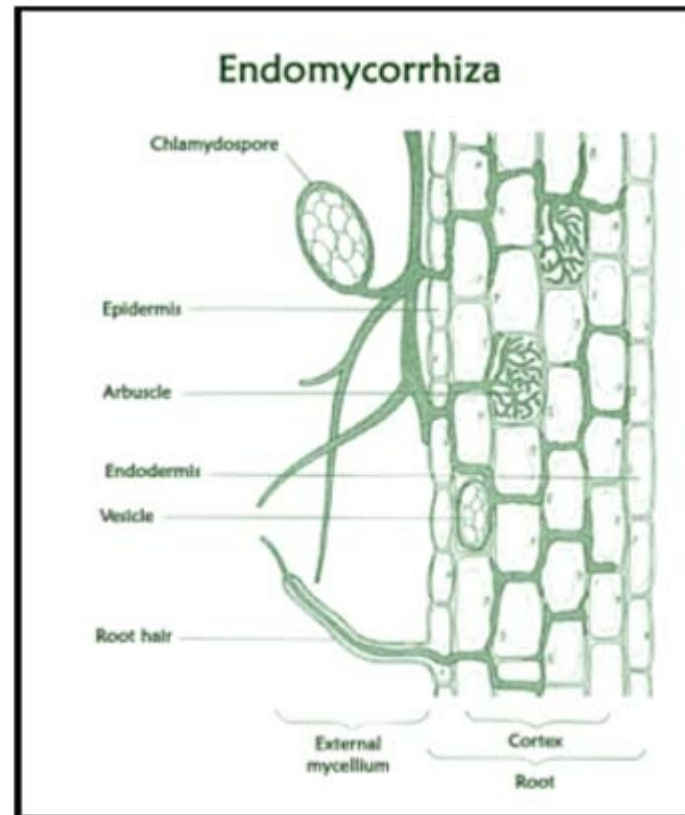
## EKTOMIKORIZA

(10% augu, kokaugi)

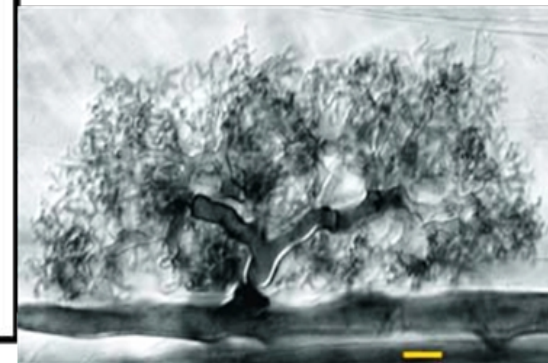


## ENDOMIKORIZA

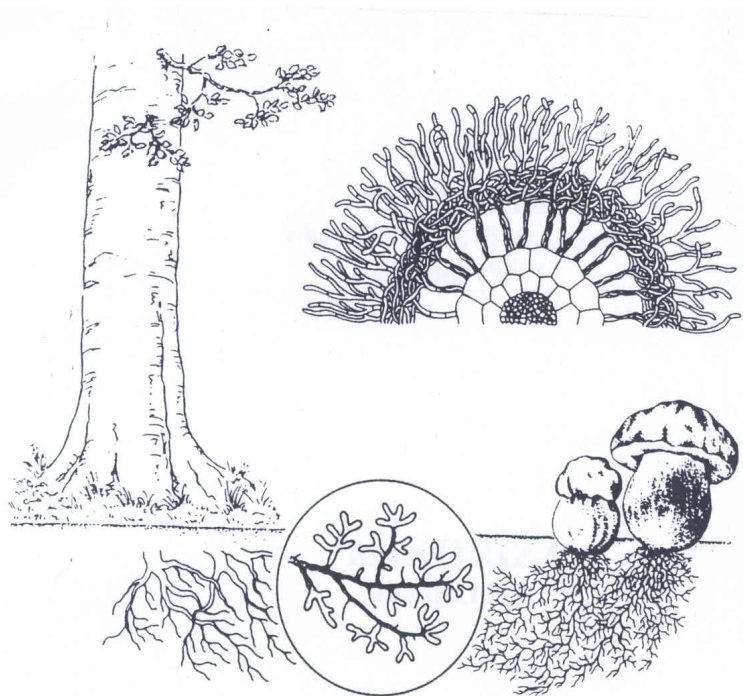
(vezikulāri-arbuskulārā mikoriza)



The American Phytopathological Society



# Mikorizas bioloģiskā nozīme:



Ektomikoriza uz dižskabārža saknēm  
Mohr, Schopfer 1995

Mikoriza ir augu un sēņu simbioze.

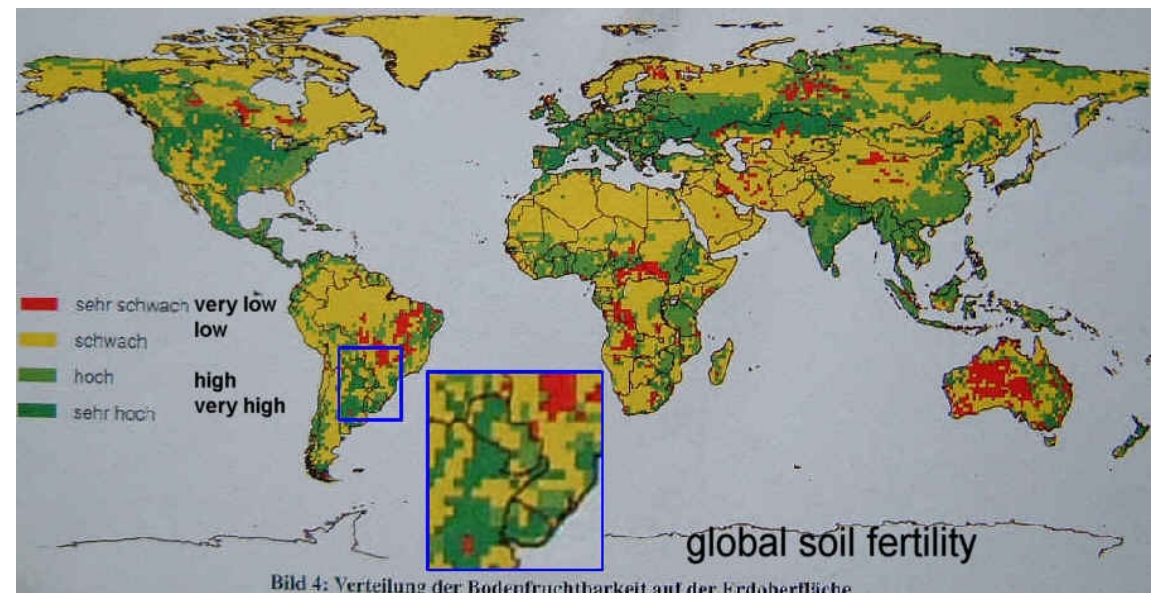
## Mikorizas bioloģiskā nozīme:

- "Virsspurgaliņas" – palielina virsmu
- Sēņu izdalījumi rada skābu reakciju, kas sekmē P, Zn, Cu u. c. uzņemšanu
- Sēņu izdalītie fermenti šķeļ augsnes organiskos savienojumus
- Sēnes izdala antibiotikas, fenolus u. c. savienojumi, kas kavē patogēnu sēņu attīstību, piemēram, *Boletus bovinus* uz egļu saknēm – novērš sakņu trupi
- **Sēnes saista smagos metālus.**
- Sēnes no simbiozes ar augu iegūst – ogļhidrātus, vitamīnus u. c. organiskus savienojumus.

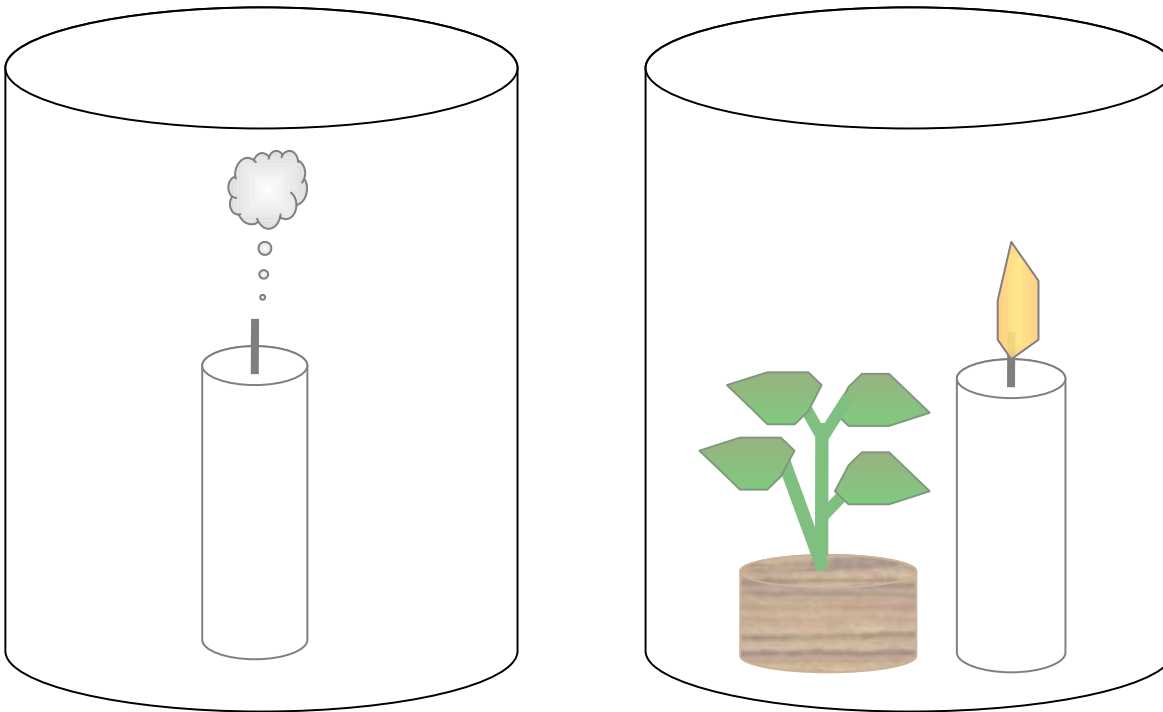


## Augsnes sasāļošanās:

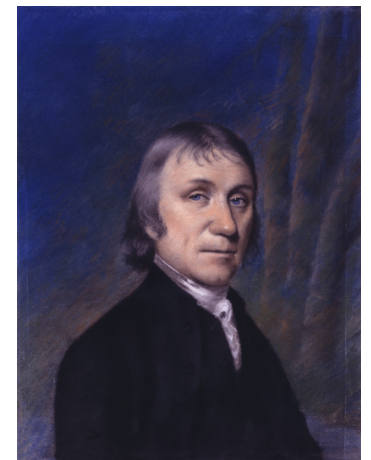
- Ūdens uzņemšanas traucējumi
- Minerālās barošanās traucējumi
- $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  jonu toksiskums



# Fotosintēze

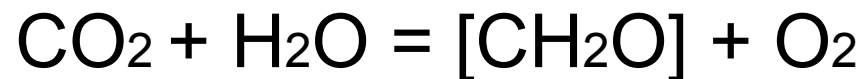


1771. g. Dž. Pristlija eksperiments



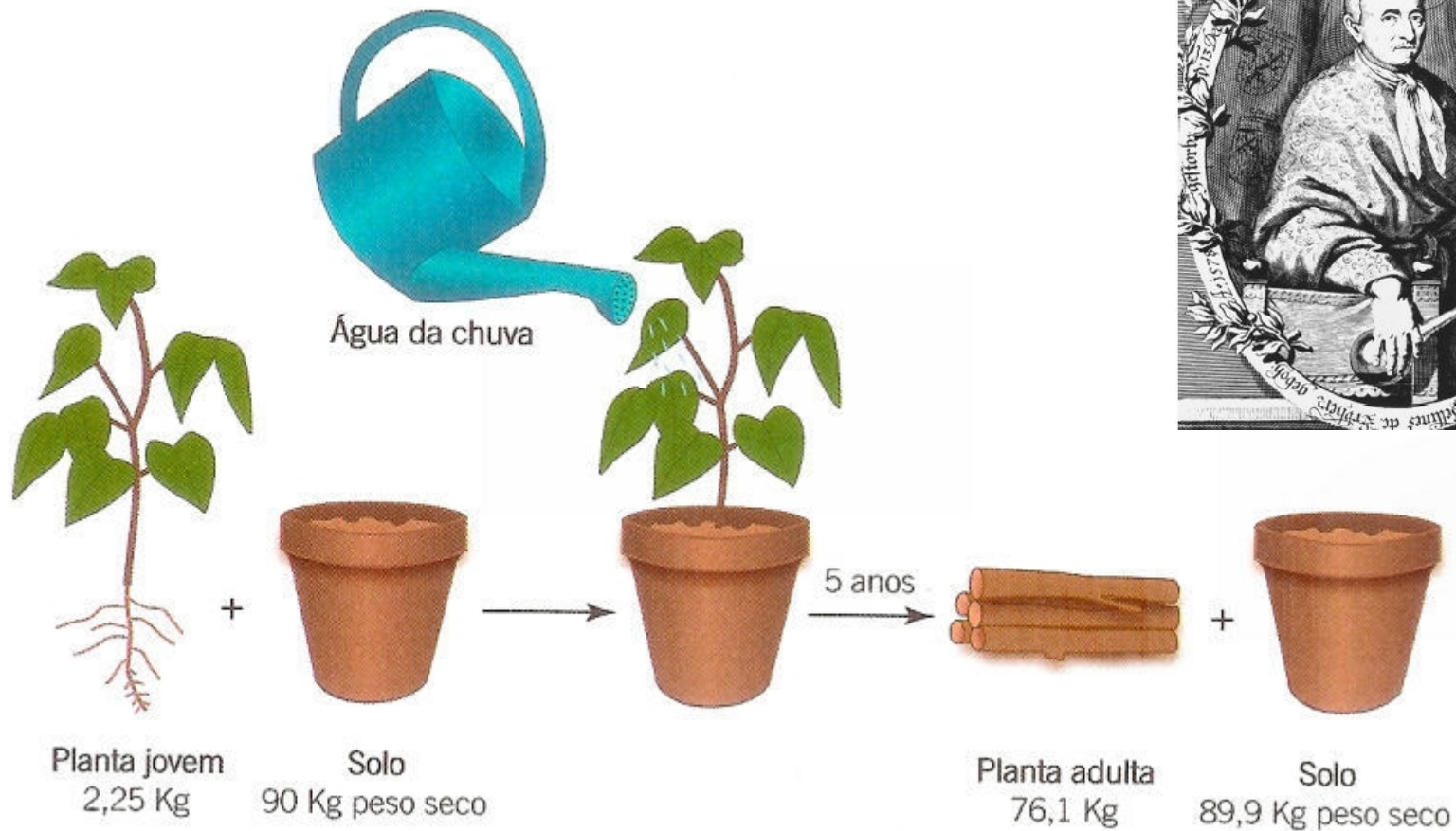
Joseph Priestley

Fotosintēze - **gaismas enerģijas** transformācija organisko vielu ķīmiskajā enerģijā, izmantojot oglekļa dioksīdu un ūdeni. Fotosintēze raksturīga zaļajiem augiem un fotosintezējošām baktērijām



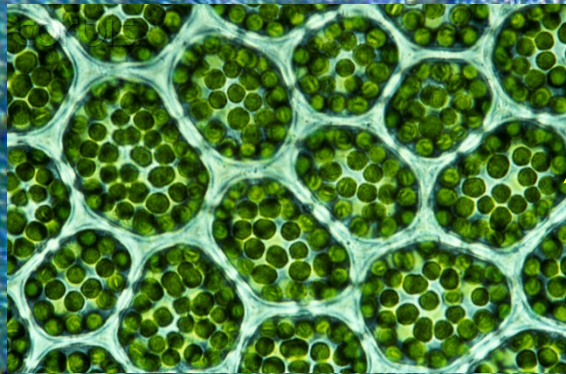


# Van Helmonta eksperiments, XVII gs



Augs aug no gaisa un ūdens?!

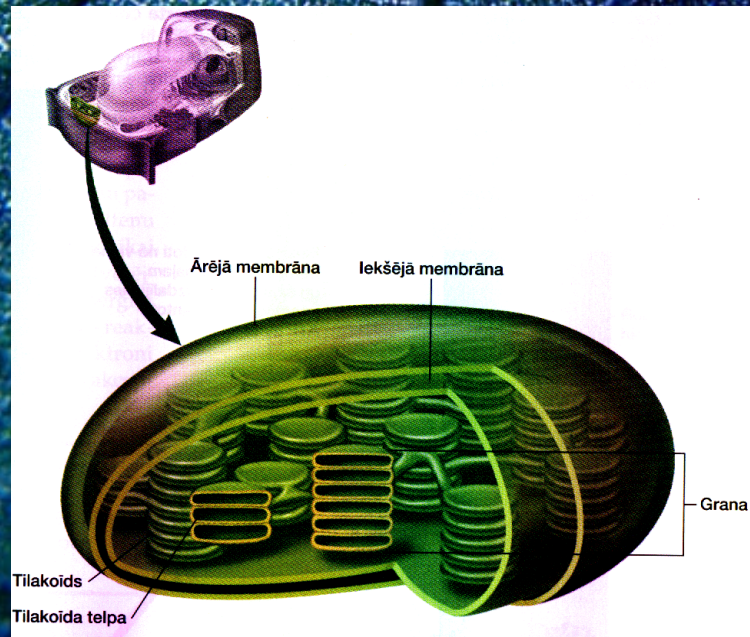




$n \times 10^3$  līdz  $n \times 10^6$  šūnas lapā

1-500 hloroplastu  
vaskulāro augu lapu šūnā

Augu  
lapas  
saista  
gaismu



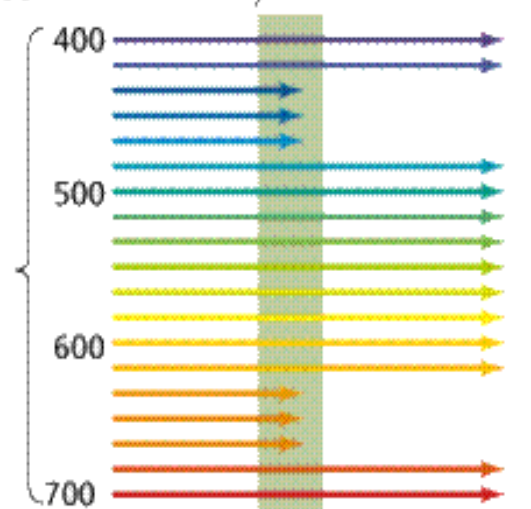
Uz hloroplastu  
membrānām atrodas  
**HLOROFILA**  
molekulas



# Kāpēc augi ir zaļi

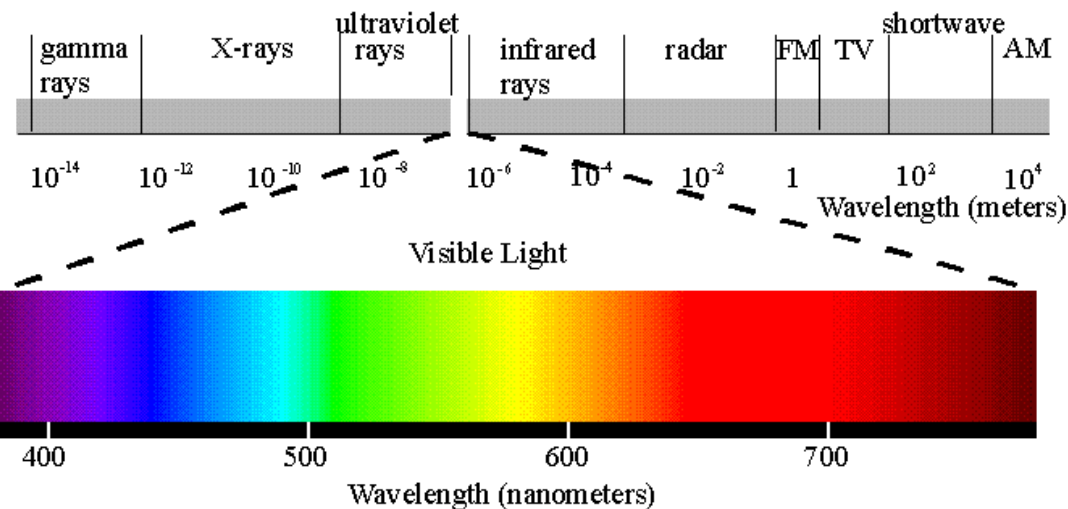
Redzamā gaisma sadalās spektrā, kurš ietver gaismu ar dažādu viļņu garumu

Wavelength in nm Pigment

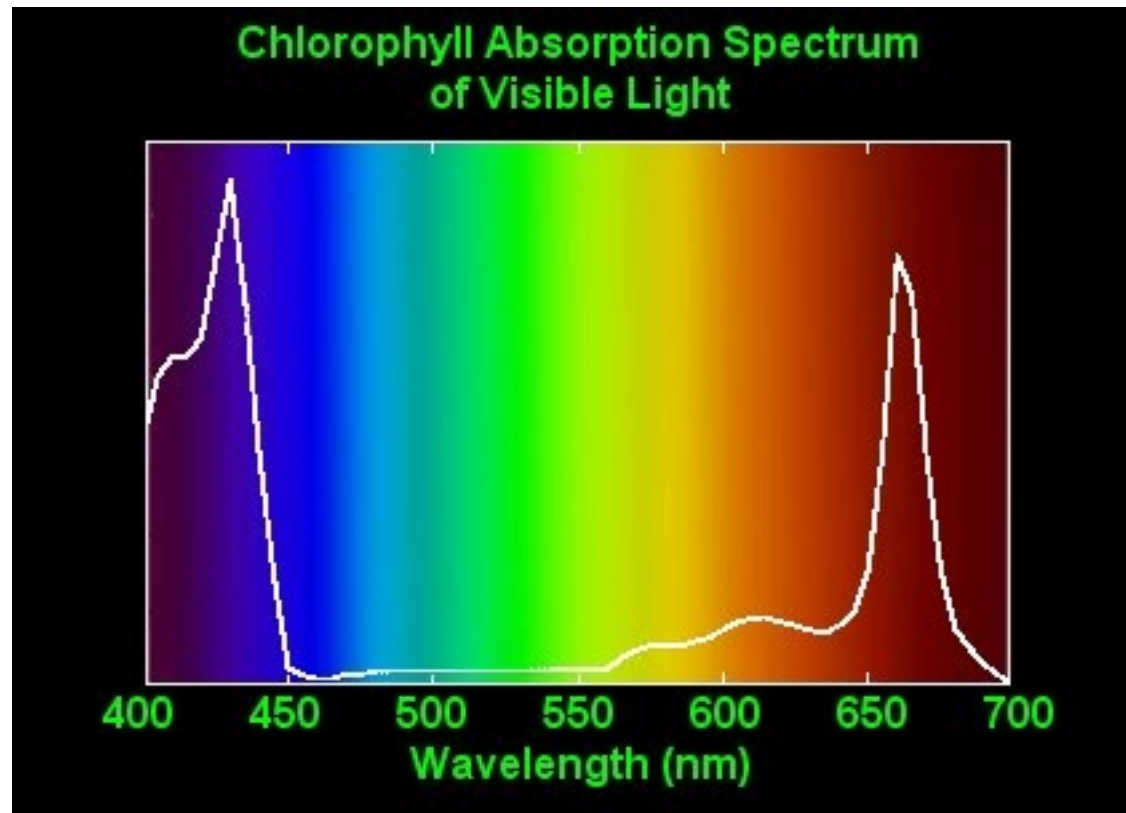


Neabsorbēto gaismu mēs uztveram kā zaļu

Lapu šūnu hloroplasti absorbē gaismu ar noteiktu viļņu garumu



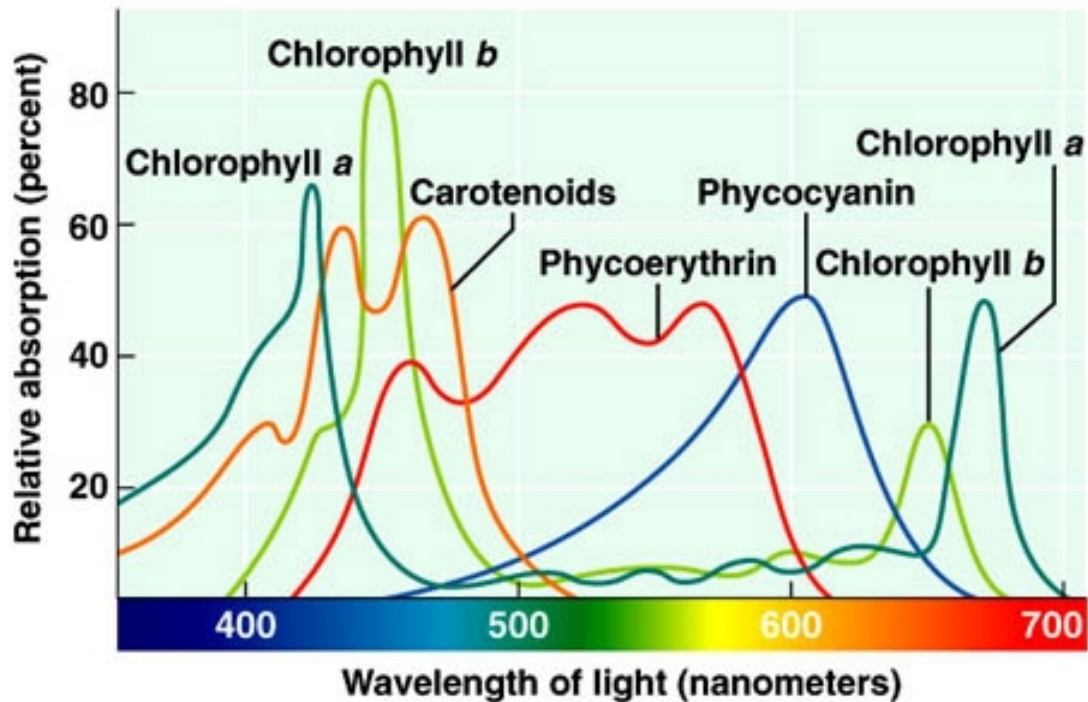
Absorbcijas spektrs: parāda,  
kuras spektra daļas absorbē konkrētā viela



Hlorofila absorbcijas spektrs

# Augu lapas satur dažādus pigmentus

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



## Vaskulāro augu pigmenti:

Hlorofils (a, b)  
karotinoīdi  
antociāni

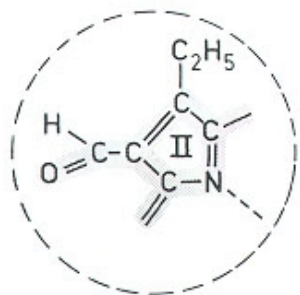
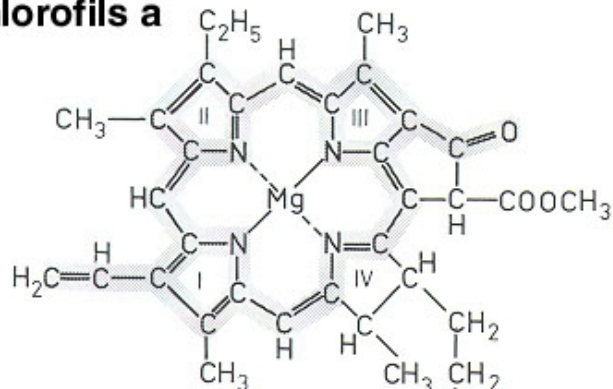
## **Aļģu pigmenti**

Fikobilīni  
Fikocianīns

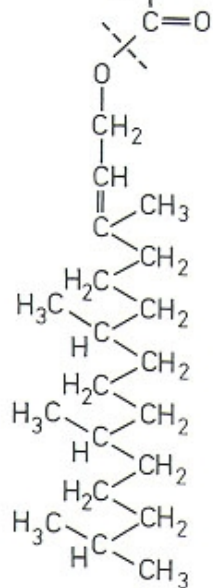


# Hlorofils

hlorofils a



hlorofils b



## Fizikāli-kīmiskās īpašības:

salikts esters

šķīst organiskajos (labāk — nepolārajos)

šķīdinātājos — spirtā, esterī, benzolā

reaģē ar sārmiem (veidojas hlorofilīds) un skābēm (veidojas feofitīns)

absorbcijas maksimumi:

**hla:** 440, 660 nm; **h1b:** 460; 640 nm

fluorescence: **668** nm

## Fizioloģiskā loma augā:

saista gaismas enerģiju un nodod to fotosistēmu reakciju centriem, kur notiek primārās fotosintēzes enerģijas pārvēršanas reakcijas



*Acer campestre*, lauku kļava

# Hlorofils

Hlorofila trūkums augā:

Albīnisms: pigmenta trūkums ģenētisko īpašību dēļ (arī raibās lapas)

Hloroze: minerālelementu trūkums (Fe, Mg)

Etiolācija: tūsmā vai zema apgaismojuma apstākļos nenotiek hlorofila sintēze



*Urtica dioica*, lielā nātre



*Hepatica maxima*  
lielā vizbulīte

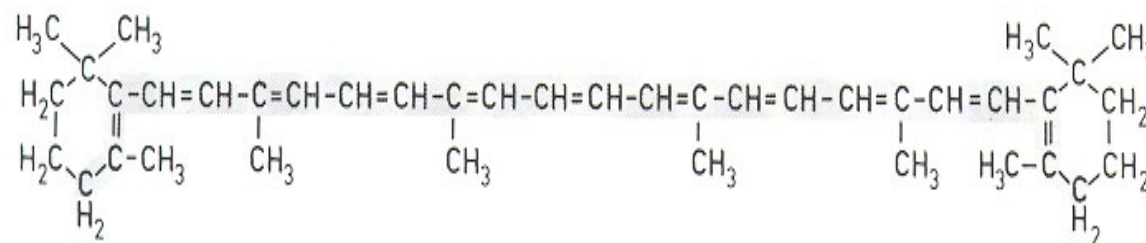


Normāli un etiolēti dīgsti



Raiblapaina kļavas forma

# Karotinoīdi



beta-karotīns

## Fizikāli-kīmiskās īpašības:

tetraterpēni (modificēti izoprēna polimēri)  
šķīst organiskajos, nepolārajos  
šķīdinātājos — acetona, benzolā, hlороformā

absorbcijas maksimums: **400-500** nm

**ksantofili** — karotinoīdu paveids, dzelteni pigmenti

## Fizioloģiskā loma augā:

saista gaismu (palīgpigmenti), novērš hlороfila sadalīšanos,  
piedod krāsu ziediem, augļiem;  
beta-karotīns ir A vitamīna priekštecis



# Karotinoīdi



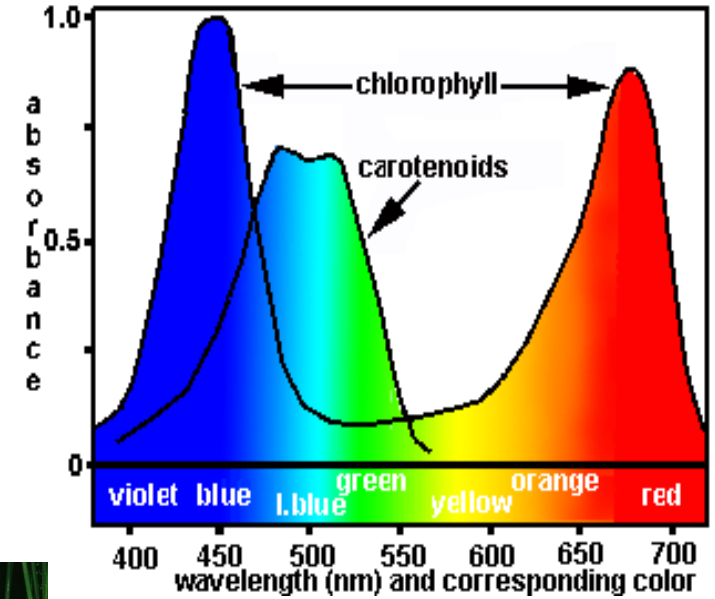
*Acer saccharum*, cukurkļava  
rudeni



*Acer palmatum*, japānas kļava  
rudeni



*Daucus carota*,  
burkāns



Hlorofila un karotinoīdu  
abrobcijas spektri

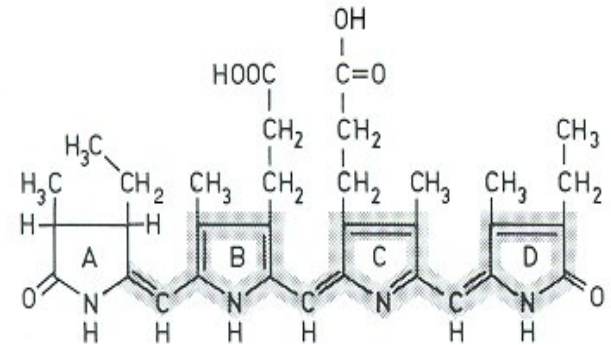
# Fikobilīni

## Fizikāli-ķīmiskās īpašības:

tetrapiroli

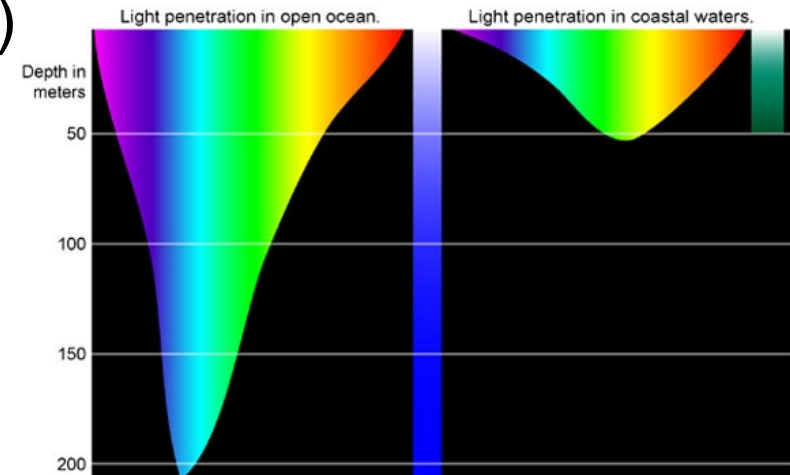
šķīst ūdenī pēc autolīzes,  
nešķīst organiskajos, nepolārajos  
šķīdinātājos

absorbcijas maksimums: **500-650** nm



Fizioloģiskā loma: algēm u.c. ūdenī fotosintezējošajiem organismiem nepieciešami hromatiskai adaptācijai (saistīto gaismas enerģiju nodod hlorofilam)

Gaismas spektrālā  
sastāva izmaiņas  
dažādā dziļumā:

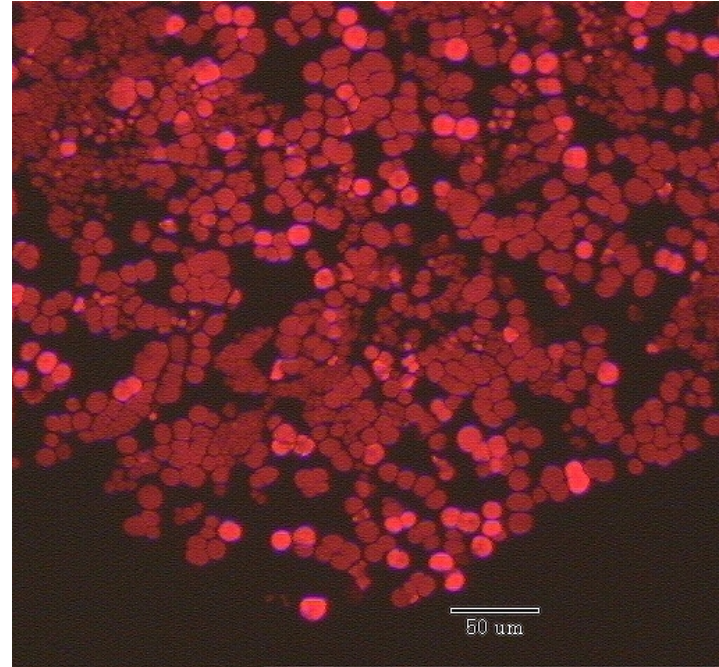




# Fikobilīni

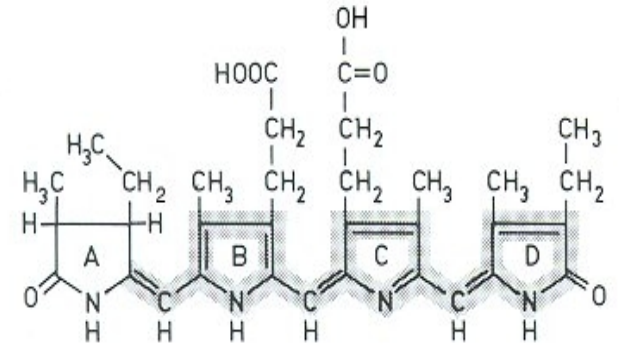


**Sārtaļģe**  
*fikoeritrīns*



**Cianobaktērijas**  
*fikocianīns*

# Antociāni



## Fizikāli-kīmiskās īpašības:

glikozīdi

(polifenoli saistīti ar cukura molekulām)

šķīst ūdenī

maina krāsu atkarībā no pH

absorbcijas maksimums: dzeltenajā,  
zaļajā un UV spektra daļā



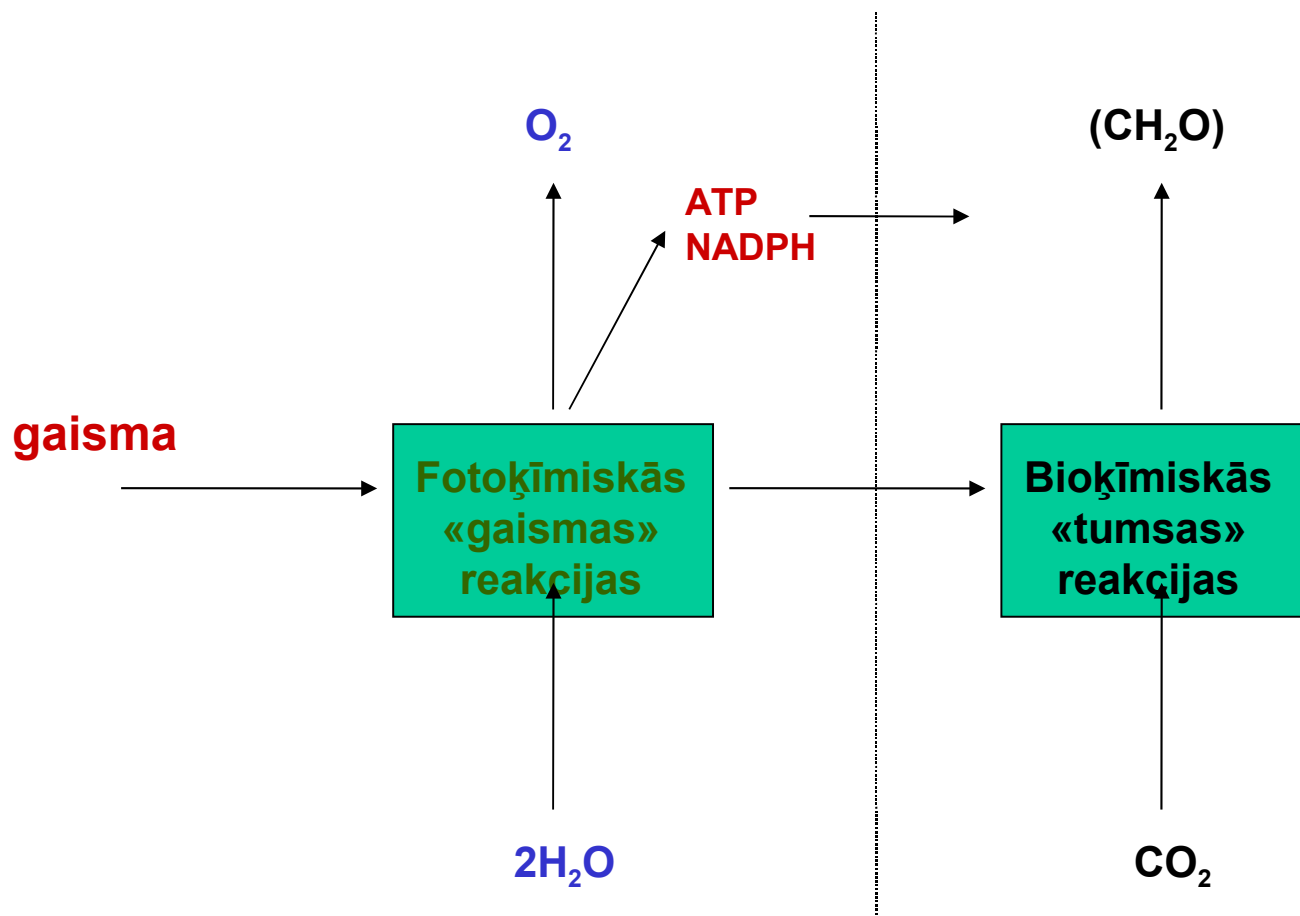
*Rubus plicatus*  
krokainā cūcene

Fizioloģiskā loma: antociāni atrodas šūnās  
(vakuolās), absorbē UV un zilo gaismu, kura  
var pārslogot fotosistēmas;  
veido ziedu, lapu, augļu krāsu, ir antioksidanti,  
var piedalīties termoregulācijā,  
saistīti ar cukuru vielmaiņu augā



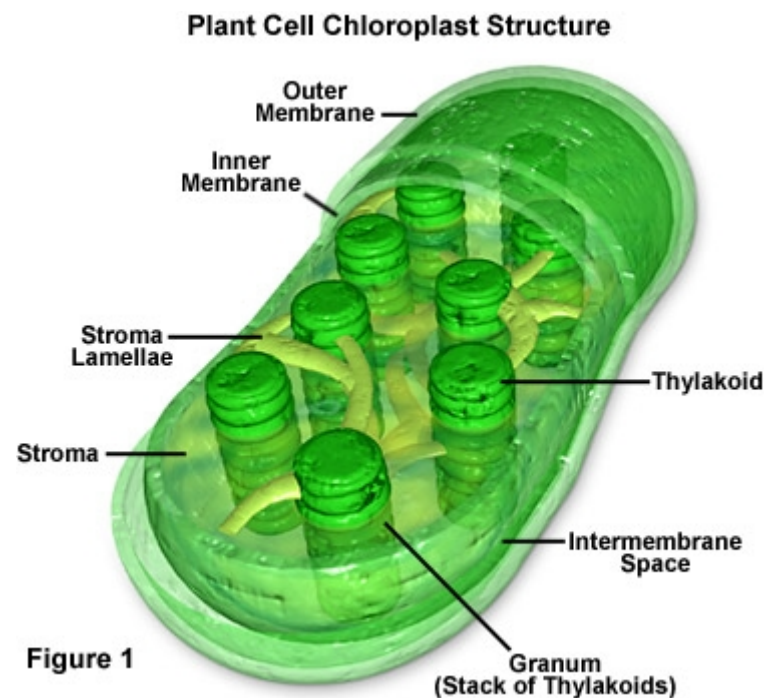
*Fagus sylvatica* –  
Eiropas dižskābardis  
Šķirne 'Purpurea'

# Fotosintēzes reakcijas

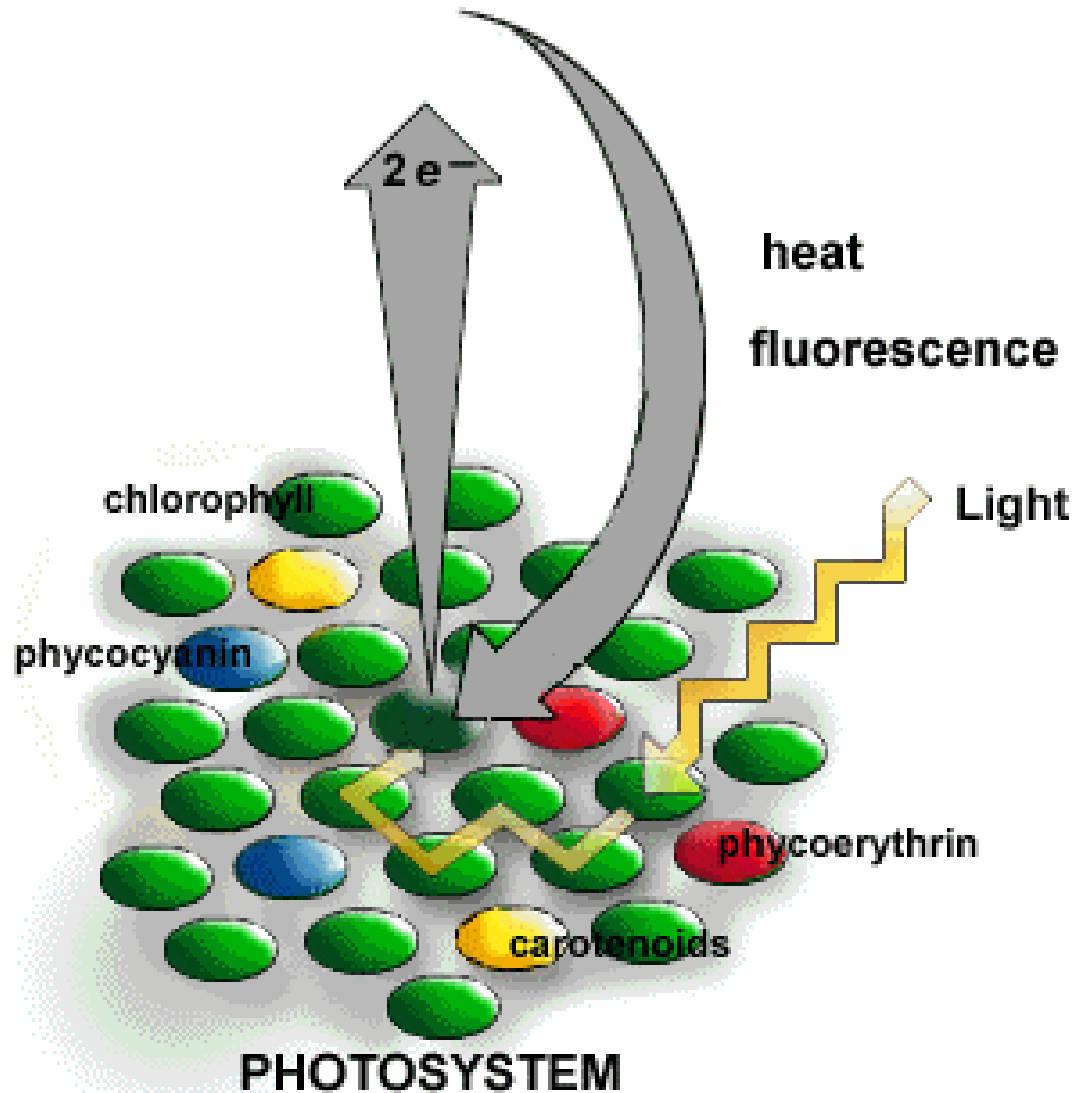


UZ HLOROPLASTU  
TILAKOĪDU  
MEMBRĀNĀM

HLOROPLASTU  
STROMĀ



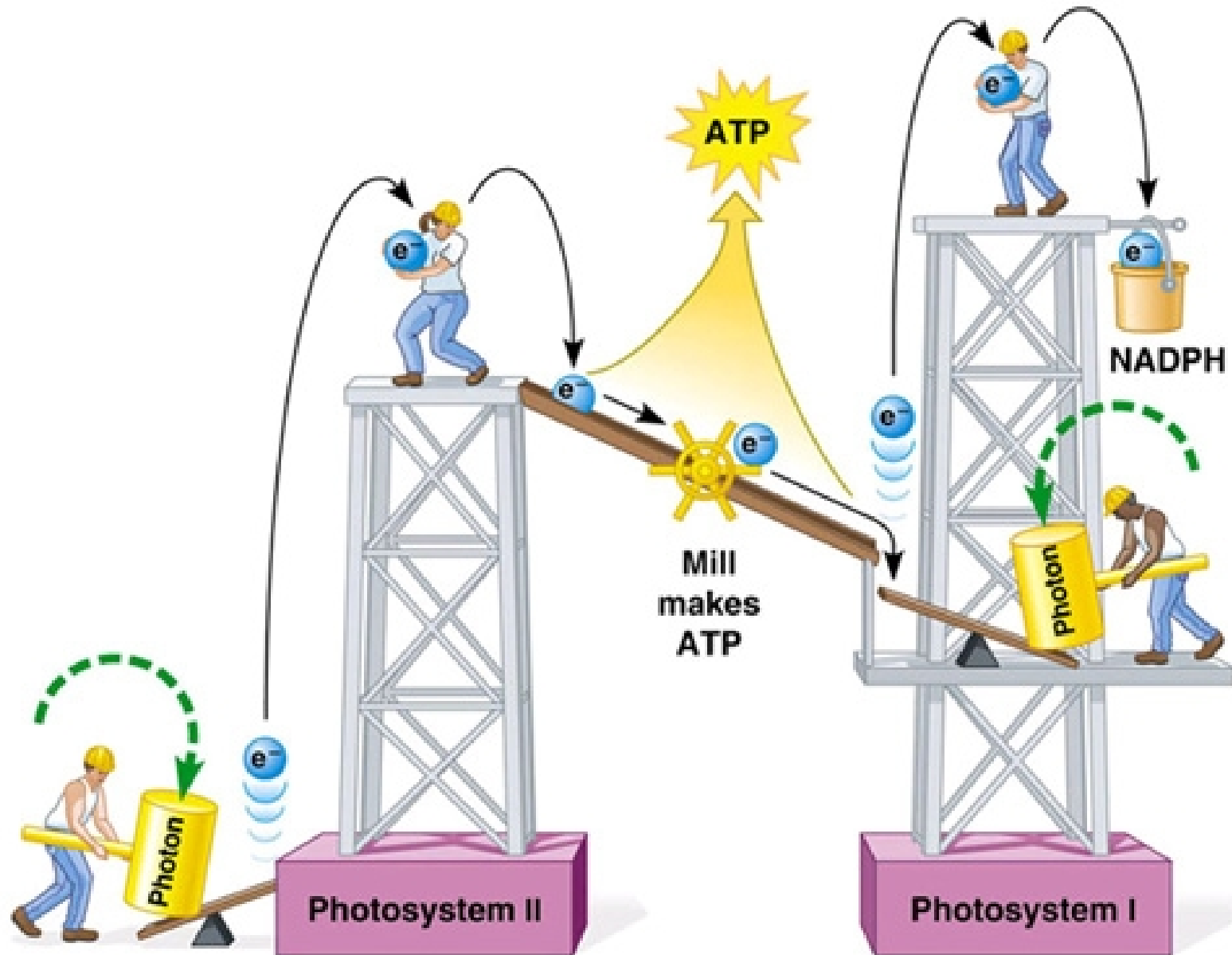
# Fotoķīmiskās reakcijas



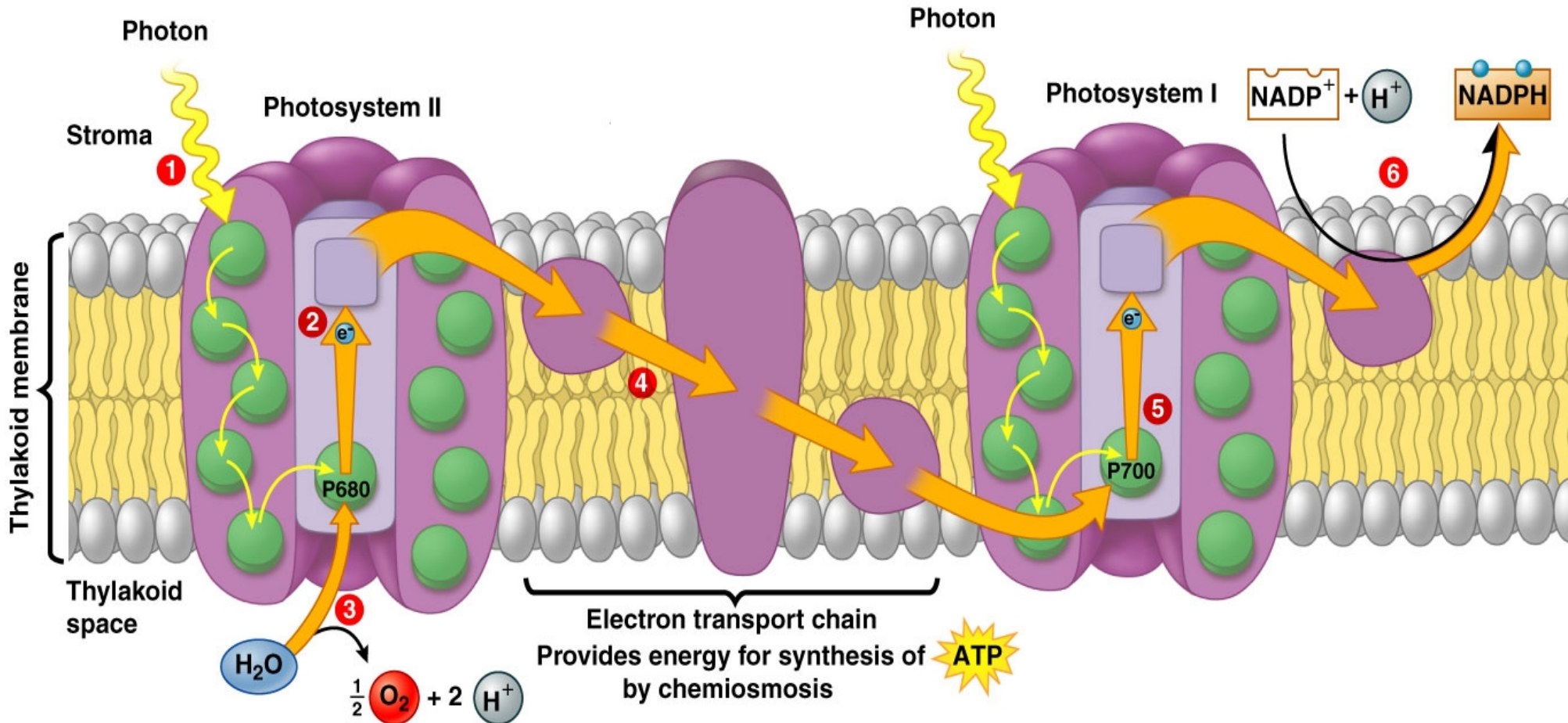
Gaismas absorbcija  
fotosistēmā



# Fotoķīmiskās reakcijas



# Fotoķīmiskās reakcijas



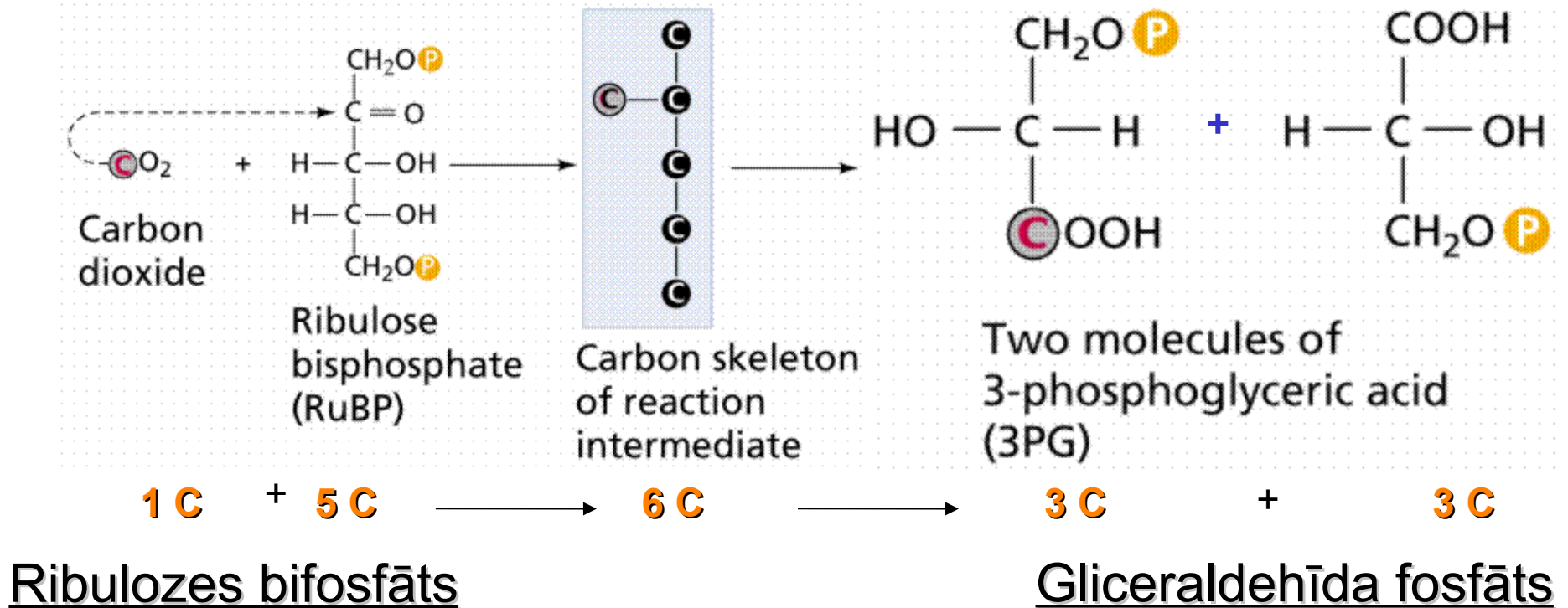
Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

FOTOSISTĒMA II

ELEKTRONU  
TRANSPORTA  
ĶĒDE

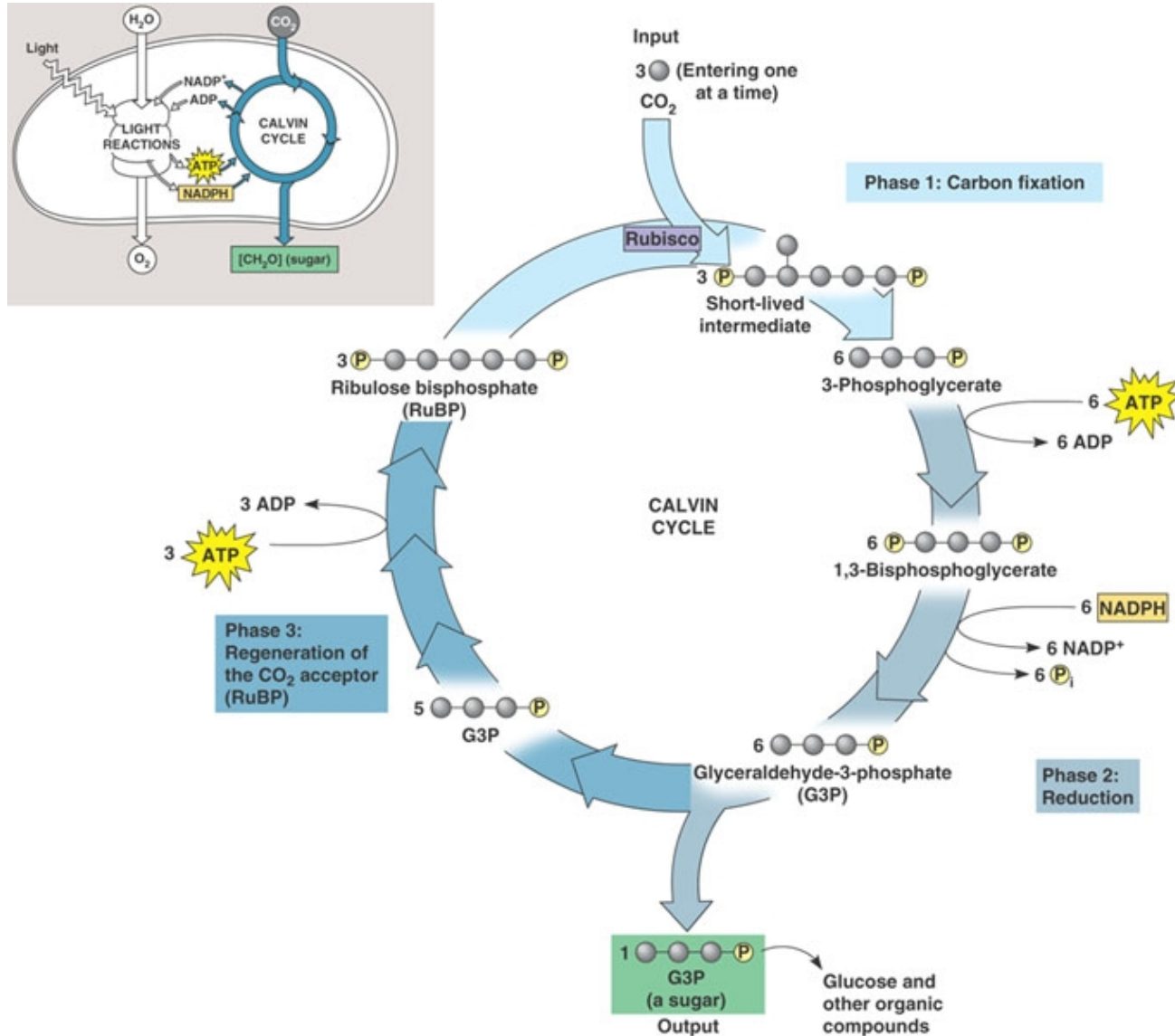
FOTOSISTĒMA I

# Bioķīmiskās reakcijas



CO<sub>2</sub> (ogļskābās gāzes) asimilācija

# Bioķīmiskās reakcijas

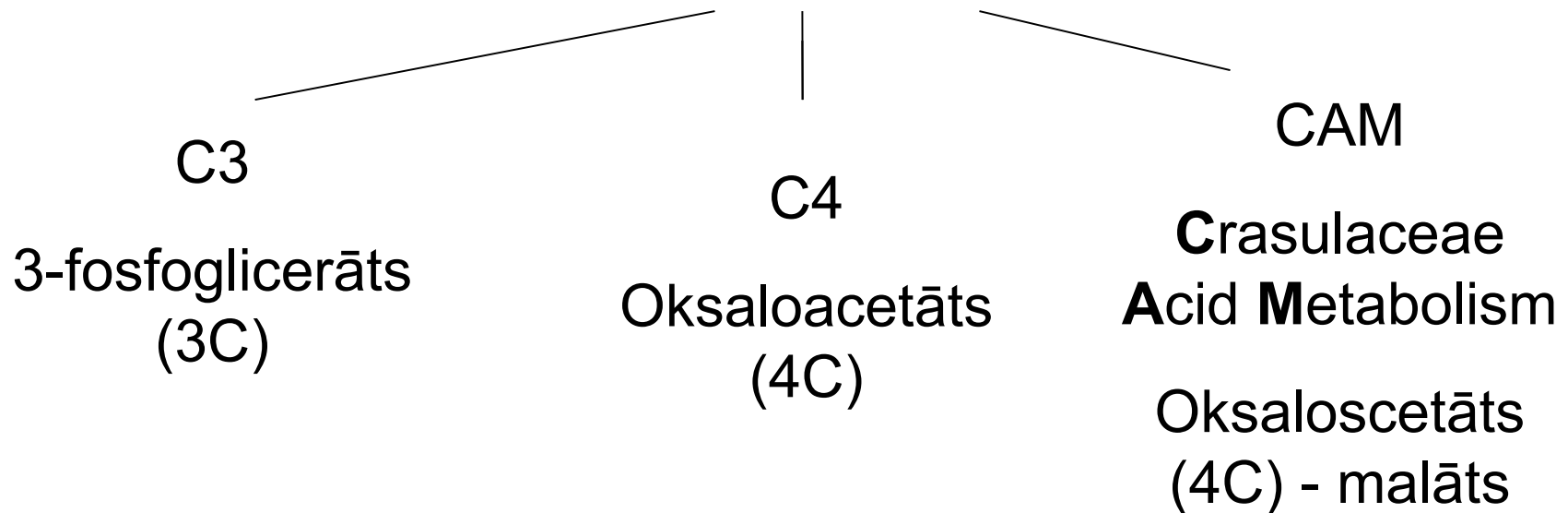


$\text{CO}_2$  (ogļskābās gāzes) asimilācija: Kalvina cikls



# Fotosintēzes tipi

Atkarībā no tā, kāda viela rodas, akceptoram piesaistot CO<sub>2</sub> molekulu, izšķir 3 pamattipus





© - josef hlasek  
www.hlasek.com  
*Pinus sylvestris* 6530

*Pinus sylvestris*  
parastā priede

C3 tips



Foto: Trond Steen

*Hepatica nobilis*  
zilā vizbulīte



Foto: Arne Anderberg

*Quercus robur*  
parastais ozols



## C4 tips



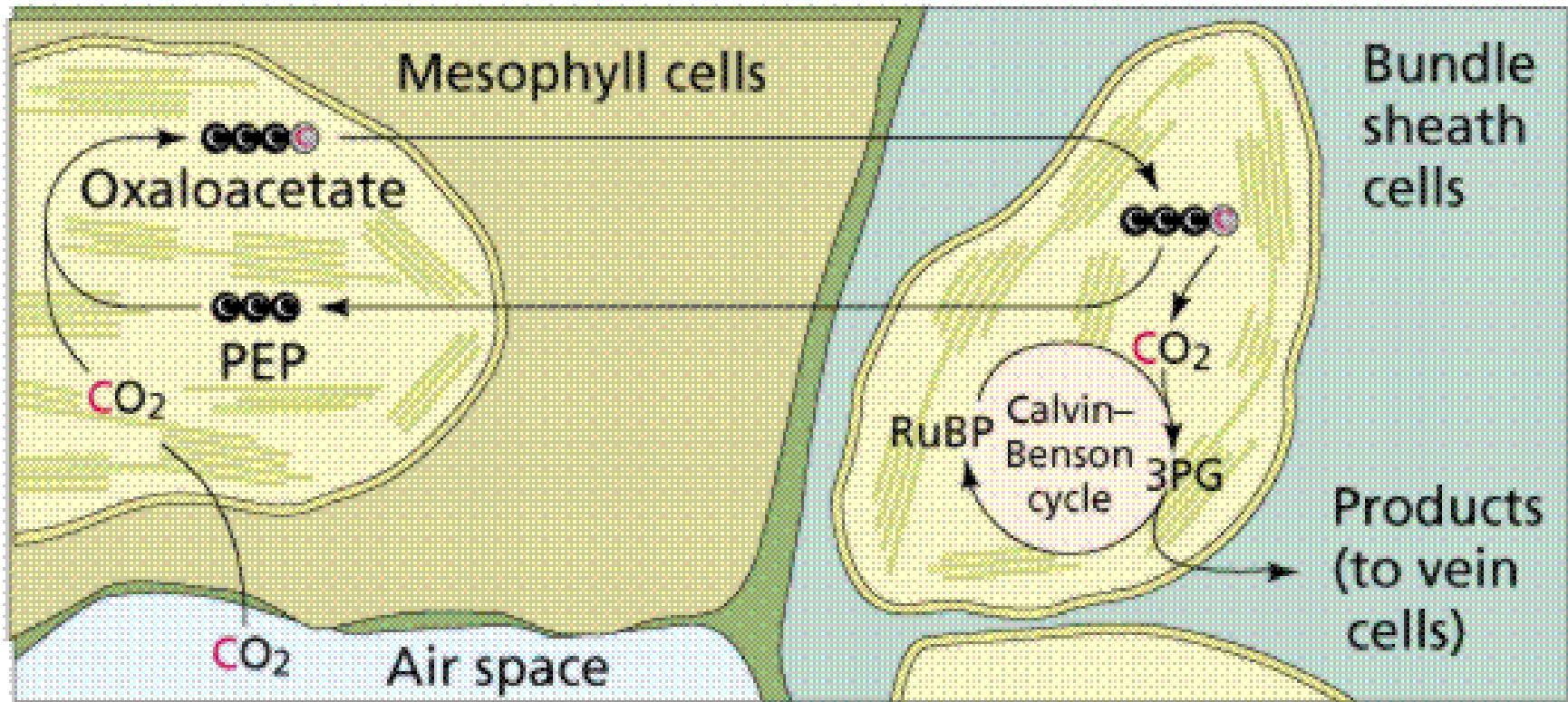
*Panicum miliaceum*  
prosa



*Saccharum officinarum*  
cukurniedre

*Zea mays*  
parastā kukurūza

# C4 tips



<http://www.emc.maricopa.edu/faculty/farabee/BIOBK/C4leaf.gif>





*Lycopersicum  
esculentum* ēdamais  
tomāts

## Jauktais C3-C4 tips



*Nicotiana tabacum*  
parastā tabaka



*Vitis labrusca*  
Amerikas vīnkoks

## CAM tips



*Sedum acre*  
kodīgais laimiņš

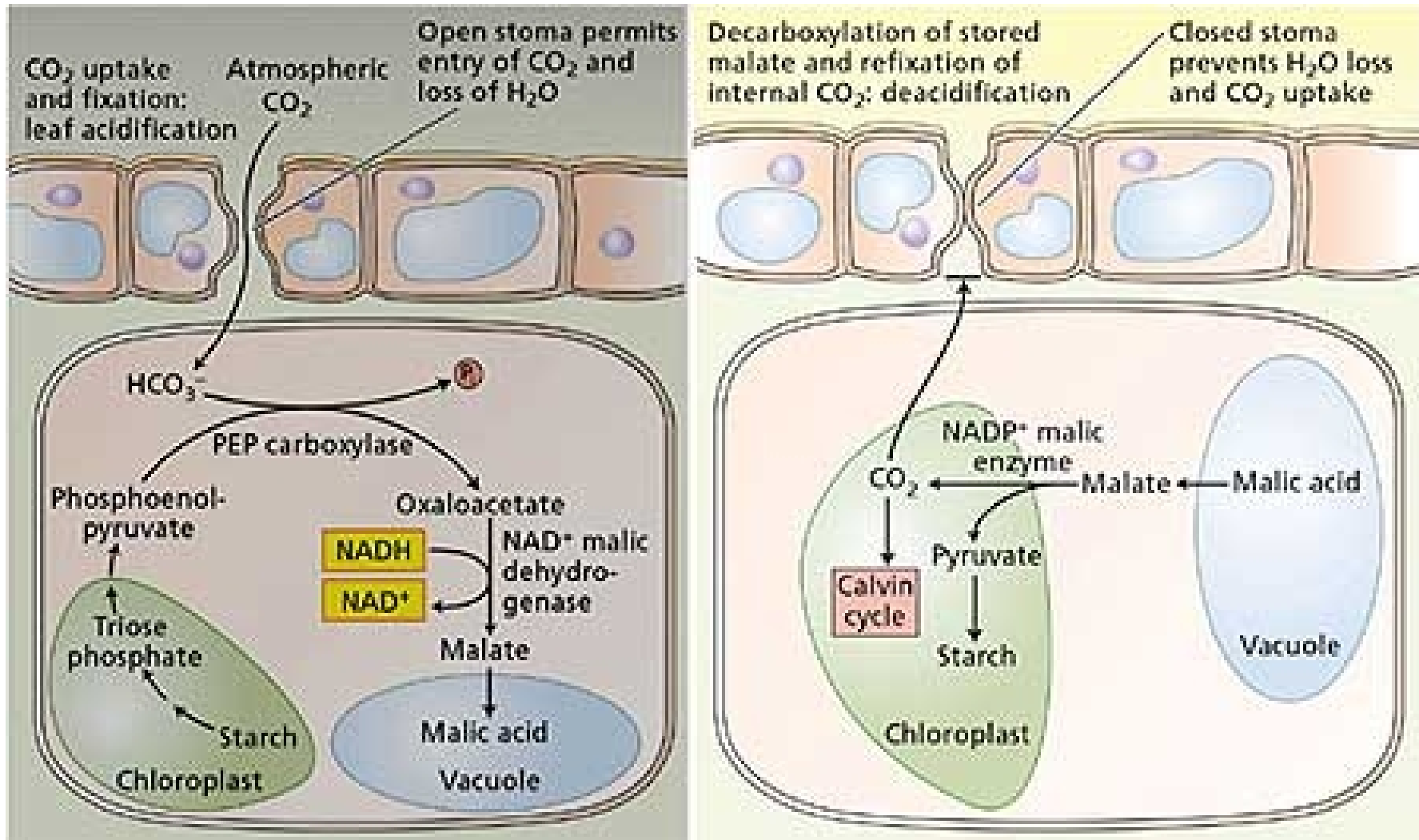


*Crassula aquatica*  
ūdeņu biezlape



*Yucca filamentosa*  
Šķiedru juka

# CAM tips





# Fotosintēzes nozīme

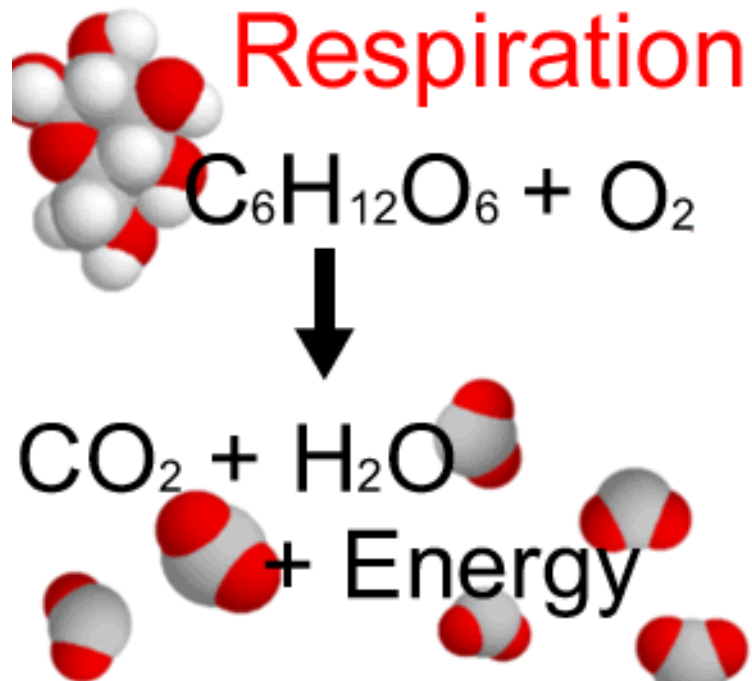


Gaismas enerģijas transformācija ķīmisko saišu enerģijā  
(1-2% Saules enerģijas)

- Sintezējas organiskās vielas  
( $\sim 2 \times 10^{11}$  t gadā)
- Atjauno skābekļa daudzumu uz Zemes
- Novērš  $\text{CO}_2$  uzkrāšanos atmosfērā
- Augi novērš piesārņojumu un spēj regulēt klimatu uz Zemes



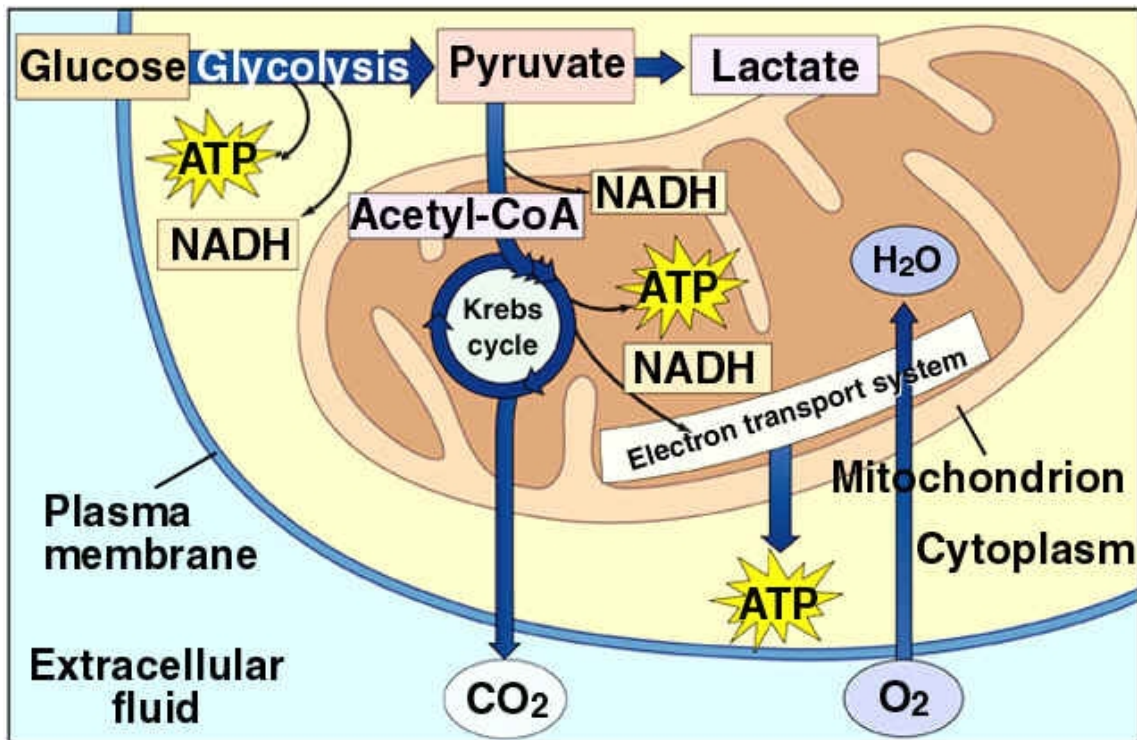
# Augu elpošana



# Aerobā elpošana ir procesu kopums

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

## Aerobic Respiration Overview

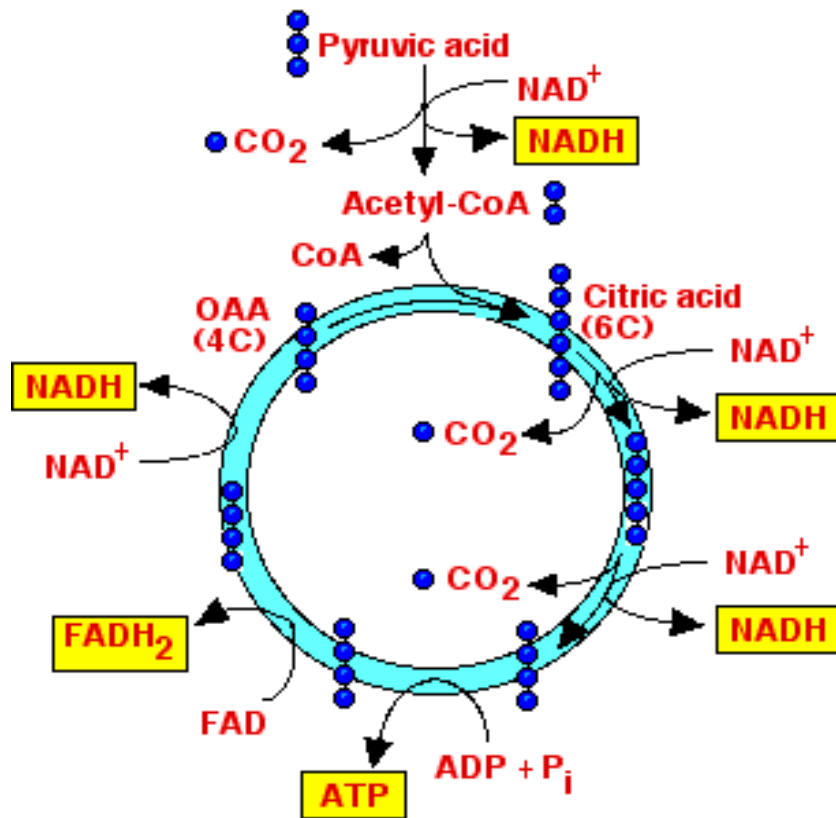


**Glikolīze** ir anaerobs process, kas notiek citoplazmā un hloroplastos

**Krebsa cikla** reakcijas notiek mitohondriju matriksā

**ATP sintāze** atrodas uz mitohondriju membrānām

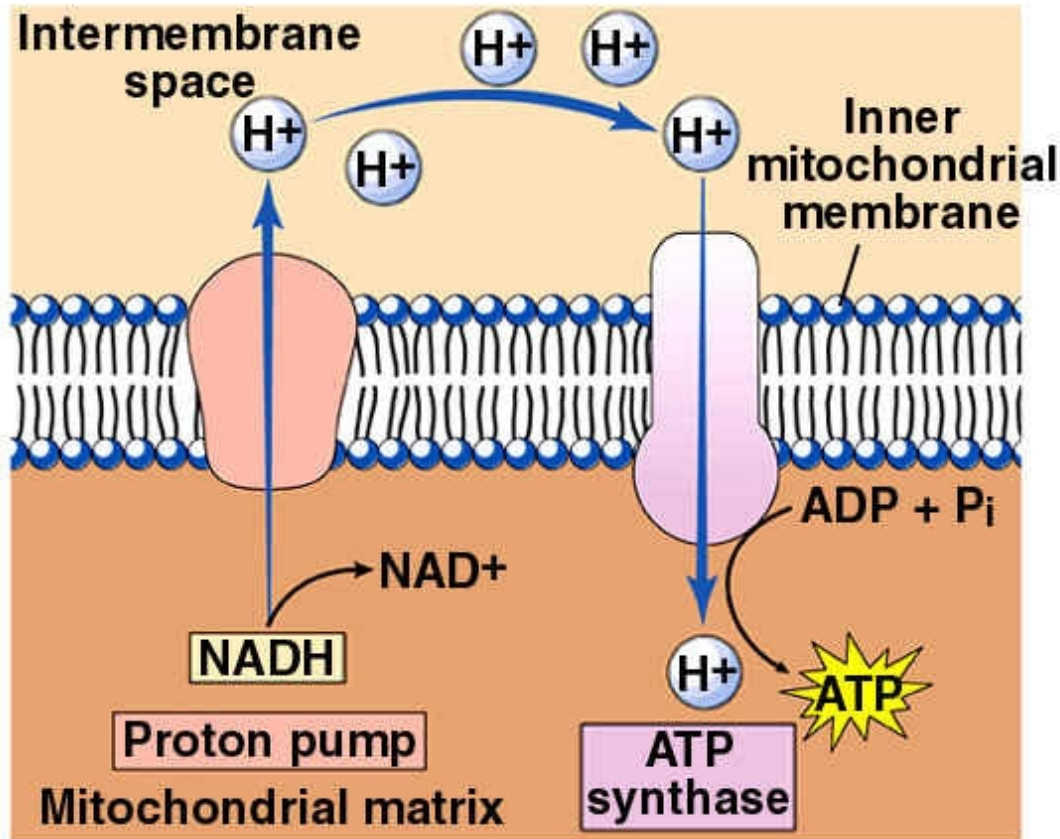
## Krebs Cycle (Citric Acid Cycle)



Krebsa cikls:  
Glikolīzes procesā radušais **piruvāts** tiek pilnīgi sašķelts līdz **CO<sub>2</sub>** un **H<sub>2</sub>O**.

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

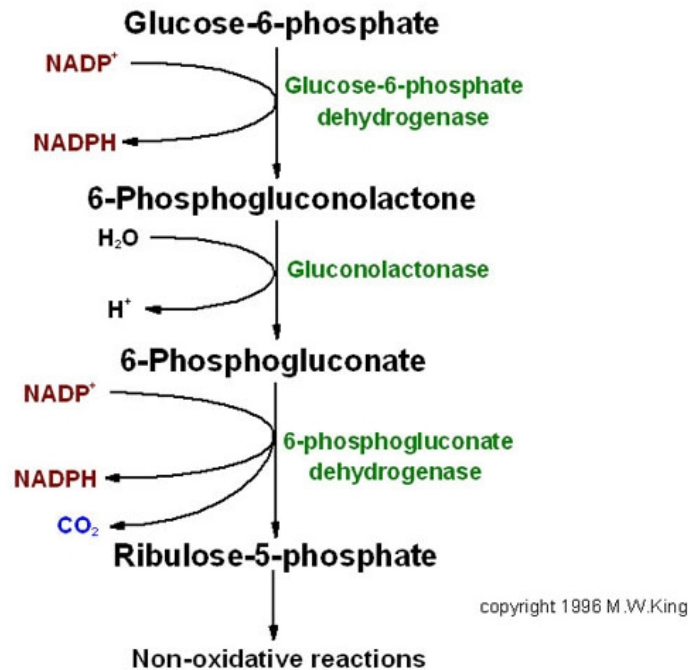
## Chemiosmosis



ATF (ATP) sintēze  
mitochondrijos

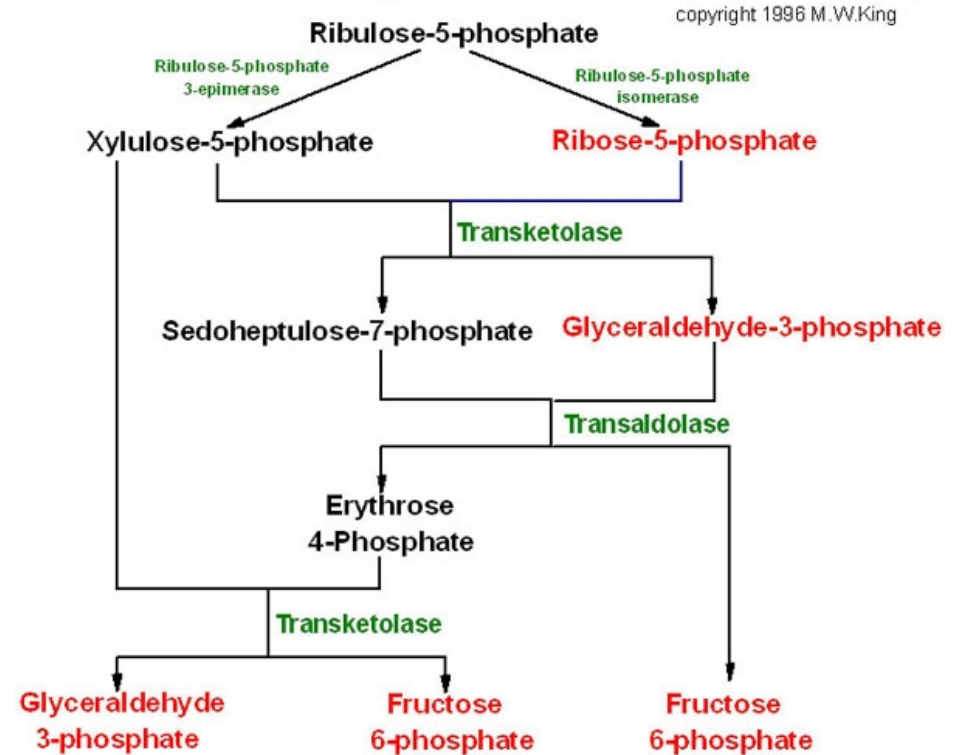


## Oxidative Stage of Pentose Phosphate Pathway



## Pentožu fosfāta ceļš

### Non-Oxidative Stage of Pentose Phosphate Pathway



Pentozofosfātu ceļā glikoze oksidējās citoplazmā, Veidojas NADPH un 5C cukuru fosfāti(vajadzīgi nukleotīdu sintēzei)

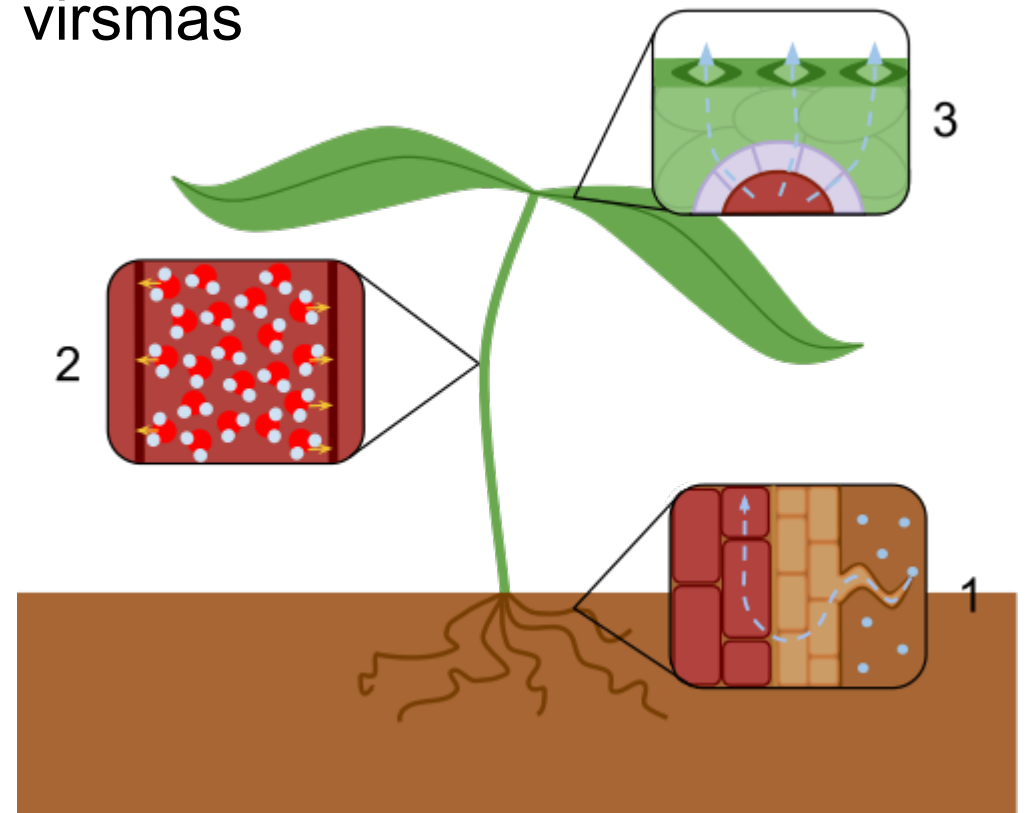
# Augu elpošanas īpatnības

- nedaudz samazināta efektivitāte
- Var notikt spirta rūgšanas process
- lielāks plastiskums
  - alternatīvas bioķīmiskās reakcijas
  - augiem īpatnējie enzīmi
  - regulēšanas īpatnības



# Transpirācija

**Transpirācija** ir ūdens pārvietošanās no auga saknēm līdz virszemes daļām un kontrolēta iztvaikošana no virszemes daļu, galvenokārt lapu, virsmas



# Faktori, kuri nosaka transpirācijas intensitāti

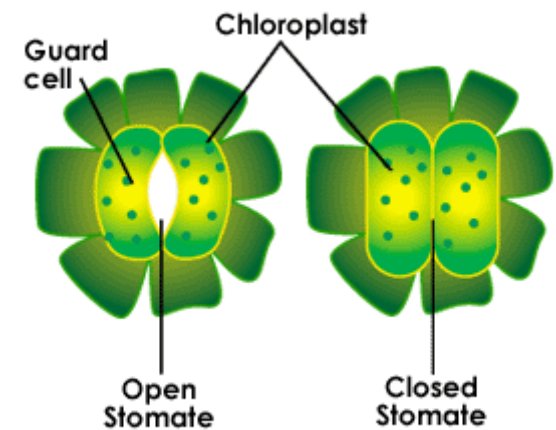
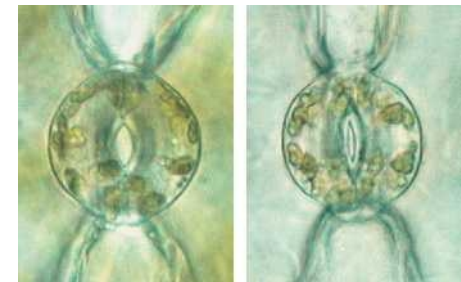
## Auga īpašības:

- atvārsnīšu skaits un stāvoklis
- lapu kutikulas biezums
- lapu morfoloģiskās īpašības (ūdens tvaika robežslāņa biezums)

## Vides faktori:

- temperatūra
- gaisma
- vēja ātrums
- mitrums

**Atvārsnītes:** lapu epidermas struktūras, kuras veido specializētas lapu epidermas šūnas, slēdzējšūnas





# Metabolisma procesi augā vienmēr ir mijiedarbībā

