

ONEČIŠĆENJE TLA I ATMOSFERE

- teški metali
- plinovi u atmosferi
- ksenobiotici
- mikroplastika



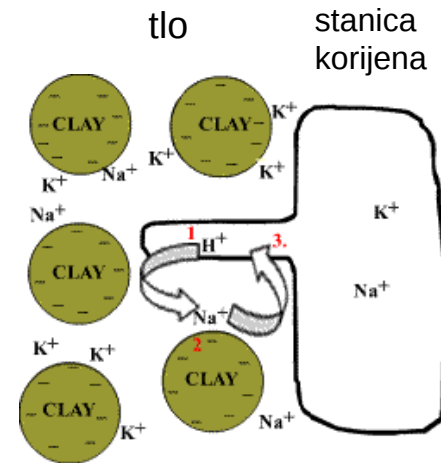
TEŠKI METALI

- u tlu mogu biti prisutni u povećanoj količini zbog prirodnih procesa ili kao posljedica ljudske aktivnosti
- u elementarnom obliku - gustoća veća od 5 g cm^{-3} (ili $4,5 - 6,0 \text{ g cm}^{-3}$);
- fizikalna svojstva metala u tom obliku nisu važna za njihovu biološku aktivnost



Svojstva o kojima ovisi dostupnost metala biljkama:

- topljivost - metali su dostupni biljkama samo u otopljenom obliku pa stoga razmatramo svojstva njihovih soli (topljivost i dr.)
- reaktivnost - npr. u redoks-reakcijama, formiranje kompleksa (ostvarivanje koordinacijskih veza s kisikom, dušikom, sumporom)



Teški metali važni za metabolizam biljaka (mikro-elementi u prehrani i toksični metali)

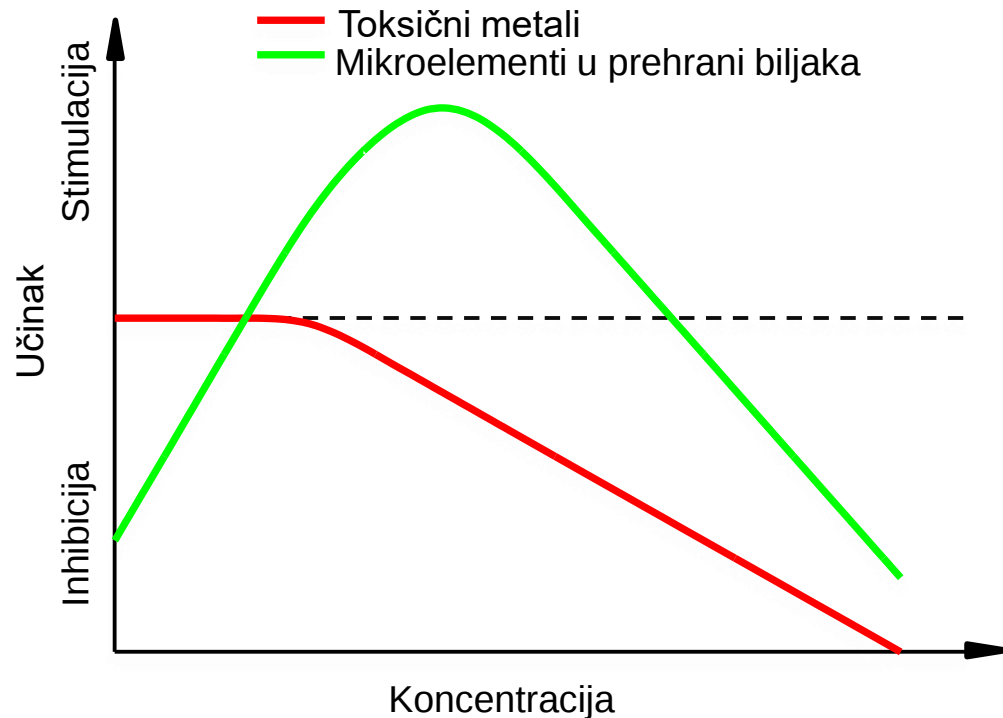
Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Pt, Sb, Sn, Ti, V, Zn i Zr

- mikroelementi u prehrani biljaka: Cu, Fe, Mn, Mo, Ni i Zn
- svi ostali - toksični učinak

Uzroci stresa

- a) metali esencijalni u prehrani biljaka: { suvišak
manjak
- b) neesencijalni metali: suvišak

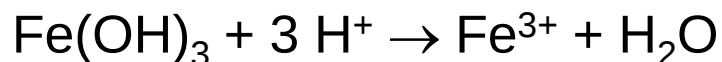
Odgovor na prisutnost
esencijalnih mikroelemenata i
toksičnih metala – ovisnost o
koncentraciji



A) STRES UZROKOVAN MANJKOM METALA

Primanje Fe iz tla i prijenos u nadzemne dijelove biljke

- primjer manjka Fe: uzrokuje klorozu
- Fe se nalazi u tlu u obliku teško topivog $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- uloga H^+ -ATP-aze u zakiseljavanju rizosfere:



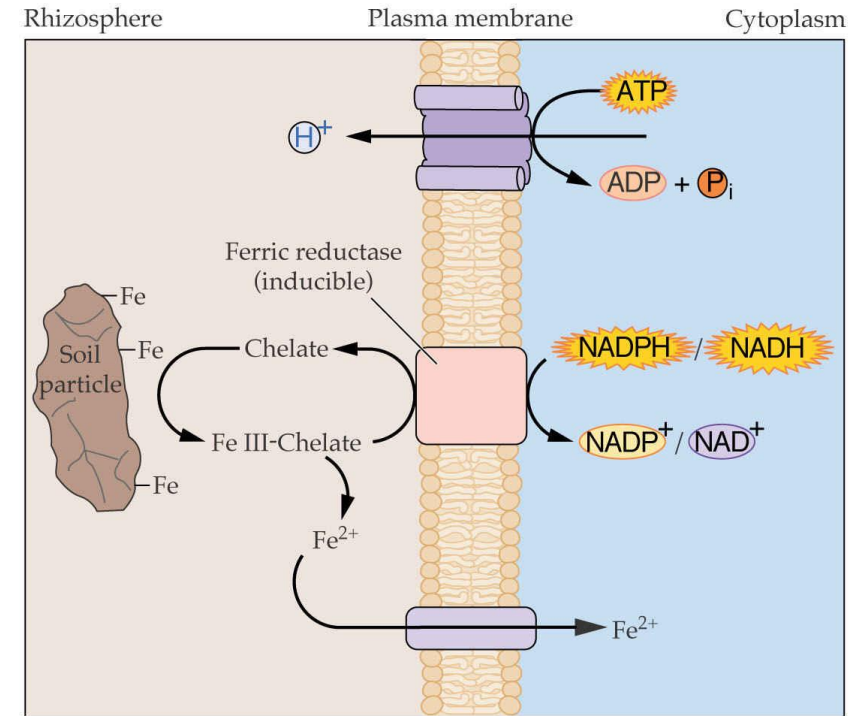
- fiziološka prilagodba biljaka temelji se na **povećanoj učinkovitosti apsorpcije Fe iz tla**

1. **strategija redukcije** (mehanizam primanja Fe u dvosupnica i jednosupnica, osim trava; Fe se prima u biljku u obliku Fe^{2+})
2. **strategija heliranja** (mehanizam primanja u trava)

- prijenos Fe u druga tkiva – heliran s citratom (u ksilemu) ili nikotinaminom (u floemu)
- pohrana unutarstaničnog Fe: plastidi (ferritin), mitohondriji (frataksin), vakuole (Fe helirano s nikotinaminom, fosfatom ili fitatom)

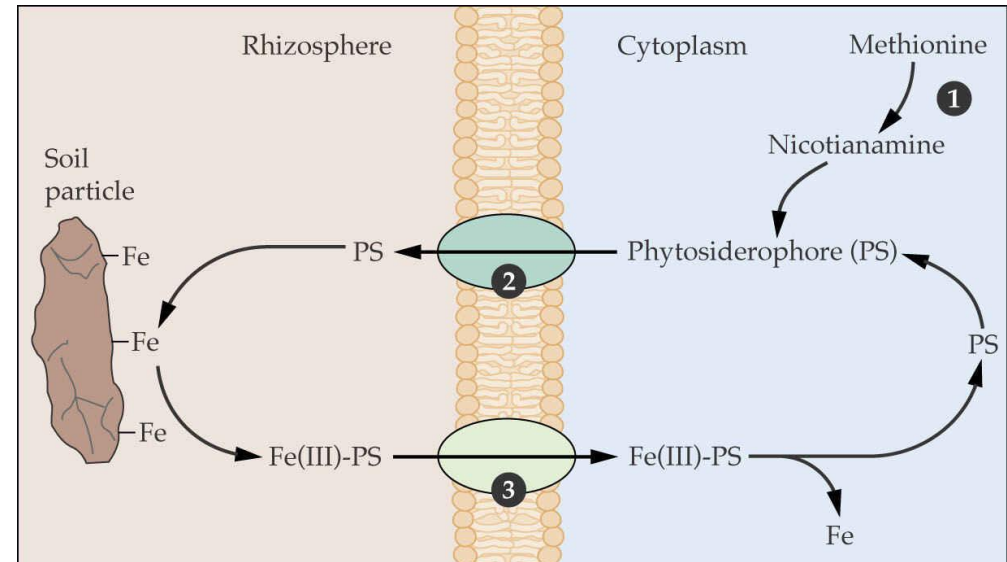
1) Mehanizam primanja Fe u dvosupnica i jednosupnica osim trava

-strategija redukcije



2) Mehanizam primanja Fe u trava (*Poaceae*)

-strategija heliranja



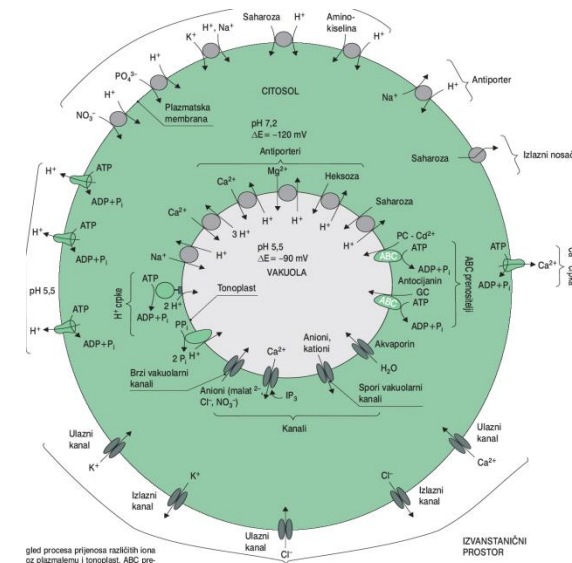
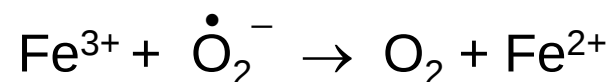
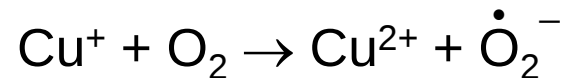
B) STRES UZROKOVAN SUVIŠKOM TEŠKIH METALA

1. Interferencija s primanjem drugih elemenata

- dva elementa koriste isti prijenosni mehanizam
→ nedostatak esencijalnog el. i toksični učinak teškog metala
- inhibicija aktivnosti membranskih enzima
(npr. ATP-aze kadmijem)

2. Stvaranje reaktivnih kisikovih oblika (ROS)

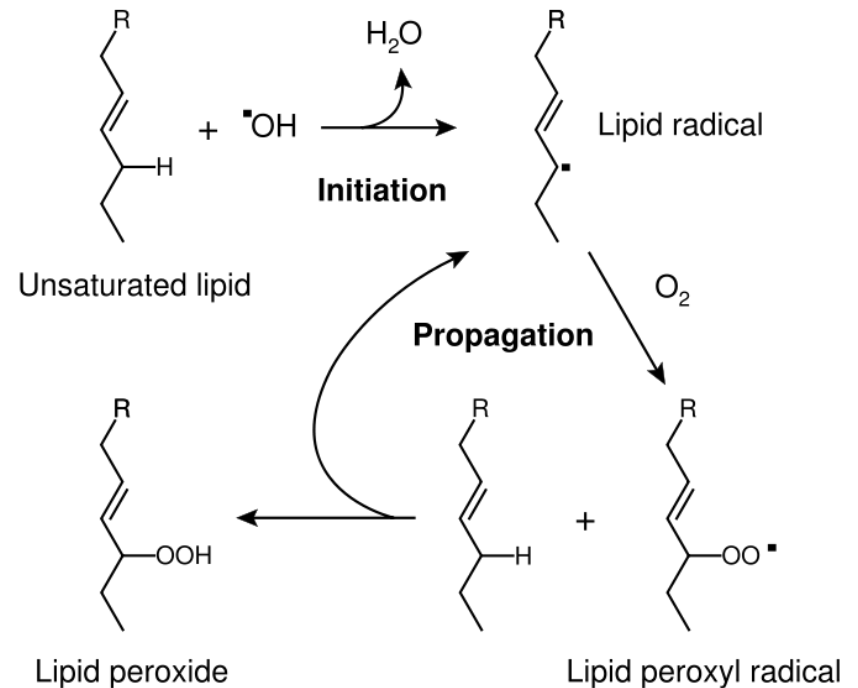
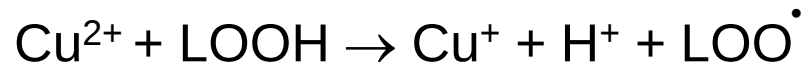
- npr. Ag, Cu, Fe i Hg mogu stvarati ROS u prisutnosti kisika, peroksida i superoksidnog aniona



3. Lipidna peroksidacija

- nastajanje slobodnih alkoksi ($\text{LO}^\bullet$) ili peroksi radikala ($\text{LOO}^\bullet$)
- započinje reakcijom slobodnog radikala ($\dot{\text{O}}\text{H}$ ili $\dot{\text{O}}_2^-$) s polinezasićenim masnim kiselinama; zbog oduzimanja protona nastaje radikal masne kiseline

Reakcija s metalnim ionima



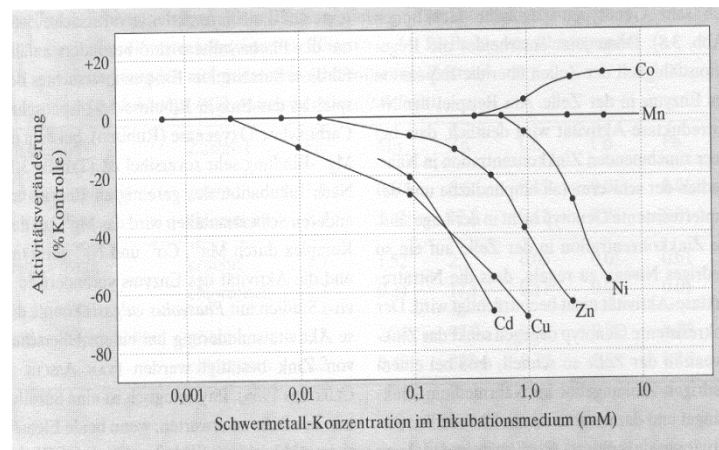
4. Učinak na metabolizam

a) Utjecaj na aktivnost enzima u citosolu i organelima

-vezanje na tiolne (sulfhidrilne) skupine

Primjeri:

I. nitrat-reduktaza - visokoosjetljiva na Cd i Cu, a manje osjetljiva na Ni, Co i Mn (pokus *in vitro*)



Aktivnost nitrat-reduktaze *in vitro*

Brunold, Ch., Rügsegger, A., Brändle, R. (1996).

Stress bei Pflanzen. Verlag Paul Haupt, Bern.

II. aktivnost peroksidaze *in vivo* - povećana u prisutnosti Cd, Cu, Ni, Pb i Zn

→ smanjenje količine H_2O_2 i organskih peroksida

→ degradacija IAA – posljedica je smanjena stope rasta

III. učinak na fotosintezu

- a) Supstitucija jednog metalnog iona drugim, npr. u procesu aktivacije enzima Rubisco

-supstitucija je moguća u uvjetima kada je uz normalni ion raspoloživ i drugi element, te kad je njegov afinitet za ligand dovoljno visok

primjer: Mg^{2+} koji se reverzibilno veže na Rubisco
može se nadomjestiti s Mn^{2+} , Co^{2+} i Ni^{2+}

- b) Učinak na biosintezu klorofila

-enzim dehidrataza δ -aminolevulinske kiseline (u procesu biosinteze klorofila) inhibiran je vezanjem Cd, Hg i Pb na funkcionalne sulfhidrilne ($-SH$) grupe

Preživljavanje biljaka u uvjetima suviška teških metala:

1. izbjegavanje

- zadržavanje u tlu (vezanje u kompleksne spojeve s molekulama koje oslobađa korijen, npr. citrat, malat, oksalat)
- zadržavanje u području stanične stijenke (vezanje na sastojke st. stijenke)
- mikoriza

2. tolerancija

- teške metale primljene u stanicu prevode u oblik koji nema negativni učinak na metabolizam ili uklanjaju u vakuolu
- sudjeluju i drugi mehanizmi koji se ubrajaju u nespecifične odgovore na teške metale

Mehanizmi tolerancije stresa uzrokovanog teškim metalima u biljnim stanicama

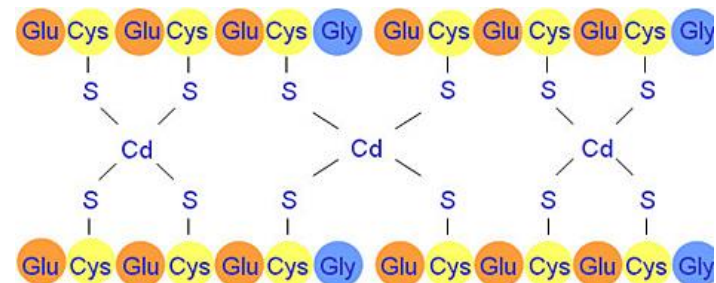
Specifični odgovor

1. Vežanje u obliku kelata

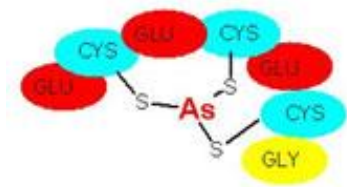
- s citratom, nikotinaminom (npr. Fe)
- fitokelatinima

Fitokelatini (PC)

- polipeptidi opće strukture $(\gamma\text{-Glu-Cys})_n\text{Gly}$
 $n = 2-11$

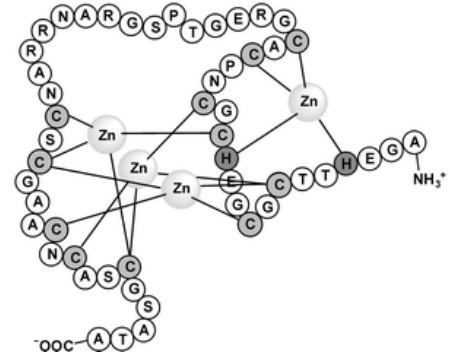


- uloga: smanjivanje toksičnog učinka teških metala vezanjem (keliranjem) i prijenosom nastalog kompleksa u vakuolu
- fitokelatin sintaza (PC-sintaza) - konstitutivni enzim koji se aktivira kada u citosolu poraste konc. slobodnih teških metala



2. Vezanje s proteinima - metalotioneini

- proteini niske Mr (< 10000), bogati cisteinom
- u životinja, nekih gljiva
- manje podataka u odnosu na fitokelatine (u biljkama)
- poznato je da se induciraju pri tretmanu bakrom



3. Vezanje u obliku feritina – u slučaju suviška Fe

- protein “kavez” koji veže do 4500 atoma Fe³⁺ u obliku oksida
- uloga feritina
 - skladištenje Fe,
 - zaštita od oksidacijskog stresa
- 4 vrste feritina u *A. thaliana*: FER1, FER2, FER3, FER4 (ekspresija u različitim tkivima)

Nespecifični odgovor

1. prolin – učinak povezan sa smanjivanjem oštećenja membrana i proteina, keliranje metala u citoplazmi, antioksidans...
-akumulacija prolina može biti i posljedica manjka vode uzrokovanog prisutnošću metala
2. poliamini (npr. diamin putrescin, triamin, spermidin i tetraamin spermin)
-sintetiziraju se u uvjetima nedostatka K^+ i Mg^{2+} , povišenog saliniteta, nedostatka vode, snižene pH vrijednosti, izlaganja ozonu, kadmiju i kromu
-ostali fiziološki učinci: stanična dioba, embriogeneza, razvoj cvijeta, zrenje plodova...

Najčešći poliamini u biljkama:

$H_2N(CH_2)_4NH_2$
putrescin

$H_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_4NH_2$
spermidin

$H_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_4NH(CH_2)_3NH_2$
spermin

$H_2N(CH_2)_5NH_2$
kadaverin

3. fenolni spojevi – povećana sinteza u prisutnosti teških metala
-pojačana aktivnost enzima biosintetskog puta fenola, osobito fenilalanin-amonij lijaze (PAL) i halkon-sintaze
-uloga: keliranje metala

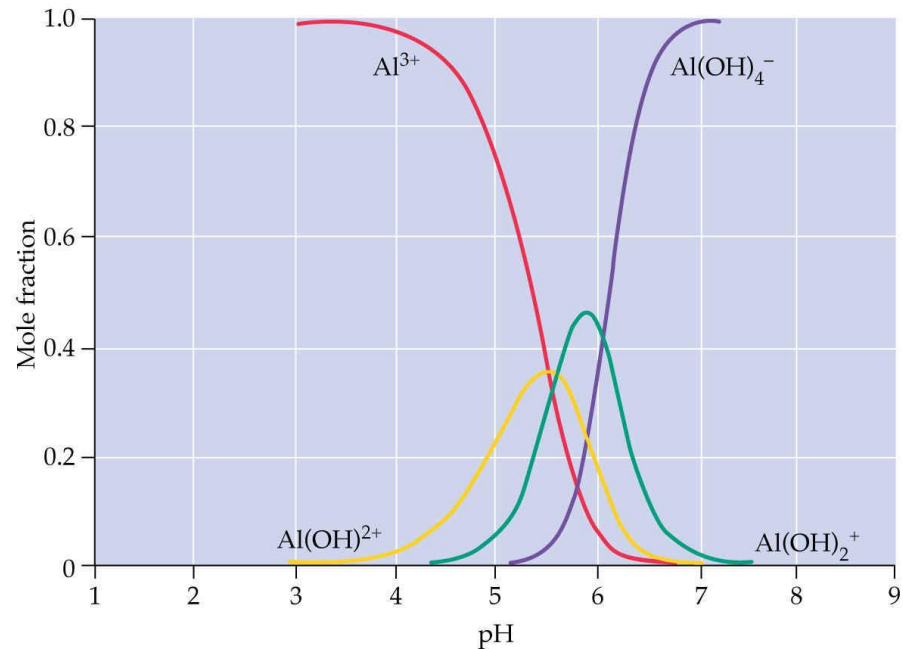
UČINAK ALUMINIJA (nije teški metal)

-iznad pH vrijednosti $\approx 5,5$ većina Al je prisutna u obliku netopivih minerala; u kiselijim uvjetima oni se otapaju i oslobađaju nekoliko oblika Al

- Al^{3+} - toksični oblik

-inhibira rast i funkciju korijena (učinak na izdanak je slabiji)

Alumunijevi ioni
u vodenoj otopini
-pri $\text{pH} < 5$ dominira
toksični Al^{3+}



Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002).
Biochemistry and Molecular Biology of Plants.
John Wiley and Sons.

Učinci Al^{3+} na rast i razvoj biljaka

Redukcija rasta i oštećenje korijena (osobito vršnih dijelova)

- ometanje primanja vode i mineralnih elemenata
- veća osjetljivost na sušu
- veća osjetljivost na nedostatak hranidbenih elemenata
- smanjena produktivnost

Uzroci toksičnog djelovanja Al:

- interakcija s različitim biološkim ligandima (npr. karboksilatima, sulfatima i fosfatima – slobodnim i u sastavu makromolekula) u staničnoj stijenci, plazmatskoj membrani, citosolu
- narušavanje citoskeleta
- narušavanje homeostaze citoplazmatskog Ca
- ometanje procesa primanja mineralnih tvari → blokiranje kanalića za unos Ca^{2+} i K^{+} , inhibicija primanja Mg^{2+}
- indukcija formiranja ROS
- interakcija s putovima prijenosa signala u plazmatskoj membrani

Mehanizmi tolerancije

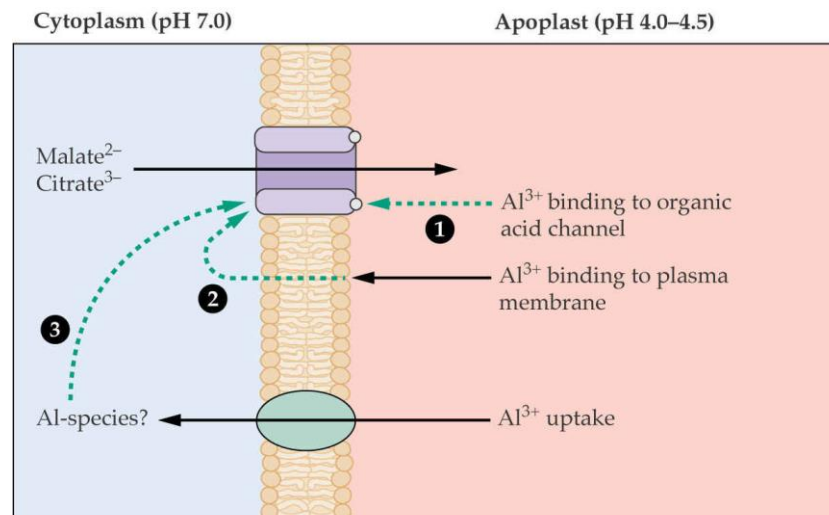
Izbjegavanje - manja interakcija s korijenom što smanjuje primaje Al

- vezanje na staničnu stijenku
- heliranje s ligandima koji se oslobađaju iz korijena (malat, citrat, oksalat), formiranje stabilnih kompleksnih spojeva s Al i smanjivanje koncentracije slobodnog Al
 - malatni prijenosnik je aktiviran aluminijem i u većoj mjeri eksprimiran u tolerantnim kultivarima u odnosu na osjetljive
 - koji se organski anion oslobađa u rizosferu pod utjecajem Al ovisno je o biljnoj vrsti; najčešći su malat i citrat, a u nekoliko vrsta dokazan je i oksalat
- oslobađanje (ranije primljenog) Al iz korijena
- podizanje pH vrijednosti u rizosferi radi smanjenja količine štetnog oblika Al (Al^{3+})

-povišena konc. Al u rizosferi potiče izlazak organskih kiselina iz stanice kroz anionski kanal (prema istraživanjima provedenim na pšenici)

-mogući mehanizmi:

- 1 interakcija Al s postojećim kanalom → oslobađanje organskih aniona
- 2 i 3 Al inducira ekspresiju prijenosnih proteina a možda i drugih proteina te na sličan način (kao u prvom modelu) potiče oslobađanje organskih kationa



Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002). **Biochemistry and Molecular Biology of Plants.**

Unutrašnji mehanizam tolerancije aluminija koji je ušao u stanicu

- heliranje Al
 - a) u apoplastu (vezanje na hemicelulozu i pektine)
 - b) heliranje u citosolu i pohranjivanje helata u staničnu vakuolu

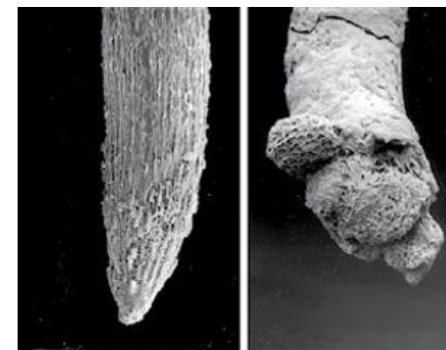
Primjeri tolerancije Al^{3+}

-otporniji genotipovi pšenice i ječma nagomilavaju manje Al u korijen za razliku od osjetljivih genotipova (mehanizam izbjegavanja)

-neke druge tolerantne vrste, npr. čaj (*Camellia sinensis*) ili hortenzija (*Hydrangea* sp.) akumuliraju relativno visoke konc. Al u korijen i stabljiku (unutrašnji mehanizam tolerancije)



hortenzija

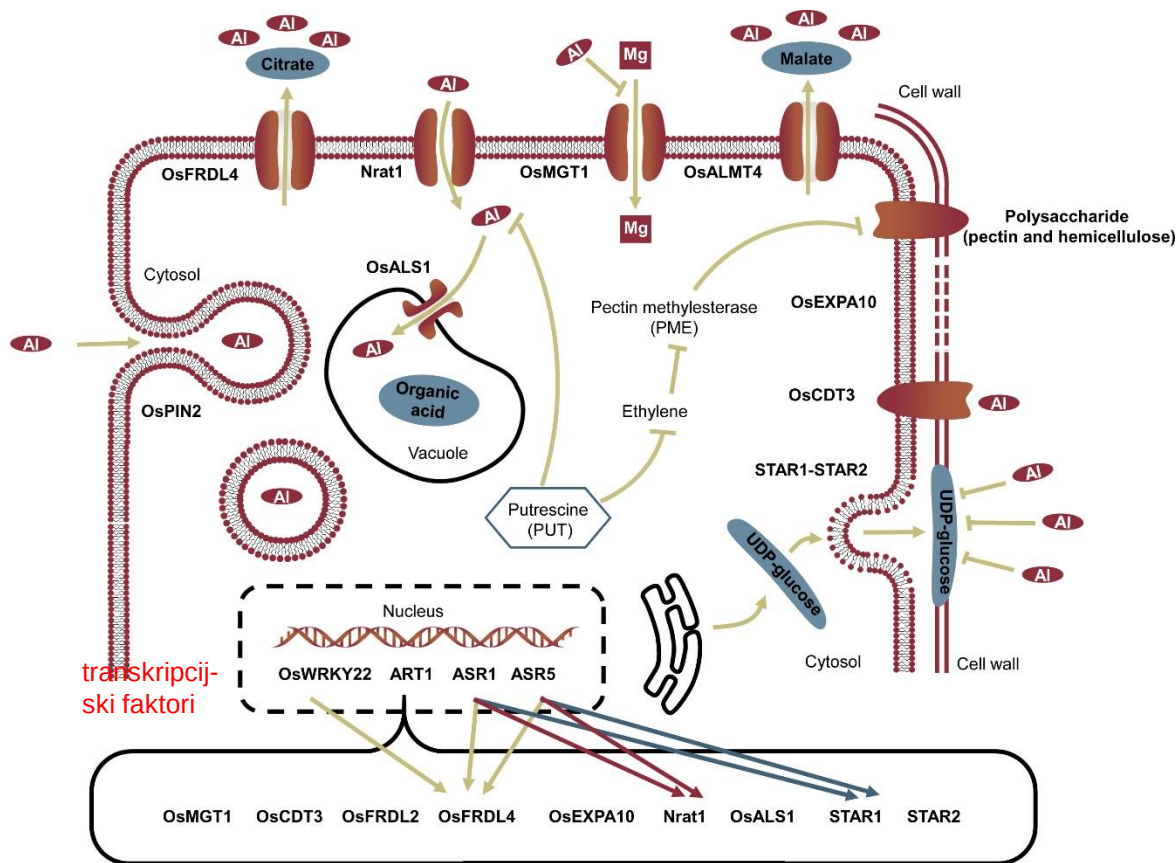


Korijen tolerantnog (lijevo) i osjetljivog (desno) kultivara pšenice. Tretman 4 dana s $5 \mu\text{M AlCl}_3$ (snimka SEM-om)

Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2015). **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. John Wiley and Sons.

Mehanizmi tolerancije Al u riži (*Oryza sativa*)

-u riži su prisutna oba mehanizma tolerancije Al (izbjegavanje i unutrašnji mehanizam tolerancije)



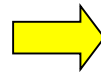
OsALMT4 – kanali za izlazak malata (aluminium activated malate transporter)
OsFRDL4 – izlazak citrata, induciran aluminijem
OsFRDL2 – kodira citratni prijenosnik na vezikuli u citosolu (efluks citrata)
OsMGT1 – prijenos magnezija
Nrat1 - ulazak Al³⁺
OsALS1 – na tonoplastu, unos Al³⁺ u vakuolu (ABC-like transporter)
OsEXPA10 - ekspanzin
OsCDT3 – peptid u membrani, veže Al i kontrolira ulazak
STAR1-STAR2 – kompleks na vezikulama, za prijenos UDP-glukoze u staničnu stijenku (sensitive to Al rhizotoxicity)
OsPIN2 – prijenosnik auksina, potencijalni cilj toksičnosti aluminija
PME (OsPME14) – pektin-metiltransferaza

Chen J, Lai Q, Zeng B, Guo L and Ye G (2020) Progress on molecular mechanism of aluminum resistance in rice. Rice Science 27: 454-467.

ART1
OsWRKY22
ASR1
ASR5 } transkripcijski faktori

PRIMJENA BILJAKA U PROČIŠĆAVANJU TLA I VODE

- uklanjanje organskih i anorganskih tvari
- razgradnja toksikanata



fitoremedijacija

FITOREMEDIJACIJA

-neke biljke (oko 400 vrsta u 45 porodica) mogu akumulirati onečišćenja iz tla i vode u visokim koncentracijama

bioremedijacija – detoksikacija tala i vode zahvaljujući biološkoj aktivnosti

fitoremedijacija – bioremedijacija biljkama

Primjeri biljaka koje imaju potencijal za fitoremedijaciju:

Thlaspi sp.

Brassica juncea

Alyssum sp.

Lemna sp.

Eichhornia crassipes

Stanleya pinnata



*Thlaspi
caerulescens*



Brassica juncea



Alyssum alpestre



Lemna sp.

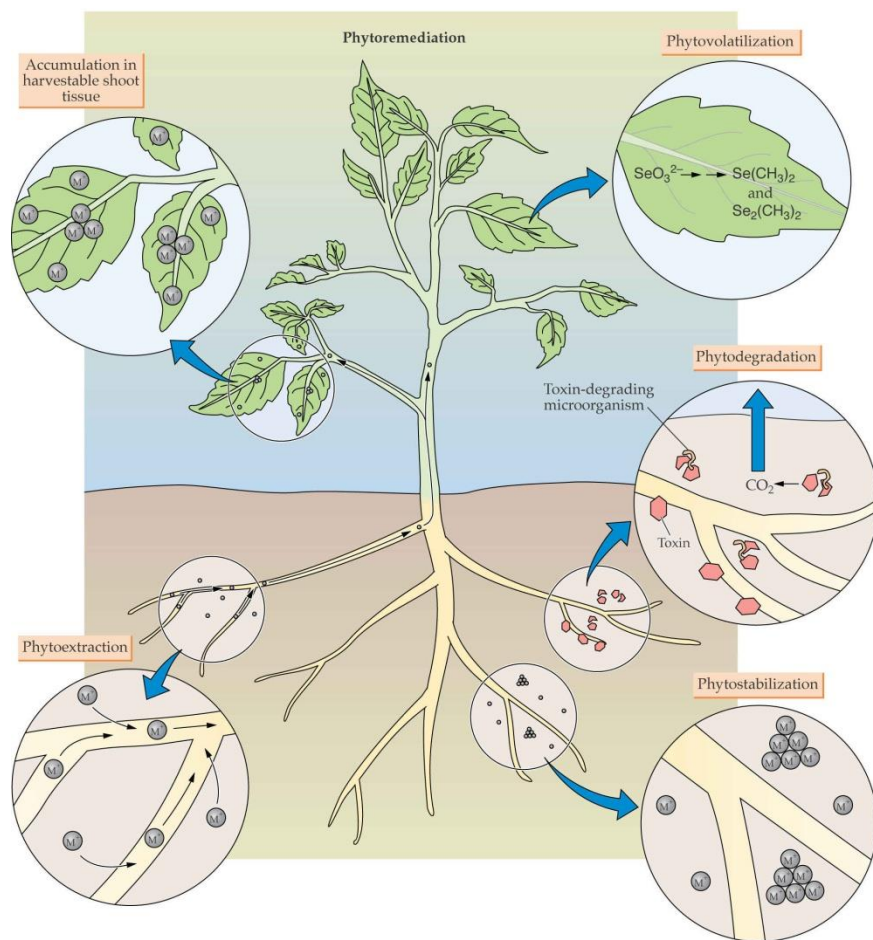


*Eichhornia
crassipes*



*Stanleya
pinnata*

Fitoremedijacija uključuje sljedeće procese:



1. **fitoekstrakcija** – uklanjanje toksina apsorpcijom; prijenos u izdanak gdje se metali mogu akumulirati ili prevesti u plinoviti oblik i osloboditi u atmosferu (u obliku manje toksičnih plinova)
2. **fitostabilizacija** – smanjivanje mobilnosti toksina vezanjem u području korijena ili stabilizacijom u rizosferi, npr. vezanje metala u tlu u kompleksne spojeve
3. **fitodegradacija** organskih tvari u manje toksične (u stanici ili pomoću enzima oslobođenih u rizosferu)

Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L.
(2002). Biochemistry and Molecular Biology
of Plants

PLINOV I U ATMOSFERI

Primarni onečištači – štetan učinak u obliku u kojem se oslobađaju u atmosferu

-CO, CO₂, SO₂, NO, NO₂, ugljikovodici, čestice čvrstih tvari

Sekundarni onečištači nastaju

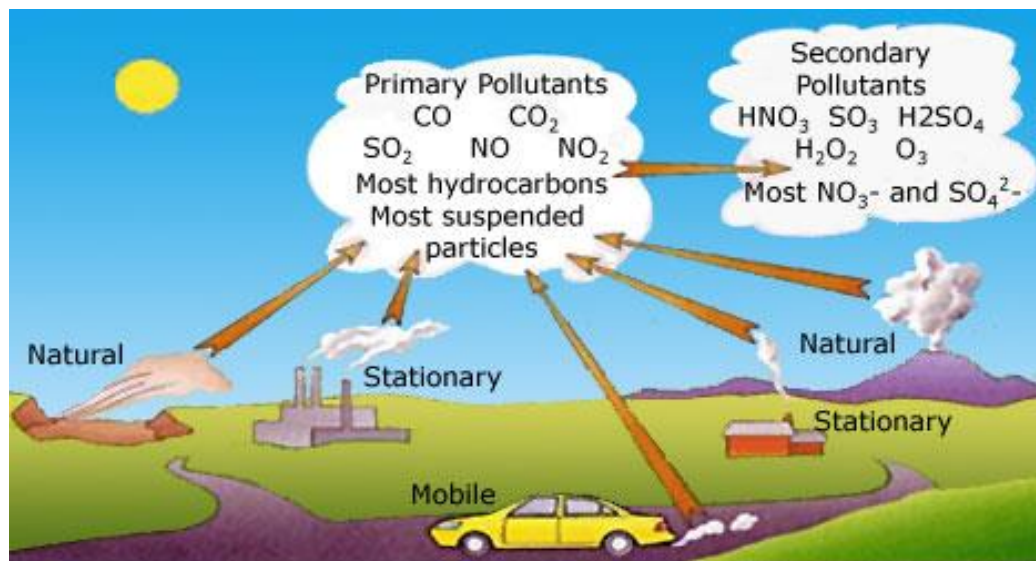
a) međusobnom reakcijom primarnih onečištača

b) reakcijom primarnih onečištača sa sunčevim zračenjem i

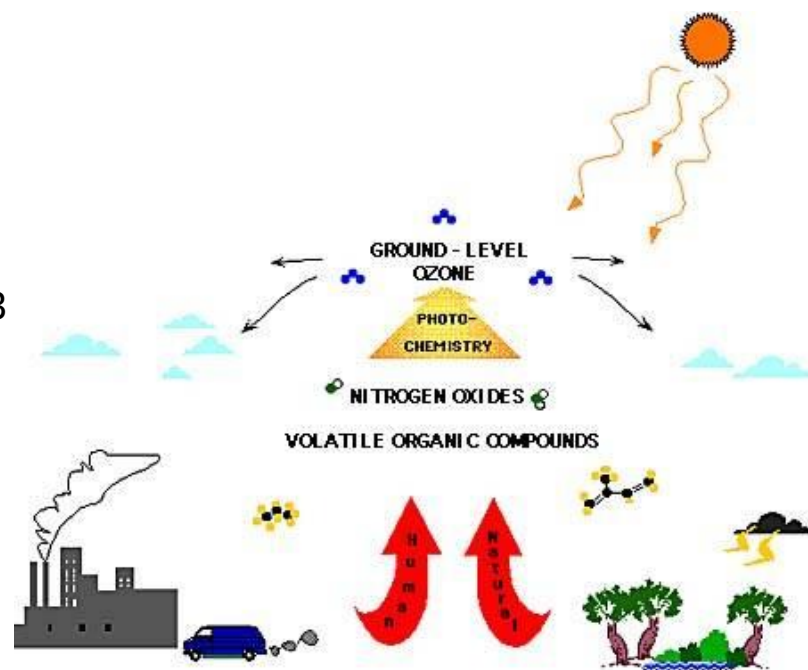
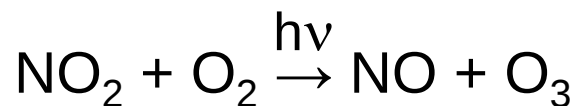
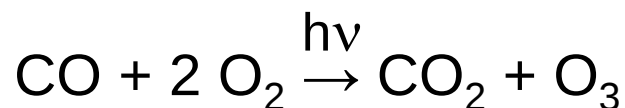
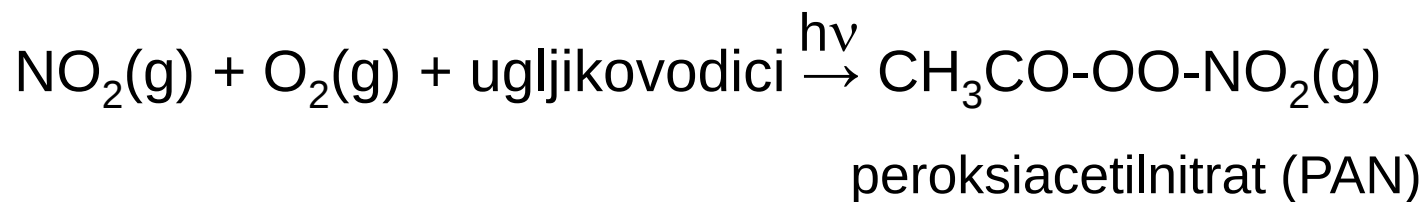
c) reakcijom primarnih onečištača s prirodnim plinovima

→ **nastaju novi štetni spojevi**

npr. O₃, HNO₃, SO₃, peroksi acetil nitrat (PAN), aerosoli

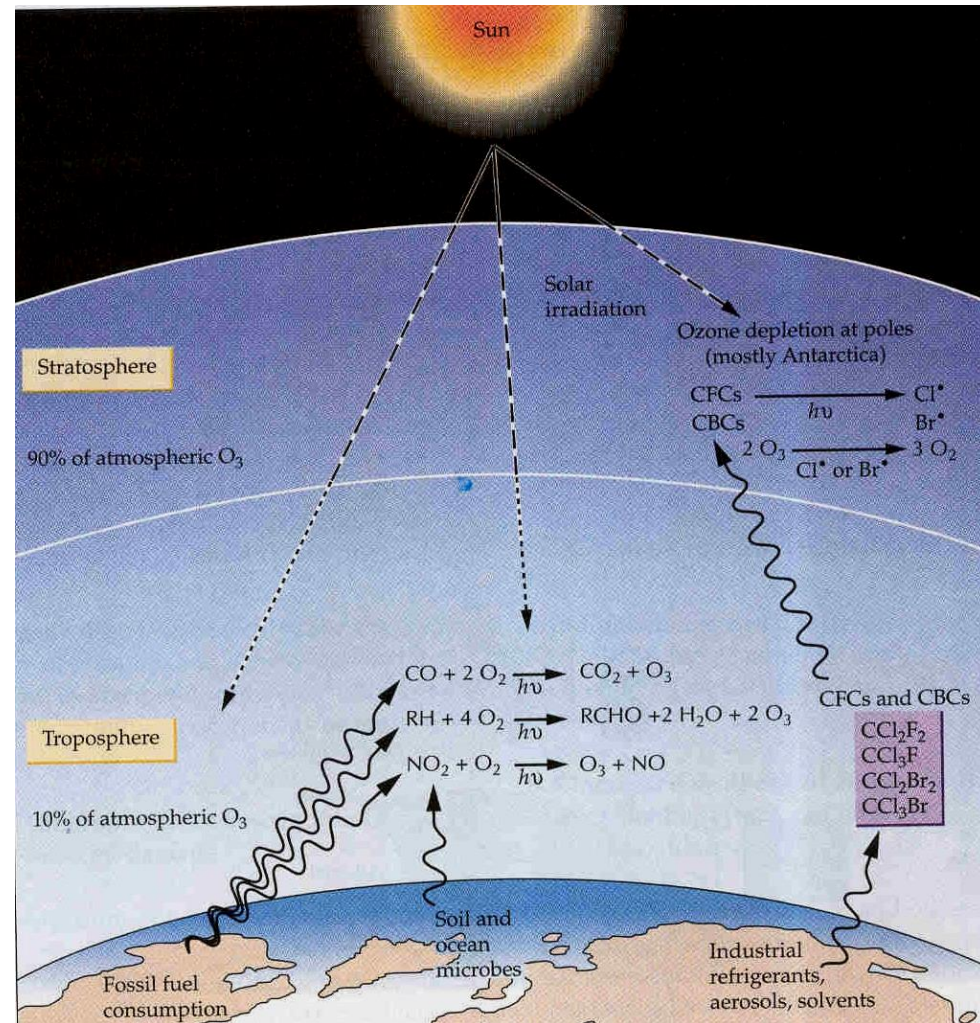


Fotokemijski smog – smjesa onečištača zraka koja nastaje interakcijom NO, NO₂, SO₂, CO i ugljikovodika s UV-zračenjem
 -najčešći produkti - peroksiacetalnitrat (PAN) i ozon
 -jaki oksidansi



Ozon

- ozon u stratosferi (na visini 20-40 km) štiti Zemlju od UV-zračenja
- ozon u **troposferi** – štetan (visokoreaktivni oksidans)
- konc. troposferskog ozona 0,02-0,05 $\mu\text{L/L}$, u onečišćenim područjima do 0,4 $\mu\text{L/L}$



Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002). **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. John Wiley and Sons.

Učinci ozona na biljke:

- oštećenje listova,
- poremećena regulacija otvaranja puči,
- oštećenja tilakoidne membrane,
- djelovanje na enzim Rubisco,
- pad stope fotosinteze,
- pad stope rasta korijena i izdanka,
- ubrzana senescencija



Učinak ozona na list bundeve



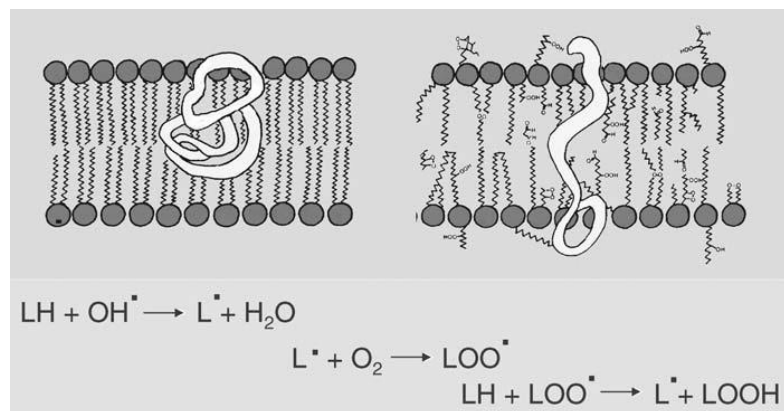
Učinak ozona na krumpir

-ponekad nema vidljivih simptoma, ali prisutna je smanjena stopa rasta

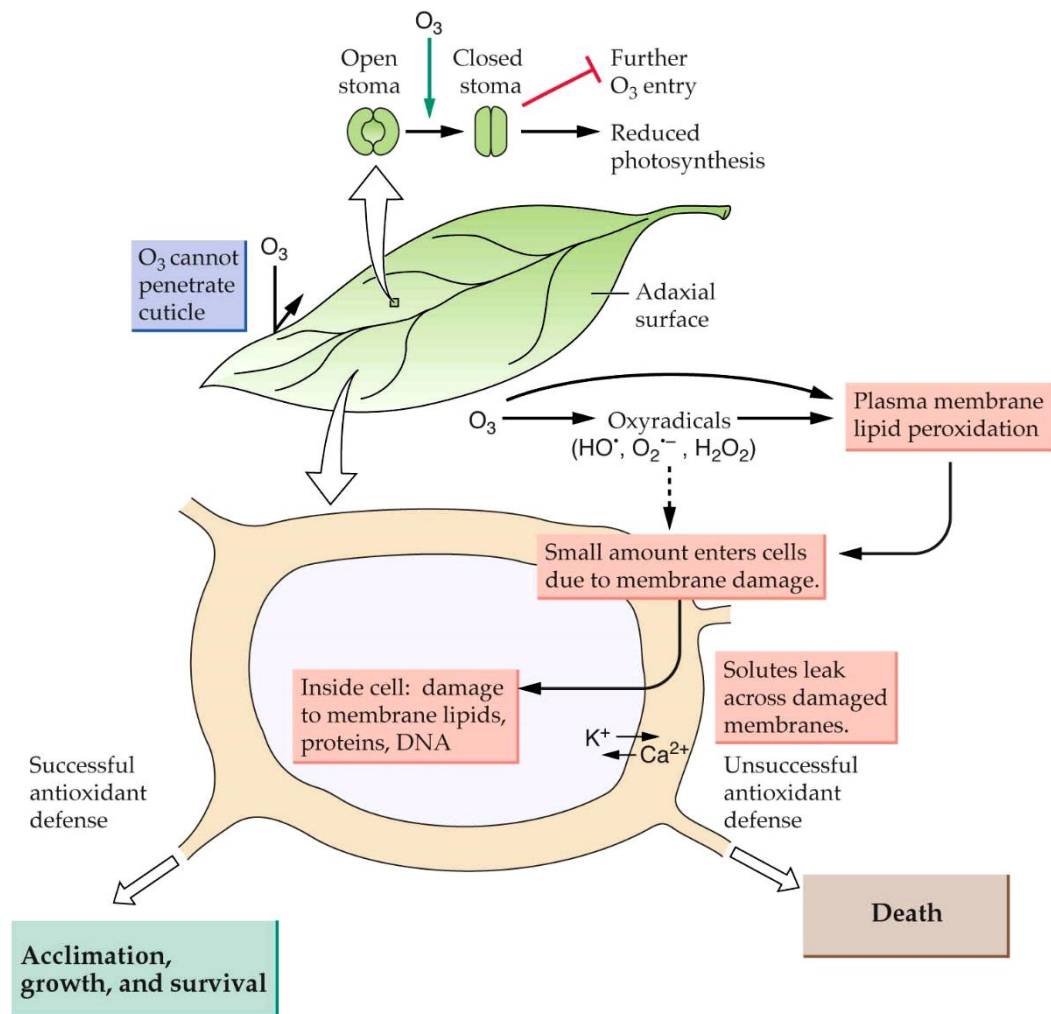
-ulazi u međustanične prostore lista kroz puči

-reagira s O_2 i proizvodi reaktivne oblike kisika: H_2O_2 , superoksid $O_2^{\cdot-}$, singletni kisik ($^1O_2^*$) i hidroksilni radikal ($OH\cdot$)

→lipidna peroksidacija,
denaturacija proteina,
narušavanje strukture
nukleinskih kiselina
(moguće mutacije)

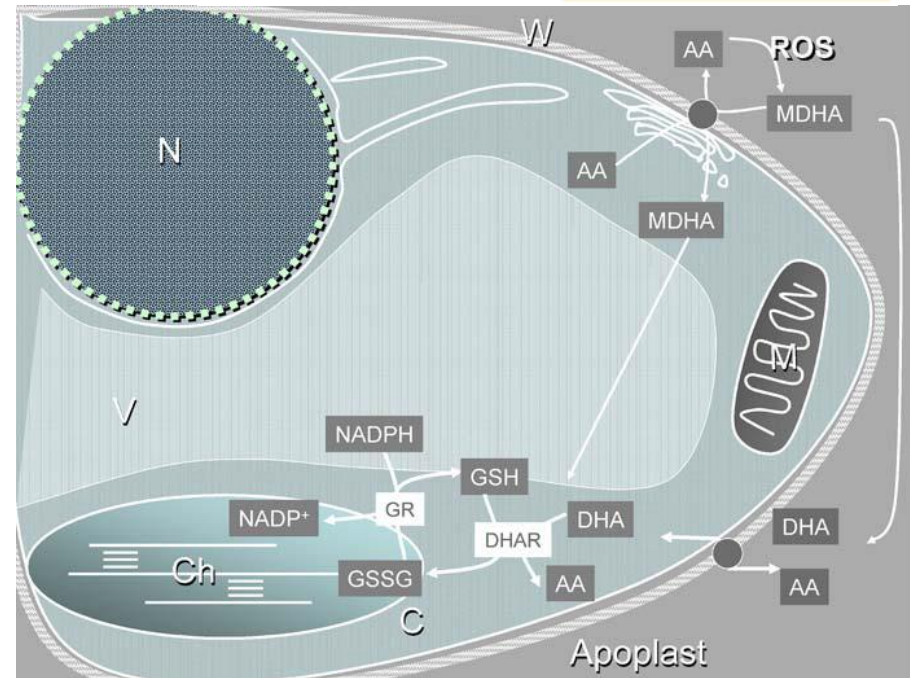
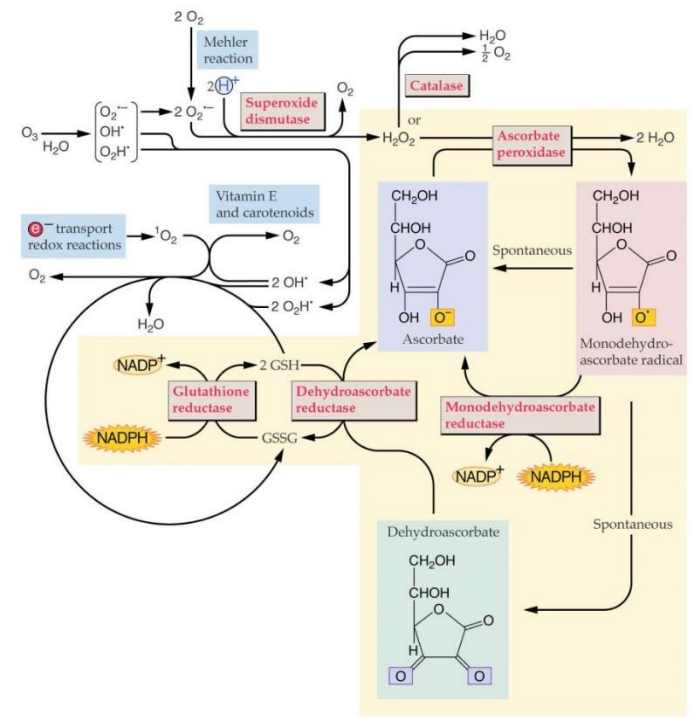


Buchanan, B., Grissem, W.,
Jones, R. L. (2002). **Biochemistry
and Molecular Biology of Plants.**
John Wiley and Sons.



Odgovor bilke na prisutnost ozona

- izbjegavanje (zatvaranjem puči)
- tolerancija (aktivacija antioksidacijskih sustava i mehanizama popravka)
- antioksidacijski sustav
 - askorbat, tokoferol, glutation, karotenoidi
 - peroksidaze, katalaza, SOD
- askorbat – odgovor bilke ovisi o količini askorbata ili sposobnosti da regenerira askorbat iz monodehidroaskorbata (u stanici); slijedi prijenos askorbata u apoplast



M. Iriti, F. Faoro (2008). Oxidative stress, the paradigm of ozone toxicity in plants and animals. *Water, Air and Soil Pollution* 187:285-301.

KSENOBIOTICI

-prirodne ili sintetičke tvari (npr. pesticidi) koje biljka ne može iskoristiti u metaboličkim procesima za proizvodnju energije

1. Herbicidi – učinak na:

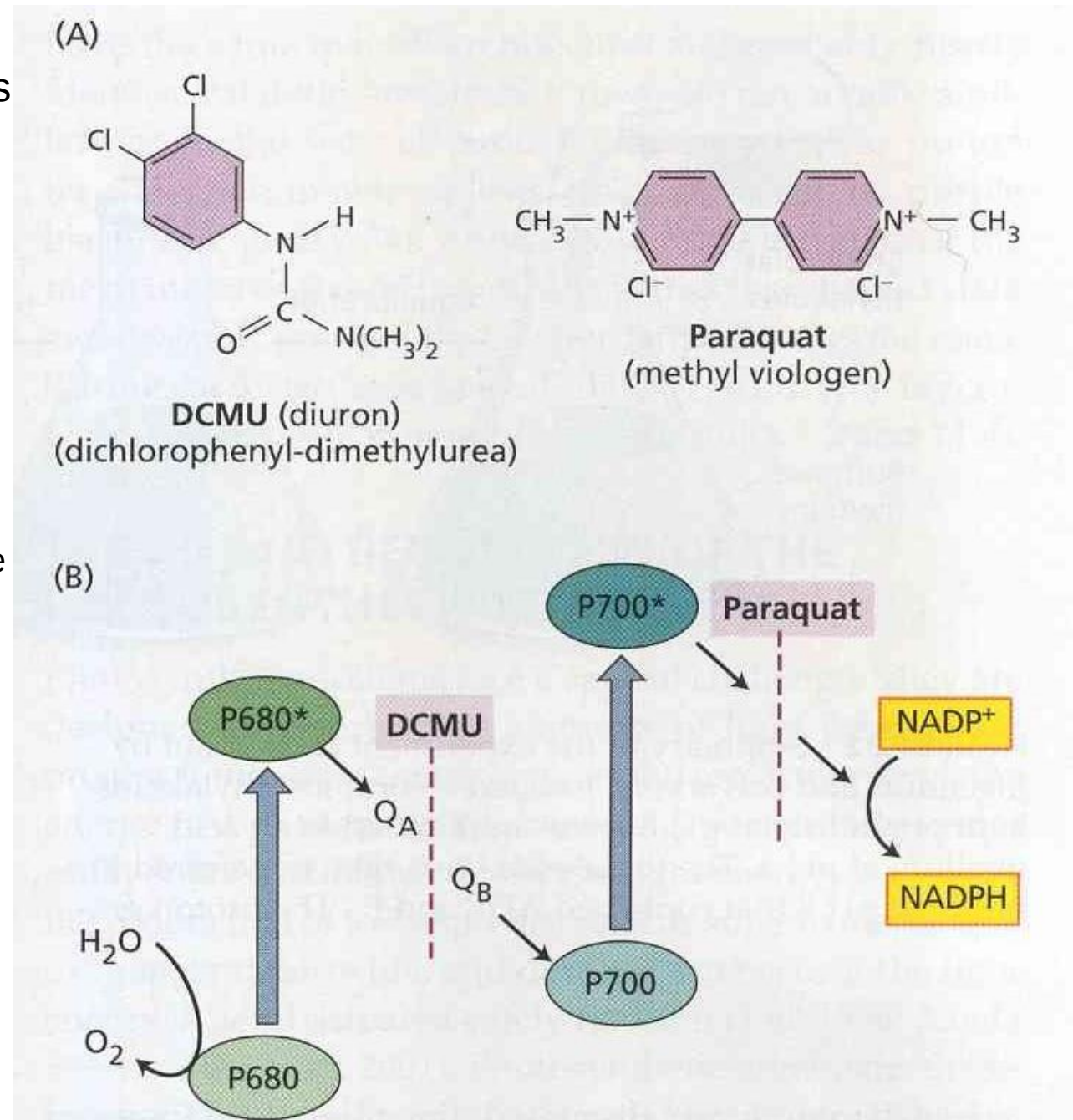
- prijenos elektrona u tilakoidnim membranama kloroplasta,
- biosintezu klorofila i karotenoida
- biosintezu aminokiselina (djelovanje na enzime šikimatskog puta, glutamin sintetazu)
- diobu i rast stanice (djelovanje na elemente citoskeleta – tubulin, formiranje stanične stijenke)
- biosintezu lipida
- biosintezu giberelina

Učinak herbicida DCMU i metil viologena na prijenos elektrona u tilakoidnim membranama kloroplasta

DCMU – ima visoki afinitet za vezno mjesto za plastokinone (Q) na PSII čime sprečava redukciju Q i prekida daljnji prijenos elektrona

Metil viologen – prima elektrone s PSI, u reduciranom obliku potiče formiranje superoksida i drugih ROS → oksidacijski stres

Taiz, L., Zeiger, E. (2002). **Plant Physiology**. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.



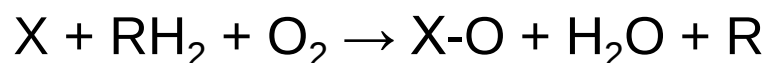
Primjeri djelovanja nekih letalnih ksenobiotika

Fotosinteza	Djelovanje na:	Ksenobiotik	Stres
biosinteza karotenoida	fitoendesa-turaza	više herbicida	oksidacija klorofila zbog $^1\text{O}_2$
biosinteza klorofila	protoporfirino-gen oksidaza	više herbicida	smanjena fotosinteza
Biosinteza ak. aromatske aminokis.	5-enolpiruvil-šikimat-3-fosfat sintaza	glifozat	poremećaj sinteze proteina i sek. metabolizma
Transport elektrona	prijenos el. do akceptora	metil-viologen	oštećenja slobodnim radikalima

-glavne enzimske reakcije koje biljka koristi za detoksikaciju ksenobiotika: oksidacija, redukcija, hidroliza, konjugacija s glutationom, šećerima i aminokiselinama

Oksidacija

-oksidacija je najčešće katalizirana citokrom-P₄₅₀-monoksigenazama
-endoplazmatski retikulum



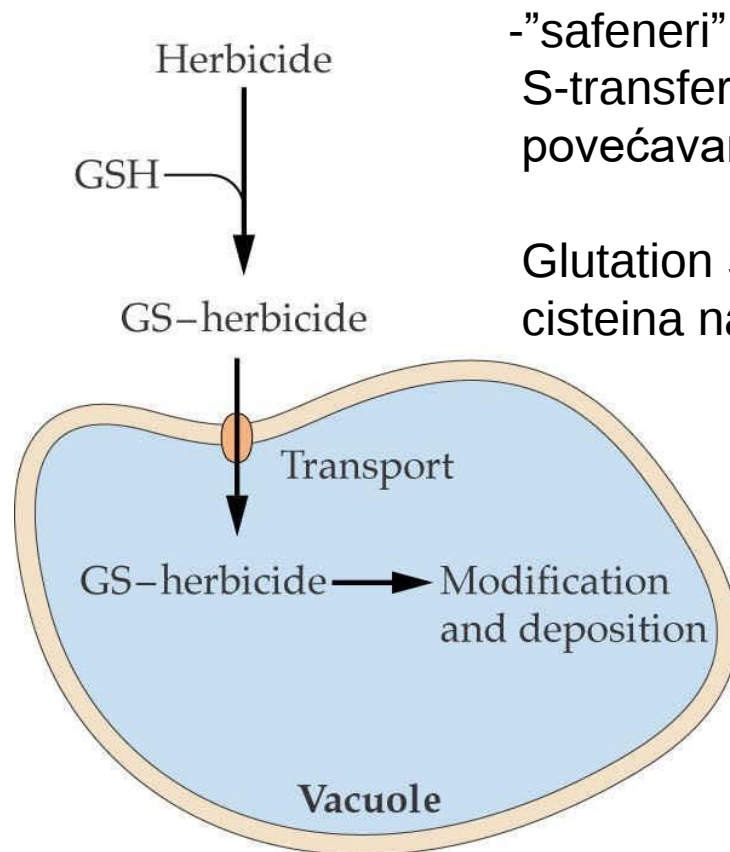
X – supstrat (ksenobiotik)
RH₂ je reducirani kofaktor, npr. NADPH
O₂ – uloga drugog supstrata
X-O – oksigenirani produkt
R – oksidirani kofaktor

Hidroliza

-detoksikacija ksenobiotika koji sadrže karboksilnu, estersku, amidnu i cijano skupinu (npr. kloro-s-triazini, cijanazin...)

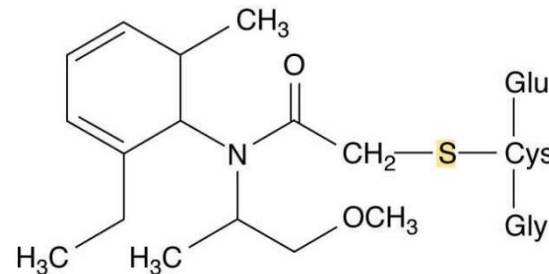
Konjugacija

Detoksikacija herbicida (npr. Metachlora) konjugacijom s glutationom



- "safeneri" - tvari koje stimuliraju ekspresiju glutation S-transferaze i vakuolarnog prijenosnika (koriste se za povećavanje otpornosti usjeva na herbicide)

Glutation S-transferaza – veže reaktivnu tiolnu grupu cisteina na herbicid



Metachlor-GS complex

-prijenos u vakuolu – pomoću ABC-prijenosnika

Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002).

Biochemistry and Molecular Biology of Plants. John Wiley and Sons.

2. Blokatori djelovanja herbicida - ksenobiotici koji umanjuju toksično djelovanje herbicida (“safeners”)

mehanizam: pojačavanje ekspresije enzima za detoksikaciju ksenobiotika, (npr. glutathion S-transferaze), indukcija oksidaza miješanih funkcija (MFO)

-mogu se primijeniti kao pretretman sjemenki usjeva prije sadnje ili se mogu prskati po biljkama istovremeno s primjenom herbicida

3. Imunokemikalije – sintetske kemikalije koje potiču prirodni odgovor biljke u okviru njenog genetičkog potencijala

-npr. sintetski spoj 2,6-dikloroizonikotinska kiselina (INA) → indukcija PR proteina (proteina povezanih s patogenezom)

MIKROPLASTIKA

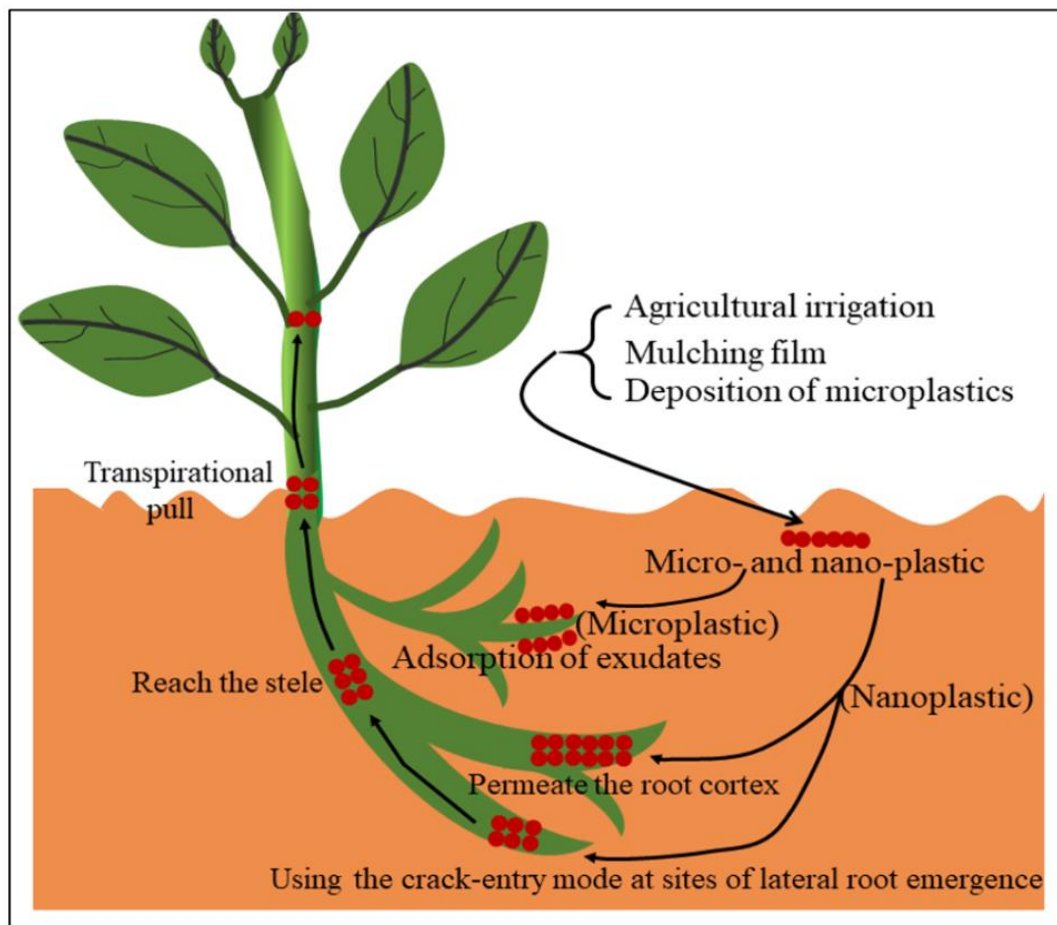
- čestice plastike manje od 5 mm, uključujući i nanoplastiku ($< 0,1 \mu\text{m}$)
- ograničena mobilnost u tlu, nepoznata stopa razgradnje pa je s vremenom moguće povećanje količine u tlu
- učinak na biljke ovisi o kemijskim svojstvima, obliku čestica, veličini, površinskom naboju, količini u tlu, mogućnostima i načinu razgradnje
- istraživanja provedena na salati, luku, grahu, pšenici, ljulju, uročnjaku...

Yu, Z. F., Song, S., Xu, X. L., Ma, Q., & Lu, Y. (2021). Sources, migration, accumulation and influence of microplastics in terrestrial plant communities. *Environmental and Experimental Botany* 192, 104635.

- primanje korijenom i nagomilavanje u biljkama (nanoplastika)
- mogućnost prijenosa u izdanak transpiracijskom strujom
- mogućnost toksičnog učinka na biljku
- biljke koje se koriste u prehrani - potencijalna opasnost za zdravlje ljudi i životinja

- adsorpcija na površinu korijena, i na sluz koju izlučuje korijenova kapa
- adsorpcija na sjemenke
- utjecaj na strukturu tla, stopu evaporacije vode iz tla, imobilizaciju hranjivih tvari, ostvarivanje simbioza, alelopatiju, na organizme u tlu (mikro-organizme, beskralješnjake)

- taloženje mikroplastike iz atmosfere – utjecaj na nadzemne dijelove biljke (izmjena plinova, svjetlost)



Interakcije mikro- i nano-plastike i biljaka (Yu, Z. F. i sur. 2021)



SVJETLOSNO ONEČIŠĆENJE

-umjetna noćna rasvjeta

-noćna rasvjeta – nedovoljna za fotosintezu, ali djeluje na fitokrome

200 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ – za fotosintezu biljaka adaptiranih na sjenu

0,06 – 3 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ – utjecaj na procese ovisne o fotoperiodu

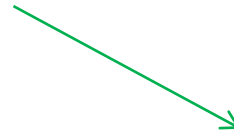
$\sim 0,004 \mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ – puna mjesečeva svjetlost

$\sim 5 \mu\text{E m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ – žarulja od 100 W na udaljenosti 1,5 m

Umjetna noćna rasvjeta

- ometa periodičnu izmjenu svjetlosti i tame

- učinak na biljke – direktan i indirektan

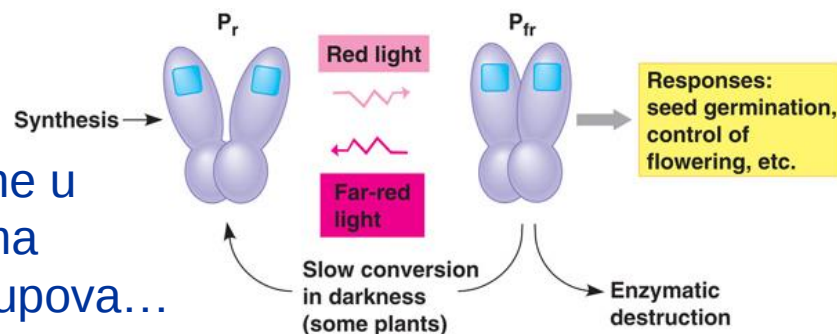


Učinak na fiziološke procese
ovisne o fotoperiodu

Učinak na oprašivače

Značenje fotoperiodizma u biljaka

fotoperiodizmi - odgovori biljaka na promjene u trajanju osvjetljenja → promjene u procesima cvjetanja, vegetativnog rasta, dormancije pupova...



-važnost perioda tame – regeneracija fitokroma P_r

-biljke “mjere” duljinu noći čime određuju vrijeme cvjetanja, stvaranja sjemenki, starenje i opadanje listova...

-dulje noći – veća produkcija P_r

-neke biljke zahtijevaju kratke noći jer P_{fr} potiče cvjetanje (npr. špinat, krumpir, djetelina, salata) – **biljke dugog dana**

-biljke u kojih P_{fr} djeluje kao inhibitor cvjetanja – **biljke kratkog dana** (duge noći)

-umjetne izvore svjetlosti koji emitiraju valne duljine koje apsorbiraju fitokromi biljke prepoznaju kao dnevnu svjetlost

Cvjetanje

- noćna rasvjeta sprječava cvjetanje biljaka kratkog dana
- neke vrste kaktusa cvatu isključivo noću (oprašivanje insektima koji su aktivni noću)

Indirektni učinci:

- dezorijentacija noćnih insekata koji oprašuju neke vrste biljaka



Selenicereus grandiflorus