

Fiziologija otpornosti

Šta je stres biljaka?

- Stres biljaka je reakcija biljaka na uslove okoline koji su nepovoljni za rast, kao što su nedostatak hranjivih materija, nepravilno zalijevanje, poplave, visoke ili niske temperature , bolesti ili napad insekata...

Stresni faktori

- ❖ Biljna proizvodnja u svijetu je sve više ograničena dejstvom stresnih faktora
- ❖ Samo 10% od ukupnih poljoprivrednih površina u svijetu nije ugroženo stresom, a od 90% ugrožena su sušom, mineralnim stresom i stresom mraza.
- ❖ Klimatske promjene i antropogeni faktori povećavaju dejstvo stresnih faktora

Podjela stresnih faktora

1. Abiotički (fizičko-hemijski faktori)

- ❖ temperatura-niska (stres hladnoće i stres mraza) i visoka
- ❖ voda –nedostatak (suša) i višak (poplava)
- ❖ soli, joni, gasovi, herbicidi, insekticidi
- ❖ vjetar, pritisak, elektricitet
- ❖ radijacija-infracrvena, vidljiva, UV, jonizujuća, radioaktivno zračenje

2. Biotički faktori

- ❖ infekcije (bolesti biljaka)
- ❖ kompeticije sa drugim organizmima

3. antropogeni stresni faktori (nastali dejstvom čovjeka)

Šta je istežanje?

- Istežanje je biološka promjena na biljkama pod uticajem stresa
- Istežanje može bit zavisno od jačine i dužine trajanja stresa:
 - Elastično istežanje (privremeno, povratno)
 - Plastično istežanje (nepovratno)

Oštećenja na biljkama uzrokovana stresom

stres

Primarno oštećenje

Sekundarno oštećenje

Primarno direktno
oštećenje

(oštećenje
plazmaleme)

Primarno indirektno
oštećenje

(disfunkcija
metabolizma)

Oštećenja biljaka pod uticajem stresa

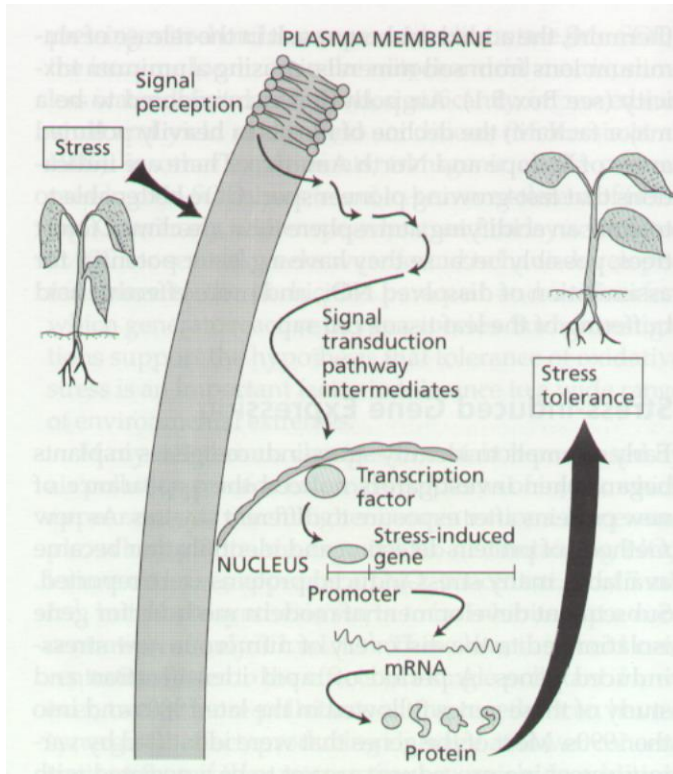
- **Biomembrane** (promjene u građi membrane, permeabilnosti)
- **Fotosinteza**
- **Disanje**

Odgovor biljaka na stres



- **Bjegstvo:** Biljke izbjegavaju ozljede od stresa tako što regulišu životni ciklus tako da izbjegnu susret sa stresom (**efemerne biljke**)
- npr. neke biljke kratkog životnog vijeka , u pustinji, kličaju, rastu i cvjetaju vrlo brzo nakon sezonske kiše. One na taj način završe svoj životni ciklus u razdoblju kada ima vlage i formiraju sjeme prije početka sušnog perioda.
- **Izbjegavanje stresa:** biljke izbjegavaju oštećenja od stresa tako što izgrade barijere koje sprečavaju stresnim faktorima da uđu u biljku!
- npr. **lucerka**, u uslovima suše, da bi preživjela, šalje svoje korjenje duboko, do podzemnih voda ili kod **halofita** – so sekrecija gdje se izlučuju soli preko list
- **Tolerancija na stres:** Biljke se prilagode stresnim uslovima sredine tako što regulišu metabolizam i popravu štete koje nastanu pod uticajem stresa.
- npr. visoko so tolerantne halofite mogu preživjeti slano stanište pomoću mnogih strategija kao što je visoko osmotsko prilagođavanje itd.

Signali stresa



1. Percepcija signala stresa na nivou membrana
2. Prenošenje (transdukcija) signala kroz membranu
3. Indukcija gena vezanih za određeni stres
4. Sinteza specifičnih proteina i metabolita
5. Otpornost biljaka na stres

Temperaturni stres

- ❖ *Stres niske pozitivne temperature (stres hladnoće)*
- ❖ *Stres niske negativne temperature (stres mraza)-*
- ❖ *Stres visoke temperature (toplotni stres)*

Stres niske pozitivne temperature (stres hladnoće)

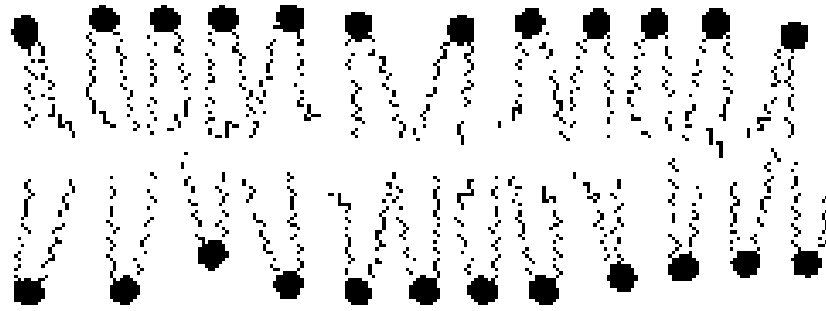
Temperatura niska da dovede do poremećaja u rastenju i metabolizmu ali ne i smrzavanja vode.

Osetljive su povrtarske i neke ratarske biljke (1-3°C krastavac, pasulj, paradajz, kukuruz)

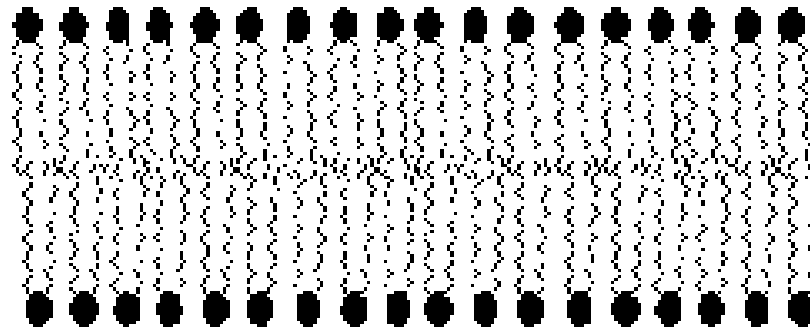
Osetljive biljke iz tropskih i suptropskih oblasti +10°C šećerna trska, kakao.

Promjene na nivou membrana (posebno lipida)

- 1. Plazmalema**-promjena permeabilnosti-uginuće-**primaran direktan efekat**
- 2. Hloroplasti i mitohondrije**-poremećaji fotosinteze i disanja (metabolizma)-**primaran indirektan efekat** (gladovanje)
- 3. Čelije korjena**-smanjeno usvajanje vode-suša-**sekudaran efekat**



Sol faza



Gel faza

Otpornost na hladnoću

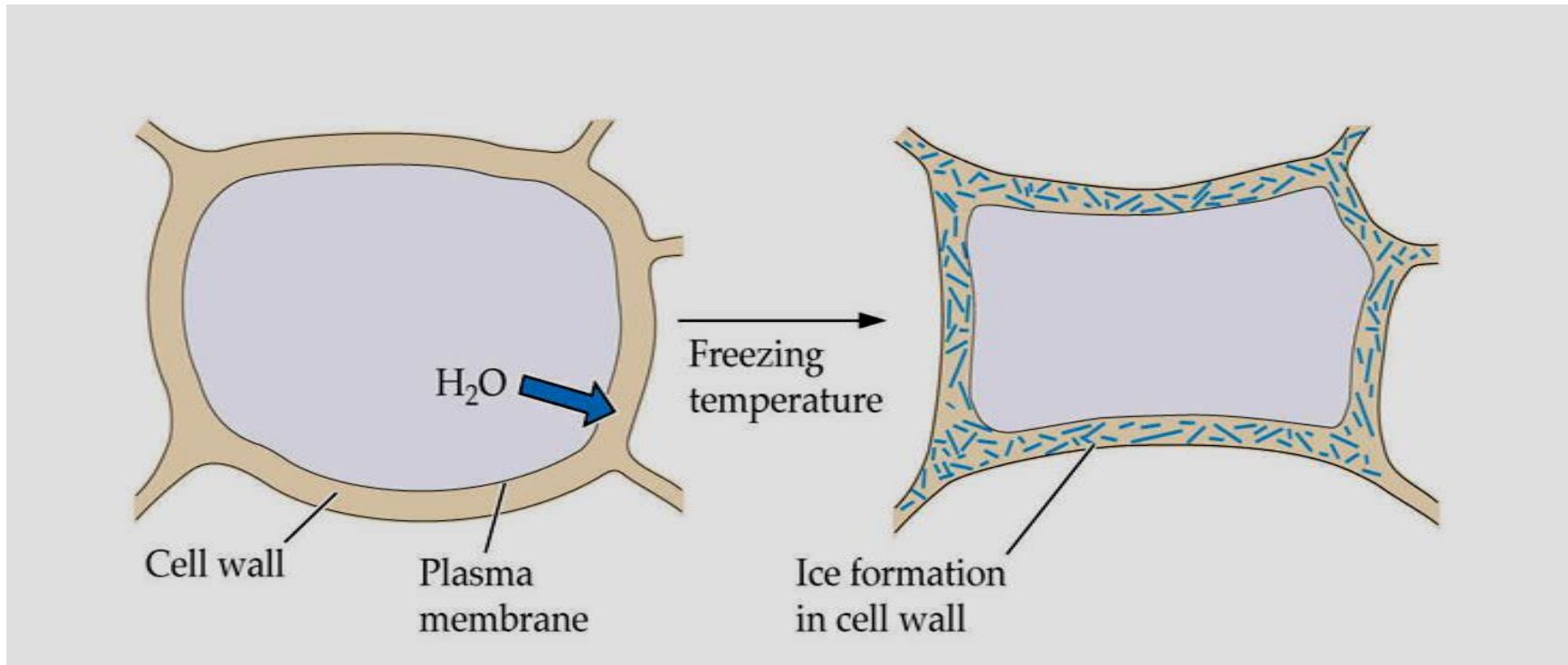
- ❖ Otporni genotipovi imaju otporne membrane (prvenstveno lipide)
- ❖ Kaljenjem se može povećati otpornost -npr. u staklarama se biljke gaje na nižoj t
- ❖ Ishrana K-povećava otpornost
- ❖ ABA potpomaže

Stres niske negativne temperature (stres mraza)

- Dejstvo na biljke je različito i zavisi od otpornosti (ozima žita i -20°C), stadijuma ontogeneze i organa biljaka (grane voćaka mogu da izdrže i -28°C a korjen samo -8°C , sjemena čak i -100°C)
- **Stres mraza**-dovodi do obrazovanja *kristala leda*
- ❖ U **ćeliji** (nastaju brzim hlađenjem $1-3^{\circ}\text{C}/\text{min}$)-mehaničke povrede i oštećenja citoplazme-smrt ćelija-**primaran direktan efekat**
- ❖ U **intercelularima**-izvlačenje vode iz ćelija (plazmoliza leda) i promene permeabilnosti membrana (primjer cvekle posle odmrzavanja sok sa antocijanima)-**ćelija-primaran indirektan efekat**
- ❖ U **zemljištu**-sušenje biljaka zbog smanjenog usvajanja vode-**sekundaran**
- ❖ Pojava **snjega**-poremećaji u prometu gasova-"gušenje biljaka" –**sekundaran efekat**

Stres niskih temperatura

- Međucelijska kristalizacija
- Unutraćelijska kristalizacija



Otpornost na mraz

- ❖ **Kaljenje-prva faza** počinje u jesen (skraćivanje fotoperioda i t oko 0°C)-nakupljanje rezervnih materija i akumulacija osmotikuma-osmoregulacija
- ❖ **Druga faza**-(t ispod 0°C)povećana propustljivost za vodu (smanjuje se količina vode u ćelijama koja bi mogla da se smrzne)
- ❖ **Priprema za kaljenje**-dobro pripremljeno zemljište ali ne treba đubriti da se ne produži vegetacija i da biljke nepripremljene budu izložene mrazu
- ❖ ABA-inhibira rastenje i potpomaže procese otpornosti na mraz (osmoregulaciju)

Stres visoke temperature

- ❖ Većina biljaka uquine na temperaturi višoj od 50°C (niže biljke-neke alge mogu da izdrže i 95°C)
- ❖ Suva sjemena mogu da izdrže veoma visoku t.
- ❖ U prirodnim uslovima visoka t je povezana sa smanjenom i atmosferskom i zemljišnom vlažnošću.

Stres visoke temperature (dejstvo na metabolizam)

- ❖ Promjene na membranama-nekontrolisani permeabilitet-uginuće-**primaran direktan** efekat
- ❖ Efekat na fotosintezu i disanje-gladovanje biljaka-**primaran indirektan** efekat
- ❖ Povećana t listova-povećana transpiracija i dehidratacija listova-**sekundaran efekat**

Otpornost na visoke temperature

1. **Izbjegavanje** visoke t- zaštita od pregrijavanja (uvrtanje listova, voštane navlake i dlake na listovima) i hlađenje (transpiracija)-ABA potpomaže
2. **Tolerancija** na visoke t-CAM biljke (stome otvorene noću), pojačano disanje da se neutrališe pojava NH₃
3. **Otpornost na visoke t**-sinteza termostabilnih proteina (heat shok proteini) ABA potpomaže

STRES SUŠE

❖ *Poljoprivredna definicija suše*-period suvog vremena koji je izazvao značajno smanjenje prinosa date kulture od prosječnog za dato područje.

❖ *Fiziološka definicija suše*-biljke su u stanju stresa suše kada je turgidnost njihovih tkiva manja od maksimalne.

Uzroci suše

❖ Smanjenje količine vode u zemljištu (**zemljišna suša**)

❖ Povećanje t vazduha (**temperaturni šok**)

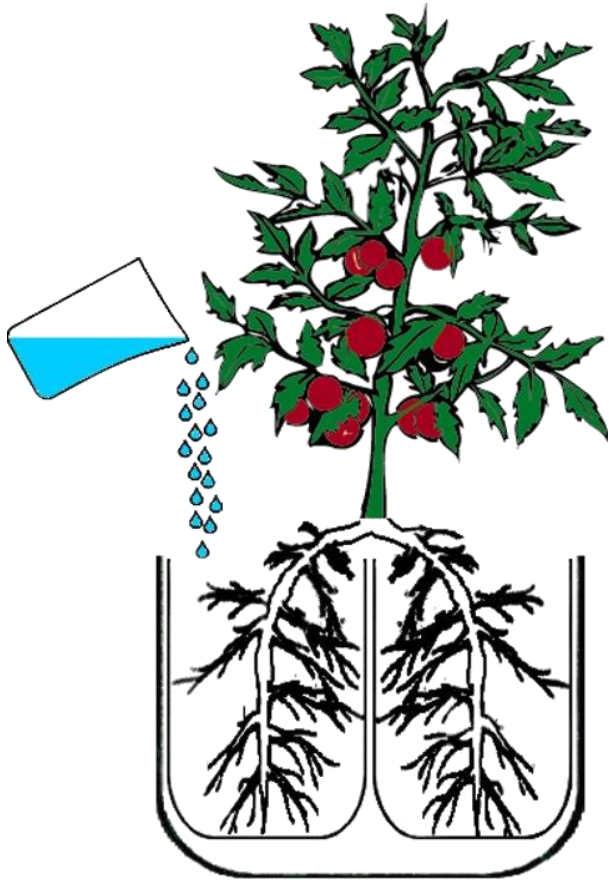
❖ Smanjenje vlažnosti u atmosferi

❖ Soli u zemljištu (**osmotski stres**) i niska t –**fiziološka suša** (ima vode ali nije pristupačna za biljke)

Stepen stresa suše

- ❖ *Slab stres* - ψ_1 se smanji za nekoliko dijelova bara a RWC za 8 do 10%.
- ❖ *Umjereni stres* - ψ_1 od -1.2 do -1.5 MPa a RWC opada za 10 do 20%.
- ❖ *Jak stres* - ψ_1 ispod -1.5 MPa a RWC opada više od 20%.
- ❖ Stepen stresa zavisi i od biljne vrste i njene otpornosti na sušu i faze ontogeneze.

Signali suše



❖ **Hemijski signali suše**
(rani signali suše)

(Glycine, Vigna, Malus, Zea, Helianthus,
Triticum, Prunus, Acer, Capsicum,
Coffea,)

❖ **Hidraulični signali suše**

Dejstvo suše na biljke

- ❖ Inhibicija rastenja
- ❖ Smanjena sinteza proteina
- ❖ Smanjena sinteza hlorofila
- ❖ Zatvaranje stoma
- ❖ Opadanje fotosinteze
- ❖ Raste aktivnost enzima hidrolaza i oksidaza
- ❖ Opada prinos poljoprivrednih biljaka
- ❖ Dugotrajni efekti uginuće biljaka

U odnosu na vodni režim podjela biljaka

- ***Higrofite*** – biljke vlažnih staništa -stradaju ako ψ_l opadne od -0.5 do -1.0 MPa (slab stres)
- **Mezofite**-biljke umjerenih područja-stradaju ako ψ_l opadne do -2.0 MPa
- **Kserofite**-biljke sušnih područja mogu da podnesu i -4.0 MPa.
- *Gajene biljke mezofite!*

Adaptivne reakcije biljaka na sušu

1. *Izbjegavanje suše* (ubrzanje fenofaza-pšenica u Indiji)
2. *Odlaganje dehidracije* (otpornost na sušu pri visokim vrijednostima Ψ_l)
 - ❖ povećano usvajanje vode (razvoj korjena)
 - ❖ smanjeno odavanje vode (zatvaranje stoma, uvrtnanje listova, morfoloske i anatomske adaptacije) –
3. *Otpornost prema dehidraciji* (otpornost na sušu pri niskim vrijednostima ψ_l)
 - ❖ održanje turgora (osmoregulacija i povećan elasticitet ćelija)
 - ❖ tolerancija prema isušivanju (otpornost u užem smislu) sinteza stres proteina

ABA potpomaže sve adaptivne reakcije.



Suša umanjuje i prinos i stabilnost prinosa.

U svijetu je ukupno 26% zemljišta zahvaćeno sušom, a samo 10% poljoprivrednih površina se navodnjava.



Anaerobni uslovi (plavljenje)

Efekat

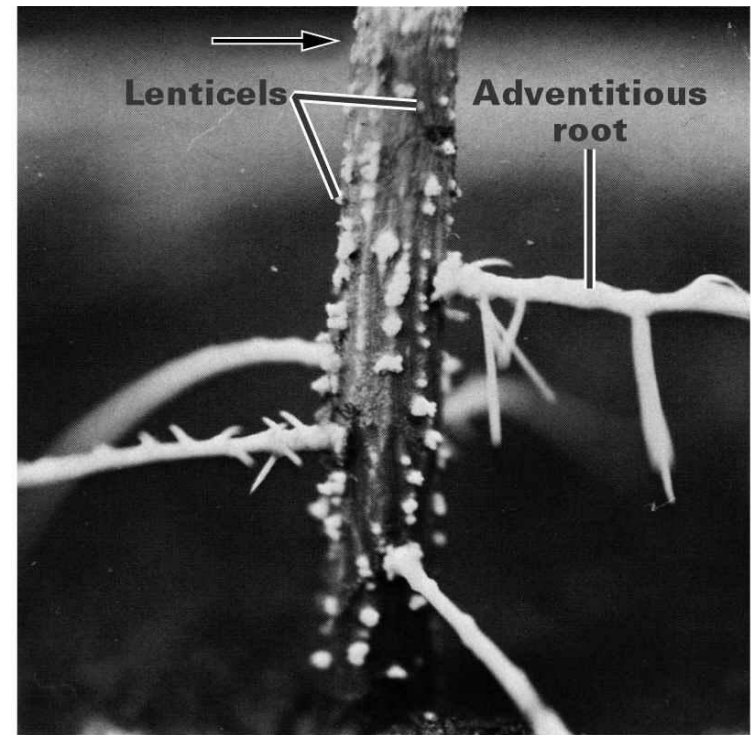
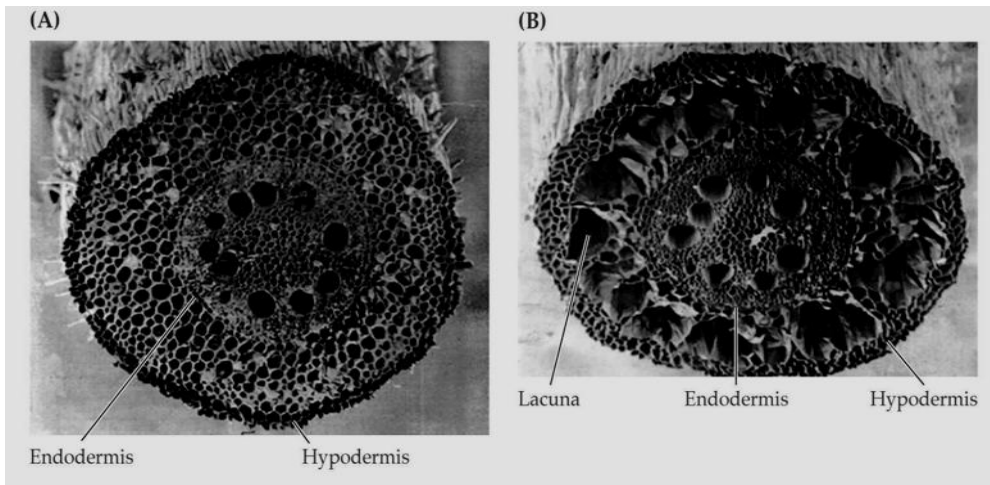
- ❖ Nedostatak O_2
- ❖ Nedostatak O_2 u zemljištu-akumulacija Fe^{2+} i Mn^{2+} i njihovo toksično dejstvo

Otpornost

- ❖ Morfološke adaptacije (aerenhimska tkiva-pirinač)
- Većina gajenih biljaka neotporna.

– Mehanizmi otpornosti na poplave

- Dobro razvijen - aerenhim
- Više lenticela
- Više adventivnih korjenova









STRES SOLI I JONA

Optimalna koncentracija-0.001 do 0.01%

Slatine – 0.1 %-biljke halofite

Stres soli – opadanje u Ψ_o - "fiziološka suša"

❖ **Primarno dejstvo**

direktno-membrane (lipidi i proteini)

indirektno-metabolizam

❖ **Sekundarno dejstvo** (vodni režim, pH, nedostatak hranjivih elemenata)

Otpornost na soli

❖ **Izbegavanje stresa** (izlučuju se ili razblažuju joni - "slana sukulencija")

❖ **Opornost na soli** (osmoregulacija i citoplazmatska otpornost)

Najotpornije na soli šećerna i stočna repa.

Najosetljiviji kukuruz.

Stres jona (prvenstveno teški metali)

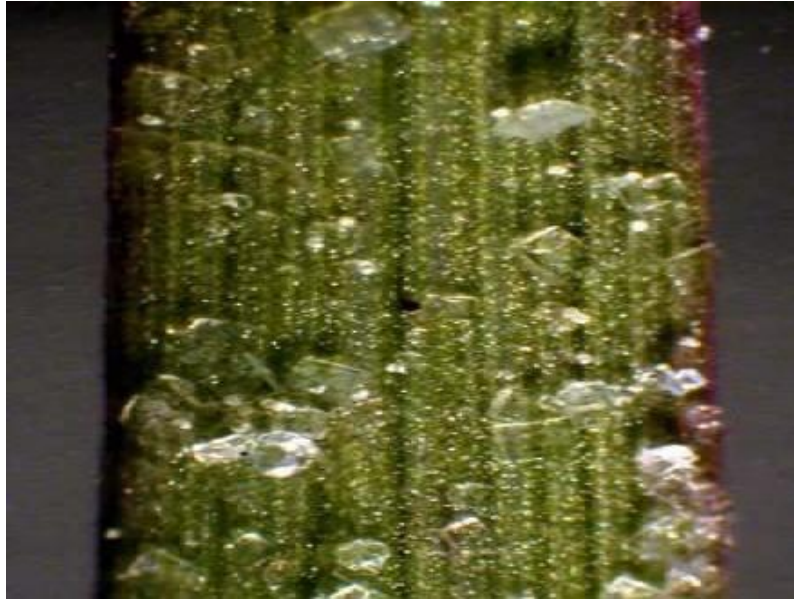
Dejstvo :

- ❖ **Metabolizam** (enzimi fotosinteze i disanja)
- ❖ **Antagonizam jona** (Al i Ca, Mn, P, Fe)
- ❖ **pH zemljišta** (u kiselim zemljištima pojačano usvajanje Al i Mn)

Toksični u malim koncentracijama-Hg,Se, Pb, Ni, Cd, Co.

Popravka zemljišta (kalcizacija) i fitoremedijacija

Sone žlijezde kod halofita



Biotički stres

- **Stres uzrokovan patogenom:**

1. Poremećaj ravnoteže vode
2. Disanje
3. Fotosinteza
4. Abnormalan rast

Biotički stres (bolesti)

- ❖ **Izazivači bolesti:** *gljive* (od 100.000 gljiva 10.000 izazivači bolesti), *bakterije* (30.000 izazivača bolesti), *virusi* (300 izazivača bolesti);
- ❖ Infektivnost zavisi od kompatibilnosti (afiniteta) biljaka i patogena , od ekoloških uslova i imuniteta biljka (urođen i stečen)

Imunitet ljudi i životinja

- ❖ *Antitijela*-vezuju se za patogene i sprečavaju širenje
- ❖ *Interferoni*-nisu tako specifični
Šire se krvotokom i tako obezbeđuju otpornost.
- ❖ **Biljke**-sintetišu jedinjenja slična antibioticima *fitoncidi (fitoaleksini)*-
nastaju kao rezultat interakcije domaćina i parazita (parazit-uglavnom
gljive induktor jer izaziva stvaranje fitoaleksina a domaćin daje
materijal za njihovu sintezu)

Otpornost (imunitet biljaka)

- ❖ *Urođena*-vezana za nasljednu osnovu i teže podliježe promjenama u određenim ekološkim uslovima
- ❖ *Stečena*-otpornost koju biljke stiču u toku ontogeneze

Mehanizmi otpornosti

Pasivni (postoje nezavisno od bolesti i sprečavaju da se biljke razbole)

- ❖ Morfološko-anatomske adaptacije (voštane navlake na listovima sprečavaju razvoj patogena)
- ❖ Fiziološke adaptacije-metabolički procesi i izlučevine korjena sprečavaju razvoj bolesti (npr. pH ćelija - zeleni paradajz se zarazi sa bakterijom *Xantomonas* a zreli ne)

Aktivni imunitet (javlja se u slučaju dejstva patogena)

- ❖ Morfološko-anatomske adaptacije
- ❖ Fiziološke adaptacije **fitoncidi** (na gljive, bakterije, insekte)-nisko molekularna jedinjenja-*fazeolin, solanin, tomatin* deluju tako što usporavaju sintezu proteina, razdvajaju sintezu ATP i oksidaciju biosinteza fenola i pojačana oksidacija (uticaj na metabolizam patogena)

Nasljednost i promjenjivost otpornosti prema bolestima

Povećanje otpornosti:

- ❖ selekcija otpornih genotipova,
- ❖ vakcinacija,
- ❖ predsjetvena obrada semena,
- ❖ agrotehnika (đubrenje, gustina usjeva)

Antropogeni stresni faktori

(dejstvo čovjeka)

- ❖ Atmosferski polutanti (CO_2 , CO , SO_2 , H_2S , NH_3 , NO , NO_2 , HF , fotooksidanti-peroksiacetyl nitrat) -rana dijagnostika uključuje praćenje promjena na listovima hloroza, nekroza
- ❖ Kontaminacija vode i zemlje sa teškim metalima (Zn , Cd , Pb , Ni , Co , Cr , Cu , Hg)-usvajanje preko korjena i dejstvo na metabolizam
- ❖ Herbicidi, fungicidi, insekticidi, đubriva
- ❖ Bioindikatori i fitoremedijacija