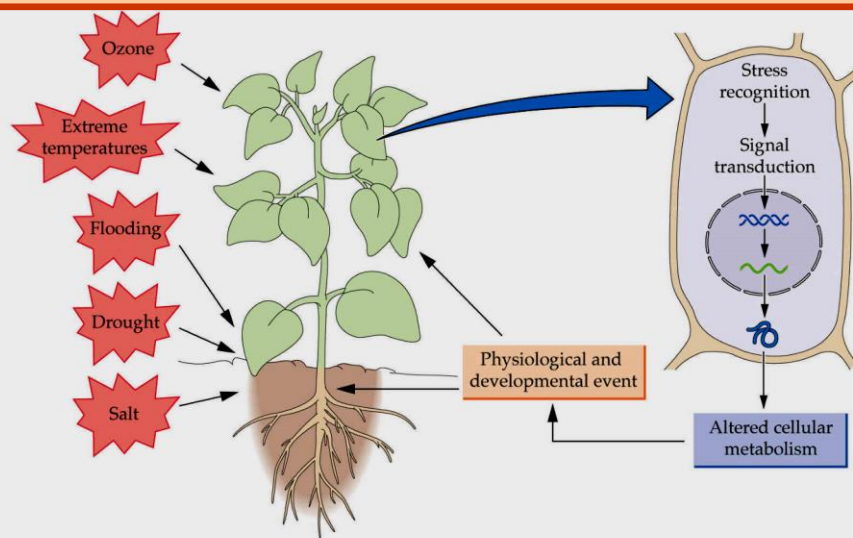


METABOLIZAM BILJAKA U STRESNIM UVJETIMA

Prof. dr. sc. Željka Vidaković-Cifrek
Prof. dr. sc. Mirta Tkalec
Dr. sc. Sandra Vitko

zcifrek@biol.pmf.hr
mtkalec@biol.pmf.hr
svitko@biol.pmf.hr



BILJKE U STRESNIM UVJETIMA

Povoljni uvjeti

-omogućuju biljci postizanje maksimalnog potencijala rasta, razvoja i reprodukcije (npr. biomase, broja i kvalitete sjemenki...)

Stresni uvjeti

-utječu na procese rasta i razvoja te ometaju postizanje punog genetičkog potencijala biljaka

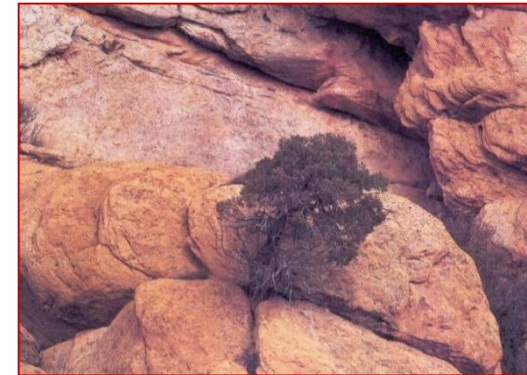
- klimatski uvjeti u okolišu
- raspoloživost vode i mineralnih tvari
- onečišćenje
- biotički faktori

Okolišni uvjeti često su nepovoljni za biljke, npr. u pustinjanskim područjima, na stjenovitoj podlozi, u tundri i tropskoj kišnoj šumi.

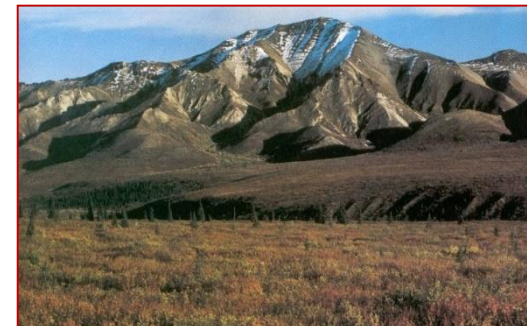
pustinja



stjenovita podloga



tundra



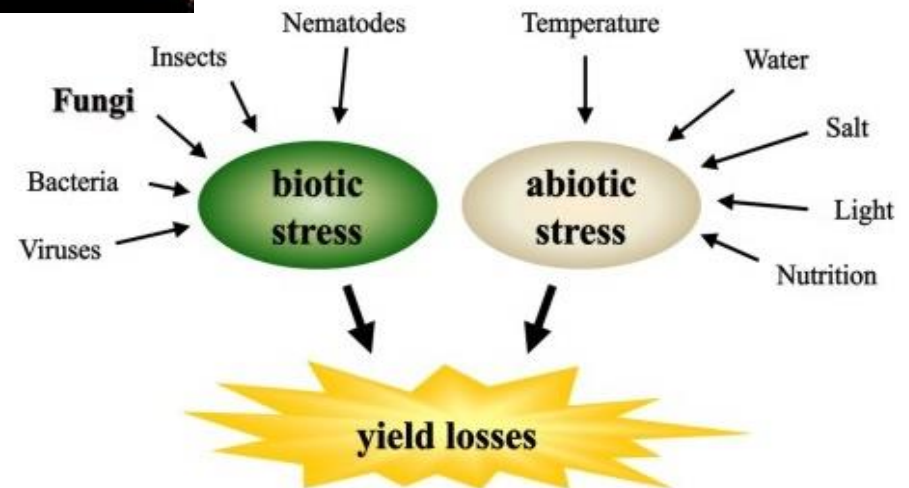
tropska kišna šuma



Uzgoj biljaka u kulturi



I u poljoprivrednoj proizvodnji biljke su često izložene nepovoljnim uvjetima (npr. toplina, napad patogeni organizama), iako neki stresni uvjeti mogu biti ublaženi djelovanjem čovjeka (npr. manjak vode navodnjavanjem ili manjak mineralnih tvari dohranjivanjem).



Utjecaj stresnih uvjeta na prinos
u poljoprivrednoj proizvodnji



Životinje – mogućnost kretanja i
izbjegavanja nepovoljnih uvjeta

BILJKE

sesilni organizmi

→ složeniji odgovor
na stresne uvjete



Fiziologija stresa u biljaka

-osnovni pojmovi

Stresni uvjeti (u okolišu)

-višestruko nepovoljni, ne nužno letalni uvjeti, prisutni stalno ili povremeno (poplava, povišeni salinitet, onečišćenje tla i atmosfere)

Stresni čimbenik (faktor)

(neposredni uzrok stresa)

- podražaj koji uzrokuje stres (npr. nedostatak kisika u rizosferi, osmotska vrijednost, prisutnost iona Na^+ u tlu, svjetlost)
- narušava optimalno odvijanje fizioloških i/ili metaboličkih procesa u stanicama i tkivima

Stres

-reakcija u biljnoj stanici (npr. oksidacijski stres kao posljedica djelovanja gotovo svih stresnih čimbenika, inhibicija enzima...)



Odgovori biljaka na stresne uvjete

Osjetljivost – oštećenja i poremećaj metabolizma uslijed djelovanja stresnih uvjeta

Rezistencija (otpornost) – sposobnost prevladavanja nepovoljnih okolišnih uvjeta

Izbjegavanje – sprečavanje izlaganja stresu, npr. biljke završavaju životni ciklus prije nastupanja stresnih uvjeta, razvoj dubokog korijenja na sušnim staništima

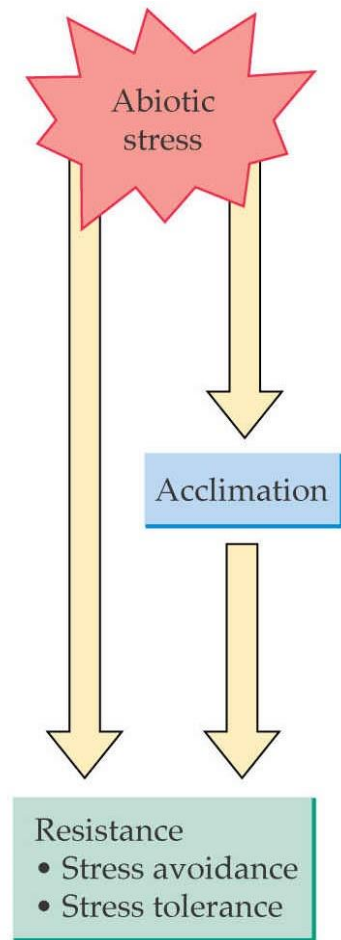
Tolerancija – različiti mehanizmi koji biljci omogućuju prilagodbu stresnim uvjetima

Prilagodba (adaptacija)

-genetički određena razina otpornosti stečena selekcijom kroz mnogo generacija (npr. CAM)

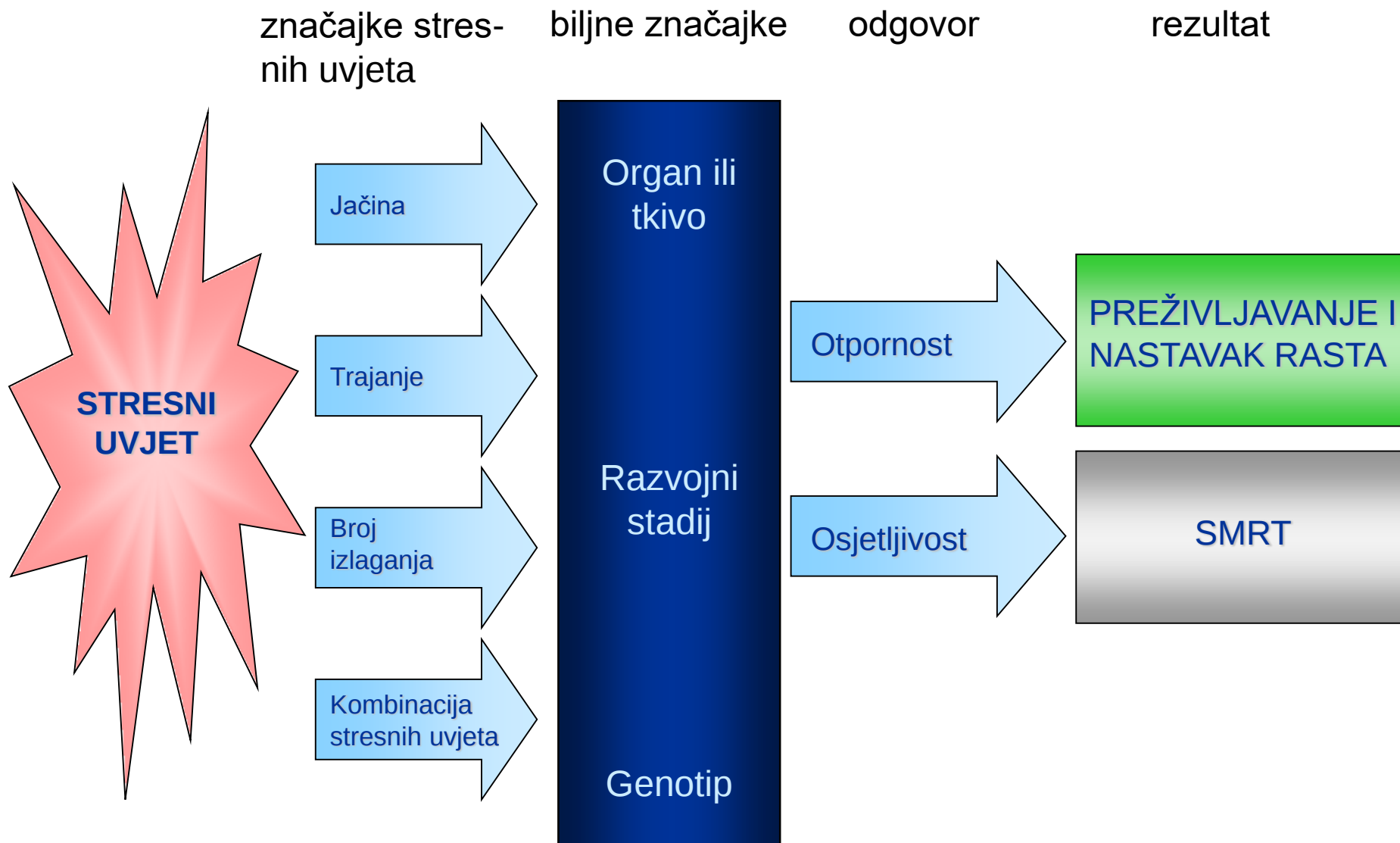
Aklimatizacija

-povećanje stupnja tolerancije kao rezultat postepenog izlaganja blagim stresnim uvjetima – temelji se na prilagodbi fizioloških procesa i biokemijskih reakcija promjenama okolišnih uvjeta



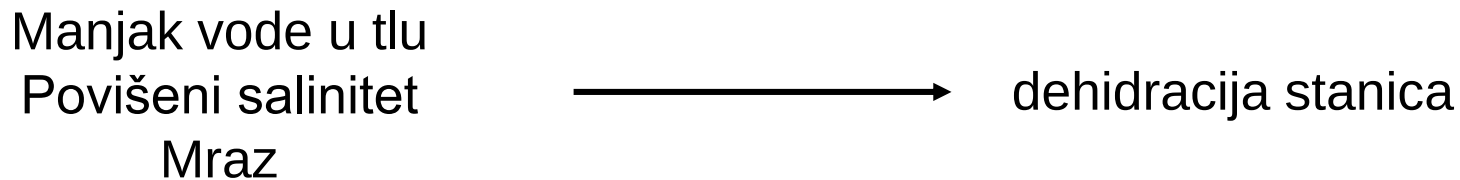
Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002): **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. John Wiley and Sons.

Učinak stresnih uvjeta na biljke



Višestruka otpornost (“Cross-resistance”)

-otpornost na jedan stresni uvjet često je inducirana aklimatizacijom na drugi stresni uvjet (mehanizmi otpornosti na različite stresne uvjete mogu imati zajednička svojstva)



mraz → tolerancija smrzavanja i suše

povišeni salinitet → otpornost na hladnoću, toplinu i isušivanje

„**Pamćenje**” **stresa** ili **stresna memorija** (engl. stress memory) – promjene u biljci izloženoj stresnim uvjetima koje modificiraju reakciju te biljke na ponovno izlaganje stresnom uvjetu nakon određenog vremena, tj. omogućuju joj brži i učinkovitiji odgovor.

Prethodno izlaganje (engl. priming) – postupci kratkotrajnog izlaganja nekom učinku, npr. kemijskom spoju, nepatogenom mikroorganizmu ili okolišnom faktoru u cilju postizanja promjena (npr. metaboličkih, na razini ekspresije gena, epigenetskih) radi bržeg odgovora biljke na stresne uvjete.

STRESNI ODGOVOR

Specifični odgovor - ovisi o vrsti stresnih čimbenika (faktora) i o ciljevima u biljci (biljnoj stanici) na koje djeluju

Primjer: teški metali narušavaju metaboličke procese u stanici; odgovor biljke uključuje biosintezu polipeptida fitohelatina koji sprečavaju njihov štetan učinak

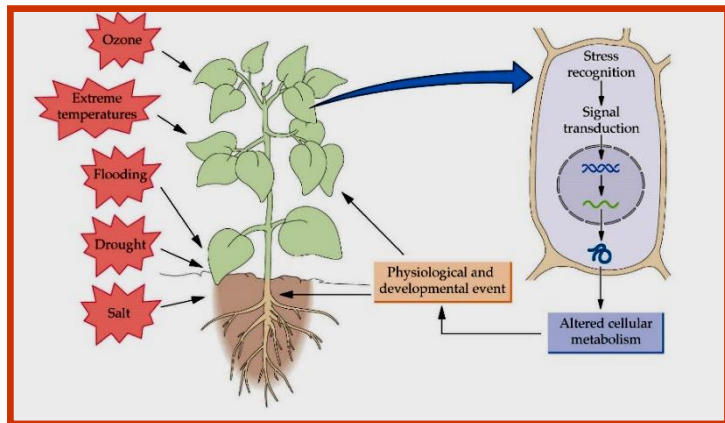
Nespecifični odgovor – može biti potaknut različitim stresnim faktorima

Primjeri:

1. Promjena aktivnosti antioksidacijskih enzima
2. *De novo* sinteza i akumulacija antioksidansa (askorbinska kiselina, tokoferol....)
3. Biosinteza poliamina
4. Sinteza kompatibilnih osmolita (prolin, glicin-betain, šećerni alkoholi)
5. Sinteza specijaliziranih biljnih metabolita, npr. antocijana, polifenola
6. Pojava ili promjena količine stresnih hormona (ABA, etilen, jasmonska kiselina)
7. Promjena svojstava membrane (promjena stope prijenosa preko membrane)
8. Promjene metaboličkih reakcija (pojačana stopa disanja, promjena stope fotosinteze)

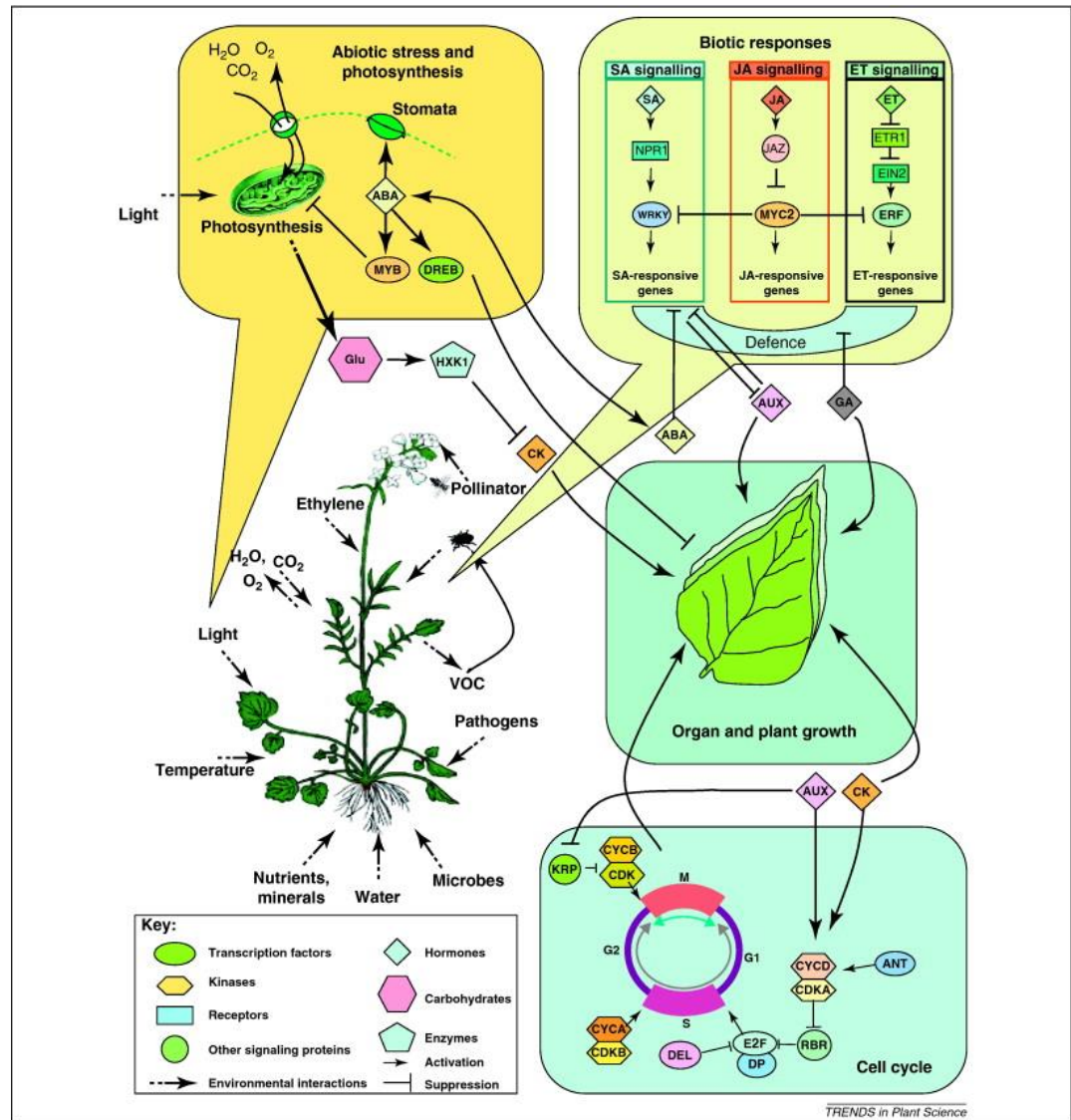
Biljke u stresnim uvjetima

- zamjećivanje (percepcija) signala (uzroka stresa)
- prijenos signala
- odgovor na stres (često uključuje ekspresiju gena)



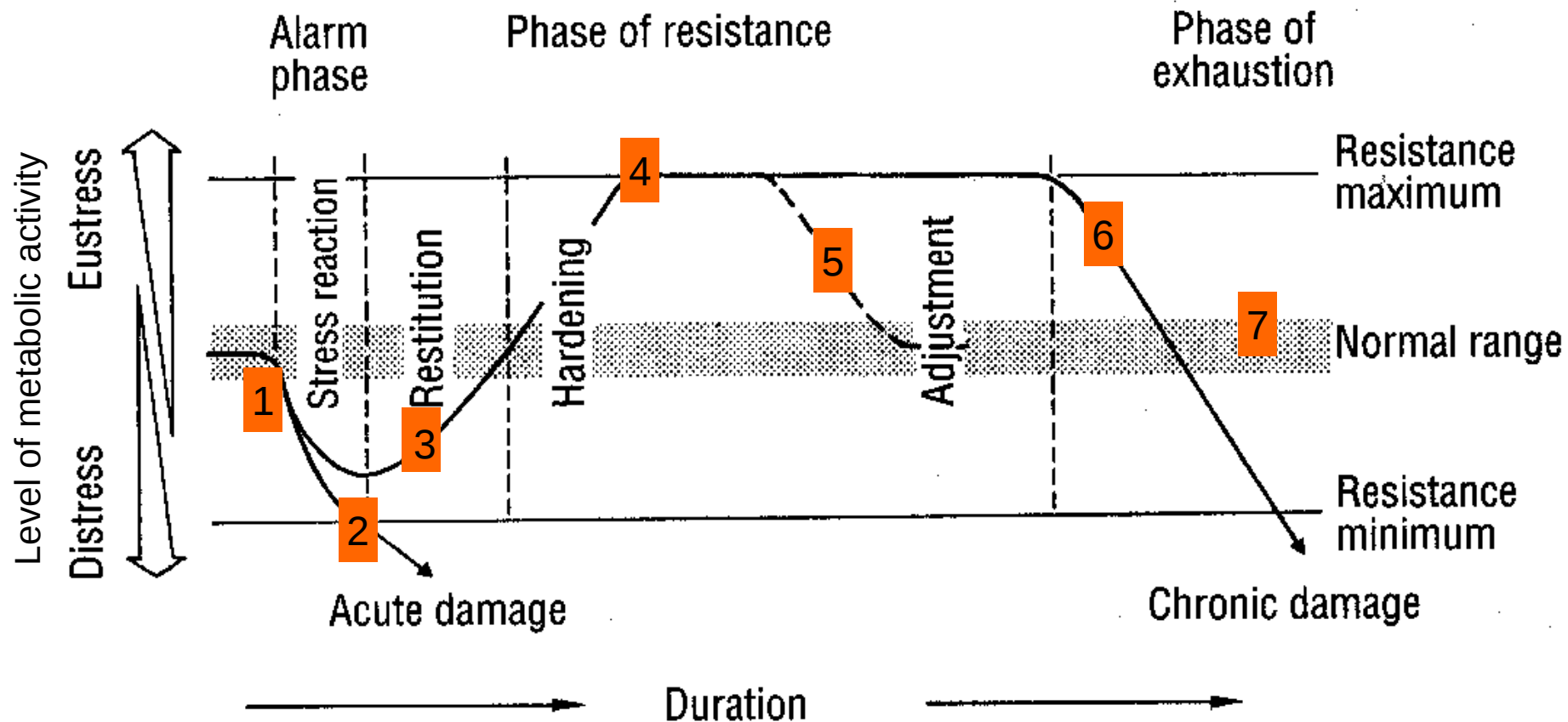
Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2002): **Biochemistry and Molecular Biology of Plants.**

U stresnim uvjetima biljka preraspoređuje raspoložive resurse u procese kojima ostvaruje odgovor na stres što često rezultira smanjenjem rasta.



Percepcija stresa inducira promjene na molekularnoj i staničnoj razini koje dovode do odgovora biljke na stresne uvjete. Shema preuzeta: Keurentjes, J. J. i sur. (2011). Redefining plant systems biology: from cell to ecosystem. Trends in Plant Science, 16(4), 183-190.

FAZE REAKCIJE NA STRES



1. Faza alarma
2. Trajna oštećenja i uginuće
3. Faza popravka

4. "Očvrsnuće"
5. Prilagodba
6. Iscrpljivanje
7. Obnavljanje

Eustres – „pozitivni stres”,
prevladavanje štetnog
učinka

Distres – negativni učinak –
pojava oštećenja u biljci

ISTRAŽIVANJE MEHANIZAMA ODGOVORA NA STRESNE UVJETE

Modelne biljke

Uročnjak (*Arabidopsis thaliana*),
por. *Brassicaceae*

-istraživanja u području biljne
genetike i molekularne biologije



Arabidopsis thaliana

Craterostigma plantagineum (Hochst.),

-”uskrsnule biljke”
(”resurrection plants”)



dehidracija



rehidracija

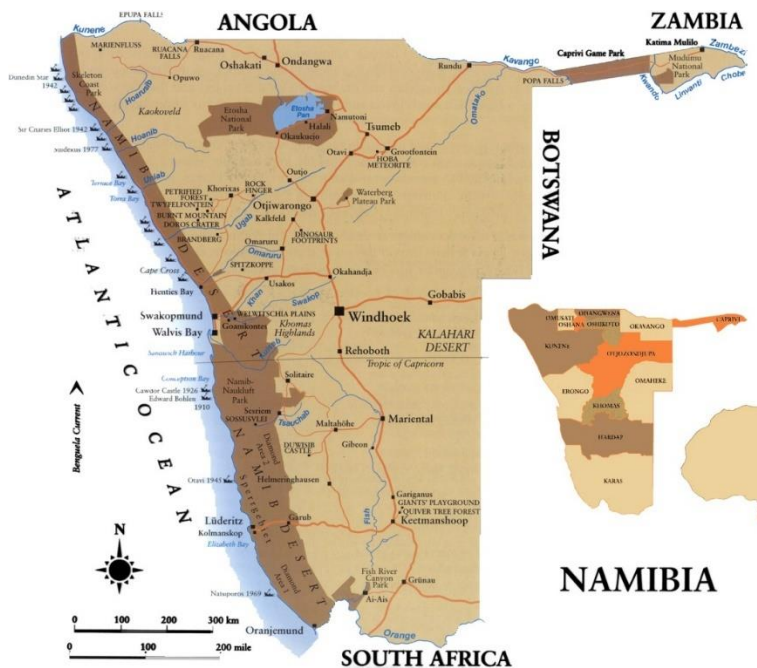


Mesembryanthemum crystallinum

-por. Aizoaceae

-halofit

-adaptirana na rast u sušnim uvjetima, uz visoke koncentracije NaCl u tlu i niske temperature



-prirodno obitava u pustinji Namib

-razvoj – jasno izražena izmjena razvojnih faza:

- razvoj klijanaca
- juvenilna i adulta faza
- cvjetanje
- formiranje sjemena



→ svaka faza pokazuje izrazita morfološka, fiziološka i biokemijska svojstva

-na rast i izmjenu faza utječu okolišni čimbenici:
svjetlost, temperatura, CO_2 i svi oblici stresa koji ograničavaju opskrbu vodom



Razvojne faze:



Klijanac s jednim parom primarnih listova

- u usporedbi s odraslom biljkom manje je uspješan u prevladavanju stresnih uvjeta – nema mogućnosti indukcije CAM-fotosinteze
- u sušnim uvjetima se u kotiledonima inducira biosinteza kompatibilnih osmolita



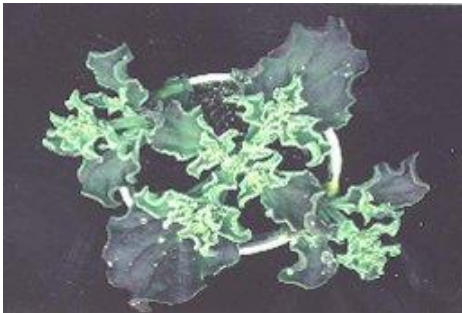
Biljka u juvenilnoj fazi stara tri tjedna

- vidljiva su tri para primarnih listova.
- ne može u potpunosti prevladati stresne uvjete (nema indukcije CAM-fotosinteze, kompatibilni osmoliti su inducibilni).



Prijelaz iz juvenilne u adultnu fazu

- pojavljuju se sekundarni listovi i postrani izbojci
- postoji mogućnost indukcije CAM-fotosinteze



Odrasla biljka, stara 8 tjedana, izložena stresnim uvjetima dva tjedna

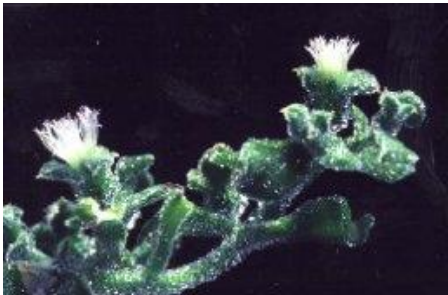
- primarni listovi su postigli maksimalnu veličinu i prisutno je puno bočnih izbojaka.
- sekundarni listovi se morfološki razlikuju od primarnih



Odrasla biljka stara 12 tjedana,
 izložena stresnim uvjetima pet tjedana
 -veličina biljke ovisi o vremenu kad je nastupio
 stres i o ionskom sastavu medija
 -biljke rastu u prisutnosti 4 mM KNO₃



uvećani prikaz dijela biljke



Cvjetovi u biljke stare 12 tjedana,
 -početak cvatnje je ubrzan nepovoljnim
 uvjetima, najviše solnim stresom



**Faza formiranja
 sjemenki**



**Epidermalne mjehuraste
 stanice na površini
 listova**

-ispunjene NaCl
 (snimljene SEM-om)

STRESNI UVJETI

ABIOTIČKI		BIOTIČKI
Fizikalni	Kemijski	
Radijacija -nedostatan ili previsoki intenzitet svjetlosti -UV-zračenje -ionizacijsko zračenje	Voda -nedostatak vode (suho tlo i atmosfera) -poplave (nedostatak kisika, promjena redoks-stanja u tlu)	Biljke -guste populacije (konkurencija) -alelopatija -parazitizam
Temperatura -povišena temperatura -hladnoća -smrzavanje	Plinovi -nedostatak kisika -vulkanski plinovi -štetni plinovi (npr. SO₂, O₃)	Mikroorganizmi -virusi -bakterije -gljive

Mehanički učinci -vjetar -snježni pokrov -ledeni sloj -pomicanje tla (potresi, klizanje tla, zasipavanje)	Mineralne tvari -nedostatak -suvišak -salinitet -teški metali -previsoka ili preniska pH vrijednost tla	Predatori -konzumenti
-gaženje -vatra -elektromagnetska polja -mikroplastika u tlu	-onečišćenje tla metalima, kemikalijama u poljoprivredi -onečišćenje voda i atmosfere	←Antropogeni učinak

SADRŽAJ KOLEGIJA

Nastajanje reaktivnih kisikovih oblika u stresnim uvjetima i aktivacija antioksidacijskog sustava

Sinteza i uloga kompatibilnih osmolita u uvjetima manjka vode i povišenog saliniteta

Akumulacija osmolita i specifičnih proteina tijekom aklimatizacije na hladnoću i smrzavanje

Biosinteza i uloga stresnih proteina u uvjetima toplinskog stresa

Promjene u procesu staničnog disanja u hipoksičnim i anoksičnim uvjetima u rizosferi

Mehanizmi zaštite fotosintetskog aparata od visokih intenziteta svjetlosti

Djelovanje teških metala, plinova u atmosferi, ksenobiotka i mikroplastike na fiziološke procese i stanični metabolizam

Učinak svjetlosnog onečišćenja, mehaničkog stresa i mikroplastike
Mehanizmi odgovora biljaka na napad herbivora, bakterija i gljivica

LITERATURA

Literaturni izvori u repozitoriju kolegija

Literatura uz teorijski dio kolegija

Dodatna literatura

Pevalek-Kozlina, B. (2003): **Fiziologija bilja**. Profil International, Zagreb.

Buchanan, B., Gruissem, W., Jones, R. L. (2015): **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**, 2nd Edition. American Society of Plant Biologists.

Jones, R., Ougham, H., Thomas, H., Waaland, S. (2013): The **Molecular Life of Plants**. Wiley-Blackwell.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2015): **Plant Physiology and Development**, 6th edition. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.

OBAVEZE: Redovito pohađanje i aktivno sudjelovanje u nastavi (i putem platforme Merlin)

NAČIN PROVJERE ZNANJA I POLAGANJA ISPITA:

1. **Izvještaj s praktične nastave** u pismenom obliku, izrađen prema uputama dobivenim tijekom praktične nastave;
(izvještaj treba predati na korekciju, na usmeni ispit donijeti otisnuti korigirani primjerak)
2. **Usmeni ispit** (termin – u dogovoru s nastavnicama)

Završna ocjena formira se na temelju oba navedena ispitna elementa.