

Suša i njene posljedice

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Abiotički uvjeti (uvjeti okoliša) čine najveće ograničenje u biljnoj proizvodnji, a uz sve izraženije, kako globalne, tako i lokalne klimatske promjene, situacija se ubrzano pogoršava. Naime, *visoka temperatura* (toplina je kinetička energija molekularnog gibanja) i *suša* nesumnjivo su dva najvažnija stresa koji imaju ogroman utjecaj na rast i produktivnost usjeva, međusobno su povezani te se najčešće događaju istovremeno. Negativan utjecaj visoke temperature i suše (podoptimalna opskrba biljaka vodom) rezultira biokemijskim i fiziološkim poremećajima, a oba stresa imaju višeslojni utjecaj i stoga kompleksno djelovanje na intenzitet rasta, visinu i kvalitetu prinosa. *Važno je istaći da je raznolikost biljnih vrsta u prirodi pomogla u biljnoj evoluciji s nizom morfoloških, fizioloških i biokemijskih prilagodbi tako da mogu izdržati sušni, kao i toplotni stres.*

Koliko su veliki zahtjevi biljaka za vodom najbolje pokazuje činjenica da *biljke C-3 tipa fotosinteze zahtijevaju 1 kg vode za sintezu 1,3 do 2,0 g ST (500-750 kg vode za 1 kg suhe tvari), dok su C-4 biljke dvostruko efikasnije (npr. kukuruz).* U SAD-u, 40-godišnja istraživanja šteta nastalih uslijed različitih stresova pokazuju da je na prvom mjestu suša (40,8 %), drugom suvišak vode (16,4 %), trećem niska temperatura (13,8 %), četvrtom tuča (11,3 %) itd. Dakle, nepredvidljiva suša može se smatrati najvećim problemom u proizvodnji hrane.

Prosječna globalna temperatura (površina kopna i oceana) povećala se za 0,85° C između 1880. i 2012. god., a povećanje od najmanje 0,2° C po desetljeću se nastavlja i dalje. Tijekom proteklih 250 god. koncentracija ugljičnog dioksida (CO₂) u atmosferi porasla je za 30 %, a metana za 150 % što se smatra glavnim uzrokom globalnog zatopljenja. Posljedice se jasno manifestiraju u padu prinosa. *Npr., istraživanja pokazuju da za svaki stupanj porasta temperature, globalni prinos pšenice padne za 6 %.* Premda se zbog globalnog zatopljenja povećava biljna proizvodnja i količina hrane u hladnijim klimatskim regijama, ukupni utjecaj na globalnu proizvodnju hrane još je uvijek negativan.

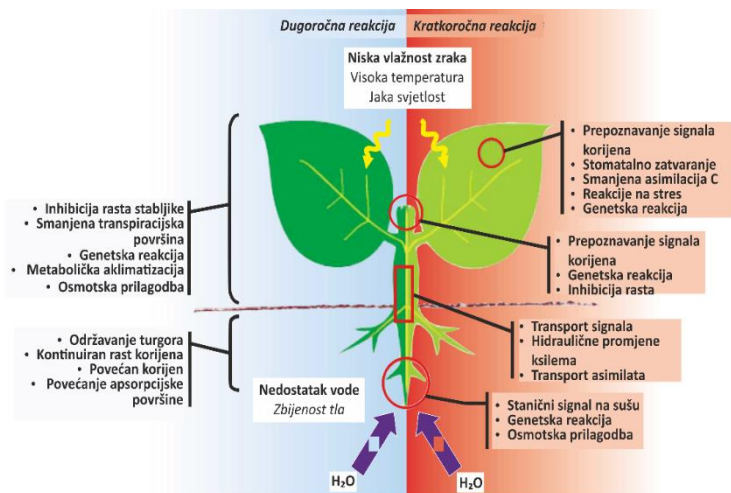
Efekt suše zapaža se kad je opskrba biljaka vodom ograničena (nedostatak raspoložive vode u tlu) ili kad biljke gube transpiracijom više vode nego li korijen može usvojiti, što se često događa kad su temperature visoke (npr., *nizak turzorov tlak manifestira se uvelim izgledom biljaka*). Štete od suše općenito su nepredvidljive, jer ovise od više faktora, npr. od rasporeda oborina, odnosno nedostatka vode u kritičnim fenofazama (npr., oplodnja, nalijevanje zrna itd.), sposobnosti zadržavanja vlage u tlu (tzv. *retencijski kapacitet tla za vodu*) i gubitaka vode *evapotranspiracijom*. Naime, suša čini štetu jer biljke ne mogu usvojiti dovoljno vode i hraniva, a to se odražava na *fotosintezu* i *raspodjelu asimilata* unutar biljaka.

Nedostatak vode brzo se zapaža smanjenim rastom biljaka što je povezano s padom intenziteta fotosinteze i poremećajem *metabolizma dušika i ugljika*. Međutim, reakcija biljaka na sušu je vrlo složena jer je taj stres usko povezan sa smanjenim usvajanja biogenih elemenata i njihovim transportom, podjednako hraniva kao i asimilata, što se odražava na cjelokupan *metabolizam*. Reakcija biljaka na sušu različita je za biljne vrste i kultivare i varira po fenofazama biljaka, a manifestira se prvo promjenama u fiziološkim procesima kako bi se mogle nositi s drastičnim učincima sušnog stresa. Manji nedostatak vode u duljem periodu rezultira *adaptacijom (prilagodbom) biljaka* na sušu (tzv. *kaljenje*), ovisno o biljnoj vrsti, odnosno njenim *inherentnim odlikama tolerantnosti na nedostatak vode*, prvenstveno *stabilnosti tilakoidnog membranskog sustava u kloroplastima.*

Vodni stres rezultira zatvaranjem pući i smanjenjem intenziteta transpiracije, padom vodnog potencijala biljnih tkiva, smanjenjem fotosinteze te konačno, inhibicijom rasta. U biljkama se nagomilava *apscizinska kiselina* (ABA), *prolin*, *manitol*, *sorbitol*, formiraju se „*spojevi hvatači*“ slobodnih radikala, odnosno *antioksidanti* kao što su *askorbat*, *glutathion*, *α-tokoferol* i dr., a povećava se sinteza proteina i *mRNA*. Također,

dolazi do promjene lipida membrana i narušavanja membranske regulacije transporta tvari i vode. Ove fiziološke promjene konačno rezultiraju i morfološkim promjenama, odnosno izgledom biljaka (Slika 1.). Kako se suša i visoka temperatura uglavnom događaju istovremeno, teško je odvojiti njihov utjecaj.

Otpor prema suši (Drought resistance; DR) označava sposobnost prilagodbe biljnih vrsta koje im omogućuju izbjeći (tzv. sušni bijeg, odnosno dovršenje životnog ciklusa prije početka suše) ili tolerirati sušni stres. Sušni bijeg karakteriziraju dva tipa biljaka: 1. omogućuje biljkama, uglavnom kraće vegetacije, izbjegavanje suše jer su u stanju prilagoditi svoj fenološki razvoj prema raspoloživosti vode i 2. biljke koje su razvile mehanizme tolerancije na sušu (Drought tolerance; DT), npr., brzi fenološki razvoj, tvorba minimalnog broja sjemenki prije iscrpljivanja vode iz tla, smanjenje gubitaka vode (ušteda vode kroz smanjenu transpiraciju, održanje turgora itd.) i optimizacija unosa vode (potrošači vode). Bilje drugog tipa nemaju nikakve posebne morfološke, fiziološke ili biokemijske prilagodbe, a u razdoblju s dovoljno raspoložive vode rastu i tvore veliku količinu sjemena učinkovito koristeći vodu kroz smanjenje gubitaka transpiracijom, manju apsorpciju sučevog zračenja itd. Međutim, *usjevi* i druge *kultivirane* biljke uglavnom se uzgajaju u agroekološkim uvjetima koji omogućuju visoku i profitabilnu proizvodnju i ne mogu izdržati sušu bez štetnih posljedica kad je dulja od tjedan dana. Stoga poboljšanje otpornosti na sušu biljaka treba temeljiti na stabilnosti komponenata prinosa, kako u sušnim, tako i „normalnim“ uvjetima, a ne samo na poboljšanju sekundarnih svojstava kao što su arhitektura i veličina korijena, bolja osmotska prilagodba (akumulacija *osmoprotektanata* ili tzv. *kompatibilnih otopljenih tvari* kao što su aminokiseline, šećeri, alkoholi i dr.), veći sadržaj vode u vegetativnoj fazi itd., što vrlo često ne korelira s visinom uroda.



Slika 1. Opća shema mehanizma otpornosti biljaka na sušu

Stoga poboljšanje otpornosti na sušu biljaka treba temeljiti na stabilnosti komponenata prinosa, kako u sušnim, tako i „normalnim“ uvjetima, a ne samo na poboljšanju sekundarnih svojstava kao što su arhitektura i veličina korijena, bolja osmotska prilagodba (akumulacija *osmoprotektanata* ili tzv. *kompatibilnih otopljenih tvari* kao što su aminokiseline, šećeri, alkoholi i dr.), veći sadržaj vode u vegetativnoj fazi itd., što vrlo često ne korelira s visinom uroda.

Visoka temperatura čini štete i kad biljke imaju dovoljno vode na raspolaganju pa toplinski šokovi zbog porasta atmosferskih temperatura postaju jedan od glavnih ograničavajućih čimbenika za produktivnost biljaka širom svijeta. Toplinski stres ometa sintezu bjelančevina inaktivirajući brojne *enzime*, izaziva *oksidativni stres*, oštećuju membrane, ograničava diobu stanica i dr., što jako usporava rast biljaka i snižava tvorbu prinosa. Budući da je prinos u osnovi složena integracija različitih fizioloških procesa, njihovim poremećajem, vremenskim skraćivanjem i/ili padom intenziteta, nastaju značajni gubici. Npr., prema nekim istraživanjima suša može umanjiti prinos kukuruza do 90 %, pšenice do 60 %, soje do 70 % itd., dok visoka temperatura može umanjiti prinos kukuruza do 45 %, pšenice do 30 % itd. Suša u nalijevanju zrna žitarica (baš kakvu imamo trenutno na istoku Hrvatske) značajno snižava prinos. Naime, proces nalijevanja zrna žitarica reguliraju četiri glavna enzima, a njihova smanjena aktivnost u sušnim uvjetima ima jak negativan utjecaj na prinos glavnih žitarica.

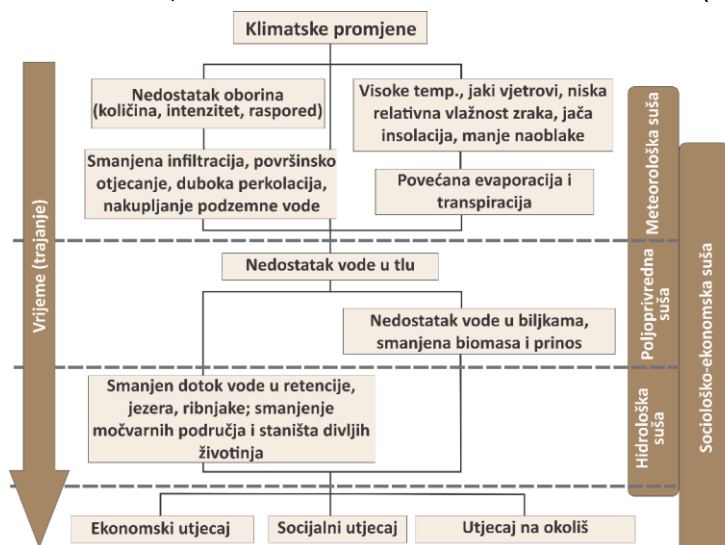
Toplotni stres, i kad je u tlu dovoljno vode, ograničava opskrbu vodom i hranjivim tvarima. Naime, aktivnost glavnih enzima (npr. *nitratne reduktaze*) također se može značajno smanjiti pod visokim temperaturama. Također, pod toplinskim stresom može doći do smanjena korijenske mase i unosa hranjivih tvari te pada prinosa kao što se već dogodilo 2012. na području ist. Hrvatske.

Kako odgovoriti agrotehnikom na sušu? Najprije treba naglasiti da je važan izbor kultivara koji učinkovitije koriste vode (koji imaju uži omjer akumulirane suhe tvari i potrošene vode), odnosno bolje reguliraju gubitak

vode u transpiraciji zatvaranjem pući ili imaju manju ratu transpiracije. Zatvaranjem pući u uvjetima suše kako bi se izbjegao velik gubitak vode transpiracijom zaustavlja usvajanje CO₂ što prekida korištenje Sunčeve energije za potrebe fotosinteze, a njen suvišak troši se na formiranje molekula aktivnog kisika u kloroplastima. Za razgradnju *superoksida* i *vodikovog peroksida* zaduženi su specifični enzimi. Međutim, biljke ne posjeduju enzime za razgradnju hidroksilnih radikala te su to najopasniji od svih oblika aktivnog kisika. Ipak, neke *kompatibilne otopljene* tvari, npr. *prolin* i *citrulin*, funkcioniraju kao *čistači hidroksilnih radikala*.

Unatoč velikom napretku u oplemenjivanju biljaka kao što je QTL mapiranje i transgentskim pristupima, još uvijek postoji velik prostor za poboljšanje. Također, biljke koje mogu brže povećavati duljinu i površinu korijena, kao i mijenjati svoju arhitekturu (*fenotip*), koje lako ostvaruju *mikorizu* (*mutualistička simbioza korijena i gljiva*), zbog veće *aktivne površine korijena* lakše dolaze do vode i hranjivih tvari. Premda je usvajanje mineralnih tvari iz tla pod utjecajem vlage, ono jako ovisi i o biljnoj vrsti. Općenito, u suši je unos dušika (N) povećan, usvajanje fosfora (P) se usporava, a kalija (K) ostaje nepromijenjeno, ali treba naglasiti da odnosi hranjivih tvari u suši postaju složeniji zbog kompleksne interakcije hraniva i promjena fizioloških mehanizama u nedostatku vode. Važno je istaći kako je u uvjetima toplinskog stresa usvajanje sva tri glavna elementa ishrane (N, P i K) otežano.

U sprječavanju rizika od štetnih posljedica poljoprivredne suše (kratkoročnog manjka vode u površinskom sloju tla koji se događa u kritično vrijeme za razvitak biljaka), koja se ne podudara uvijek s pojavom *meteorološke, hidrološke i sociološko-ekonomske suše* (Slika 2.), primjenjuje se niz različitih metoda



Slika 2. Odnos između meteorološke, poljoprivredne, hidrološke i sociološko-ekonomske suše

prevencije koje da bi bile efikasne moraju biti planirane i pripremljene unaprijed. Suša je sastavni dio klime i javlja se u gotovo svim klimatskim zonama, ali njezini štetni učinci nisu svugdje jednaki. *Suša je opasan klimatski fenomen koji snažno utječe na zdravlje ljudi, osiromašuje stanovništvo, izaziva socijalni i gospodarski poremećaj i čini štetu okolišu.*

Sprječavanje negativnog utjecaja suše i bez navodnjavanja moguće je uz bolje upravljanje i povećanje organske tvari, odnosno humusa u tlu. Naime, humus zadržava vodu u omjeru 1:2,6 do 1:6, te uz omjer 1:4 (najčešće je znatno veći) i uz sadržaj humusa u tlu od 2 % (~90.000 kg humusa po ha do dubine od 30

cm) veže ~360.000 kg vode ha⁻¹ (36 dm³ m⁻² ili 36 mm oborina). Ako bi se povećala koncentracija humusa u tlu s 2 na 3 % (što je moguće postići promjenom prakse) dolazimo do mogućnosti od 540.000 kg ha⁻¹ zadržane vode u tlu, odnosno ekvivalentu od 54 mm oborina (što je približno jedan do dva obroka navodnjavanja). Naravno, *retencija vode* u tlu ne ovisi samo o sadržaju humusa, već i o *strukturi tla* (npr., zapremini mikropora, odnosno kapilara) te je kapacitet za retenciju vode humoznog tla daleko veći (u prosjeku 5-10 puta) od navedene količine zadržane vode samo humusom. Dakle, porast sadržaja humusa u tlu značajno će umanjiti negativne efekte suše, ovisno o kemijsko-fizikalnim svojstvima tla, rasporedu oborina i potrebi usjeva za vodom u periodu suše.

Također, u posljednje vrijeme vrlo su žustre rasprave o potrebi navodnjavanja. Koliko je štetno paušalno davati ocjene o potrebi navodnjavanja, pokazuje ovaj primjer: Na području općine Belišće (Gat) (Slika 3.) izgrađen je sustav za navodnjavanje za 500 ha i u funkciji je već 10-ak godina. Njegova izgradnja koštala je gotovo 50 mil. kuna, odnosno 100.000 kn po hektaru, a jedan hektar zemljišta na tom području imao je tada

trostruko nižu cijenu od ulaganja u sustav za navodnjavanje po hektaru. Slični, samo veći sustavi za navodnjavanje izgrađeni su u Baranji (mogućnost navodnjavanja 5000 ha) i Kapinci-Vaška (1.280 ha), ali se također vrlo slabo koriste, što zbog nepoznate cijene priključka i vode, što zbog skupe opreme, a najčešće zbog što su takvi sustavi isplativi isključivo u profitabilnoj proizvodnji, npr., voće, povrće, cvijeće, sjemenska proizvodnja i sl. Također, izrađeni su i planovi navodnjavanja po županijama te nacionalni master plan navodnjavanja u koje su utrošeni ogromna sredstva, a bez realne i praktične/izvedbene vrijednosti za poljoprivrednu proizvodnju. Stoga prije investicije u hidrotehničke zahvate treba stručno i odgovorno elaborirati opravdanost takvog ulaganja i razmotriti neke od jeftinijih, ali učinkovitih agrotehničkih mjera.



Slika 3. Crpna stanica Belišće-Gat (lijevo), mjerenje infiltracije vode (desno) na području Gata

U sprječavanju štetnih efekata od suše pomaže dobra, pravovremena i adekvatna obrada tla (konzervacijska obrada, duboka zimska brazda uz njeno rano „zatvaranje“, podrivanje i sprječavanje zbijanja te formiranja nepropusnih slojeva za vodu, uređenje tla, npr. „gusta“ kanalska mreža s vodom u kanalima, terasiranje nagnutih terena, organska gnojidba, sideracija, rotacija usjeva, sjetva pokrovnih usjeva, malčiranje, ranija sjetva proljetnih usjeva, a kasnija ozimih i dr.). [Primarna obrada tla iznimno povećava retencijski kapacitet tla za vodu](#), ali i omogućuje duboko prodiranje korijena do dubljih, vlažnijih slojeva tla, dok unos organske tvari poboljšava strukturu tla i omogućuje veći retencijski kapacitet tla za vodu.

Dobra praksa za očuvanje vode je obrada koja favorizira infiltraciju kiše u tlo, skladištenje vode u zoni korijena, sprječavanje površinskog otjecanja i kontrolu gubitaka evapotranspiracijom (iz tla i korovima). Međutim, rezultati agrotehnike ovise o fizikalno-kemijskim svojstvima tla, orografiji, klimi i vrsti oruđa koje se primjenjuje u obradi pa nema jedinstvene recepture kako očuvati vodu u tlu za period kad je biljkama najpotrebnija i postići dobar prinos i u „sušnim godinama“. [Važno je naglasiti da se dobra agrotehnika u prevenciji zaštite od suše najčešće znatno razlikuje od uobičajene prakse lokalnih poljoprivrednika](#) te su prethodna ispitivanja u tom pravcu važna i neophodna. Međutim, temeljna načela za očuvanje vode u tlu imaju opće značenje, bez obzira na veličinu farme, vuče oruđa za obradu ili lokanih agroekoloških uvjeta.

U Osijeku, 9. lipnja 2018.