

Imaju li biljke inteligenciju?

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Biljke nemaju mozak ili neuronsku mrežu, ali njihovo razumijevanje i osjećanje okruženja, složena signalna mreža te mnogobrojne i različite reakcije na podražaj dobra su biokemijska osnova za učenje i pamćenje te rješavanje različitih događanja unutar same biljke i zajednice svih živih organizama (*biocenoza*) nekog staništa (*biotop*). Naravno, u klasičnom poimanju inteligencije za koju je temeljna pretpostavka postojanje mozga, kojeg biljke pak ne posjeduju, biljna inteligencija izaziva kontraverze i različita mišljenja. Međutim, biljke itekako posjeduju sposobnost osjeta podražaja iz svog okruženja, mogu te osjete integrirati, a zatim smisleno na njih reagirati. Ljudi teško to shvaćaju jer se taj proces odvija bez mozga, a biljna osjetila su bitno različita od životinjskih ili ljudskih. Zapravo biljke imaju sva osjetila kao i ljudi, pa i neke koje mi ne posjeduemo. Npr., biljke osjećaju gravitaciju, prisutnost vode, zapažaju prepreke u smjeru rasta svog korijena, i to prije nego što dođu u kontakt s njima, te ih izbjegavaju. Možda je to bol koju biljke osjećaju? Naime, poznato je da biljke reagiraju na anestetike, pa čak proizvode svoje koji djeluju i na ljude, osjećaju grickanje svog lišća od strane štetnika i *herbivora* (biljojeda) pa se mora pretpostaviti da čuju.

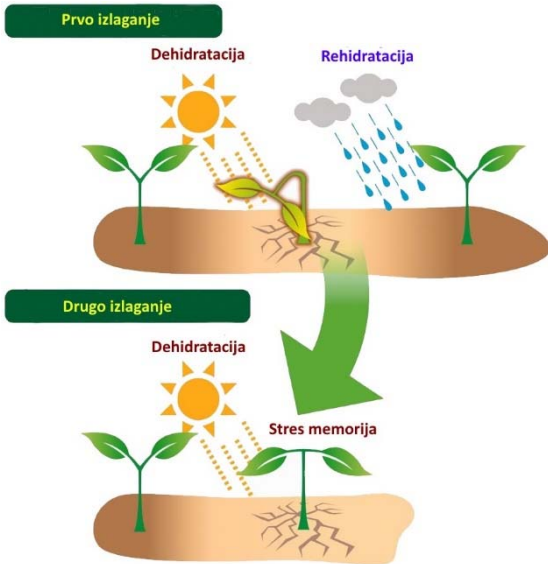
Globalno, sve memorijske funkcije imaju molekularne osnove, kako u prijemu i prijenosu signala, tako u skladištenju i pozivu informacija (*kalcijski valovi*, *epigenetske modifikacije DNK* i *histona* i regulacija vremena *biološkim satom*). Zapravo, na svim razinama, uključujući i biljke, živi organizmi imaju neku vrstu memorije. Kod biljaka se mogu razlikovati dva tipa: linearni putevi za prijem signala i njihov prijenos do *efektora* (izvršni organi). Oba navedena puta posjeduju mogućnost učenja i stjecanja navika, kao i memoriju (spremište) iz koje se uskladištene informacije mogu kasnije selektivno pozvati.

Istraživanju su pokazala da biljke imaju sposobnost smislene reakcije na 15 do 20 varijabli okoliša (različite kemikalije, gravitaciju, intenzitet i kakvoću svjetlosti, vlagu, temperaturu, koncentraciju kisika i ugljičnog dioksida, infekcije, parazite, bolesti, oštećenja, zvuk i dodir) što bez procesa učenja/pamćenja ne bi bilo moguće. Je li prava riječ za to inteligencija? Neki *neurobiolozi* vjeruju da biljke nisu samosvjesna bića, ali su svjesne u smislu da znaju gdje se nalaze i da na odgovarajući način reagiraju na temelju položaja u prostoru. Budući da je trenutno poznato ~20.000 različitih biljnih vrsta, koje pak ne mogu „prošetati“ i pronaći sebi odgovarajuće stanište (*sesilni organizmi*), nevjerojatno je da čine ~99 % biomase na Zemlji. Stoga nas njihova inteligencija nipošto ne bi smjela čuditi.

Poimanje inteligencije nije posve definirano niti kod ljudi jer se pojedinci međusobno razlikuju u svojoj sposobnosti razumijevanja složenih ideja, učinkovitoj prilagodbi okolini, učenju na temelju iskustva, načinu zaključivanja, savladavanju prepreka i sl. Te individualne razlike mogu biti toliko značajne da se intelektualna izvedba određene osobe razlikuje u različitim prilikama, različitim područjima i sudovima temeljem različitih kriterija. Ukratko, ljudska inteligencija je intelektualni kapacitet ljudi koju odlikuje percepcija, svijest, samosvijest i volja. Ona omogućava ljudima iskustvo i razmišljanje, pamćenje događaja i korištenje iskustva u budućem ponašanju. To je *kognitivni* (spoznajni) proces koji omogućuje ljudima učenje, razumijevanje pojmova i razloga, uključujući i kapaciteta za prepoznavanje uzoraka, shvaćanje ideja, planova i rješavanje problem, pri čemu ljudi koriste jezik za komunikaciju. Budući da je inteligencija veoma kompleksno svojstvo ljudi, neki oblici

inteligencije kod životinja najčešće se konzervativno definiraju kao njihove mentalne sposobnosti u različitim vrstama konteksta.

Biljke jasno i relativno brzo reagiraju na vanjske podražaje (Slika 1.) promjenama metabolizma, pokretom i morfološkim promjenama, međusobno komuniciraju i aktivno se natječu za resurse kao što su svjetlost, voda, prostor, hraniva i dr. Njihova komunikacija je veoma kompleksna jer su u



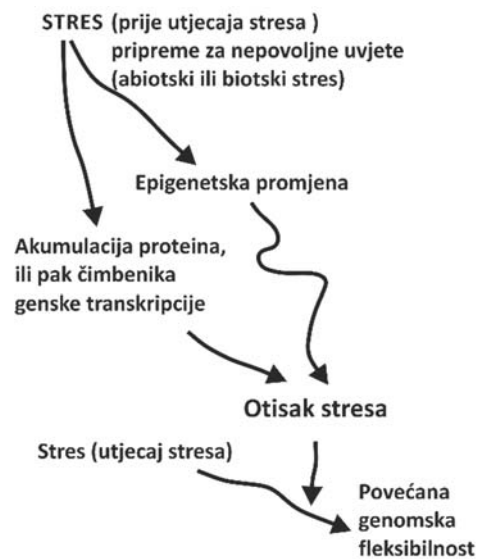
Slika 1. Primjer biljne stres memorije (Kinoshita, T. and Seki, M.; Plant Cell Physiol. 2014;55:1859-1863)

stanju sa susjednim biljkama dijeliti različite informacija, ali i s drugim organizmima poput kukaca (npr., mirisi su poruka oprašivačima) ili drugim životinjama. Mnoge biljke će kemijskim signalom upozoriti susjede iste vrste u slučaju neposredne opasnosti kako bi se pripremile za obranu od infekcije, insekata, herbivora i sl., a istraživanja su pokazala da je upozorenje drugačije za bliske rođake. Dakle, suvremena znanost je pokazala da biljke posjeduju osjećaje i izgrađuju složene društvene odnose jer mogu komunicirati međusobno, ali i s životinjama.

Također, biljke dobro procjenjuju okolnosti, kao i koriste te poduzimaju potrebne aktivnosti za ublažavanje i nadzor različitih okolišnih stresova. One su sposobne razlikovati pozitivna i negativna iskustva te na temelju njih učiti (registrirati sjećanja) iz nedavnih, ali i davno stečenih iskustava i prilagoditi se na različite okolnosti

kako bi preživjele sadašnje, ali i buduće izazove. Naime, otežani uvjeti života potiču razvitak *adaptacija*, a u duljem, višegodišnjem periodu i razvitak mehanizama *tolerancije*. U suprotnom dolazi do izumiranja neotpornih vrsta i pojave sukcesije unutar *ekosustava* (prostor ili *biotop* naseljen organizmima i njihovim zajednicama).

Biljke su vezane za mjesto na kojem rastu (*sesilni organizmi*) te imaju veoma ograničenu mogućnost izbjegavanja nepovoljnih uvjeta u svom okruženju, npr. ekstremne temperature, nestašica vode, nedostatak ili suvišak svjetla ili hranjivih tvari, ozljeđivanje (vjetar, grad, herbivori i dr.) ili napad *patogena* (bakterije, gljivice, virusi, viroidi i dr.). Stoga su biljke razvile sofisticirane i vrlo različite oblike molekularno-kemijske strategije koje se manifestiraju promjenama u intenzitetu rasta i izgledu (tzv. *morfološke* i *anatomske promjene*), ali i u pripremi za nepovoljne uvjete (npr. proces *kaljenja*) kako bi izbjegle *abiotске* ili *biotske stresove*. Priprema biljaka na stres podsjeća na sposobnost pamćenja, ali taj mehanizam memoriranja, za razliku od životinja, ne ovisi o živčanom sustavu, pa se najčešće koristi izraz *otisak* ili *registracija stresa* (Slika 2.). Taj fenomen vjerojatno ima uzrok u promjeni koncentracije ključnih signalnih metabolita, odnosno proteina, ili pak čimbenicima *genske transkripcije*.



Slika 2. Mehanizam memoriranja stresa (*stresni otisak*) biljaka

Brojna recentna istraživanja razjasnila su mehanizam prilagodbe biljaka pomoću *epigenetske kontrole* stresa

(nasljedne promjene izvan *gena* koje nisu uzrokovane promjenom u *DNK* nizu) koja uključuje kako regulaciju gena tako i *fenotipske promjene* (promjene izgleda) kao odgovor biljaka na stres. Moguće je da *epigenetski faktori* („iznad“ gena) izazivaju dugoročne promjene u genima ili pak njihovoj ekspresiji, odnosno signali iz okoline utječu na regulaciju *genske ekspresije* (Slika 2.) što dovodi do povećane genomske fleksibilnosti te se prenosi i na naredne generacije. Budući da bi se moguće mutacije dogodile kod vrlo malog broja biljaka, transgeneracijski efekt *pamćenja stresa* veže samo uz epigenetsku ekspresiju gena.

Suvremena fiziologija bilja sve intenzivnije proučava ulogu signalizacije te integraciju podataka na genetskoj i biokemijsko-fiziološkoj razini kako bi što bolje razumjeli rast, razvitak i ponašanje bilja, posebice unutar *biljne neurobiologije*, mlade znanstvene discipline. Biljna neurobiologija i pokušava dokučiti kako biljke primaju podražaje iz okoliša, ali i vlastitih organa, kako ih procesuiraju u informacije i kako međusobno komuniciraju te upravljaju svojim ponašanjem. Budući da biljke imaju velik broj različitih osjeta, odnosno posebnih senzora, njihova reakcija na vanjski podražaj je veoma kompleksna kako bi pravovremeno i ispravno reagirale koordiniranim, adaptivnim i različitim reakcijama, kako bi zapamtile takve okolnosti, prisjetile se i prepoznale ih u budućnosti, odnosno stekle iskustvo. Recentna neurobiološka istraživanja pokazala su kako biljke proizvode nekoliko proteina i neproteinskih aminokiselina nađenih i u živčanom sustavu životinja, a koriste i druge spojeve za signalizaciju koje ne koriste ljudi i životinje. Premda biljne stanice nisu *neuroni* (živčane stanice), one su električno provodljive i reagiraju na vanjski podražaj promjenom *akcijskog potencijala* nakon čega dolazi do brze promjene u provodljivosti protoplazme, pokreta biljnih organa i promjena u disanju i fotosintezi. Ovi električni odgovori mnogo su brži negoli kemijske biljne reakcije (npr. djelovanje *fitokroma*, *hormona* itd.), a zatim dolazi do sinteze brojnih organskih molekula, uključujući i one koji djeluju kao neuroaktivne tvari u drugim organizmima. Stoga mnogi suvremeni biljni fiziolozi smatraju da su neurološki biljke i životinje podjednako sofisticirane i da iza veoma složenih biljnih reakcije stoji inteligencija, ali je brzina reakcije kod biljaka za puno redova veličine sporija pa najčešće ne zapažamo biljnu inteligenciju.

Rijetke su, ali postoje i biljke kod kojih je reakcija na podražaj veoma brza, čak na razini reakcije životinja. Dobri primjeri su mimoza (*Mimosa pudica*; vrijeme reakcije ~1 sek.), venerina muholovka (*Dionaea muscipula*; vrijeme reakcije 0,3 sek.), muholovke (više vrsta iz roda *Drosera*), žutika koja se uzgaja i kao ukrasni grm, npr. na osječkim šetalištima uz Dravu (*Berberis vulgaris*) čiji se prašnici, kad se dotakne njihova baza, gotovo trenutno zatvore, kao i mnoge druge. Proučavajući brze pokrete biljaka danas znamo da one koriste i električne signale baš kao i neuroni kod životinja. Takav signal zatim pokreće sintezu kemijskog spoja (npr. *jasmonska kiselina*) kojom se obavještavaju susjedne biljke, npr. na napad štetnika. Također, biljke vrlo brzo nauče da ne reagiraju na bilo koji podražaj (npr. vjetar, kapi kiše i dr.), a obzirom na godišnje doba i moguću pojavu patogena i štetnika prilagođavaju svoj imunološki sustav. Poznato je da biljke privlače pčele jarkim, svijetlim bojama cvijeća i mirisima, a recentna istraživanja pokazuju da biljke mogu komunicirati električnim signalima s pčelama koje na taj način veoma brzo dobivaju informaciju o cvijetu, količini i vrsti peludi u njemu.

Biljke neprestano komuniciraju s bakterijama i mikoriznim gljivicama s kojima žive u *simbiozi*. Proces fiksacije dušika neobično je važan za njih te je komunikacija s bakterijama i gljivicama veoma intenzivna i kompleksna. Brojna istraživanja pokazala su da *mikoriza* umanjuje efekte stresa biljaka, iako su temeljni molekularni mehanizmi još uvijek nepoznati. Kolonizacija korijena *ektomikoriznim* (EMs) gljivicama poboljšava status ishrane i ubrzava nakupljanje ugljikohidrata. Zapaženo je da mikoriza djeluje na porast nekih hormona, npr. *apscizinske* i *salicilne kiseline*, dok koncentracija

jasmonske kiseline i *auksina* pada. Također, zapaženo je da su signalni putovi kod ekto- i endomikorize različiti, a općenito se smatra da ektomikoriza aktivira gene i signalne puteve biljnog stresa i povećava tolerantnost biljaka na abiotske stresove.

Kritičari koncepta biljne inteligencije često tvrde kako biljka ne može imati ciljeve, jer kao modularni organizmi, nakon sjemena ili sadnice svaki organ ima svoj poseban cilj za preživljavanje pa ponašanje biljke nije, niti može biti centralno kontrolirano. Međutim, pri tome se zaboravlja da je biljka skup inteligentnih dijelova/organa koji međusobno surađuju i utječu jedni druge kako bi se sinkroniziralo ponašanje cijelog biljnog organizam te se tvrdnja biljke ne posjeduju središnju kontrolu razvoja lako može opovrgnuti primjerom *apikalne*, odnosno *vršne dominacije*. Biljna inteligencija vjerojatno je sličnija kolektivnoj inteligenciji pčelinjeg društva ili mravlje kolonije, dakle nešto što bi se moglo okarakterizirati kao *distribuirana inteligencija* koja proizlazi iz kombiniranog djelovanja više organa, pa čak i jedinki.

U Osijeku srpnja 2016.