

## Suvremena saznanja o inteligenciji biljaka

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Biljna inteligencija označava bilo koju vrstu namjernog i fleksibilnog ponašanja koje je korisno i omogućuje biljci da postigne svoj cilj, a ponašanje biljaka je odgovor na događaj ili promjenu okoliša tijekom životnog vijeka jedinke. Nasuprot sesilnim biljkama koje karakteriziraju promjene u rastu i razvoju, životinje koriste izravno kretanje kao *bihavioralni odgovor* (reakciju). Izmjene *fenotipa* (vidljivog izgleda), kao odgovor na promjene okoliša, mogu biti genetski kodirane (*nefleksibilna reakcija*) ili fleksibilni odgovori (plastični, prilagodljivi) koji ovise o promjenama u okolišu. Fenotipski plastični odgovori na vanjske podražaje integriraju više informacijskih signala kako bi biljke *inteligentno reagirale* što nadilazi jednostavnu prilagodbu i reakciju te se može smatrati aktivnim pamćenjem i donošenjem odluka temeljem iskustva/znanja.

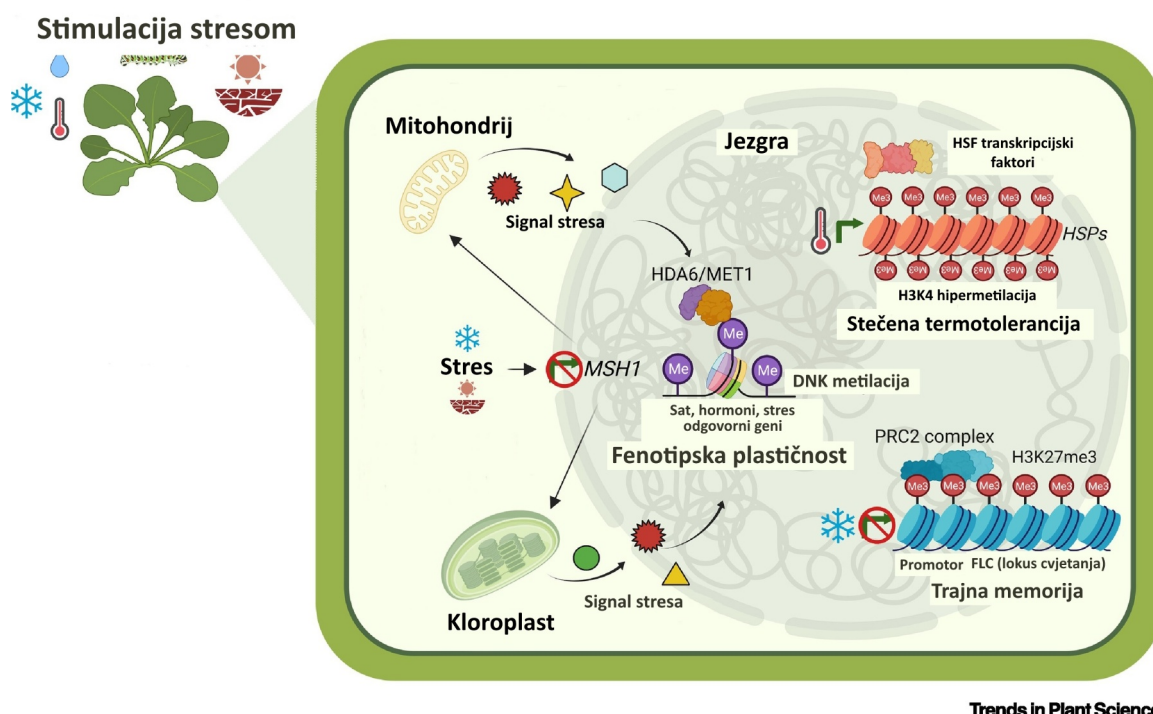
Velika većina psihologa ljudsku inteligenciju definira kao sposobnost rješavanja problema, stjecanje znanja (učenje) i sposobnost rasuđivanja (donošenja zaključaka/odluka). Ljudska inteligencija može se mjeriti testovima inteligencije (*IQ*) i ljudi nerado dopuštaju, najčešće zbog svjetonazora, da i drugi organizmi mogu biti inteligentni. Zbog toga je ideja da su biljke, koje su posve drugačije od nas, također inteligentne za mnoge kontraverzna i neprihvatljiva, ali niz činjenica jasno upućuje na posebnu vrstu inteligencije. Nagon za preživljavanje svih živih bića, uključujući i biljke, je univerzalan, ali kad živi organizam prepoznaje nepovoljne uvjete u okolišu i prilagođava se namjerno novim uvjetima, on zapravo inteligentno mijenja svoje ponašanje.

U biljnoj proizvodnji prilagodljivost promjenjivim uvjetima je važna za rast i razvoj usjeva, ali ona može biti složena i uključivati inteligentno ponašanje biljaka. S druge strane, danas ne postoji više dobar biološki razlog za ljudsku inteligenciju jer preživljavanje ljudske vrste ovisi isključivo od nas samih. Budući da evolucija koristi postojeće tvari i strukture, inteligentno ponašanje u složenijim organizmima nije se pojavilo „de novo“, već je bilo prisutno prije evolucijskih podjela na biljke, gljive i životinje te su nervni sustavi samo razradili ono što je već postojalo u jednostaničnim precima. Zbog toga, mišljenje kako je za inteligentno ponašanje potreban *nervni sustav* ne stoji jer se mnoge bakterije, virusi pa i pojedinačne stanice ponašaju inteligentno koristeći kompleksan i višestruk način opažanja i signalizacije za prijenos informacija kao što su električni impulsi, ioni  $Ca^{2+}$ , biljni hormoni i niz drugih tvari. Osim toga, mnoga egzaktna istraživanja reakcije biljaka na nepredvidljive promjene u okolišu, pojavu bolesti i predatora ukazuju na ugrađene mehanizme za preživljavanje biljaka za koje je potrebna *učenje (i navikavanje), pamćenje (kao produkt učenja) i inteligencija*. Rezultat prilagodbe biljaka može biti privremen (*aklimatizacija*), ali može prerasti u nasljedno svojstvo (*adaptacija*). Međutim, složeni molekularni mehanizmi biljne inteligencije još uvijek su nedovoljno poznati kao, zatim kako funkcioniraju molekularne mreže koje omogućuju da biljke pamte, biraju i donose odluke ovisno o podražaju stresa, premda nemaju nervni sustav.

Brojni su dokazi da su biljke svjesne susjeda, prepoznaju srodnike, reagiraju na vanjske podražaje i signale iz okoline i poduzimaju kompetitivnu, adaptivnu akciju, što je ključna sposobnost za preživljavanje. Naravno da prepoznavanje susjeda i srodnika podrazumijeva i prepoznavanje sebe, odnosno biljke su svjesne okoliša i susjednih organizama i sposobne su učiti. Međutim, sposobnost učenja ovisi o razvoju mehanizama pamćenja, a biljke za razliku od životinja ne posjeduju nervne strukture te se pamćenje biljaka temelji na staničnim, molekularnim i biokemijskim mrežama što im omogućuje pohranjivanje, dohvaćanje, prisjećanje i na kraju brisanje informacija. Dakle, biljke posjeduju *somatsko pamćenje* koje se održava za života biljke kroz *mitozu* (dioba somatskih ili tjelesnih stanica, vrlo vjerojatno meristema koji su aktivni kroz čitavi vegetativni period, odnosno život biljke), ali također postoji sve više dokaza o dugotrajnim sjećanjima i informacijama koje se prenose na jednu ili više sljedećih generacija. U tom kontekstu, epigenetski mehanizmi (nasljedne promjene u ekspresiji gena) su privukli pozornost jer mogu posredovati u učenju, pohranjivanju i prijenosu

informacija bez modifikacije u sekvencama DNK. Naime, moguće mutacije događaju se vrlo rijetko (približno pet redova veličine manje stope u odnosu na epigenetske prilagodbe) te se *transgeneracijski efekt pamćenja* stresa (tzv. *priming*) veže samo uz *epigenetsku ekspresiju gena*. Jasno je da *epigenetske varijacije* pridonose fenotipskoj plastičnosti pojedinačnih biljaka i mogu se prenijeti na jednu ili više sljedećih generacija te je u posljednje vrijeme utvrđeno nekoliko prirodnih, ali i umjetno induciranih *epialela* (Slika 1.). Prilagodba biljaka impresivna je ne samo na evolutivnoj razini, već i kao jedinke koje se prilagođavaju promjenama uvjeta u okolišu.

Biljke su sesilni organizmi i zbog svoje nepokretnosti razvile su kroz evoluciju sofisticirane mehanizme za osjet, reagiranje i prilagodbu na promjene u okolišu (npr. promijene svjetlosti, temperature, raspoloživosti vode, napad patogena i predatora i dr.). Sensorni sustavi koji uspostavljaju kontakt s okolišem vrlo su raznoliki, od različitih makromolekula kao što su *receptorski proteini*, *nukleinske kiseline* pa sve do *organela* (npr. *kloroplasti i mitohondrije*) koje mogu primati i analizirati svjetlost (intenzitet, kvalitetu, smjer i duljinu trajanja), biokemijske signale kao što je *ROS* (reaktivni oblici kisika) i drugi metaboliti (Slika 1.).



Slika 1. Epigenetska regulacija pamćenja odgovora na stres u biljnoj stanici

Pojedinačne biljke i njezina stanična građa smatraju se složenim jer posjeduju svojstva povezanosti, međuovisnosti, raznolikosti i prilagodbe. Stupanj prilagodljivosti na uvjete okoliša (kao i na međusobne odnose kao što su kompeticija, alelopatija i dr.) promjenom morfoloških svojstava i fizioloških mehanizama biljke stječu individualnim „učnjem“ od čega ovisi njihov opstanak i rast, kao i njihova produktivnost. Dakle, prilagodljivost je individualna i nasljeđivanjem se može prenijeti na naredne generacije što je temelj prirodne selekcije i oplemenjivanja. Međutim, oplemenjivanje usjeva u svrhu kreiranja produktivnijih kultivara uglavnom se oslanja na fenotipske informacije, koje ostaju usko grlo za realizaciju njegovog punog potencijala. Zbog toga se isključivo teži kreirati nove kultivari koji ostvaraju veći prinos i/ili bolju kvalitetu uroda u određenim agroekološkim uvjetima (interakcija: genotip x okoliš). Na žalost, kultivirane (oplemenjene) biljke su *himerne* kreacije koje ne mogu preživjeti u prirodnim uvjetima (npr. pšenica na ugaru se može održati tek dvije godine) jer se oplemenjivanjem prvenstveno utječe na stabilnost prinosa, a u potpunosti zanemaruje

*fenotipska plastičnost* biljaka. Zbog toga suvremena znanost pokušava identificirati jednostavan skup gena koji su odgovorni za prilagodljivost biljaka na promjenjive uvjete okoliša.

### **Zaključno**

*Istina, znamo tako malo čak i o sebi; naša znanost ne može u potpunosti objasniti kako ljudi uče i pamte. Zašto ne uzeti u obzir da biljke to isto rade, ali mnogo dulje nego što mi postojimo, s inteligencijom koja se radikalno razlikuje od naše.* Poput životinja i ljudi, biljke imaju nagon za postojanjem i sposobne su efikasno promatrati svoju okolinu i primati i obrađivati različite informacije te se prilagoditi na aktualne uvjete. Je li to dovoljno da se prilagodljivost biljaka označi inteligencijom, dakako jedinstvenom za njih? *Biljke neprestano komuniciraju s bakterijama i mikoriznim gljivicama s kojima žive u simbiozi,* a brojna suvremena istraživanja pokazala su da *mikoriza* umanjuje efekte stresa biljaka, iako su temeljni molekularni mehanizmi još uvijek nepoznati. Npr., *odavno je poznato da su stabla u šumi povezana mrežom hifa mikoriznih gljiva i bez njih bi im nedostajali elementi iz minerala tla kojim ih opskrbljuju gljive,* a gljive ne mogu rasti bez svjetla jer nemaju klorofil pa ih biljke za uzvrat snabdijevaju ugljikohidratima. To je prekrasna simbioza u kojoj su uključena sva stabla i služi, ne samo za potrebe ishrane, već se *hifama* šalju i feromonske kemikalije koje stabla izlučuju u atmosferu i tako prenose poruke drugom drveću i biljkama o predatorima kako bi se pripremila proizvodnja više neukusnog tanina u njihovom lišću.

Osijek, 13. veljače 2023. god