

Budućnost i perspektiva ishrane bilja

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

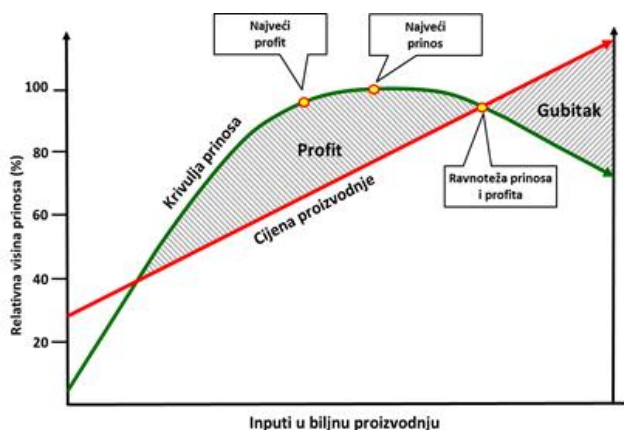
Otac Zelene revolucije Norman Borlaug rekao je: "Sjemenke su motor Zelene revolucije, ali gnojiva su gorivo". Dostatna proizvodnje hrane za rastuću svjetsku populaciju zahtijeva intenziviranje proizvodnje korištenjem novih tehnologija na raspoloživom poljoprivrednom zemljištu, a to se ne može ostvariti bez učinkovite gnojidbe. Trenutno, najveći je izazov moderne biljne proizvodnje kako pomiriti *produktivnost* (efektivna plodnost) i *profitabilnost* (isplativost), zaštita okoliša od onečišćenja i devastacije i održivost proizvodnih sustava uz visoku kvalitetu hrane. Naime, visina prinosa kao i prehrambena kakvoća hrane veoma su složena svojstva koja ovise o velikom broju *biotskih* (genetska svojstva biljne vrste i kultivara) i *abiotskih faktora* (agroekološki uvjeti, npr. raspoloživost vode i hraniva, kemijsko-fizikalna svojstva tla, klima, agrotehnika, odnosno način uzgoja) i njihove složene interakcije. Također, visok prinos i kakvoća uroda rijetko kad idu zajedno, pa je proizvođač prisiljen odrediti strategiju za maksimizaciju pojedinih poželjnih svojstava, a ne samo razmišljati o optimizaciji proizvodnje (Slika 1.),

jer mogući prinos na konkretnom agroekološkom području u velikoj je mjeri određen fizički okolišem. Biljkama su tijekom vegetacije potrebni svjetlost, ugljični dioksid, voda i esencijalni (neophodni) elementi iz mineralnih i/ili organskih gnojiva, ali mineralna gnojiva su znatno koncentriranija, homogenija i sadrže hranjive elemente u lako usvojim oblicima, za razliku od organskih, koja se moraju u tlu prvo mikrobiološkim putem razgraditi i transformirati do kemijskih oblika koje biljke mogu usvojiti. Suvremene znanstvene procjene pokazuju da bi se bez korištenja mineralnih gnojiva (česti su sinonimi: *sintetska*, *artificijelna* ili *umjetna*) svjetska poljoprivredna proizvodnja mogla čak prepoloviti te bi održanje trenutne populacije od 7,6 milijardi bilo nemoguće, a već 2050. god. predviđanja govore o 10 milijardi ljudi na Zemlji.

Novi, sve produktivniji kultivari (sorte i hibridi) osjetljivi su na nedostatak hraniva u tlu pa je globalna potrošnja gnojiva rasla po godišnjoj stopi od 6,8 % između 1965. i 1975., a to je rezultiralo dramatičnim porastom poljoprivrednih prinosa i proizvodnje hrane. Od tada potrošnja mineralnih gnojiva usporava na 3,7 % godišnje između 1975. i 1985. god., a između 1985. i 1995. god. porast iznosi tek 0.1 % godišnje, ali iznova raste sve do danas po prosječnoj godišnjoj stopi od 1,8 - 19%. Također, tržište takozvanih specijalnih gnojiva, iako je još uvijek relativno malo, raste od 8% do 10% godišnje.

Intenzivna proizvodnja hrane, prije svega sve veća primjena gnojiva i pesticida, predstavljaju stvarnu opasnost po okoliš te je veoma važno minimizirati svaki rizik neadekvatne, odnosno nepravilne upotrebe gnojiva i pesticida u primarnoj organskoj proizvodnji. Naime, smanjivanje potrošnje gnojiva samo je naizgled dobar prijedlog, jer dovodi u opasnost visinu prinosa, posljedično i financijsku održivost, odnosno profitabilnost biljne proizvodnje. Zbog toga je suvremena gnojidba evoluirala zahvaljujući novim inovativnim tehnologijama.

Najveći izazov unapređenja gnojidbe je povećati njenu učinkovitost, odnosno kako povećati usvajanje elemenata ishrane i smanjiti njihov zaostatak u tlu i/ili gubitak u lako pokretljivom obliku koji podliježe gubicima iz zone korijena (*rizosfere*) procesima *ispiranja*, *volatizacija*, *denitrifikacije*, *kemijske*, *fizičke* i *biološke fiksacije*, što se odnosi jednako na organska i mineralna gnojiva. Dakle, budući da biljke nikad ne usvoje sva aplicirana hraniva, jedan dio se neminovno „izgubi“ u okolišu i predstavlja potencijalnu opasnost za tlo, vodu i atmosferu. Suvremena tehnološka rješenja za sprečavanje onečišćenja okoliša gnojivima su mnogobrojna, od postavljanja senzora hranjivih tvari u tlu, redovne kemijske analize i kontrole plodnosti tla,



Slika 1. Odnos rasta prinosa, visine ulaganja i profita

obaveznog poštivanja gnojidbenih preporuka pa sve do uporabe bioloških, sporodjelujućih, ali i „*pametnih gnojiva*“ i digitalnih platformi za preporuku gnojiva.

Daljinska istraživanja općenito obuhvaćaju upotrebu različitih vrsta fotografskih, termalnih i radarskih snimaka, odnosno prikupljanje informacija o Zemljinoj površini s uređajima smještenim u satelitima (zrakoplovima, balonima) te interpretacija tako dobivenih informacija (fotogrametrija) i digitalnih snimaka, čija je rezolucija i brzina snimanja vrlo velika, osiguravaju vrlo važne informacije o različitim indikatorima svojstava tla i stanju usjeva. Tako prikupljeni podaci mogu dati potrebne informacije stanju usjeva, potrebi za gnojidbom, navodnjavanju ili zaštiti biljaka, kao što su raspoloživost vode, N, P i K, intenzitet disanja tla, promjena pH, Eh, EC, temperatura, osvjetljenost iznad i unutar usjeva, aktivnost pojedinih grupa mikroorganizama i dr. Naravno, kod upotrebe visoko sofisticirane digitalne tehnologije postoji zabrinutost zbog izvođenja pravilnih zaključaka iz ogromnog broja podataka, pa ih je vrlo važno svesti na mjeru koja je poljoprivrednicima razumljiva, isplativa i praktično primjenjiva, jer zaštita okoliša ne smije osjetljivo smanjiti profitabilnost.

Potencijal prinosa usjeva u određenom području u velikoj mjeri određuje fizički okoliš, vlaga tla i hranjivih sastojaka, temperatura, duljina dana i sunčev intenzitet u različitim iznosima i omjerima tijekom vegetacije. Agrotehnikom je moguće, manje ili više, utjecati na sve agroekološke čimbenike biljne proizvodnje, ali to nije često učinkovito, niti isplativo. Praktično, najviše se na povećanje prinosa može djelovati optimizacijom mineralne ishrane, uključujući i navodnjavanje u agroekološkim regijama s manjkom vode. Važno je naglasiti da učinkovita zaštita usjeva utječe na očuvanje prinosa, ali ga ne može povećati. Stoga je „optimizirati ishranu bilja“ najčešće korištena sintagma koja podrazumijeva poznavanje plodnosti tla, a to nije samo razina raspoloživih hraniva u tlu već složen kompleks kemijskih, fizikalnih i bioloških svojstava tla te njihovih međusobnih interakcija u korelaciji s potrebama biljke tijekom vegetacije. To znači da je nemoguće točno definirati raspoloživost hraniva u tlu i utvrditi koliko ih je potrebno unijeti u tlo gnojidbom da bi postigli određeni (planirani) prinos. Međutim, uz pomoć pokusa u poljskim i kontroliranim uvjetima te napretkom u analizi tla i biljnog materijala, suvremena ishrana bilja mnogo bolje razumije biljne potrebe, kao i složen odnos biljaka prema svom prirodnom okruženju te njihovu potrebu za vodom i neophodnim elementima ishrane.

Mnoga tla nisu dobar supstrat pa je važan zadatak ishrane biljne detektirati *čimbenike ograničenja* (tzv. *limitirajuće faktore*). Primjerice, 1/3 svih tala ima problem vezan uz pH (<5,5 ili >7,0). Naime, za većinu biljaka pH reakcija je optimalna u rasponu slabo kiselo do neutralne, a u kiselim ili alkalnim uvjetima nastaje niz problema vezanih uz nedovoljnu raspoloživost ili toksičnost elemenata ishrane. U kiselim tlima nedostaju Ca, P, K i Mg, KIK (kationski izmjenjivački kapacitet tla) često sadrži manje od 25 % baznih kationa uz višak Al, Mn i Fe, mali kapacitet zadržavanja vode, loše su strukture i podložna eroziji, stvaranju pokorice i zbijanju te se opravdano smatraju slabo produktivna tla na kojima se ostvaruju niski prinosi.

U alkalnim i karbonatnim tlima najčešći je problem nedostatak je P, Fe, Zn i Mn, a zbog suviška Ca i Mg biljkama nedostaju mnogi elementi te su često klorotične zbog nedostatka Fe i Zn. Pored *kloroza* najveći problem takvih tala je manjak fosfora (često i sumpora), a često i suvišak HCO_3^- koji je povezan s visokim pH ili suviškom CO_2 . Zbog toga je u karbonatnim tlima, posebice u sušnim uvjetima, niska efikasnost gnojidbe fosforom, a zbog slabe topivosti i mnogih drugih hraniva/gnojiva posebice Fe, Mn, P i Zn.

Jedan od velikih problema u biljnoj proizvodnji je nedostatak, ili suvišak vode, posebno u dijelovima vegetacije brzog porasta kada su veće potrebe za elementima ishrane, a naročito u smjeni vegetativne i generativne faze razvoja (cvjetanje, oplodnja, zametanje plodova). Povoljna vlaga tla, ne samo da utječe na dostupnost hranjivih tvari iz tla, već omogućava i njihovo premještanje u fotosintetski aktivno lišće, intenzivira sintezu organske tvari i njenu akumulaciju u skladišnim organima. Vlažnost tla utječe na intenzitet transpiracije, odnosno bolje usvajanje elemenata ishrane, intenzitet fotosinteze kao i mnoge druge metaboličke procese, ali i na hlađenje lišća, odnosno veću efikasnost fotosinteze. 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.

Danas je općeprihvaćeno da se neophodnost kemijskih elemenata za život biljaka (često nazivani esencijalni) utvrđuje prema pravilima Arnona i Stouta iz 1939.:

- biljka ne može završi svoj životni ciklus u nedostatku esencijalnog element,
- njegova funkcija ne može se zamijeniti drugim elementom i
- element mora biti izravno uključen u biljni metabolizam.
- Naknadno su *Arnon* i *Stout* dodali i četvrto pravilo: element mora biti potreban za više od dvije biljne vrste da bi se smatrao neophodnim.

Navedeni kriteriji neophodnosti elemenata ne uključuju *korisne mineralne elemente* koji mogu neutralizirati toksične učinke drugih elemenata ili zamijeniti esencijalne elemente u nekim funkcijama (npr. održavanja osmotskog tlaka) što je svakako problem koji treba u budućnosti istražiti, jer sadašnje izostavljanje mikroelemenata korisnih hranjivih sastojaka u komercijalnim gnojivima može ograničiti genetski potencijal biljaka. Naime, mikro i korisne elemente biljke usvajaju u znatno manjim količinama (mikroelemente <0,02 % ili 0,1 - 200 ppm), ali dostupnost mikroelemenata jednako važna za visinu prinosa i njegovu kakvoću. Tek nakon gnojidbe koja zadovoljava potrebe biljaka u glavnim elementima ishrane (N, P i K), prinos i njegovu kakvoću ograničavaju drugi čimbenici. Također, porast prinosa ostvaren NPK primjenom povećava potražnju biljaka za mikroelementima, a kad se primijete njihovi simptomi deficita, šteta je već učinjena.

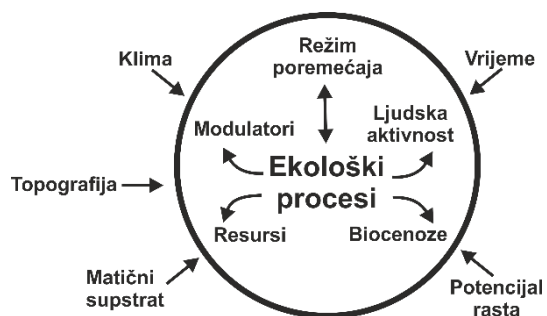
Suvremena ishrana bilja smatra da biljke zahtijevaju ukupno 20 elemenata koji su neophodni (10 makro + 7 mikro) ili korisni (3) za rast biljaka, ali je vjerovatno da će se u budućnosti još neki elementi u tragovima s daljim razvojem analitičke kemije smatrati korisnim, manje je vjerovatno i neophodnim. Budući su poljoprivredne biljke vrlo brojna i raznolika skupina koja se uzgaja u veoma različitim agroekološkim uvjetima, njihova različita genetska osnova i ekspresija gena omogućuje im široku i vrlo veliku mogućnost *adaptacije (ekološke prilagodbe)*. Premda su biljke *sesilni organizmi* (usidrene na jednom mjestu), njihova adaptabilnost omogućuje im prilagodbu na niz različitih abiotičkih i biotičkih stresova. Primjerice, raspoloživost hranjivih tvari u poljoprivrednom tlu, kao i prirodnom okruženju, često je ekstremno niska, dovoljna, a može biti suvišna pa često i toksična. Također, i svi drugi agroekološki faktori mogu biti u rasponu od nepovoljnih do optimalnih za život biljaka te se ishrana bilja, u širem smislu, smatra dijelom biljne fiziologije jer izučava ishranu poljoprivrednih vrsta biljaka u odnosu na visinu i kakvoću priroda.

Pored fizioloških procesa i funkcija kemijskih elemenata u živoj tvari, ishrana bilja još istražuje i sve procesi fizikalne, kemijske i biokemijske prirode, koji u interakciji biljke i tla kao supstrata ishrane, utječu na usvajanje hranjivih tvari, njihovo premještanje i raspodjelu u biljci, rast, razvitak i tvorbu prinosa, odnosno primarnu organsku produkciju. Cjelovita definicija ishrane bilja stoga bi morala pored biljno-fiziološkog aspekta obuhvatiti ekološki i agrološki aspekt.

Energija je središnja tema prirodnih, kao i *poljoprivrednih ekosustava (agroflocenoza)* jer njihovi resursi, odnosno kapacitet, može održati samo populaciju određene veličine (tzv. *nosivost ekosustava*) (Slika 2.). Otuda ograničavajući čimbenici (npr. prostor, svjetlost, voda, hranjive tvari itd.) kontroliraju *nosivost ekosustava*.

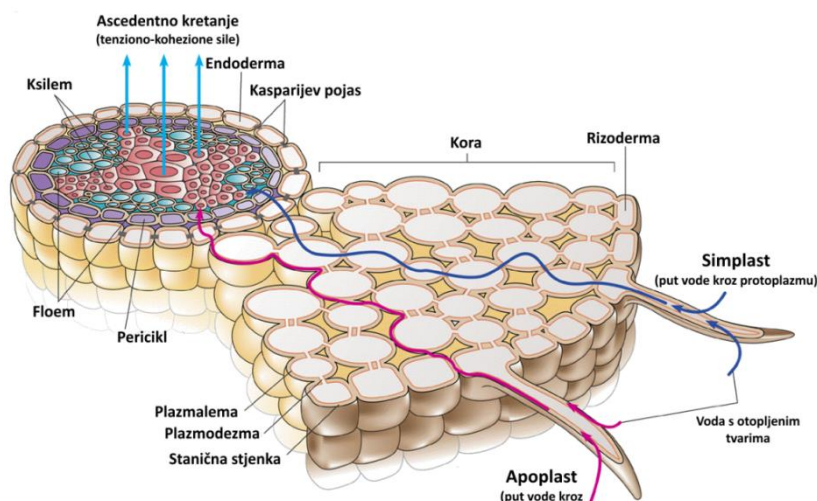
Svi živi organizmi pa tako i biljke reaguju na promjene intenziteta vanjskih faktora ekološkim prilagodbama (*adaptacije*) što doprinosi izraženoj dinamici unutar pojedinog ekološkog sustava. U kojem će stupnju biljke biti prilagođene biotopu (životnom staništu) ovisi o njihovoj ekološkoj valenci i amplitudi variranja nekog faktora unutar koje je moguć život pojedine biljne vrste.

Različite biljne vrste ne reaguju slično na nedostatak hraniva u tlu, posebice poljoprivredne biljke koje se više desetljeća uzgajaju na tlima dobre i/ili visoke ponude hraniva uz intenzivan porast i visoku akumulaciju organske tvari. Kada se nađu u uvjetima niske raspoloživosti hraniva dolazi do problema. Međutim, još uvijek nije poznato kako biljke osjećaju manjak esencijalnih hraniva i kako funkcionira signalizacija nedostatka hraniva i koje su to promjene metabolizma koje rezultiraju smanjenim rastom uz promjenu načina usvajanja



Slika 2. Interakcija čimbenika i procesa ekosustava

korijenom i transporta u nadzemne dijelove, pa čak i *morfološkim* i *anatomskim* promjenama kako bi se optimalno koristile nedostatne resurse. Takve aspekte biljnih reakcija izučava *ekofiziologija stresa*, interdisciplinarna znanstvena poddisciplina fiziologije bilja i ekofiziologije koja proučava fiziološke mehanizme reakcije biljaka na stresne uvjete, tolerantnost na stres te anatomske i morfološke adaptacije. Interdisciplinarni pristup omogućava razumijevanje stresnih faktora, kao i njihov utjecaj na rast, razvitak i tvorbu organske tvari te tako omogućava unapređenje agrotehnike s ciljem eliminiranja ili umanjavanja štete u biljnoj proizvodnji koje nastaju kao posljedica nepovoljnih agroekoloških uvjeta.



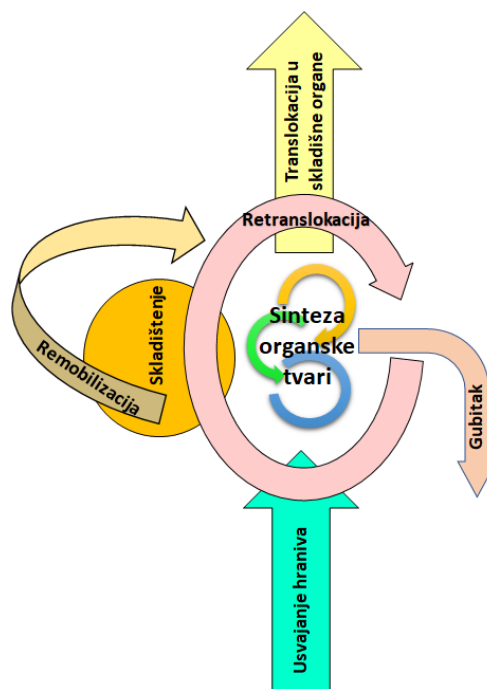
Slika 3. Radijalni transporta vode i hraniva po *simplastu* i *apoplastu*

zatim *ksilema* kroz koji se premještaju *ascendentno* (*akropetalno*; na gore) do izdanaka (Slika 3.). Svi kationi transportiraju se u *kelatnom* obliku (*organometalni kompleksni spojevi*), ali se neki kationi poput Ca, Mo, Na, Cd i Al teško premještaju ili čak zadržavaju u korijenu nekih biljnih vrsta.

Transport hraniva (translokacija) ksilemom od korijena na gore potpomaže *transpiracija*, odnosno kretanje vode iz korijena do lišća gdje najveći dio vode bude isparen kroz puči. Hranjive tvari se unutar biljke naknadno premještaju i *floemom* (tzv. *retranslokacija*) pretežito *descendentnim* smjerom (prema dolje; *bazipetalno*) zbog potrebe mlađih i vitalnih organa. Procesi koji dovode do naknadne *retranslokacije* označavaju se kao *remobilizacija* (hidroliza organske tvari do manjih molekula i/ili elemenata) i *reutilizacija* (ponovna ugradnja u organsku tvar, ali na drugom mjestu) (Slika 4.). Pojedini se elementi lako premještaju, npr. K, Na, Mg, Cd, N, P, S, Se i Cl (*simptomi deficita* se prvo uočavaju na starijem lišću i/ili organima), znatno manje su pokretljivi Fe, Zn, Cu, Mo i I (jod), a Mn i Ca su gotovo nepokretni (simptomi deficita se prvo pojavljuju na mlađim organima, najčešće lišću), dok je pokretljivost B različita za biljne vrste. Mineralni elementi slabe floemske pokretljivosti akumuliraju se u lišću zbog kretanja u transpiracijskoj struji te im je koncentracija uglavnom niska u plodovima, sjemenkama i gomoljima. Pojava *simptoma deficita* ili *suficita* pojedinih mineralnih elemenata ishrane neposredna je posljedica tzv. *mineralnog ili nutritivnog stresa*.

Mineralni elementi uključuju se u prehrambeni lanac ljudi i životinja gotovo isključivo preko biljaka pa je veoma važno razumjeti kako ih biljke usvajaju iz tla te pokušati kreirati kultivare s povećanim udjelom mineralnih, ali i drugih, za ljude važnih nutritivnih tvari (tzv. *biofortifikacija*). Potrebno je naglasiti kako čak i

Usvajanje elemenata ishrane korijenom biljaka i njihov transportni putevi u ostale organe biljke izučava se više desetljeća, ali još uvijek ima priličan broj nepoznanica jer usvajanje hraniva je složen proces obzirom na anatomiju korijena i izdanaka biljaka, dodatno složen zbog fizikalnih, kemijskih, metaboličkih i fizioloških aspekata. Hraniva usvojena iz tla, bilo iz vodene faze tla ili *kontaktno* u dodiru s česticama tla, prolaze *apoplastičnim* (izvanstaničnim) i/ili *simplastičnim* (*intracelularnim*) putem do *stele* i

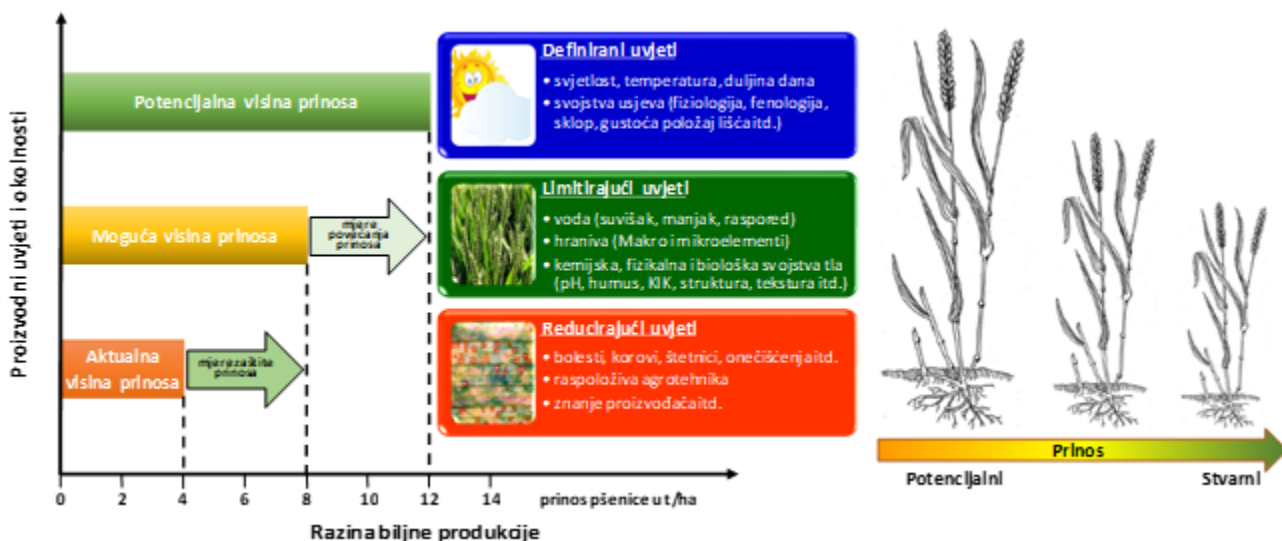


Slika 4. Translokacija, remobilizacija i skladištenje hraniva

neplodna tla sadrže dovoljno mineralnih elemenata za uzgoj usjeva, ali su hraniva u nedostupnim oblicima za biljke. To je i razlog potrebe za potpunim razumijevanjem način kako biljke usvajaju hranjive tvari i zatim to znanje iskoristi za kreaciju kultivara koji su sposobni rasti na trenutno neplodnim ili slabo plodnim tlima. Također, biljke koje mogu intenzivnije usvajati pojedine kemijske elemente (tzv. *hiperakumulatori*) mogu se uspješno koristiti za čišćenje onečišćenog tla (*fitoremedijacija*).

Suvremena genetska poboljšanja novijih kultivara snažno potiču potrošnju gnojiva, jer se s povećanjem prinosa sve veća količina biljnih nutrijenata trajno odnosi prinosem iz tla. Taj trend prati nova znanstvena disciplina *genomika* prehrambenih biljaka (*plant nutritional genomics*) definirana kao znanost koja proučava interakcije između *genoma biljke* (sveukupna DNA organizma, kompletan set gena nekog organizma) i njenih prehrambenih svojstava, kao i *ionomika* koja istražuje koncentraciju svih metala, metaloida i nemetalnih iona u biljnom organizmu. Premda se rijetko prakticira utvrđivanje cjelokupnog elementarnog sastava organizama, njegovo fiziološko stanje se može posredno determinirati analizom njegovog *ionoma*. Naime, uočeno je da se biljka *uročnjak* (mišje uho; *Arabidopsis sp.*) pojavljuje u velikom broju prirodnih varijanti, uključujući i mutante, koji se razlikuju usvajanjem i sadržajem elemenata. Budući da je oko 5 % gena (~25.000 gena) uročnjaka uključeno u regulaciju sadržaja minerala, a samo 11 % njihovih mutanta imaju različit sadržaj mineralnih elemenata, to sugerira kako ovi geni djeluju povezano. Istraživanja ionomike ključna su za brzo otkrivanje gena odgovornih za usvajanje pojedinih elemenata, ili manjak drugih koji su esencijalni u prehrani ljudi, npr. selena (Se), metaloida sličnog sumporu koji je važan za pravilno funkcioniranje imunološkog sistema. Također, istraživanja genoma uročnjaka utvrdila su postojanje gotovo 1000 tzv. *transportera* (prenositelja) iona od kojih većina još nije dobro istražena te je veliki izazov za napredak ishrane bilja razumjeti funkcioniranje gena i njihovih mreža u održanju ionske dinamične ravnoteže (*homeostaze*).

U ishrani bilja u povećanju prinosa se gotovo dva stoljeća oslanja na „Zakon minimuma“ (*Carl Philipp Sprengel*, oko 1830. i *Justus von Liebig* 1855.) koji kaže da je visina priroda ograničena čimbenikom u minimumu. Premda „zakon minimuma“ dobro objašnjava porast priroda, on ima i više slabosti jer promatra povećanje linearno, kao i neovisno djelovanje pojedinih čimbenika na visinu prinosa. Stoga je Zakon minimuma već 1895. (*Georg Liebscher*) doživio transformaciju u „*Liebscherov zakon optimuma*“ koji ukazuje na činjenicu kako čimbenik u minimumu jače negativno djeluje ako su ostali čimbenici prinosa bliži optimumu. Pojednostavljeno, to znači da je za najviši mogući prinos, odnosno najveću pozitivnu reakciju biljaka na inpute, neophodno provesti adekvatnu i kompletnu agrotehniku, uključujući i management. Dakle, dobro postaje bolje i još bolje, a neke najbolje prakse upravljanja koštaju malo ili nimalo novaca. No, takav pristup zahtijeva identifikaciju svih ograničenja porasta prinosa adekvatnim dijagnostičkim postupcima i klasificirati ih temeljem vrste i stupnja stresa koji uzrokuje kako bi se mogao prakticirati najučinkovitiji management biljne proizvodnje. Dakle, ako uvjeti uzgoja omogućavaju ekspresiju genetskog potencijala, prinos i kvaliteta bit će maksimizirani, ali to se u praksi vrlo rijetko događa zbog ograničenja koja generiraju klimatski ekscesi,



Slika 5. Potencijal i ograničenja prinosa u biljnoj proizvodnji

sociološki, ekonomski i tehničko-tehnološki nedostaci (uključujući i nedostatak znanja; Slika 5.). Međutim, u okviru agroekoloških ograničenja može se postići profitabilnija i veća biljna proizvodnja uz bolju opskrbu vodom i učinkovitiju mineralna ishranu za što je potrebna redovita analiza tla i biljaka i *pouzdana gnojdbena preporuka* za postizanje planiranog prinosa nekog kultivara na konkretnoj proizvodnoj parceli. Za to je neophodno da uzorak tla mora dobro reprezentirati proizvodnu parcelu, jer od toga ovisi točna dijagnoza stanja plodnosti i pravilna interpretacija rezultata, odnosno pouzdana gnojdbena preporuka s prijedlogom agrotehničkih zahvata i mjera koje treba provesti.

Kemijska analiza tla ključna je za racionalnu, profitabilnu i učinkovitu primjenu agrotehlike, posebice gnojdbi, ali i svih drugih agrotehničkih zahvata od plodostrojbe, obrade, sjetve pa sve do žetve. Dakle, samo cjelovit i učinkovit sustav kontrole plodnosti koji sustavno prikuplja sve relevantne podatke o tlu, njegovoj plodnosti i korištenju, doprinosi boljoj raspodjeli mineralnih i organskih gnojiva, uklanjanju akutnih deficita hraniva, kemijskoj i fizikalnoj popravci tla, profitabilnijoj proizvodnji, odnosno očuvanju i podizanju efektivne plodnosti tla, viših i stabilnijih priroda koji su manje podložni promjeni uslijed različitih vremenskih prilika. Prvi korak u postizanju maksimalne kvalitete i prinosa je proaktivni pristup ishrani bilja, odnosno redovita analiza tla i/ili biljaka i primjena gnojiva temeljem gnojdbene preporuke, prije nego što se uoče nedostaci pojedinih elemenata ishrane (tzv. *skrivena glad*) pa makar primijenili i folijarna gnojiva tijekom vegetacije kao korektiv nedostatka elemenata.

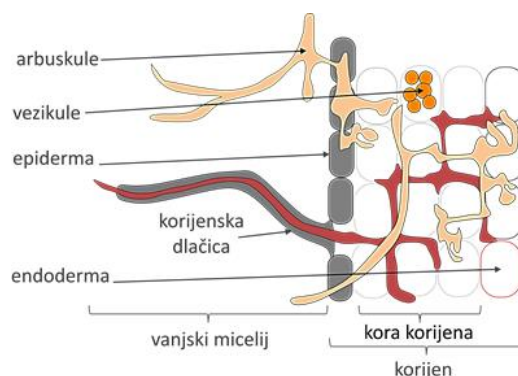
Učinkovitost gnojdbi je jednostavno razumjeti kao hipotetički koncept (umjetni) omjera primijenjene doze i ostvarenog prinosa. Najjednostavnije, to je povećanje prinosa u kg po kg primijenjenog gnojiva, pri čemu se ekonomičnost i učinkovitost agrotehlike (npr., učinkovitost i broj prohoda mehanizacije, obrade, sjetve, cijena rada i dr.), kao niti utjecaj biotskih interakcija i abiotski čimbenika okoliša (temperatura, vlaga tla, pH, Eh, biogenost tla i dr.) ne smije nipošto podcijeniti. Naime, biljne vrste i kultivari mogu se jako razlikovati, npr. u reakciji na količinu gnojiva, pa neke vrste, ili kultivari, postižu dobre prinose uz nisku razinu hranjivih tvari (primjereno ekstenzivnim i alternativnim sustavima uzgoja), dok druge zahtijevaju visoku raspoloživost hraniva za postizanje visokih prinosa (primjereno visokoproduktivnim sustavima uzgoja biljaka). Nažalost, moderna znanost još je prilično udaljena od rješenja koja bi podjednako poboljšala reakciju prinosa na niži i visoki unos hraniva, jer učinkovitost gnojdbi ima izraženu fiziološku dimenziju, pojednostavljeno kako biljka u metabolizmu učinkovito koristi već usvojena hraniva (učinkovitost usvajanja, sposobnost skladištenja hraniva do ugradnje, npr. nitrata i ugradnja elemenata u organsku tvar). Osim toga, značaj opisanih fizioloških procesa na učinkovitost gnojdbi potpuno se mijenja ako je željeni prinos škrob ili šećer, a ne bjelancevine ili ulje.

Učinkovitost gnojdbi i bioraspoloživost hraniva iz tla je vrlo složeno i višedimenzionalno svojstvo i najveći izazov za napredak suvremene ishrane bilja jer integrira napredak više znanstvenih disciplina, posebice genetike, fiziologije i ekofiziologije bilja. Također, jedan od razloga sporosti u povećanju učinkovitosti gnojdbi zasigurno je to što se interesi razvijenih poljoprivreda ne podudaraju s potrebama za hranom u nerazvijenim i zemljama u razvoju za koje je prioritet poboljšanje prinosa, ili veća profitabilnost, a za bogate i razvijene zemlje prioritet je sve više smanjenje zagađenja i štete za okoliš.

Tradicionalna poljoprivreda, odnosno svi produkcijski sustavi niskog ulaganja, temelje se na provjerenim višestoljetnim iskustvima stečenim u interakciji socijalnog sustava, kulture sela i prirodnog okruženja, a još uvijek prevladavaju u većem dijelu svijeta. U tradicionalnoj biljnoj proizvodnji inputi su uglavnom interni proizvodi tradicionalnog, miješanog poljoprivrednog gospodarstva u kojem je *seljak* istovremeno vlasnik, menadžer i neposredni djelatnik. Budući da je *seljačko gospodarstvo ili domaćinstvo* utemeljeno na obitelji, ono je istovremeno ekonomska i socijalna kategorija. U takvoj, ekstenzivnoj poljoprivrednoj proizvodnji, primjena efikasnijih kultivara u korištenju hraniva iz tla i/ili gnojiva, kao i vode, zasigurno bi znatno povećali poljoprivrednu proizvodnju. Također, veći uzgoj siderata (*zelena gnojdba*), biljaka s velikom apsorpcijskom moći korijena, omogućila bi razmjerno učinkovitiju transformaciju nepristupačnih oblika elemenata ishrane u bioraspoloživa hraniva.

Sve veći problemi obzirom na brz porast stanovništva Zemlje, mnoge istraživače fokusira na genetske manipulacije živih organizama jer smatraju da *transgeni organizmi* mogu značajno doprinijeti mineralnoj ishrani biljaka i pokrenuti još jednu zelenu revoluciju. Međutim, mnogi smatraju kako su takvi organizmi opasni i štetni i izazivaju različite toksične i alergijske reakcije kod ljudi i stoke, pojavu bolesti, sterilnost stoke itd. te da su dugoročni učinci proizvodnje i korištenja GMO hrane nepoznati. Kako god, strah od GMO više je emocionalan nego činjenično potvrđen jer korištenje GMO hrane nije nipošto rizičnije u odnosu na onu proizvedenu konvencionalnim tehnikama. Kao dokaz toj tvrdnji često se navodi kako se u SAD od 1995. godine do danas koristi GM kukuruz, a do sada nije bilo nikakvih poveznica s bolestima ili zdravljem ljudi, kao niti životinja.

Biljke bi mogle povećati snagu apsorpcije hraniva iz tla povećanjem površine korijena ili promjenama u *rizosferi* budući da korijenski sustav biljaka i tlo koje on prožima, čine *jedinstven sustav* s jakim uzajamnim utjecajem. Modifikacije korijenskog mehanizma apsorpcije zahtijevaju genotipske izmjene, odnosno povećanje ukupne i/ili aktivne površine korijena intenzivnijom *proliferacijom* korijena s više korijenskih dlačica ili *mikorizom* (Slika 6.), odnosno *mutualističkom simbiozom* korijena i gljiva, asocijacije koja omogućuju usvajanje hranjivih sastojaka i izvan područja rizosfere.



Slika 6. Vezikularno-arbuskularna mikoriza

Tlo je uvjetno obnovljiv prirodni resurs, ono je reaktor, transformator i integrator velikog broja prirodnih procesa (npr., solarno zračenje, atmosfera, površinska i podzemna voda, biološki resursi), medij interakcije sfera (*litosfera, atmosfera, biosfera*), medij produkcije biomase za ljudsku i stočnu hranu, industrijsku sirovinu i alternativnu energiju, ali i skladište topline, vode, biljnih hraniva, a sve češće i otpada iz različitih izvora. *Tlo je i pufer je velikog kapaciteta* koji može prevenirati ili ublažiti nepovoljne ekološke utjecaje, prirodni je filter koji može spriječiti onečišćenja podzemnih voda, značajno je za varijabilnost gena i važan element bioraznolikosti, konzervator je i nositelj prirodne i ljudske baštine. Zbog toga se *održivo gospodarenje poljoprivrednim zemljištem* sve više se uvažava kao jedan od najvažnijih kriterija koji izravno i neizravno utječu na kakvoću ljudskog života te je u razvijenim zemljama primjetan trend smanjene primjene gnojiva. Počevši od kasnih 1970-ih raste briga za okoliš i svijest o potrebi održivosti poljoprivredne proizvodnje kroz učinkovitiju primjenu mineralnih gnojiva, ali budući je održivost atraktivna samo kad je ujedno i profitabilna, pomaci u brigi za okoliš nisu značajni, posebice u siromašnim i zemljama u razvoju.

Nema sumnje da *dostatna prehrana* igra ključnu ulogu u zdravlju ljudi (i životinja) te je interes potrošača u razvijenim zemljama za tzv. *zdravim namirnicama* posljednjih godina strahovito narastao. Siromašnim zemljama preostaje da se problem i neuravnotežene prehrane koji rezultira lošim zdravljem, niskom produktivnošću i porastom kroničnih bolesti pokuša riješiti tzv. *biofortifikacijom*, odnosno uzgojem usjeva povećane prehrambene vrijednosti. To može biti učinjeno konvencionalnom (prirodnom) selekcijom biljaka ili pomoću genetskog inženjeringa. U tom smislu, *biofortifikacija* se često smatra važnom strategijom za rješavanje nedostataka mikronutrijenata u siromašnim i zemljama u razvoju jer su biljke glavni izvor, a u nekim slučajevima i jedini izvor sastojaka potrebnih za ljudsko zdravlje. Važno je naglasiti kako je Hrvatska svrstana u zemlje s umjerenom opasnošću od deficita pojedinih važnih nutrijenata.

Podaci o plodnosti tla i njegovim produktivnim svojstvima, uključujući limitirajuće *abiotske (klimatski, edafski i orografski)*, kao i *biotske* (unutarnje) čimbenike, još uvijek su veoma ograničeni u mnogim, uključujući i RH, pa čak i u razvijenim zemljama. Budući da efikasna primjena svih relevantnih podataka u biljnoj proizvodnji mora pored agronomskog (tlo, klima, biljka i agrotehnika), uključiti i sociološko-ekonomske i tehničko-tehnološke aspekte, neophodno je uspostaviti učinkovit sustav kontrole plodnosti tla.

Metodologija prikupljanja podataka i analiza tla i biljaka mora biti osmišljena tako da omogućuje brzu i pouzdanu identifikaciju kritičnih točaka u biljnoj proizvodnji te uključivati *daljinske dijagnostičke metode* analize poljoprivrednog zemljišta (npr. sateliti, dronovi, senzorska detekcija u realnom vremenu potrebe za N-prihranom, navodnjavanjem zaštitom usjeva itd.). Zatim, neophodno je hitno definiranje kritične razine

biogenih elemenata u tlu i biljkama tijekom vegetacije, kao i njihovu povezanost s agronomskim i biološkim prinosom, jer samo temeljem tih podataka moguće je kreirati pouzdanu gnojdbenu i agrotehničku preporuku. Naime, gnojidbom tla umjesto gnojdbenog usjeva postiže se plodno, odnosno „*zdravo tlo*“ i uravnotežena ishrana usjeva, jer se na plodnim tlima može zadovoljiti većina potreba biljaka za hranjivim tvarima, naravno pazeći na moguće povećavaju troškove uzgoja.

U Osijeku, 1. ožujka 2020.