

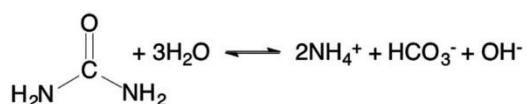
Kako poboljšati učinkovitost gnojidbe ureom

Prof. dr. sc. Vladimir Vukadinović

Od biogenih elemenata biljke zahtijevaju najviše dušika (N) pa se redovite primjenjuje gnojidbom, osnovnom, predstjetveno, startno ili u prihrani, ponekad i folijarno, najčešće u amidnom obliku, odnosno kao urea. Kad je potrebno brzo djelovati, najčešće se u prihrani ili u startu koriste nitratna ili amonijsko-nitratna gnojiva jer je nitratni oblik odmah raspoloživ za usvajanje, ne veže se na koloide tla (humus i glinu) pa se lako pokreće i premješta s vodom te su mogući veliki gubici tog oblika dušika ispiranjem iz korijenske zone (*rizosfere*).

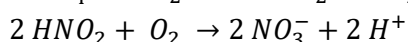
Dušik se primjenjuje ali i u drugim kemijskim oblicima od kojih biljke brzo i lako usvajaju nitratni (NO_3^-), pa zatim amonijski (NH_4^+) oblik, dok se drugi kemijski oblici dušika moraju u tlu uglavnom mikrobiološki transformirati (*biljke mogu usvojiti molekule mase manje od ~1 kDa; 1000 Daltona*) do ta dva mineralna oblika N. Primjerice, molekularna masa *huminskih kiselina* je 10-100 kDa.

Dušik u urei nije izravno raspoloživ za usvajanje i ugradnju u organsku tvar te je urea u tlu podvrgnuta kemijskoj reakciji hidrolize (Slika 1.) kojim se razlaže do amonijskog (NH_4^+) oblika koji korijen biljaka relativno lako usvaja. Amonijski oblik dušika

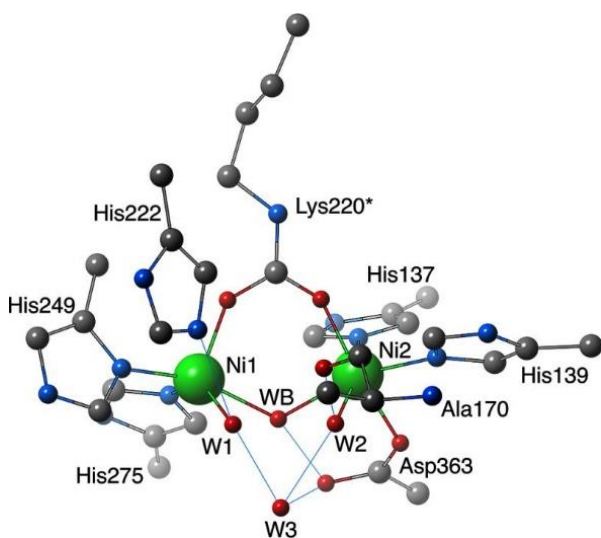


Slika 1. Hidroliza uree

zatim se podvrgava procesu *nitrifikacije* (transformacije do nitrata), odnosno prevodi do nitratnog oblika (NO_3^-), lako pokretnog u tlu jer se kao anion (negativno nabijen ion), za razliku od kationa (npr. NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ itd.) ne adsorbira na zemljišne koloide te lako dolazi do gubitaka, najviše ispiranjem do podzemne vode. *Nitrifikaciju* obavljaju *nitrifikatori* tla, nefotosintetski mikroorganizmi koji u procesu *kemosinteze* obavljaju sintezu ugljikohidrata iz vode i ugljik(IV)-oksida za svoje potrebe, a na račun energije dobivene cijepanjem ugljikovih lanaca organske tvari tla. Proces se može sažeto predstaviti sljedećim formulama:



Katalizator odgovoran za hidrolizu uree je vrlo učinkovit enzim *ureaza* (*urea aminohidrolaza*) koji proizvode mikroorganizmi tla (Slika 2.) te je enzimatska kataliza hidrolize uree veoma brza, posebice kad su uvjeti za djelovanje ureaze u tlu povoljni (npr. prisustvo Ni, povoljna temperatura i vlaga tla). Efikasnost ureaze može



Slika 2. *Kristalna struktura ureaze Sporosarcina pasteurii (atomi Ni, C, N i O prikazani su zelenom, sivom, plavo i crvenom bojom).*

prouzročiti znatne gubitke dušika nakon gnojidbe ureom te koji se u poljoprivredi i stočarstvu diljem svijeta procjenjuju na 37 Mt god⁻¹ (10 milijuna tona/god.) u vidu plinovitog amonijaka (NH_3). Izgubljena količina dušika varira ovisno o svojstvima tla, a gubici su veći na laganim i karbonatnim tlima, plitkoj ili površinskoj primjeni uree, pri višim temperaturama i većoj vlažnosti tla, a prosječna procjena gubitaka dušika iz uree je u rasponu 10-19%. Međutim, *zbog visokih temperatura može doseći i 40%*.

Hidrolizu uree do amonij iona (NH_4^+) koji mogu usvojiti biljke (Slika 1.) enormno ubrzava u tlu enzim ureaza (Slika 2.) zemljišnih mikroorganizama (~1015 puta). Procjenjuje se da su za 79-89% aktivnosti ureaze u tlima odgovorni ekstracelularni enzimi (izlučeni u tlo iz mikroorganizama i biljnih ostataka) koji su adsorbirani na koloide tla. Budući je aktivnost ureaze veća u biljnom

materijalu, hidroliza uree je veća uz biljne i žetvene ostatke, npr. bez obrade tla (*no-till*), primjene malča i sl. te može biti i trostruko veća u odnosu na konvencionalnu obradu. Stoga će u uvjetima neutralnog ili alkalnog tla i visoke vlažnosti tla (optimalni pH za aktivnost ureaze je 6,5-7,2; optimalna vlaga je pri poljskom kapacitetu vlažnosti, odnosno tenziji vlažnosti od približno -0,10 bara) doći do znatnog gubitka amonijskog

oblika dušika (NH_3) u plinovitom obliku, a pojava se naziva *volatizacija*. Doslovno, isparavanjem amonijaka značajno se smanjuje učinkovitost gnojidbe ureom, UAN-om i amonijskim te amonijsko-nitratnim N-gnojivima (npr. KAN, AN, AS i dr.) posebice pri višim temperaturama i dovoljno vlage u tlu. Također, brza hidroliza uree privremeno podiže znatno pH kiselih tala (često i za više od dvije pH jedinice) što dodatno ubrzava hidrolitičku aktivnost enzima ureaze.

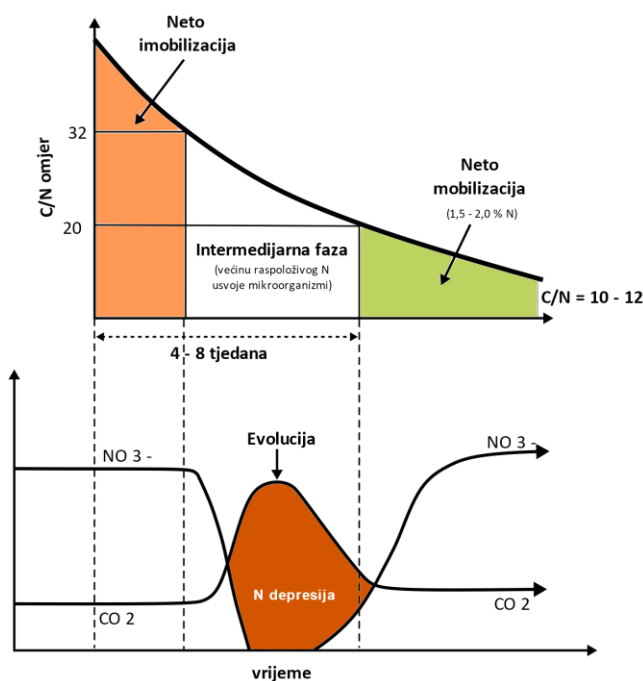
Inhibiciju enzima ureaze moguće je postići primjenom *inhibitora ureaze* (npr. NBPT ili *n-butil-tiofosforni triamid*), presvlačenjem granula uree (tzv. *enkapsulacija*) talinom sumpora, voskovima i drugim vodonepropusnim tvarima, ili primjenom sporodjelujućih dušičnih koja sporo „otpuštaju“ mineralne oblike N. Dušična gnojiva koja se u tlu sporo razlažu mogu biti organski spojevi kao što su *amonijevi humati* (2-3 % N), *ligninske sulfo-kiseline* (N-lignin, 18-20 % N i izmjenjivačkim kapacitetom od $\sim 100 \text{ cmol}^{(+)} \text{ g}^{-1}$), *kondenzati uree i aldehida* (*ureaform* ili UF, 35-40 % N, *krotonilen-diurea*, 28-30 % N, *izobutilen-diurea* s 30-32 % N, *tiourea* (36,8 % N), različiti *triazini* (pirolizati uree sadrže do 66,5 % N, npr. *melanin* $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6$), proizvodi na bazi CaCN_2 i HCN (npr. $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3$ s 58-60 % N), *oxamid* ($\text{NH}_2\text{-CO-CO-NH}_2$), *gunylurea* itd. Važno je naglasiti kako inhibitori ureaze značajno smanjuju gubitke dušika volatizacijom, ali ih oni ne uklanjaju u potpunosti te u okolnostima kad su mogući visoki gubici dušika, treba izbjegavati površinsku ili plitku primijenjenu uree, čak i s inhibitorima ureaze.

U sporodjelujuća N-gnojiva treba ubrojiti i sva organska gnojiva poput krutog stajskog gnojiva ili gnojovke i biljnih, odnosno životinjskih ostataka. Naime, učinkovitost organskih gnojiva ovisi o mikrobiološkoj aktivnosti u tlu, odnosno kojom brzinom se razgrađuju i transformiraju do hraniva pogodnih za usvajanje. Posebno treba naglasiti da organska gnojiva jače potiču aktivnost mikroorganizama tla, gujavica, gljivica i drugih „razarača“ organske tvari u odnosu na mineralna gnojiva, a njima se unosi u tlo i mnogo manje soli i kiselina. Na žalost, mikroorganizmi su slabo aktivni ispod 10°C pa organska gnojiva imaju slab učinak pri nižim temperaturama, u suhim ili suviše vlažnim uvjetima i pri slaboj biogenosti tla. Stoga se mora biti oprezan kod primjene organskih gnojiva (doza, način i vrijeme unošenja), jer npr., previše organskog gnojiva u povoljnim uvjetima mineralizacije organske tvari može snažno potaknuti njegovu mikrobiološku aktivnost što će rezultirati s više hranjivih tvari nego biljke mogu usvojiti iz tla, dok pri nižim temperaturama, niskoj pH vrijednosti tla ili u sušnim uvjetima biljke neće imati dovoljno raspoloživih elemenata ishrane.

Primjena uree i diamonij-fosfata (DAP, 18-46-0) kao startnog gnojiva zahtijeva oprez jer mogu izazvati štetu tzv. solnim udarom (solni stres) u ranom porastu i to ako se primjenjuju preblizu sjemena ili sadnica. Naime,

osmotska vrijednost vodene faze tla poraste znatno iznad osmotske vrijednosti korijena mladih biljaka te one ne mogu usvajati vodu, niti hraniva. Također, organski ostaci (uključujući organska gnojiva i siderate) sadrže široki omjer C/N, odnosno relativno malo dušika (često $< 1\%$) pa sav oslobođeni N usvajaju prvo mikroorganizmi (tzv. biološka fiksacija N) što izaziva prolazni nedostatak dušika za 4-8 tjedana koji se naziva dušični manjak ili dušična depresija (Slika 3.). Stoga je potrebno izbjegavati zaoravanje bilo kakve organske tvari neposredno prije sjetve, ili u suprotnom, potrebno je istovremeno unijeti u tlo i potrebnu količinu dušika za mineralizaciju da se omjer C/N dovede na poželjnu razinu. Potrebna količina dušika za mineralizaciju žetvenih ostataka različita je za pojedine usjeve, ovisno o njihovom C/N/P omjeru.

Važno je naglasiti da je dinamika dušika vrlo ovisna o sustavu uzgoja, unutar kojeg treba i potražiti



Slika 3. Promjena C/N omjera i koncentracije nitrata u tlu kod razgradnje biljnih ostataka u tlu.

mogućnosti za optimizaciju N- gnojidbe, jer je [ciklus N](#) najuže povezan s prometom organske tvari u tlu. Dakle, [dušik je vrlo pokretan i reaktivni element](#) koji prolazi kroz mnoge složene transformacije, [imobilizacije i mineralizacije](#), a lako se i brzo vraća u molekularno stanje u kojem je najstabilniji, te mu je biorasploživost količina vrlo promjenjiva, kako u vremenu, tako i po dubini profila. Stoga je podešavanje gnojidbe dušikom vrlo težak zadatak, jer uz vrlo složen ciklus transformacija i izražena reaktivna svojstva, dušik se primjenjuje u mnogim oblicima, kao [mineralna i/ili organska gnojiva](#), [žetveni ostaci](#), [zelena gnojidba](#), [malčevi](#) i dr., a mikroorganizmi i biljke ga usvajaju u velikoj količini. Osim što dušik prolazi kroz mnoge transformacije u tlu, on je podložan ispiranju i plinovitim gubicima u atmosferu. Također, između pojedinih elemenata biljne ishrane, pa tako i dušika s ostalim elementima ishrane, prisutni su [sinergistički i/ili antagonistički](#) odnosi. Npr. pri manjku kalija više će usvojiti dušika, amonijski ion (NH_4^+) smanjuje usvajanje nitrata (NO_3^-) itd.

Veoma je važno istaći kako [na efikasnost gnojidbe snažno utječe doza primijenjene aktivne tvari, potreba usjeva, vrijeme i načina unošenja](#). Naime, povećavanjem doze iznad stvarnih potreba usjeva, efikasnost svih gnojiva, posebice dušičnih, jako pada, pa tako kod niske primjene N njegova efikasnost (usvajanje u prvoj godini primjene) može biti i 70 %, a kod luksuzne primjene efikasnost opada na ~30 %.

Dušik je, agronomski gledano, [izraziti „prinosotvorni element“](#), a njegova [raspoloživost za usvajanje iz tla veoma je promjenjiva, obzirom na njegovu pokretljivost i brzinu, uglavnom mikrobiološke transformacije u tlu](#). Ponekad je vrijeme primjene dušika važnije od njegove doze jer gubici N mogu biti visoki (npr., [biološkom imobilizacijom](#) mikroorganizmima i korovima, [ispiranjem](#), [erozijom](#), [volatizacijom](#) i [denitrifikacijom](#)), [pa je raspoloživa količina dušika u tlu veoma često nedovoljna za brz porast usjeva i tvorbu prinosa](#). Također, potreba za dušikom jako varira ovisno o biljnoj vrsti, očekivanom prinosu i prinosu prethodnog usjeva (tzv. [rezidualni N](#), [N-kredit](#), odnosno simbiotski vezan dušik mahunarkama, ali i nesimbiotskim, slobodnoživećim mikroorganizmima). Veoma je važno kontrolirati moguće gubitke N (vrsta gnojiva, vrijeme, način i dubina aplikacije i dr.).

Stoga je testiranje tla na raspoloživost dušika [N_{min} metodom](#) neobično važno kod utvrđivanja potrebe (doze i vremena) N-prihrane. Izvor raspoloživog dušika tla je, osim gnojidbe, organska tvar, pa često prevladava pogrešan stav da je dovoljno poznavati razinu humusa u tlu, koji jest prirodni izvor najvećeg dijela N, ali humus sadrži [potencijalno raspoloživi dušik](#), jer mineralizacija organske tvari je osjetljiv mikrobiološki proces koji obavljaju živi organizmi sa specifičnim zahtjevima prema vodi, temperaturi, pH tla i biogenim elementima, a humus veoma otporan na mineralizaciju te se u našim agroekološkim uvjetima razloži svega 1-2 % ukupne količine humusa ([~53 kg N ha⁻¹ god⁻¹ je približna procjena kapaciteta mineralizacije za šire područje Osijeka](#)).

U Osijeku 28. srpnja 2018.