

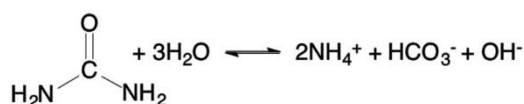
Kako poboljšati učinkovitost gnojidbe ureom

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*).

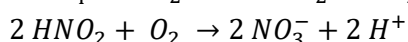
Dušik se primjenjuje ali i u drugim kemijskim oblicima od kojih biljke brzo i lako usvajaju nitratni (NO_3^-), pa zatim amonijski (NH_4^+) oblik, dok se drugi kemijski oblici dušika moraju u tlu uglavnom mikrobiološki transformirati (*biljke mogu usvojiti molekule mase manje od ~1 kDa; 1000 Daltona*) 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

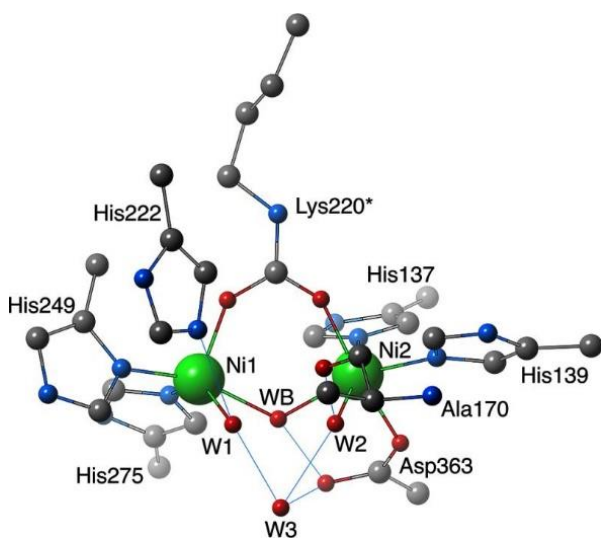


Slika 1. Hidroliza uree

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.

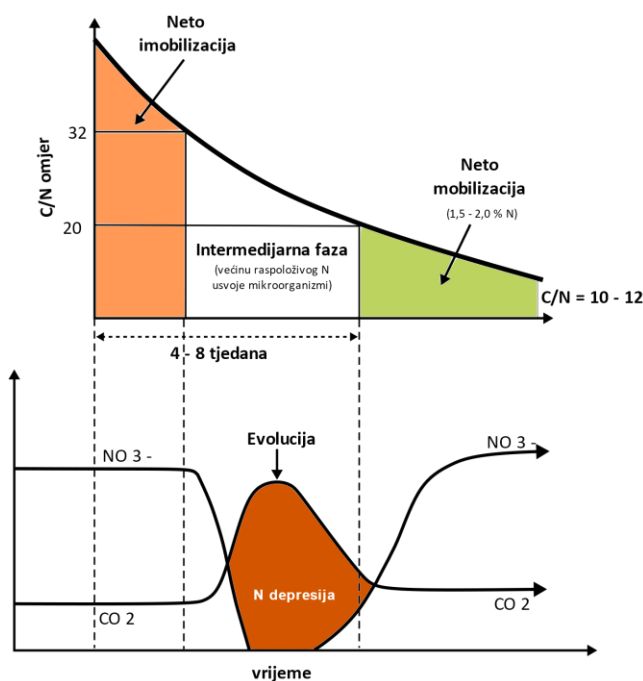
Inhibiciju enzima ureaze moguće je postići primjenom *inhibitora ureaze* (npr. NBPT ili *n-butil-tiofosforni triamid*), presvlačenjem granula uree (tzv. *enkapsulacija*) talinom sumpora, voskovima i drugim vodonepropusnim tvarima, ili primjenom sporodjelujućih dušičnih koja sporo „otpuštaju“ mineralne 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 kiseline. 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 bioraspoloživa 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.