

Dušik

- ❑ Porijeklom je iz atmosfere (N_2), ali se usvaja u mineralnom obliku i zato se svrstava u grupu mineralnih elemenata.
- ❑ Sastavni je dio proteina, nukleinskih kiselina, fotosintetskih pigmenata, amina, amida i drugih spojeva koji čine osnovu života pa kemija ovog elementa čini najvažniji dio agrokemije, odnosno ishrane bilja.

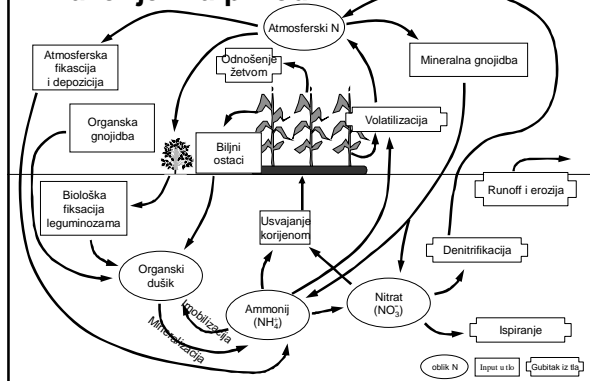
- ❑ Značaj dušika je to veći što ga samo mali broj organizama može koristiti iz atmosfere (gdje ga ima 78.1% volumno ili 75.51% težinski, odnosno ukupno 3.8×10^{15} tona, ili 86.5 t/ha) u plinovitom obliku (N_2).
- ❑ Za prevođenje molekularnog oblika dušika do amonijaka i nitrata, u kojem ga obliku biljke usvajaju, potrebna je ogromna količina energije ($946 \text{ KJ} = 226 \text{ Cal}$).
- ❑ S druge strane, dušik se lako vraća u molekularno stanje u kojem je i najstabilniji pa se lako gubi iz tla gdje se njegova količina procjenjuje na ukupno 4×10^{14} tona.

Dušik u tlu

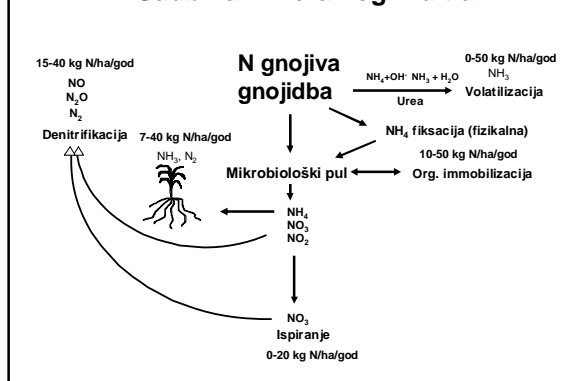
- a) Dušik tla je u obliku organskih i anorganskih spojeva.
- b) Organski dio predstavljen je humusom i nepotpuno razloženim biljnim i životinjskim ostacima.
- c) Mineralni dio, koji je potpuno raspoloživ za usvajanje, samo je mali dio ukupnog dušika tla, uglavnom u količini koja je nedovoljna za dobru ishranu poljoprivrednih vrsta biljaka.

- ❑ U poljoprivrednim tlima ukupna količina N je najčešće 0.1-0.3%, od čega je za ishranu bilja pristupačno tijekom jedne vegetacijske sezone svega 1 do 3%.
- ❑ Zbog male količine u tlu, a velikih potreba u ishrani bilja, u suvremenoj poljoprivrednoj proizvodnji primjena dušika gnojivom nezamjenjiva agrotehnička mjera (jer su pristupačne količine dušika u tlu uglavnom nedovoljne za postizanje visokih prinosa).
- ❑ Ukupna količina N u tlu ovisi od niza činitelja kao što su klima, vegetacija, topografija terena, matični supstrat, starost tla itd.

Kruženje N u prirodi



Sudbina mineralnog N u tlu



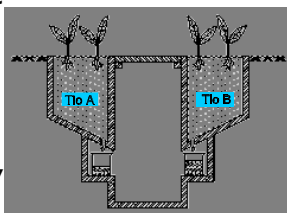
Primjer bilance dušika u tlu (europski prosjek)

	Dotok N u tlo	kg N/ha/god.
1.	Mineralna gnojidba	60.00
2.	Organska gnojidba	40.00
3.	Simbiozna fiksacija	10.00
4.	Nesimbiozna fiksacija	6.80
5.	Kiša i navodnjavanje	5.30
6.	Unos sjemenom (sjetva)	1.30
	Ukupno dobitak:	123.40
	Gubitak N iz tla	kg N/ha/god.
1.	Oдношење жетвом	120.00
2.	Erozija	27.40
3.	Ispiranje	26.10
4.	Denitrifikacija, volatilizacija	?
	Ukupno gubitak:	173.50

- Utvrđivanje bilance dušika u tlu složen je problem pa se vrlo rijetko mogu utvrditi svi uzroci uobičajeno negativne bilance. Prethodni primjer pokazuje prosječni dotok dušika u tlo i njegove gubitke različitim načinima.
- Proračun pokazuje da čist godišnji gubitak za područje Europe iznosi 70.5 kg N/ha, dok se prema navedenoj bilanci ne može utvrditi izvor gubitaka od 50.1 kg N/ha.

Značaj navedenih izvora dotoka i gubitaka dušika je vrlo promjenjiv, pa tako gubici koji nastaju erozijom mogu biti vrlo veliki na brdskim i planinskim tlima, dok su u ravninama beznačajni.

Ispiranje je veće iz lakih, plitkih i pjeskovitih, a zanemarivo iz teških i glinovitih tala, itd. Ispiranje hraniva iz tla pouzdano se utvrđuje samo lizimetrima u procjednoj vodi kroz solum do razine podzemne vode.



Presjek lizimetarske postaje

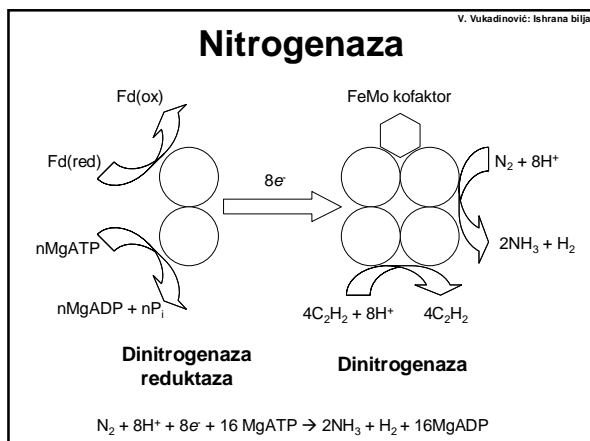
Erozija – Baranjsko brdo 2005.



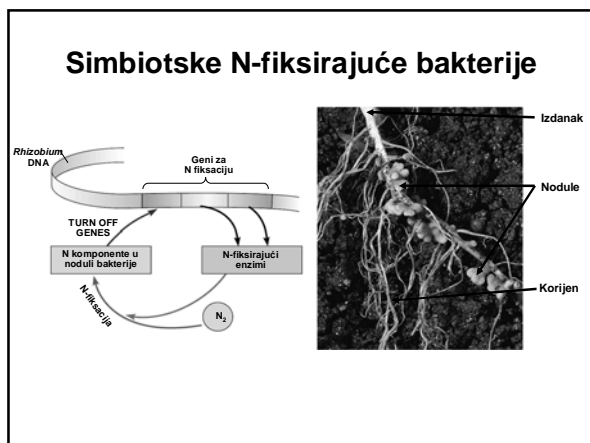
Podrijetlo dušika u tlu

- U matičnom supstratu, iz kojeg je neko tlo nastalo, nema dušika pa se on u procesu pedogeneze nakuplja isključivo pod utjecajem živih organizama.
- Najveći dio dušika u tlu je rezultat aktivnosti mikroorganizama, isključivo protokariota koji mogu vezati molekularni dušik iz atmosfere i graditi vlastitu organsku tvar, a zatim drugih nižih i na kraju viših organizama kada za njihove životne potrebe u tlu ima dovoljno dušika.
- Mehanizam mikrobiološkog vezivanja dušika funkcionira uz pomoć enzima nitrogenaze.

- Enzim nitrogenaza je kompleks dva proteina od kojih je prvi molekularne mase oko 220000-245000 i sadrži Fe, Mo i S ($2\text{MoFe}_8\text{S}_6$), a drugi mase 50000-70000 s jednim atomom Fe.
- Redoks potencijal je -250 do -295 mV pri čemu reducirani kompleks Fe-proteina veže 4Mg-ATP po jednom elektronu.
- Izvor elektrona je Krebsov ciklus, pa se, uz promjenu konformacije proteina, elektronskog spin-rezonans signala i redokspotencijala te uz hidrolizu ATP, elektron prenosi na kompleks FeMo-protein.
- Kod bakterija iz roda *Rhizobium* Co i Cu su kao kofaktori procesa N-fiksacije. U nedostatku Co ne dolazi do sinteze *leghemoglobina* (bakterijski pigment) koji regulira ulazak O_2 i štiti Fe-protein od oksidacije.
- Nastali amonijak veže se u procesu redukcijske aminacije na keto kiseline, najprije na *α -ketoglutaru* i *oksalocetenu* uz tvorbu aminokiselina. *Nitrogenaza je reduktaza širokog spektra i može reducirati više različitih spojeva kao što su N_2 , H_2 , C_2H_2 itd.*
- Energetske potrebe za proces mikrobiološke fiksacije dušika iskazane preko utroška ugljikohidrata u disanju su:
= 1 mol glukoze/1 mol N_2 = 2.57 g C/g N \Rightarrow 35-40 ATP/g N_2



- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- Tehnikama genetskog inženjeringa moguće je već danas prenijeti *nif operon* (*nitrogen fixation operon*) s jednog na drugi mikroorganizam (npr. *Klebsiella pneumoniae* ⇒ *Escherichia coli*, *Klebsiella aerogenes*, *Salmonella typhimurium* itd.), ili na mikorizne gljive (npr. *Azotobacter* ⇒ *Rhizopogon*).
 - Inokulacijom mikoriznih gljiva na korijen viših biljaka ostvaruje se prijenos mikrobiološki vezanog dušika i na biljke koje ne pripadaju porodici leguminoza.
 - Količina dušika koji je rezultat električnih pražnjenja u atmosferi, pa i onog koji je unesen gnojidbom, srazmjerno je mali dio ukupnog dušika nekog tla.

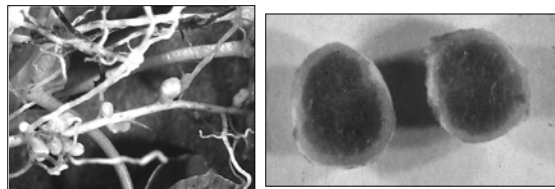


- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- ### *Nesimbiozna fiksacija dušika*
- Neke vrste bakterija, plavozelenih algi (rodovi *Chroococcales*, *Chamaestiphonales* i *Hormonogales*) i možda gljivica, mogu uz pomoć energije oslobođene oksidacijom organske tvari tla vezati atmosferski N_2 i koristiti ga za svoje potrebe (*nesimbiozski diazotrofi*).
 - Od *aerobnih*, slobodno živećih fiksatora dušika poznati su *Azotobacter*, *Azospirillum* i *Beijerinckia* s više vrsta, a od *anaerobnih* *Clostridium pasteurianum* te *fakultativno anaerobnih* *Klebsiella*.

- Količine N vezane nesimbiozskim putem su promjenjive, jer, npr., *Azotobacter* ne veže N_2 ispod pH 5, a aktivnost mu zavisi od prisustva Mo, K, Fe i Mn u tlu uz povoljno djelovanje dobre raspoloživosti fosfora. Potrebna je dovoljna količinu organske tvari s određenim omjerom C:N.
- Nesimbioznska fiksacija je 13-38 kg N/ha/god. Plavozelene alge imaju značaj samo u vlažnim i toplim uvjetima kao što su rižina polja gdje mogu vezati između 42 i 150 kg N/ha godišnje.

- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- ### *Simbiozna fiksacija dušika*
- Na korijenu leguminoznih biljaka česte su *nodule* koje čine nakupine kvrčičnih bakterija. Te bakterije iz roda *Rhizobium* žive u simbioznoj (asocijativnoj) zajednici i snabdijevaju biljke reduciranim dušikom, a preuzimaju od nje potrebne tvari za svoj život. Rod *Rhizobium* obuhvaća više vrsta koje su specifične za pojedine leguminozne biljke.

Simbiotska N-fiksacija



- ❑ Nodule bakterija su osjetljive na vanjske uvjete, posebice nedostatak vlage. Uništavaju ih i *bakteriofagi* pa se moraju unositi u tlo kod svake sjetve inokuliranim sjemenom.
- ❑ Ako je u tlu dovoljno raspoloživog N, tako da su zadovoljene potrebe biljke domaćina i bakterija, rast kvrčica se smanjuje uz opadanje njihovog broja.
- ❑ Pojedini sojevi N-fiksatora razlikuju se intenzitetom simbiotske fiksacije atmosferskog dušika.

Utjecaj N gnojidbe na aktivnost nitrogenaze te rast korijena i izdanaka soje

NO ₃ -N gnojidba kg/ha	aktiv. nitrogenaze $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4/\text{h}/\text{biljka}$		N% izdanak	ST g/biljka 49 dana	
	35 dana	49 dana	49 dana	Biljka	Nodule
0	1.13	0.19	1.54	2.53	0.18
25	2.26	0.33	1.82	3.35	0.28
50	0.60	0.10	1.67	3.65	0.13
100	0.14	0.03	1.69	4.35	0.11

Simbiotska fiksacija N₂ sojevima *Rhizobiuma* u N kg/ha/g

Lucerna	120-170 (70-200)
Djetelina	50-200
Crvena djetelina	140-200
Grahorica	80-180
Soja	60-100 (20-275)
Grah	180-200
Stočni grašak	60-90
Poljski grašak	155-175

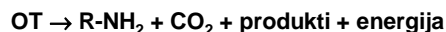
Mineralizacija dušika u tlu

Organski ostaci biljaka i životinja u tlu podliježu procesu mineralizacije čiji intenzitet poglavito zavisi od mikrobiološke aktivnosti ili *biogenosti tla*.

Različite organske tvari ne razlažu se istim intenzitetom, što zavisi od njihovih kemijskih svojstava, uvjeta koji vladaju u tlu i prisustva potrebne grupe mikroorganizama.

Razlaganje proteina je relativno usporeno jer lako grade stabilne komplekse s mineralnom frakcijom tla. Proces njihove dekompozicije zavisi od prisustva i aktivnosti enzima peptidaza koje ih prvo razlažu do peptida, a zatim do aminokiselina. Stoga se taj dio procesa naziva aminizacija i može se sažeto prikazati sljedećom formulom:

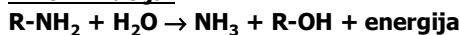
Aminizacija:



Razlaganje proteina je brže u dobro prozračenim tlima uz dovoljno vlage i prisustvo kalcija. Oslobođene aminokiseline, u nedostatku raspoloživog mineralnog dušika tla, usvajaju mikroorganizmi ili se u suprotnom slučaju proces mineralizacije nastavlja.

Sljedeća faza u mineralizaciji dušika je **amonifikacija**. Taj dio procesa mineralizacije obuhvaća izdvajanje amonijaka iz oslobođenih aminokiselina tijekom *dezaminacije* pod utjecajem enzima *dezaminaza*:

Amonifikacija:



Amonifikacija je proces koji je jako ovisan od C/N o omjeru u organskoj tvari.

Najpovoljniji C/N omjer je 20 - 25 : 1, odnosno organska tvar treba sadržavati 1.5-2% dušika da bi u amonifikaciji došlo do oslobađanja amonijaka.

Kod širokog C : N odnosa mikroorganizmi izdvajaju samo CO₂, a oslobođeni amonijak koriste za vlastite potrebe (organska tvar sadrži puno energije, ali malo dušika).

Kod omjera C/N od 20-32 : 1 postoji ravnoteža između mobilizacije i imobilizacije, kod šireg omjera od 32 : 1 prisutna je samo *biološka imobilizacija*, a užeg od 20 : 1 samo *mobilizacija dušika*.

Prisustvo lignina u OT malo utječe na brzinu amonifikacije, dok veće količine poli- i oligosaharida znatno je usporavaju što ima praktičnu važnost kod zaoravanja žetvenih ostataka. Naime, velika količina slame može znatno usporiti mineralizaciju dušika, ali i spriječiti prerano nastajanje nitratnog oblika dušika i njegovo ispiranje do početka vegetacije.

Kritična vrijednost, pri kojoj mineralizacija kompenzira imobilizaciju N za stajsko gnojivo, je 2%, a za gnojovku 3-4% N (što su najčešće znatno više vrijednosti od uobičajene koncentracije dušika u organskim gnojivima), pa unošenje većih količina stajnjaka izaziva prolazni *dušični manjak*.

Amonifikacija je proces osjetljiv i na nedostatak vlage u tlu.

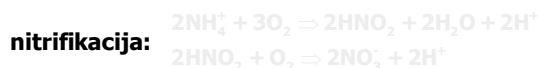
Oslobođeni amonijak, ovisno o potrebama mikroorganizama u dušiku, može biti biološki imobiliziran, odnosno:

- ugrađen u proteine mikroorganizama,
- usvojen od viših biljaka,
- adsorbiran ili fiksiran na adsorpcijski kompleks tla ili
- podvrgnut daljnjoj mineralizaciji.

U navedenim slučajevima ne dolazi do gubitka amonijaka (izuzetno *volatilizacijom* u lužnatoj sredini). Naime, amonijski ion veže se na koloidnu frakciju tla ili, ako je biološki imobiliziran, ipak ostaje u klasi lako mobilnih rezervi dušika budući da je duljina života mikroorganizama koji ga asimiliraju relativno mala.

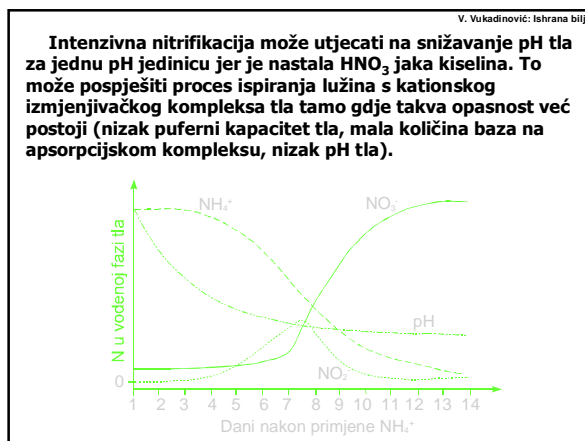
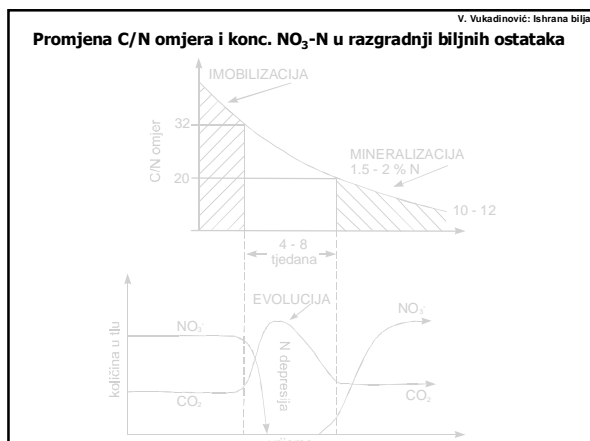
Nakon razgradnje svježe unesene organske tvari u tlo, mikrobiološka aktivnost pada, mikroorganizmi u većem broju izumiru i taj dušik tada predstavlja vrlo povoljan oblik za ishranu bilja.

Nitrifikacija je sljedeća faza u mineralizaciji dušika. Oksidaciju amonijaka do nitrata obavljaju *nitrifikatori tla*. To su nefotosintetski mikroorganizmi koji u procesu *kemosinteze* obavljaju sintezu ugljikohidrata za svoje potrebe na račun energije dobivene cijepanjem ugljikovih lanaca organske tvari tla, iz vode i CO₂:



❖ Nitrifikacijske bakterije vrlo su osjetljive na vanjske uvjete pa taj dio procesa mineralizacije dušika često predstavlja "usko grlo" ciklusa dušika u tlu.

❖ Naime, za nitrifikaciju je potrebna dobra prozračenost tla, povoljna temperatura (optimalno 26.5-32°C, granice 4.5-51.5°C), povoljna vlažnost (optimalna je kod 50% popunjenosti pora vodom), pH 5.5-7.0 (kada je pH > 5.5 gotovo sav NH₄⁺ iona bit će oksidirana do NO₃⁻), prisustvo Ca i dobra opskrbljenost drugim hranivima te povoljan omjer C/N.



- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- **Stabilni humus ili organomineralni kompleksi proteina sporo se mineraliziraju, ali kod unošenja svježije organske tvari raste mobilizacija dušika i iz kemijski postojanih spojeva (*priming efekt*).**
 - **Sužavanje omjera C/N na 10 : 1 do 12 : 1 ne osigurava dovoljno energije za potrebe metabolizma mikroorganizama, pa je daljnja mineralizacija takve organske tvari praktično zaustavljena (humus).**

- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- **Unošenjem svježije organske tvari, širokog C/N omjera kao što je slama, koncentracija nitrata u tlu pada. Svu količinu nastalih nitrata koriste mikroorganizmi za svoje potrebe, a moguće je pri tom da amonijak iz prethodne amonifikacije, kao i već prisutan mineralni dušik, bude mikrobiološki vezan. Takva situacija naziva se *dušični manjak* kad dolazi do prolaznog nedostatka dušika u ishrani bilja.**
 - **Stoga je potrebno izbjegavati zaoravanje svježije organske tvari neposredno prije sjetve ili pak zajedno s njom unijeti u tlo potrebnu količinu dušika za mineralizaciju da se omjer C/N dovede na potrebnu razinu.**
 - **Potrebna količina dušika za mineralizaciju žetvenih ostataka različita je za pojedine usjeve.**

- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- **100 kg slame sadrži približno 40 kg ugljika i 0.45 kg dušika.**
 - **U procesu mineralizacije iz slame mikroorganizmi asimiliraju oko 35% C pri čemu je njihova potreba za N oko 12% na usvojenu količinu ugljika.**
 - **Proračunom dušičnog faktora, kojim se množi količina žetvenih ostataka, procjenjuje se potrebna količina dušika za mineralizaciju:**
- | | |
|--------------------------|--|
| 40 kg C × 0.35 | = 14 kg C/100 kg slame (uzmu mikroorganizmi) |
| (14 kg C × 12% N) / 100 | = 1.68 kg N (za 14 kg C potreba mikroorganizama) |
| 1.68 - 0.45 (u kg N) | = 1.23 (dušični faktor u %) |
| 5 t/ha slame × 10 × 1.23 | = 61.5 kg N/ha (N za mineralizaciju) |

- V. Vukadinović: Ishrana bilja
- **Mineralizirajuća sposobnost tla može se utvrditi laboratorijskim metodama inkubacije. U takvim određivanjima imitiraju se prirodni uvjeti, odnosno obavlja se inkubacija uzoraka tla bez prisustva O₂ za utvrđivanje intenziteta amonifikacije i u prisustvu O₂ za određivanje intenziteta nitrifikacije.**
 - **U različitim tlima Baranje utvrđena je prosječna mineralizacija od 44.8 ppm N ili oko 130 kg N/ha pri čemu, neočekivano, humusa nije bio u čvrstoj korelaciji s intenzitetom mineralizacije. Stoga kvantifikacija mineralizacije dušika često ne daje dobre rezultate u procjeni sposobnosti tla kao izvora mineralnog dušika upravo zbog velikog broja čimbenika koji utječu na rad mikroorganizama.**

Intenzitet mineralizacije može se i kvantitativno (empirijski) procijeniti, npr.:

$$N_t = N_0 \{1 - \exp(-k_{Nt})\}$$

N_t = iznos mineralizacije N-NH₄ i N-NO₃ u vremenu t (tjedni),
 N_0 = nemineralizirani dio dušika (g/g tla),
 k_N = temperaturno zavisna konstanta $3,08 \times 10^{-4} (Q_{10}^{0,1T})$,
 odnosno $Q=2$ pa je $k_N = 3,08 \times 10^{-4} (2^{0,1T})$.

Utjecaj potencijala vlažnosti tla (Ψ) na konst. k_N može se opisati sljedećim izrazom:

$$\frac{k_N}{k_{N(-10)}} = 1.4 - \frac{\ln(-\Psi)}{5.7}$$

$k_{N(-10)}$ potencijal vlažnosti kod poljskog kapaciteta tla za vodu (-10 J/kg) × (J/kg = 10³ Pa = 10⁻² bar).

- Prema navedenim formulama može se očekivati ≈50 kg N/ha/mjesec na tlima koja sadrže 0.2% ukupnog dušika, kod temp. tla od 15°C (ljetni mjeseci), punog poljskog vodnog kapaciteta i težinu oraničnog sloja od 3×10⁶ kg/ha.
- Međutim, kad se uzme prosječna tenzija vlažnosti 7.5 bara i sadržaj $N_{\text{ukupni}} = 0.1\%$, mineralizacija pada na manje od 6 kg N/ha/mjesec kod temperature tla od 15°C.
- Za cijelu godinu, kod tenzije vlažnosti od 7.5 bara, $N_{\text{ukupni}} = 0.1\%$ i prosječne temperature tla od 10°C ukupna mineralizacija iznosila bi oko 52.5 kg N/ha/god., što se može smatrati približnom procjenom kapaciteta mineralizacije za šire područje Osijeka.

Gubici dušika iz tla

Mineralni dušik tla zbog brze transformacije do nitrata lako može biti podvrgnut ispiranju iz tla.

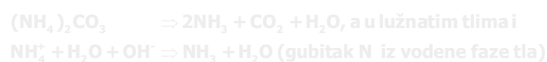
U uvjetima velike vlažnosti i descedentnog kretanja vode nitrati se premještaju zajedno s vodom (*mass flow*) i dospijevaju u podzemne tokove. Ostali načini gubitka dušika iz tla manje su značajni.

Dvogodišnja ispitivanja *Šestića i dr.* ispiranja nitrata u Osijeku pokazala su da se iz smeđeg eutričnog tla kod 662 mm/god. padalina ispere 29.4 kg N-NO₃/ha i 5.8 kg N-NH₄/ha, dok je istovremeno uz veću količinu padalina i na lakšim tlima ispiranje bilo preko 50 kg N/ha.

Mineralni N može se gubiti iz tla *volatizacijom* kao amonijak u plinovitom obliku. Ta pojava zapaža se već kod pH 6-7 i porastom lužnatosti i sušenjem tla sve je izraženija:



Nastali amonijevi karbonati nisu stabilni, lako se raspadaju, a plinoviti amonijak iz lužnatog tla prelazi u atmosferu:

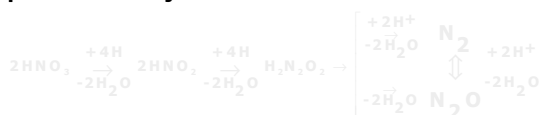


Veći gubici volatizacijom nastaju kod primjene anhidriranog amonijaka u nedovoljno vlažnom tlu čiji je pH >7, ili kod plitkog i nepravilnog unošenja (loše zatvaranje tla nakon prolaska aplikatora).

Uzrok negativne bilance dušika u tlu može biti i pojava *denitrifikacije*. To je kemijski ili mikrobiološki proces koji kod pH ≤5 uvjetuje redukciju nitrata do molekularnog dušika koji se u plinovitom obliku gubi iz tla.

Proces denitrifikacije može u uvjetima niskog pH, slabe prozračivosti tla, velike vlažnosti, odnosno, općenito u redukcijskim uvjetima biti vrlo brz, premda ima i suprotnih mišljenja.

Gubitak dušika u procesu denitrifikacije može se predstaviti na sljedeći način:



Mogući su gubici dušika kod niske pH reakcije tla procesima *kemodenitrifikacije* kad u *mikrobiološkoj denitrifikaciji* nastaje slobodna nitritna kiselina:



Nastali NO je plinovit i lako isparava, ali se pretpostavlja da u tlu ipak dolazi i do njegove brze oksidacije na sljedeći način:



Fiksacija $\text{NH}_4\text{-N}$ u tlu

- Nitratni dušik, kao anion, pokazuje sklonost *negativne sorpcije* i ne fiksira se (izuzev mikrobiološki).
- Amonijak, kao kation, veže se na adsorpcijski kompleks tla; čak je moguća i njegova fiksacija.
- Kapacitet nekog tla za fiksaciju amonijaka određen je prisustvom fiksirajućih glinenih minerala.
- Značajan utjecaj na intenzitet fiksacije pokazuju prisutni kationi u vodenoj fazi tla.
- Fiksaciju povećavaju Ca^{2+} , Mg^{2+} i Na^+ , a smanjuju H^+ , K^+ , Ba^{2+} i Li^+ .
- Proces fiksacije amonijakog iona analogan je fiksaciji kalija u tlu pa veće prisustvo ilita i vermikulita utječe na intenzitet te pojave.

Dušik u biljkama

Suha tvar biljaka sadrži u prosjeku između 1% i 5% dušika što je u odnosu na ugljik vrlo mala količina.

Biljke su veliki "sakupljači" dušika, ugrađuju ga tijekom čitave vegetacije u organsku tvar obavljajući transformaciju mineralne u organsku formu pa je raspoloživost dušika zbog velike potrebe i nedovoljne mobilizacije često ograničavajući činitelj rasta i prinosa.

Dušik se usvaja kao NO_3^- i NH_4^+ ion, u povoljnim uvjetima vjerojatno više od 90% u nitratnom obliku (kad je proces nitrifikacije u tlu moguć).

Usvajanje oba oblika je aktivan metabolički proces nasuprot elektrokemijskom gradijentu.

Oko 70% korijenom usvojenih svih kationa i aniona je u formi NO_3^- ili NH_4^+ iona i ta činjenica najjače utječe na omjer usvajanja drugih kationa/aniona svih drugih elemenata ishrane.

Kod zaustavljanja disanja korijena inhibitorima ili snižavanjem temperature, intenzitet usvajanja dušika se smanjuje. Ipak, usvajanje dušika, posebice nitrata, vrlo je brz proces. Krivulja usvajanja pokazuje tipičan vremenski prirast po eksponencijalnoj zavisnosti do određene veličine, iza čega slijedi linearno usvajanje, što je karakteristično za indukciju transportnog sustava.

Kod viših pH vrijednosti ($\text{pH} \geq 7$) biljke preferiraju amonijski oblik dušika, a kod nižih ($\text{pH} < 6$) nitratni.

U prisustvu oba oblika mineralnog dušika u tlu, ioni NH_4^+ kompetitivno inhibiraju usvajanje nitrata.

Kod nekih biljaka jak je antagonizam između NO_3^- i Cl^- iona. Nasuprot usvajanju nitrata, vjeruje se da je njihovo izlučivanje korijenom pasivan proces.

Zavisno od oblika dušika koji se usvaja dolazi do određenih promjena u metabolizmu. Usvajanjem nitrata proces ugradnje dušika u organsku tvar ne mora odmah započeti jer $\text{NO}_3\text{-N}$ se kod dobre N-opskrbe akumulira u pojedinim organima, posebice lišću i peteljka, a biljka ga koristi nakon redukcije za proces proteosinteze.

Redukcija nitrata kod biljaka narušava ionsku bilancu, javlja se višak kationa, naročito K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+} te je zbog kompenzacije viška lužnatosti stimulirana sinteza organskih kiselina, posebice oksaloctene i jabučne.

Suprotno tome, kod usvajanja amonijaka, koji je u većim koncentracijama otrovan za biljke, dolazi do njegove brze ugradnje, što izaziva manjak kationa i višak aniona, najčešće Cl^- uz razgradnju ugljikohidrata do organskih kiselina (u *Krebsovom ciklusu*).

Usvajanje većih količina amonijskog oblika dušika može biti štetno, naročito kod mladih biljaka, a kod starijih to izaziva znatan utrošak ugljikohidrata zbog potrebne tvorbe ketokiselina koje vežu suvišak amonijaka.

Mogućnost akumulacije nitrata je povoljna okolnost jer se redukcija i ugradnja obavljaju kad je to fiziološki potrebno.

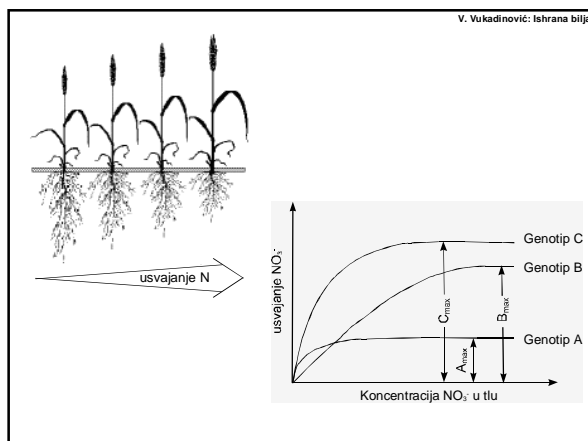
Ipak, preveliko nagomilavanje nitrata nije povoljno za biljke jer njegovom naknadnom i brzom redukcijom dolazi do intenziviranja procesa disanja, razgradnje rezervnih ugljikohidrata i pojačane proteosinteze. Posljedice su produženje vegetacije, formiranje prevelike količine lišća na štetu priroda, povećan sadržaj topljivih oblika dušika (aminokiselina i amida) što kod nekih biljnih vrsta (npr. šećerna repa) štetno utječe na kakvoću.

Nedostatak raspoloživog dušika ima ozbiljne posljedice:

Biljke formiraju manju asimilacijsku površinu, lišće je kraće, uže i blijedo zeleno zbog manjeg sadržaja klorofila što uzrokuje niži intenzitet fotosinteze, biljke brže stare i konačno prinos je smanjen.

Žita slabo busaju, imaju sitan klas i šturo zrno.

Šećerna repa ima smanjenu asimilacijsku površinu, korijen je mali uz veću koncentraciju saharoze, ali je ukupna količina šećera manja jer je prinos korijena niži.



Suvišak dušika rezultira intenzivnim porastom vegetacijskih organa uz modrozelenu boju lišća. Pojava "luksuzne" ishrane dušikom ima više negativnih posljedica. Strna žita jače busaju, stvaraju preveliku masu lišća pa, uslijed slabog mehaničkog tkiva i velike mase, lako poliježu uz kasnije sazrijevanje.

Općenito, biljke postaju neotporne na bolesti i sušu dok su npr. šećerna repa i pivarski ječam osjetno slabije kakvoće.

Primjenom većih doza dušika od potrebnih, pored pada prinosa, na lakim i propusnim tlima dolazi do ispiranja nitrata i onečišćavanja podzemnih voda.