

## Níturlosun í jarðvegi

FRÍÐRIK PÁLMASSON  
HALLDÓR ÞORGEIRSSON  
HÓLMFRÍÐUR SIGURÐARDÓTTIR  
HÓLMGEIR BJÖRNSSON  
og  
ÓLAFUR ARNALDS

*Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Keldnaholti, 112 Reykjavík*

### YFIRLIT

Nítur er það plöntunæringarefni sem oftast og í mestum mæli er takmarkandi fyrir vöxt og útbreiðslu plantna í landgræðslu og uppskeru nytjajurta. Níturlosun úr lífrænum efnum í jarðvegi er ein af þremur helstu uppsprettum níturæringar í jarðvegi, auk níturnáms gerla í jarðvegi og rótarhnýðum og áburðargjafar. Þess vegna er mikilsvært að meta níturlosun í jarðvegi ekki síður en níturnám úr lofti eða áhrif áburðargjafar á gróður.

Níturlosun var mæld í jarðvegi frá þremur stöðum; í móatúni í Gunnarsholti á Rangárvöllum, í sandjarðvegi á Geitasandi á Rangárvöllum og austan Víkur í Mýrdal. Mælingarnar voru gerðar við 20°C og raka í jarðvegi sem svarar til 60% af vatnsrýmd jarðvegsins miðað við rúmmál. Jarðvegssýnin, sem níturlosunin var mæld í, voru tekin í lok maí 1990 rétt við tilraunir með mismunandi áburðargjöf á belgjurtir og grastegundir.

Nýtanlegur níturforði í jarðvegi úr gömlu móatúni í Gunnarsholti með 0,21% heildar-N reyndist vera 188 kg/ha N í efstu 30 sm jarðvegsins miðað við hámarksgildi í einþættu veldisvísislíkani (exponential model). Tvíþætt veldisvísislíkan féll betur að mælingum á 74 daga tímabili en einþætt líkani. Hins vegar reyndist ekki unnt að meta nýtanlegan níturforða svo vel væri með tvíþættu líkani.

Eftir 74 daga var mæld losun í móajarðveginum orðin 184 kg/ha N. Frá 14. til 56. dags var losunin 1,7 kg/ha á dag.

Níturlosun í sandjarðvegi á Geitasandi með 0,013% heildar-N varð 14 kg/ha N á 74 dögum í efstu 30 sm af jarðvegi. Níturlosun í sandinum undir Víkurhömrum með 0,007% heildar-N varð 13 kg/ha N í efstu 30 sm jarðvegsins á 74 dögum.

Níturlosun í sandjarðvegi á Geitasandi og í Vík er vel lýst sem ferli með jöfnum losunarhraða og þeim sama á báðum stöðunum, 0,18 kg/ha N á dag í 0–30 sm dýpt.

Áhrifum hita og raka á níturlosun í móajarðvegi í Norðurtúni er lýst miðað við veldisvísislíkan af níturlosun og tvöföldun losunarhraða við hitaaukningu um 10°C. Líkanið gerir ráð fyrir því að losunin standi í réttu hlutfalli við raka í jarðvegi (% af vatnsrýmd). Í sandjarðveginum er áhrifum hita og raka einnig lýst miðað við tvöföldun losunarhraða við hitaaukningu um 10°C og sem línulegu falli af raka í jarðvegi. Þá er gert ráð fyrir ferli með jöfnum losunarhraða á mælingatímanum í sandjarðveginum, en ekki minnkandi hraða eins og veldisvísislíkanið gerir ráð fyrir.

Í heimildum um níturlosun kemur fram að níturlosunarhraði í þurrkuðum jarðvegssýnum er svipaður og í öröskuðum jarðvegi á tímabili frá um 14 dögum frá byrjun til loka 5. viku mælingatímans og jafnvel enn lengur. Jafnframt hefur losunarhraðinn lítið breyst á þessu tímabili. Fyrstu 14 daga losunartímans hefur losun úr þurrkuðum jarðvegi að jafnaði verið þriðjungur meiri en úr óþurrkuðum. Það er því unnt að nota mælingar í þurrkuðum sýnum til þess að meta níturlosun í öröskuðum jarðvegi.

## SUMMARY

*Nitrogen mineralization in soil*

Litterature review indicates an initial rapid and decreasing rate of mineralization in dried soil samples. The initial mineralization flush in previously dried samples has been related to release of organic substances from microaggregates of clay and organic matter and autolysis of microbes, followed by increased microbe activity. After the initial flush, the mineralization proceeds for some time at a constant rate, which is inferred to be the same as in fresh samples. It is understood that by prolonged periods of mineralization the linear release of nitrogen will gradually be followed by decreasing rates of mineralization. The period of linear mineralization may extend from approximately day 14 to 35 or even longer after onset of mineralization. The first two weeks of the mineralization period the mineralization in dried samples has in three quoted references been approximately one third (average 35%, range 28–42%) higher than in fresh samples.

Accumulative, aerobic nitrogen mineralization was measured in three Icelandic soils, one typical Andosol, one Arenosol and one Leptosol according to the FAO legend, at 20°C and 60% (vol/vol) of water holding capacity. The two latter soil types have only 1–3% vegetation cover and both show andic soil properties to some extent. All soils types classify as Andisol according to the U.S. Soil Taxonomy.

The nitrogen mineralization in the plough layer of a grassland soil with 0.21% total N in air dried soil was fitted to a single factor exponential model and a double exponential model. Potential nitrogen mineralization was 188 kg/ha N, based on the single exponential model. The potential mineralization estimated by the double exponential model was not statistically reliable. On the other hand the double exponential model fitted better to the measured values in a period of 74 days.

Rate coefficients in the the grassland soil were 0.038 day<sup>-1</sup> in the single pool model, and in the double pool model 0.158 day<sup>-1</sup> for the decomposable fraction and 0.0072 day<sup>-1</sup> for the more resistant fraction. The linear rate of mineralization in day 14 to 56 was 1.7 kg/ha N per day.

The time course of the mineralization in an eroded sandy soil with 0.013% total N and in an alluvial sand with 0.007% total N is described as linear for the period of 74 days and the rate of mineralization was 0.18 kg/ha N, the same for both soils.

A combined equation to describe the effect of temperature and humidity on nitrogen mineralization is presented for the three soil sampling sites. The equations are based on exponential or linear equations for mineralization and the empirical equation proposed by Arrhenius, describing the effect of temperature on the rate constant in a zero or first order chemical reaction. The nitrogen mineralization in the range from the wilting point to optimum water content in soil, is supposed to be proportional to soil water content relative to field capacity.

Key words: andic soil, exponential model, nitrogen mineralization.

YFIRLIT UM RANNSÓKNIR Á NÍTUR-  
LOSUN*Inngangur*

Flest þau líkön sem hér eru til umræðu lýsa níturlosun sem falli af tíma og eru byggð á mælingum við staðlaðar aðstæður í rannsóknastofu. Níturlosun er mæld með tilteknu millibili vikum eða mánuðum saman í sama jarðvegi við ákveðið hitastig og raka. Aðrar leiðir eru mælingar á níturlosun á staðnum, reikningar byggðir á níturjafnvægi í jarðvegi eða níturlosun reiknuð út frá fæðukeðjum lífvera í jarðvegi. Síðastnefnda aðferðin (De Ruiter o.fl., 1993) byggist á mælingum á lífmassa

örvera, einfrumunga, hnúðorma, liðdýra og liðorma í jarðvegi. Fyrir hvern flokk lífvera er reiknað með ákveðnum náttúrulegum dánarstuðlum, viðhaldi lífmassa og tiltekinni nýtingu kolefnis í fæðu lífveranna við meltingu og vefjamyndun og ákveðnu C/N hlutfalli í hverjum flokki lífvera. Með því móti má reikna níturlosun í jarðvegi.

Beck (1983) telur að nítur losni alltaf úr örverum í jarðvegi, nema þegar um er að ræða mikið magn af lífrænum efnum sem auðveldlega brotna niður. Uppsöfnun ólíf-

ræns N í ýmis konar akurjarðvegi eftir 2 mánuði við 20°C svaraði þannig nákvæmlega til minnkandi lífmassa af örverum.

Rannsóknir De Ruiters o.fl. (1993) gáfu einnig til kynna að meginhluti níturlosunar væri úr örverum og einfrumungum. Að meðaltali reyndist losun úr örverum 53% af heildarlosun (44–68%) og 40% (14–50%) úr einfrumungum. Rannsóknin náði til graslendis í Colorado, hveitiakra í sáðskiptum í Hollandi með mismunandi ræktunaraðferðum, hefðbundnum og svonefndri samþættri ræktun (integrated farming), sáðskiptaræktunar með og án jarðvinnslu í Georgíu í Bandaríkjunum, og til byggæktunar í Kjettinge við Ultuna í Svíþjóð með og án níturáburðar.

De Ruiter og meðhöfundar (1993) sýndu fram á að líkan af fæðukeðju getur gefið svipaðar niðurstöður um níturlosun og fást með mælingum á staðnum, reikningum byggðum á níturjafnvægi í jarðvegi eða líkani fyrir niðurbrot lífrænna efna. Ennfremur var mjög mismunandi eftir stöðum og ræktun hve mikinn þátt mismunandi flokkar lífvera í jarðvegi áttu í níturlosun.

#### Níturlosun úr mismunandi flokkum lífræns efnis í jarðvegi

Í jarðvegi losnar nítur úr lífrænum eignum af margvíslegri gerð og uppruna. Níturforðanum má skipta í auðleystan og torleystan hluta. Í líkönum af níturferlum er forðanum skipt í nokkra hluta misjafnlega leysanlega (Nuske og Richter, 1981; Richter o.fl., 1982; Nielsen, 1989; Beck, 1983; Johnsson, 1990; Hansen o.fl., 1991).

Á 1. mynd er níturforðanum skipt í fimm hluta eins og Jenkinson og Rayner (1977) gerðu.

Jenkinson og Rayner (1977) taka fram að þrír vel afmarkaðir flokkar lífræns efnis séu í raun til staðar í jarðvegi:

- C1. Auðleyst lífræn efni (C=compartment).
- C2. Torleystar plöntuleifar, trénaðar með ligníni.
- C3. Lífmassi (C3b, biomass) að meðtöldum

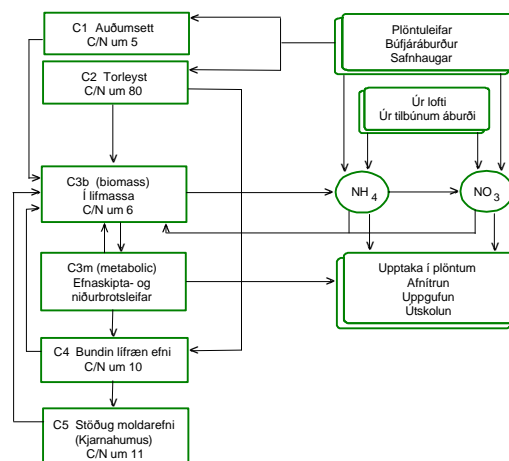
úrgangi úr niðurbroti og efnaskiptum (C3m, metabolic organic matter).

Bundin lífræn efni (physically stabilized organic matter, C4) og stöðug moldarefni (chemically stabilized organic matter, C5) eru ekki vel afmarkaðir efnaflokkar. Um er að ræða fjölbreytileg efni, misjafnlega fast bundin og misjafnlega stöðug (1. tafla).

#### Líkönum af níturlosun

Lífverur í jarðvegi binda nítur jafnframt því sem það losnar, en í mismiklum mæli. Mæld níturlosun er mismunur heildarlosunar og þess sem binst í jarðvegi eða tapast sem lofttegundir, ef um slíkt tap er að ræða. Losunarferlið eins og það mælist mótast því einnig af því hve mikið binst og tapast í jarðvegi, hvenær á mælingatímanum og með hvaða hraða. Tap vegna útskolunar er undanskilið þar sem það er útilokað við mælingar á rannsóknastofu og í flestum tilvikum einnig við mælingar á staðnum.

Stanford og Smith (1972) lýstu níturlosun (ammóníum og nítrat) í jarðvegi sem efnahvarfi af „fyrstu gráðu“. Efnahvarf af fyrstu gráðu fylgir veldisvísislíkingu (exponential equation):



1. mynd. Níturferli og forði (C1–C5) í jarðvegi og áætlað C/N hlutfall (Nielsen, 1989).

Figure 1. A model of nitrogen cycling in soil and a C:N ratio in the compartments (Nielsen, 1989).

**1. tafla.** Umsetningartími lífrænna efna í jarðvegi samkvæmt líkani fyrir akurjarðveg (Jenkinson og Rayner, 1977).

*Table 1. Turnover time of organic matter in Rothamsted soil according Jenkinson and Rayner (1977).*

Flokkur lífrænna efna í jarðvegi <sup>a)</sup> — <i>Compartment of organic matter in soil<sup>a)</sup></i>				
C1	C2	C3b og C3m	C4	C5
DPM	RPM	BIO	POM	COM
Umsetningartími, ár (1/k, k = hraðafasti fyrir niðurbrot) <i>Turnover time in years (1/k, k = rate constant in exponential function for a first order chemical reaction</i>				
0,24	3,33	2,44	72	2857

a) C1–C5 vísar til flokkunar í 1. mynd—*C1–C5 refers to Figure 1.*

Skammstafanirnar eru fyrir ensku heiti flokkanna samkvæmt Jenkinson og Rayner (1977):

DPM = Auðumsetjanlegar plöntuleifar—*Decomposable plant material.*

RPM = Torleystar plöntuleifar—*Resistant plant material.*

BIO = Lífmassi í jarðvegi—*Soil biomass.*

POM = Bundið lífrænt efni—*Physically stabilized organic matter.*

COM = Torleyst moldarefni—*Chemically stabilized organic matter.*

$$dN/dt = -k \times N \quad (1)$$

eða umritað:

$$N = N_0 \times (1 - e^{-kt})$$

$$\ln(N_0 - N) = \ln(N_0) - kt$$

þar sem  $N$  er nítur sem hefur losnað úr lífrænum efnum á tímabilinu  $t$  (dagar eða vikur).  $N_0$  táknar upphaflegt magn hvarfefnis eða allan nýtanlega níturforða í lífrænum efnum í jarðvegi í upphafi níturlosunarmælinga. Það jafngildir níturlosun eftir ótakmarkaðan tíma eða mestu mögulegri losun við tiltekinn raka og hitastig.

Eins og vikið verður að hér á eftir er það háð aðstæðum hvort veldisvísislíkön, línu- eða önnur, lýsa best losun níturs í jarðvegi. Það ræðst bæði af meðferð jarðvegs-sýna sem notuð eru við mælingar og því hve langur losunartíminn er.

Veldisvísislíkönin geta verið einþætt, tvíþætt eða fleirþætt:

$$N_t = \sum_i [N_i \times (1 - e^{-k_i \times t})] \quad (2)$$

þar sem  $N_t$  er losun níturs (kg/ha í tiltekinni dýpt) eftir tímann  $t$ ,  $N_i$  er níturmagn í forða  $i$  og  $k_i$  er hraðastuðull fyrir losun úr forða  $i$ .

Tabatabai og Al-Khafaji (1980) telja að losun níturs og brennisteins úr lífrænum efnum í jarðvegi við ákveðið hitastig og raka (incubation) fylgi einhverjum af fjórum ferlum eftir aðstæðum:

1. Losun sem fall af tíma fylgir tveimur veldisvísiferlum.
2. Losunarhraði minnkar með tímanum.
3. Sami losunarhraði allan tímann.
4. Hröð losun með minnkandi hraða í nokkra daga, þangað til við tekur losun með jöfnum hraða.

Þessum fjórum mismunandi ferlum níturlosunar verður nú lýst og greint frá því við hvaða aðstæður hver þeirra á við:

*Ferli 1.* Tveir veldisvísiferlar eiga við þegar  $N$  binst það hratt í jarðvegi að mæld losun hægir á sér og því sem næst stöðvast, en síðar nær losunin yfirhöndinni á ný. Eykst þá losunarhraðinn að nýju. Losunin hægir svo aftur á sér uns hún stöðvast alveg og hámarkslosun er náð. Sem dæmi má nefna tilraun Nordmeyers og Richters (1985). Þeir mældu bindingu (immobilization) níturs í jarðvegi sem hálmi var blandað í. Níturbinding var ráðandi fyrstu 30 dagana, en það sem bundið var í fyrstu losnaði svo aftur. Þar sem 90 hkg/ha af hálmi var blandað í jarðveginn var níturbindingin um 60 kg/ha fyrstu 30 dagana. Í þessu tilviki var losunin orðin jafnmikil og í jarðvegi án hálms eftir um það bil 100 daga og nokkru meiri eftir 150 daga.

*Ferli 2.* Losunarhraði minnkar með tímanum.

Algengast hefur verið að lýsa minnkandi losunarhraða sem veldisvísisfalli (exponential) eins og notað er fyrir svonefnt fyrstu gráðu efnahvarf (Stanford og Smith, 1972; Mary og Remy, 1979; Nuske og Richter, 1981; Richter o.fl., 1982).

Stanford og Smith (1972) notuðu einþætt veldisvísislíkan, Nuske og Richter (1981) báru saman einþætt og tvíþætt líkan, Richter o.fl. (1982) bættu þriðja flokki lífrænna efna við. Flokkarnir eru lífmassi örvera (autolyzing microbial biomass), plöntuleifar sem brotna auðveldlega niður við rotnun (decomposable plant residues) og tornýtt lífræn efni (resistant organic material).

Deans o.fl. (1986) báru saman einþætt og tvíþætt veldisvísislíkan fyrir níturlosun í jarðvegi, samkvæmt mælingum Stanfords og Smiths (1972), Smiths o.fl. (1980 og óbirtar niðurstöður), Deans o.fl. (1983 og óbirtar niðurstöður), El-Harris o.fl. (1983) og eftir mælingum Griffins og Laines (1983). Tvíþætta líkanið féll betur að mælingum. Níturfordinn ( $N_0$ ) var vanmetinn í einþættu líkani og hraðafastinn ( $k$ ) ofmetinn.

Richter o.fl. (1982) benda á að flokkun lífræns efnis í jarðvegi í tvo (í ferskum, óröskudum jarðvegi) eða þrjá (þegar jarðvegur er þurrkaður) flokka eftir niðurbrotshraða sé tvímælalaust einföldun. Stöðugri flokkar lífrænna efna, sem brotna hægar niður en þessir þrír, séu þá ekki taldir með. Samt sem áður sé réttlæt看legt miðað við gefnar forsendur að styðjast við 2–3 flokka.

Þetta er í samræmi við ummæli Jenkinson og Rayners (1977), en þeir telja að greina megi þrjá afmarkaða flokka lífrænna efna í jarðvegi, sá fjórði sé í raun samfelld röð efna allt frá bundnum efnum (physically stabilized organic matter), sem geta óbundin verið auðnýtanleg, til tornýtanlegra moldarefna (chemically stabilized organic matter).

Jenkinson og Rayner (1977) notuðu líkan með fimm flokkum lífrænna efna til þess að lýsa umsetningu lífrænna efna í jarðvegi, eins og fram kemur á 1. mynd. Einnig gera þeir ráð fyrir að allir flokkar lífrænna efna brotni

niður eða ummyndist í sömu afurðir, þ.e. koltvísýring, lífmassa í jarðvegi og stöðug lífræn efni (moldarefni bundin og óbundin). Hvort tveggja, flokkun lífræns efnis í einungis fimm flokka og að allir flokkar lífrænna efna í jarðvegi breytist í sömu afurðir, í sömu hlutföllum, telja Jenkinson og Rayner (1977) ólíklegt, en þarflaust sé að nota flóknara líkan en fimm þátta meðan fyrirbyggjandi talnagögn falla að líkaninu.

Líkan þeirra Jenkinsons og Rayners (1977) byggir á því að að hver flokkur lífrænna efna í jarðvegi hvarfist sem ein tegund hvarfefnis með minnkandi hraða með tímanum samkvæmt veldisvísisfalli.

Sierra (1990) bendir einnig á að einþætt og tvíþætt líkön gefi aðeins lauslegt mat á níturlosun, ekki sé um að ræða forða sem sé hægt að skipta í afmarkaða flokka. Sierra (1990) sýndi fram á að hraðafastinn  $k$  væri í raun breytilegur stuðull, en ekki fasti, og færi minnkandi eftir því sem losunartíminn lengist. Því sé ekki um að ræða afmarkaða forðaflokka. Frá hagnýtu sjónarmiði fari fjöldi flokka sem níturforðanum er skipt í við gerð líkana eftir tilganginum með líkaninu.

*Ferli 3.* Sami losunarhraði allan tímann, Tabatabai og Al-Khafaji (1980), Beck (1983), Addiscott (1983), Nordmeyer og Richter (1985). Dæmi um stöðugan losunarhraða eru úr mælingum á ferskum jarðvegssýnum, þ.e. sýnum sem ekki hafa verið þurrkuð fyrir mælingar. Í rannsóknum Tabatabais og Al-Khafajis (1980) reyndist losun níturs og brennisteins línuleg í 26 vikur. Í mælingum Becks (1983) var níturlosun línuleg í ferskum sýnum. Í þurrkuðum sýnum var losunarhraðinn minnkandi fyrstu þrjá dagana en línulegur úr því.

*Ferli 4.* Hröð losun í nokkra daga, þá minnkandi hraði uns við tekur losun með jöfnum hraða, Beck (1983) í þurrkuðum sýnum og Stadelmann o.fl. (1983). Líkan Stadelmanns o.fl. gerir ráð fyrir að til lengri tíma litið taki hægfara losun með minnkandi losunarhraða við af línulegri losun. Hins vegar sé

nægilegt að gera ráð fyrir tímabili með hraðfara losun og fyrsta hluta tímabils með línulegri losun þegar losun á einum vaxtartíma er metin.

Bonde og Rosswall (1987) mældu níturlosun í mismunandi ræktunarjarðvegi, byggæktun án níturáburðar, byggakri sem fékk 120 kg/ha N, hávingulstúni (*Festuca pratensis*), þar sem borið var á 120+80 kg/ha af N og í lúsernuræktun án níturáburðar. Þeir komust að þeirri niðurstöðu að tvíþætt líkan með minnkandi losunarhraða í byrjun í fjórar vikur og óbreyttum losunarhraða eftir það eins lengi og mælingar stóðu, eða í 13 vikur, félli vel að niðurstöðunum og þeim væri best lýst sem sértilviki af tvíþættu veldisvísislíkani, þ.e. með línulegum þætti í líkingunni:

$$Nm = N_A \times [1 - \exp(-h \times t)] + k \times N_R \times t \quad (3)$$

þar sem Nm er magn níturs sem hefur losnað við tímann t,  $N_A$  og  $N_R$  er það magn af lífrænu N sem upphaflega er til staðar í auðnýttum (A=available) og tornýttari (R=resistant) hluta níturfordans í jarðvegi og h og k eru hraðastuðlar fyrir auðnýttan og tornýttan hluta fordans.

Þeim Bonde og Rosswall (1987) og Stadelmann o.fl. (1983) ber saman um það að greina megi minnkandi losunarhraða fyrstu vikur mælingartímans og jafnan losunarhraða eða línulega losun eftir það, eins lengi og mælingarnar stóðu, í 5 vikur í rannsóknunum Stadelmanns o.fl. (1983) og í 13 vikur í rannsóknunum þeirra Bonde og Rosswall (1987).

Broadbent (1986) bar saman parabolulíkingu og veldisvísislíkingu fyrir níturlosun og notaði mælingar Stanfords og Smiths (1972), Jansons (1958), Broadbents og Nakashima (1968), Marions o.fl. (1981) og eigin mælingar. Parabolulíkingin ( $y = A \times x^B$ ) eða lógaríthmalíking ( $y = a + b \times \ln(x)$ ) reyndust nær alltaf betur en veldisvísislíking. Broadbent (1986) ályktaði að fyrstu gráðu líking, sem gerði ráð fyrir einum afmörkuðum, nýtanlegum níturforða í jarðvegi, svaraði ekki til raunveruleikans og hentaði verr en reynslulíkingar. Þessi ályktun þýðir þó ekki að líkön byggð á reynslu séu fremri líkönum byggðum á þekkt-

um lögmálum, heldur einungis að þau bjóði upp á hentugar lausnir þar til fullkomnari líkön hafa verið mótuð.

Marion og Black (1987) mældu níturlosun í sífrerajarðvegi við mismunandi hitastig (5–35°C). Losunin var línuleg eða með lítið eitt vaxandi hraða á 11 vikna tímabili við 5–22°C. Við 35°C fylgdi losunin hins vegar líkingu fyrir fyrstu gráðu hvarfhraða. Meðalárshiti þar sem jarðvegurinn var tekinn er –7 til –12°C og talið hæpið að jarðvegshiti fari yfir 10°C á sumrin. Losunarhraðinn reyndist mjög hægur við 5–25°C, en jókst skyndilega við hækkun hita úr 25 í 35°C. Fyrir þessa jarðvegsgerð reynist parabolulíking  $Nt = A \times t^B$  ( $Nt$  er níturlosun eftir tímann t) lýsa níturlosuninni best, en einfaldasta form þeirrar líkingar ( $B=1$ ) er bein lína.

#### Áhrif hita og raka í jarðvegi á níturlosun

Tengsl efnahvarfs við hitastig koma fram í því að hraðastuðullinn k er háður hitastigi eins og reynslulíking Arrheniusar sýnir (Daniels og Alberty, 1961, bls. 315):

$$k = s \times e^{-E_a/R \times T} \quad (4)$$

þar sem s er fasti nefndur tíðniþáttur (frequency factor) eða Arrheniusar-þáttur,  $E_a$  er virkjunarorka (apparent activation energy), R er gasfastinn og T er hitastig í Kelvingráðum.

Losun níturs er einnig háð jarðvegsraka (Stanford og Epstein, 1974; Rose og Dalal, 1988):

$$N = N_0 \times (1 - e^{-kt}) \times M \quad (5)$$

þar sem M er vatn í jarðvegi sem hlutfall af vatnsrýmd (field capacity) jarðvegs. Vatnsrýmd er vatn í jarðvegi eftir að laust vatn hefur runnið úr vatnsmettuðum jarðvegi, eða það vatn sem helst í jarðvegi við tiltekinn þrýsting (0,1 loftþyngdar (bar) þrýsting, pF=2).

Virkjunarorkan er reiknuð af eftirfarandi líkingu miðað við tvöföldun hvarfhraða milli 10 og 20°C (Daniels og Alberty, 1961, bls. 316):

$$\ln(k_2/k_1) = E_a \times (T_2 - T_1) / (R \times T_2 \times T_1) \quad (6)$$

Hér er gert ráð fyrir að losunarhraðinn



tvöfaldist fyrir hverjar 10°C sem hitinn hækkar á bilinu 5°–35° (Stanford o.fl., 1973). Ea er reiknað fyrir hitabreytingu frá 20° í 10°C og  $k_2/k_1=2$ .

Eftir að virkjunarorkan Ea hefur verið reiknuð er eftirfarandi form líkingar (4) fyrir samband hita og hraðafastans (k) notað til þess að reikna fastann s við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs:

$$\ln(k) = -Ea/(R \times T) + \ln(s) \quad (7)$$

Loks eru líkingar (1) og (7) sameinaðar:

$$N = N_0 \times M \times (1 - \exp(t \times \exp[-Ea/(R \times T) + \ln(s)])) \quad (8)$$

Þessi líking (8) er notuð sem líkan fyrir áhrif hita og raka á níturlosun eftir að níturlosun hefur verið mæld við ákveðið hitastig og raka.

Miðað við hækkun hitastigs úr 10° í 20°C og tvöföldun hvarfhraða við sömu hitabreytingu verður virkjunarorkan  $Ea=11\,433$  kal/mól ( $R=1,987$  kal/(mól×gráður).

### *Meðferð jarðvegssýna og níturlosun*

Þurrkun jarðvegs, jafnvel svonefnd loftþurrkun við stofuhita, hefur í för með sér breytingar á níturlosun, enda þótt níturlosunin sé mæld eftir vökvun að kjörraka eins og tíðkast við mælingar í rannsóknastofum. Breytingin felst í því að fyrstu dagana, eða jafnvel fyrstu tvær vikurnar, eftir vökvun er hraði níturlosunar meiri í sýnum sem hafa verið þurrkuð en hraðinn í sýnum af sama jarðvegi sem er tekinn ferskur eða geymdur rakur og kældur þar til að losunartilraun (incubation) kemur. Talið er að tímabundin aukning lífstarfsemi gerla verði þegar þurrkuðu sýnin eru vökvuð í byrjun níturlosunar (Nordmeyer og Richter, 1985). Einnig er talið að aukningu níturlosunar í sýnum sem hafa verið þurrkuð megi rekja til losunar níturs úr örverum sem drepast við þurrkunina (Richter o.fl., 1982; Nordmeyer og Richter, 1985). Við þurrkun og sigtun sýnanna losnar auk þess lífrænt efni úr smáögnum (microaggregates), gerðum úr leir og lífrænum efnum, sem verður aðgengilegt fyrir örverur (Cabrera og Kissel, 1988).

*Umframlosun í þurrkuðum sýnum.* Mary og Remy (1979) báru saman níturlosun í ferskum, óþurrkuðum jarðvegssýnum og sýnum sem höfðu verið þurrkuð áður en níturlosun var mæld. Umframlosun varð úr þurrkuðum sýnum og var að mestu lokið á fyrstu 7 dögnum. Höfundar álykta að fyrstu tvær vikurnar verði losun vegna þurrkunar og geymslu sýnanna og úr ferskum eða lítið breyttum lífrænum leifum, en eftir það taki við losun úr moldar-efnum (humus). Mary og Remy notuðu aðferð Stanfords og Smiths þar sem ólífrænt N er fjarlægð í byrjun og eftir hverja mælingu allt til loka losunartímans. Enginn munur er því í byrjun og umframlosunin fer vaxandi í fyrstu vikunni.

Umframlosunin var 52% af níturlosun í þurrkuðum sýnum eftir 7 daga í kalkjarðvegi og 41% í fínkornajarðvegi og eftir 14 daga var umframlosunin 41 og 29% í þessum jarðvegsgerðum í sömu röð.

Nordmeyer og Richter (1985) báru saman níturlosun í óþurrkuðum og óhreyfðum jarðvegssúlum við losun úr þurrkuðum og sigtuðum sýnum eftir aðferð Stanfords og Smiths. Losun úr óhreyfðum sýnum var yfirleitt því sem næst línuleg, sem svaraði 3 kg/ha á dag í 30 sm dýpt. Þeir Nordmeyer og Richter taka þó fram að jafnvel í „öröskuðum“ jarðvegssúlum hafi komið fyrir örari losun í byrjun („initial nitrogen mineralization flush“). Þessi byrjunarlosun er þó óveruleg í ferskum jarðvegssýnum. Til dæmis lýstu Addiscott (1983) og Tabatabai og Al-Khafaji (1980) níturlosun með jöfnum hraða (línulegt fall af tíma), en Nordmeyer og Richter (1985) taka fram að nákvæm greining á mælingum leiði í ljós að byrjunarhraðinn hafi í raun mælst nokkru meiri en hraðinn síðar á mælingatímanum („more or less distinct initial N-flush“). Augljóst er af niðurstöðum mælinga Mary og Remy (1979) á 2. mynd að níturlosunin hefur fylgt samskonar ferli í þurrkuðum og ferskum sýnum en losunin er nær því að fylgja beinni línu í ferskum sýnum.

Níturlosun í þurrkuðum sýnum umframlosun í ferskum hefur eftir 14 daga mælst um

**2. tafla.** Níturlosun úr þurrkuðum jarðvegssýnum umfram losun úr ferskum sýnum, sem % af losun úr þurrkuðum sýnum úr ræktunarjarðvegi eftir 14 daga losunartíma.

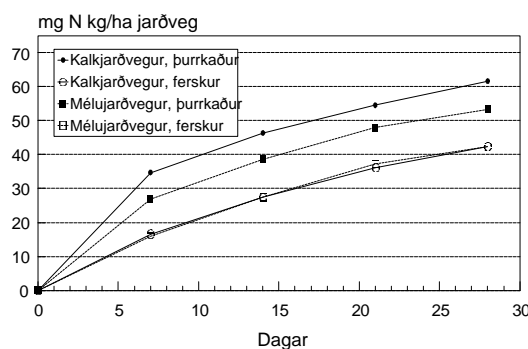
Table 2. Extra nitrogen mineralization in dried soil compared to mineralization in fresh soil samples, as % of nitrogen mineralized in dried soil after 14 days of mineralization.

Jarðvegur—Soil	%	Heimild—Reference
Kalkjarðvegur—Calcareous soil	41	Mary og Remy (1979)
Finkorna jarðvegur—Loamy soil	29	Mary og Remy (1979)
Áreyrar—Alluvial soil		
Sláttutún—Hayfield	28	Beck (1983)
Akurlendi—Cultivated land	38	Beck (1983)
Mélujarðvegur—Loess soil	42	Nordmeyer og Richter (1985)
Mélujarðvegur—Loess soil	34	Nordmeyer og Richter (1985)
Meðaltal—Average	35	

35% af heildarlosun í þurrkuðum sýnum að meðaltali og frá 28–42% eftir jarðvegsgerð (2. tafla, 3. mynd) (Mary og Remy, 1979; Beck, 1983; Nordmeyer og Richter, 1985).

*Samanburður á losunarhraða eftir tímabil umframlosunar.* Frá 3. til 23. dags var losunarhraði nánast sá sami í þurrkuðum og ferskum sýnum í mælingum Becks (1983), sem náðu yfir 23 daga.

Nítur losnaði einnig með nokkurn veginn sama hraða úr jarðvegi sem hafði verið þurrkaður og úr ferskum jarðvegi frá 7. til 28. dags, sem jafnframt var lokadagur í rannsóknunum Mary og Remy (1979). Í mélujarðvegi



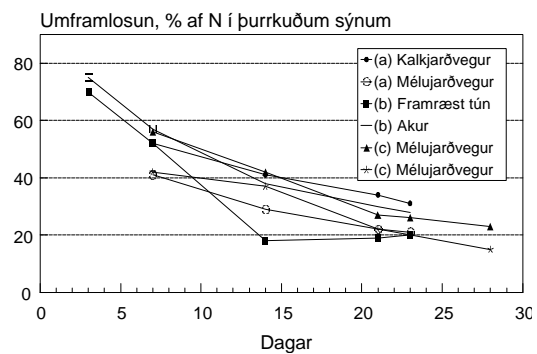
**2. mynd.** Samanburður á níturlosun úr þurrkuðum og ferskum jarðvegi (Mary og Remy, 1979).

Figure 3. Nitrogen mineralization in fresh (un-filled markers) and dried samples (filled markers) (Mary and Remy, 1979).

var losunarhraðinn 1,26 mg N á dag í kg af þurrkuðum jarðvegi en 1,28 kg í ferskum jarðvegi. Í kalkjarðvegi voru samsvarandi tölur 1,27 og 1,23 mg N í kg af jarðvegi á dag.

Hins vegar nefna Nordmeyer og Richter (1985) dæmi um hvoru tveggja, jafnan losunarhraða úr þurrkuðum og ferskum sýnum eða mismunandi, eftir byrjunartímabil með meiri losunarhraða úr þurrkuðum sýnum en úr ferskum.

Þannig var losunarhraðinn sá sami í



**3. mynd.** Losun níturs úr þurrkuðum jarðvegi umfram losun úr ferskum jarðvegi; (a) Mary og Remy, 1979, (b) Beck, 1983, (c) Nordmeyer og Richter, 1985.

Figure 2. Extra mineralization of nitrogen from dried soil samples as compared to fresh soil; (a) calcareous and loess soil (Mary and Remy, 1979), (b) hayfield and cultivated land (Beck, 1983), (c) loess soil a and b (Nordmeyer and Richter, 1985).



ferskum jarðvegi og þurrkuðum frá 20. degi losunartímans til loka mælingatímans, þ.e. til 90. dags í öðru af tveimur sýnum af löss-jarðvegi, sem Nordmeyer og Richter (1985) taka fram að séu dæmigerð fyrir þær mælingar sem þeir gerðu í löss- og sandjarðvegi.

Hægari losun en í ferskum jarðvegi mældist í einu þurrkuðu sýni eftir 10 daga umframlosun úr þurrkuðu sýnunum. Í lok mælinganna var losunarhraðinn orðinn sá sami úr báðum sýnum. Líklega skýringu telja Nordmeyer og Richter (1985) vera að nítur, sem áður hefur losnað, bindist í örverum á nýjan leik þegar þeim fjölgar í þurrkuðu sýnunum, eftir að þeim hefur verið haldið rökum í níturlosunarmælingunum í nokkurn tíma, eða 10 daga í þessu tilviki.

Tímabil umframlosunar vegna þurrkunar stóð í 3–20 daga í þeim rannsóknum sem vitnað er til að ofan. Stystur var umframlosunartíminn 3 dagar í mælingum Becks (1983) á níturlosun í vatnsmettuðum sýnum, 1–2 vikur í mælingum Mary og Remy (1979) við 65% af vatnsrýmd jarðvegs og 10–20 dagar í mælingum Nordmeyers og Richters (1985) við svipuð rakaskilyrði og í rannsóknum Mary og Remy (umframvatn fjarlæggt með 0,8 loftþyngda (bar) sogkrafti).

Cabrera og Kissel (1988) báru einnig saman níturlosun í þurrkuðum og sigtuðum sýnum við níturlosun í óþurrkuðum og óröskuðum sýnum. Tvíþætt veldisvísislíkan lýsti best níturlosun í þurrkuðum jarðvegi, en einþætt veldisvísislíkan hæfði til að lýsa níturlosun í óröskuðum jarðvegi. Þó að fyrstu 28 dögnum væri sleppt reyndist einþætt líkan fyrir þurrkuð sýni vera frábrugðið einþættu líkani fyrir óröskuð jarðvegssýni. Níturlosun var jafnan meiri í þurrkuðum og sigtuðum jarðvegi heldur en var í óröskuðum. Ofmatið fór vaxandi með hlutfallinu milli leirs og heildar-N í jarðvegi. Hlutfallið leir/heildar-N gefur til kynna að hve miklu leyti lífrænt efni er bundið leir í smáögnum (microaggregates) og óaðgengilegt fyrir örverur. Við þurrkun og sigtun sýnanna brotna þessar agnir niður og nítur losnar

úr lífrænum efnum sem voru bundin í óröskuðum jarðvegi.

*Mæling við mismunandi rakaskilyrði.* Aðferð Stanfords og Smiths eða afbrigði af henni virðast vera mest notuð við mælingar á níturlosun (Stanford og Smith, 1972; Mary og Remy, 1979; Nuske og Richter, 1981; Richter o.fl., 1982; Marion og Black, 1987; Bonde og Rosswall, 1987; Cabrera og Kissel, 1988; Sierra, 1990). Jarðvegurinn er vel loftaður í þessum aðferðum. Vatn er yfirleitt fjarlæggt með 80 kPa þrýstingi (0,8 bör) og er þá jarðvegur ekki vatnsmettaður (vatnsrýmd er mæld með því að fjarlægja vatn úr yfirmettuðum jarðvegi með 10 kPa, eða 0,1 bar þrýstingi. Sierra fór milliveg og notaði 0,33 bara þrýsting til þess að stilla vatnsmagnið, Mary og Remy héldu rakastigi við 60% af vatnsrýmd jarðvegs.

Níturlosun hefur einnig verið mæld við loftfirrð skilyrði með aðferð Keeneys og Bremners (1966), eða afbrigðum af þeirri aðferð. Stadelmann o.fl. (1983) beittu þeirri aðferð og taka fram að kosturinn sé sá að öll níturlosunin komi fram og mælist sem ammóníumjón.

Mælingarnar Becks (1983) voru gerðar í vatnsmettuðum jarðvegi. Þótt sýnin væru vatnsmettuð var jarðvegurinn samt vel loftaður, þar sem jarðvegslagið var þunnt, aðeins 5 mm. Skilyrði fyrir nítratmyndun voru því hagstæð. Sama reynsla var í forrannsókn á þeim jarðvegi sem fjallað er um í þessari grein. Í forrannsókninni voru notaðir 20 ml af vatni á móti 20 ml af jarðvegi og jarðvegurinn var því sem næst þakinn vatni. Þrátt fyrir það mældist mikil nítratmyndun.

*Geymsla loftþurrkaðara sýna.* Þess má geta hér að níturlosun við 30°C, hvort heldur var í rökum, vel loftuðum eða vatnsmettuðum, loftfirrðum jarðvegi mæld eftir 14 daga, fór vaxandi eftir því sem sýnin voru geymd lengur loftþurr fyrir mælingu á níturlosun (Keeney og Bremner, 1966). Höfundar mæla með því að þurrkuð sýni séu geymd í 8–24 vikur fyrir mælingu á níturlosun í vel loftuðum jarðvegi

(„aerobic methods“). Mælingar á níturlosun við loftfirrð skilyrði reyndust breytilegri en mælingar þar sem loftaði um jarðveginn.

## NÍTURLOSUN Í ÍSLENSKU JARÐVEGI

### *Efniviður og aðferðir*

Jarðvegssýni voru tekin á þremur stöðum á Suðurlandi til mælinga á níturlosun; í Gunnarsholti og á Geitasandi á Rangárvöllum og við Vík í Mýrdal.

**Gunnarsholt.** Í Gunnarsholti á Rangárvöllum var jarðvegssýnið tekið úr gömlu móatúni (Norðurtúni). Þessi túnspilda var endurunin 1989 og notuð eftir það fyrir tilraunir með ræktun beljurta. Sýnið er tekið úr skák sem notuð er undir tilraun með mismunandi áburð á hvítsmára og túnvingul. Sýnið var tekið eftir endurvinnsluna áður en sáð var í tilraunina.

Jarðvegssnið var tekið á athugunarreit við hliðina á tilrauninni. Í ólífræna hluta jarðvegsins er mikið af gjósku, glerkenndum sandi og silti. Meginlögin eru fjögur, auk millilags:

- A1 Lífrænt lag í 0–4 sm dýpt. Ólífræni hlutinn telst sendinn siltjarðvegur.
- A2 Yfirborðslag steinefna, vel blandað mold í 4–12 sm dýpt. Blandaður siltjarðvegur.
- AB Millilag í 12–17 sm dýpt. Sendinn siltjarðvegur (sandy loam) að öðru leyti eins og A1.
- Bw Lag með byggingu, kornastærðardreifingu og lit sem einkennist af uppsöfnun efnis við jarðvegsmýndun, 17–62 sm dýpt.
- C Laust upprunaefni jarðvegs, getur verið blandað útfellingum, 62–82+ sm dýpt.

Rákir af ljósri og dökkri ösku í sniðinu bera vott um áfok vegna uppblásturs fremur en öskufall úr eldgosum. Megnið af áfokinu hefur fallið á síðustu eitt hundrað árum. Öskulag merkt BW1-T í 17–18 sm dýpt er líklega úr Heklugosinu 1947.

Mest er af rótum í efstu 17 sm en talvert af fingerðum rótum nær niður í 62 sm dýpt og lítið er þar fyrir neðan.

**Geitasandur.** Á Geitasandi á Rangárvöllum er um 350 ha sandauðn sem notuð er til landgræðslutilrauna og fræræktar. Landið er

lítið gróið nema á reitum þar sem sáð hefur verið lúpínu- og grasfræi.

Jarðvegssýni var tekið þar sem tilraun er gerð með mismunandi áburðargjöf á alaskalúpínu og beringspönt. Tilraunin er á hallalítlu svæði upp á lágri hæð. Á yfirborði er mól, en móbella gægist upp úr hér og hvar. Greind hafa verið fjögur jarðvegslög:

- A Svart malarlag á yfirborði með 1–10 sm vólum.
- Bw Í 1–5 sm dýpt er dökkbrúnn, auðmulinn sandur með mjög veikri byggingu. Rætur mjög fáar.
- C Í 5–14 sm dýpt er svartur, moldarblandinn sandur með miðlungsstóri, plötulaga byggingu, mjög harður, engar rætur. Moldarefnin eru trúlega áfok.
- R Í 14 sm dýpt tekur móbellan við, samlímdur sandsteinn.

**Vík í Mýrdal.** Þriðja sýnið var tekið austan við Vík í Mýrdal á flötum sandi milli þjóðveggar og sjávarkambs. Sandurinn, sem hér verður nefndur Víkursandur, er lítið gróinn, mest ber á melhólum. Talið er að sandur hafi borist þarna yfir með Kötluhlaupinu 1918. Lausandur er á yfirborðinu og sandfok er algengt á svæðinu umhverfis sýnatökustaðinn.

Sýnið var tekið við tilraun með mismunandi áburðargjöf á alaskalúpínu og beringspönt eins og á Geitasandi. Í Víkursandi greinast þrjú jarðvegslög:

- A Efsta lagið, 0–6 sm, er mjög dökkgrátt.
- C1 Næsta lag er í 6–16 sm dýpt, svartur sandur, engin eða mjög veik samkornun, fíngerð bygging og auðmulin. Rætur eru mjög fáar.
- C2 Þriðja lagið er í 16–30 sm dýpt, svartur sandur, laus í sér, engin samkornun og engar rætur.

Jarðvegssniðum var lýst og sýni tekin úr sniðunum samkvæmt stöðluðum aðferðum (Soil Survey Division Staff, 1983).

Kolefni var mælt í jarðvegssýnum með mælingu á CO<sub>2</sub> eftir brennslu jarðvegssýna við mikinn hita (Leco CR12 kolefnismælir).

Vatnsinnihald við 0,3 og 15 bör var mælt í þrýstipottum í þurrkuðum sýnum (Klute, 1986).

Amóníum oxalat leysanlegt Al, Fe og Si var mælt samkvæmt Tamms-aðferð (Blakemore o.fl., 1987).

**3. tafla.** Nokkrir efna- og eðliseiginleikar jarðvegs úr sniði á sýnitökustöðum.

Table 3. Some chemical and physical properties in soil horizons on the sampling sites.

Lag Layer	Dýpt sm Dept cm	%C	%N	C/N	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>NaF</sub>	Vatn í jarðvegi <sup>a)</sup> við			Al <sub>ox</sub>	Si <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Allo- fan
								0,3 bör	15 bör	Water in soil <sup>a)</sup> at 0,3 bar 15 bar				
Norðurtún														
A1	0–4	3,0	0,27	10,9	5,0	4,3	10,0	31	13	1,9	1,4	3,2	8	
A2	4–12	3,0	0,23	13,1	4,8	4,5	10,1	31	13	2,0	1,5	3,3	9	
AB	12–17	3,0	0,23	12,9	5,1	4,4	10,0	29	13	1,7	1,3	3,2	8	
Bw	17–62	1,7	0,14	12,3	5,8	4,5	9,9	24	11	1,8	1,6	3,2	10	
C	62–	1,4	0,11	11,5	4,8	4,7	9,8	22	10	1,8	1,6	3,0	10	
Geitasandur														
Bw	1–5	0,35	0,03	11,7	6,8	4,9	10,0	10	6	1,2	2,0	2,5	12	
C1	5–14	0,04	0,00	16,7	7,1	5,4	8,3	4	3	0,9	1,5	1,5	9	
Víkursandur														
A	0–6	0,11	0,01	11,0	6,4	4,8	8,2	36	2	0,3	0,2	0,8	1	
C1	6–16	0,03	0,00		6,8	5,0	7,8	38	2	0,1	0,1	0,4	1	
C2	16–30	0,01	0,00		6,9	4,9	7,8	27	2	0,1	0,1	0,3	1	

a) % af þunga af þurrum jarðvegi— % w/w.

Kolefnisinnihald jarðvegsins í Norðurtúni í Gunnarsholti er margfalt hærra en í ógrónum sandjarðveginum á hinum stöðunum (3. tafla). Kolefnismagnið er nokkuð dæmigert fyrir íslenskan móajarðveg (Ólafur Arnalds o.fl., 1995).

Útskolun jarðvegs með oxalat lausn er algeng aðferð til að kanna leir í eldfjallajörð (Andosol). Niðurstöður sýna að allófan-innihald í Norðurtúni er að meðaltali um 10% (Si<sub>ox</sub>×6; byggt á Parfitt, 1990, sjá einnig Ólaf Arnalds o.fl., 1995). Allófan er einkum myndað af áli og kísil ásamt súrefni og vetni, oftast með hlutfallinu Al/Si=1–2. Hátt innihald af járn bendir einnig til umtalsverðs magns af járnhýdrati (ferrihýdrat), en Fe<sub>ox</sub> hefur stundum verið margfaldað með stuðlinum 1,7 til þess að meta magn járnhýdrats (Parfitt og Childs, 1988; Ólafur Arnalds, 1993). Leirinnihald á Geitasandi er tiltölulega hátt miðað við hve grófur jarðvegurinn telst í handsýni. Skýringin er trúlega samlíming á jarðvegsefnum, þar með töldum allófan og járnsteinum með járn og e.t.v. kísli. Móðurefni þessa jarðvegs er líklega gamall sandur (gjóska o.fl.) sem hefur veðrast í tímans rás, ásamt því að grafast undir

jarðvegsefni sem nú hafa fokið í burtu. Hátt Fe<sub>ox</sub> styður þessa tilgátu. Víkursandurinn er aftur á móti ungur (frá 1918) og veðrun þar er stutt á veg komin og því er sandurinn snauður af leir.

Eins og vænta má og áður hefur komið fram mælist sýrustig hærra í sendnum auðna-jarðvegi en í grónum jarðvegi (Ólafur Arnalds, 1988; Þorsteinn Guðmundsson, 1991). Algengt er að pH(vatn) sé nálægt 7 í jarðvegi auðna eins og hér er raunin, en 1–1,5 pH-gildum lægra ef mælt er í KCl lausn. Hátt sýrustig mælist í natríumflúoríð-launinni í sýnum frá Norðurtúni og Bw laginu á Geitasandi. Flúorjónin losar um OH<sup>-</sup> jónir á yfirborði þeirra leirsteinda sem einkenna eldfjallajörð, þ.e. allófans, og veldur það sýrustigshækkuninni. Hækkunin er minnst í Víkursandi, sem skýrist af lágu leirinnihaldi þessa unga jarðvegs.

Vatnsinnihald við 15 bara þrýsting er lítið í Vík og á Geitasandi (1,9–6%) eins og vænta má í gróðursnaudum og sendnum jarðvegi. En vatnsinnihaldið í jarðvegi við Vík er aftur á móti hlutfallslega hátt við 0,3 bör. Þess ber að geta að þurrkun eldfjallajarðvegs dregur

úr vatnsheldni hans, en þessi sýni voru bæði þurrkuð og sigtuð.

Jarðvegsgerðirnar flokkast sem Andosol (móajörð, Norðurtún), Arenosol (sandjörð, Vík) og Leptosol (klapparjörð, Geitasandur) samkvæmt flokkunarkerfi FAO (Þorsteinn Guðmundsson, 1994), en allar sem Andisol (eldfjallajörð) samkvæmt bandaríska flokkunarkerfinu „Soil Taxonomy“ (Soil Survey Division Staff, 1992).

### Níturlosun

Jarðvegssýni til mælinga á níturlosun voru tekin úr 0–30 sm dýpt í framburðarsandinum í Vík og móatúninu í Gunnarsholti, en niður að móhellu í Geitasandi, eða niður í um 14 sm dýpt. Sýnin voru þurrkuð og sigtuð í gegnum 2 mm sigti. Ólífrænt N og níturlosun er reiknað að 30 sm dýpt, einnig á Geitasandi (4. tafla).

Vatnsrýmd var mæld þannig að 20 ml af þurrkuðum og sigtuðum jarðvegssýnum voru vegin og sett í síupappír sem komið var fyrir í trekt í 500 ml plastdós. Jarðvegurinn var gegnbleyttur með afjónuðu vatni. Vatnsmagn í jarðvegi var fundið með vigtun eftir 10–40 mín. og aftur eftir 17 klst.

Til mælingar á níturlosun voru vegin 25 sýni af jarðvegsgerðunum þremur, 20 ml hvert í 500 ml plastdósir. Fimm sýni voru notuð til sýrustigsmælinga sem voru gerðar í hvert sinn sem níturlosun var mæld. Sýnin voru vökvuð með afjónuðu vatni að 60% af vatnsrýmd sýnis á fyrsta degi losunartímabilsins. Vatnsmagni var haldið við 60% af vatnsrýmd með vökvun annan hvorn dag.

Á hverjum mælingadegi voru tekin til mælinga 4 sýni (endurtekningar) af hverri jarðvegsgerð til níturskolunar. Vatni var bætt við þar til heildarvatnsmagn var 20 ml í hverju sýni. Að því búnu var bætt við 30 ml af 3,33 M KCl, hrist nokkrum sinnum og látið standa í 24 klst. við stofuhita. Skollausnin var að því búnu síuð frá. Í skolun voru því 20 ml af jarðvegssýni á móti 50 ml af saltlausn, 2 M KCl.

Nítrat og ammóníum í skollausnum var

mælt í Flow Injection tækjabúnaði, Tecator Aquatec kerfi. Nítrat var mælt eftir afoxun með kadmíum og litarmyndun með sulphani-lamíði og  $\alpha$ -naftylamíni. Ammóníum var mælt eftir gasflæði inn í straum litarefnis.

Þess ber að geta að aðferðir við mælingar á níturlosun eru mismunandi. Nuske og Richter (1981) og Richter o.fl. (1982) notuðu aðferð Stanfords og Smiths (1972) þar sem ammóníum og nítrat er skolað úr jarðveginum í byrjun og með vissu millibili með 0,01 M kalsíumklóríð lausn og næringarlausn án níturs. Næringarlausnin er notuð til þess að fjarlægja kalsíumklóríðlausnina. Í útfærslu Nuskes og Richters voru jarðvegssýnin sigtuð í gegnum 4 mm sigti og aðeins mælt nítrat í skolun, en Stanford og Smith mældu bæði ammóníum og nítrat.

Í mælingunum á níturlosun í íslenska jarðveginum eru notuð þurrkuð jarðvegssýni eins og í aðferð Stanfords og Smiths og sigtuð í gegnum 2 mm sigti.

Hins vegar er ammóníum og nítrat sem safnast hefur frá byrjun losunartímans mælt hverju sinni sem mælingar eru gerðar, þ.e.a.s. skolun er ekki endurtekin úr sama jarðvegssýni. Þess vegna þarf ekki að nota næringarlausn eins og í aðferð Stanfords og Smiths, sýnunum er fleygt að lokinni skolun með 2 M kalíumklóríðlausn. Við það sparast mikil vinna og skilyrðum í jarðvegi er ekki raskað með notkun næringarlausnar.

Tilraunir með vaxandi gjöf af tilbúnum níturáburði hafa sýnt að byrjunarstyrkur ólífræns N í jarðvegi breytir ekki hraða níturlosunar, örverurnar losa N úr lífrænum efnum jafn hratt eftir sem áður (Beck, 1983). Þetta bendir til að ekki sé nauðsynlegt að fjarlægja myndefni níturlosunar ( $\text{NH}_4$ ) og nítrunar ( $\text{NO}_3$ ) jafnóðum við mælingar á níturlosun.

Hætta er á sýringu jarðvegs við níturlosunarmælingar ef það sem losnar af ólífrænu N er ekki fjarlægt úr jarðveginum. Nítur losnar sem ammóníumjón úr lífrænum efnum í jarðvegi og breytist í nítrat fyrir áhrif gerla. Nítratmynduninni fylgir sýring sem getur hamlað níturlosun, og hefur það verið raunin í lang-

**4. tafla.** Níturlosun og jarðvegseiginleikar sýna úr níturlosunartilraunum.

Table 4. Water holding capacity, volume weight and total nitrogen content of soils used in incubations (a), and total N, C/N ratio and estimated nitrogen mineralization (b).

a.

Staður Site	Rúmpýngd g/sm <sup>3</sup> Volume weight g/cm <sup>3</sup>	Vatnsrýmd % af þunga Water holding capacity % weight	Heildar-N % af loftþurrum jarðvegi Kjeldahl-N % of air dry soil	Heildar-C Total carbon
Víkursandur	1,44	38	0,0065	0,060
Geitasandur	1,59	30	0,0134	0,146
Norðurtún	0,91	76	0,205	2,38

b.

Staður Site	Heildar-N kg/ha, 0–30 sm Total-N kg/ha, 0–30 cm	C/N	Níturlosun <sup>a)</sup> N kg/ha, 0–30 sm Estimated nitrogen mineralization <sup>a)</sup> N kg/ha, 0–30 cm	% af heildar-N % of total-N
Víkursandur	280	9,2	17	6,1
Geitasandur	639	10,9	14	2,7
Norðurtún	5607	11,6	188	3,4

a) Sjá 5., 6. og 7. töflu—Refer to table 5, 6 and 7.

tíma losunarmælingum, t.d. í rannsóknum Allisons og Sterlings (1949), þar sem pH féll um 0,3–0,5 pH stig eftir níturlosun og nítratmyndun í 8 vikur í jarðvegi með upphaflegt pH á bilinu 6,4 til 7,3.

Sýrustig lækkaði í móajarðveginum meðan á níturlosunarmælingum stóð úr pH 5,6 í 4,9 frá 1.–74. dags, í sandjarðvegi frá Geitasandi lækkaði sýrustigið úr pH 7,3 í 6,9, en var óbreytt, pH 7,0, í framburðarsandinum frá Vík.

*Niðurstöður og umræður*

*Níturlosunin.* Heildar-N reyndist níu- til tuttugufalt meira í móajarðveginum en í sandjarðveginum á Geitasandi og í Vík (4. tafla). Vatnsheldni móajarðvegsins er nær tvöfalt meiri en í sandjarðveginum. Svipað hlutfall er á milli kolefnis og níturs, C/N≈10, í öllum þremur jarðvegsgerðunum, einmitt það hlutfall sem talið er einkenna stöðug lífræn efni í jarðvegi (Tisdale og Nelson, 1975). Heildar-

losun níturs við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs mældist um 3% af heildar-N í jarðveginum á Geitasandi og móajarðveginum, hvort tveggja í landi Gunnarsholts á Rangárvöllum, en 6% af heildar-N í sandinum við Vík í Mýrdal.

Þessi munur er í samræmi við það að minna leysist af áli, járni og kísil í oxalat lausn. Líkleg skýring er því að meira nítur bindist við allófan og járnhydroxíð í sand- og móajarðveginum í Gunnarsholti en í sandinum við Vík.

Níturlosun í móajarðveginum úr Norðurtúni hélt áfram allan mælingatímann, sem var 74 dagar (4. mynd). Samanlagt svaraði ammóníum og nítrat til um 252 kg/ha N í 0–30 sm dýpt í lok mælingatímans, en í byrjun 67 kg/ha N, þannig að losunin svaraði til 185 kg/ha N alls.

Nítur losnaði örast í byrjun en hægar eftir því sem á leið. Nítratmyndun fór hins vegar hægt af stað fyrsta hálfu mánuðinn en dró á



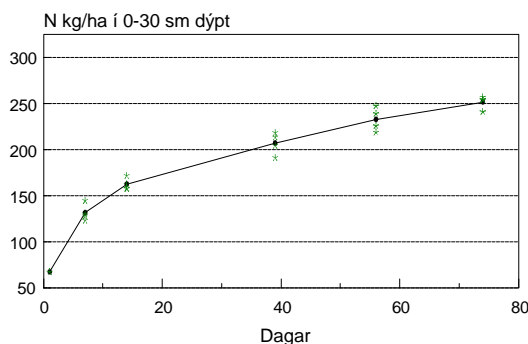
ammóníumlosunina, þannig að hlutdeildin af nítrat-N í ólífrænu N fór vaxandi frá byrjun til loka tímabilsins, úr 9 í 97%.

Gera má ráð fyrir að talsverður hluti af því sem mælist í upphafi af ólífrænu N (ammóníum og nítrati) hafi losnað við þurrkun jarðvegssýnanna, eins og ráða má af rannsóknunum sem vitnað er til í kaflanum um meðferð jarðvegssýna og níturlosun.

Notuð var einþætt og tvíþætt veldisvísislíking til að meta losunarhraða og nýtanlegan níturforða ( $N_0$ ) í móajarðveginum í Norðurtúni (5. tafla). Forðinn er metinn sem hámarksgildi níturlosunar samkvæmt líkingu.

Með einþættu líkani var forðinn metinn 188 kg/ha N við þær aðstæður sem ríktu í tilrauninni, 20°C og 60% af vatnsrýmd. Samkvæmt mælingum hafa 185 kg/ha N, eða 98% forðans, losnað á 74 dögum við þessar aðstæður.

Frávik mælinga frá einþættu líkani reyndist marktækt ( $P=0,023$ ), en tvíþætt líkan féll mjög náðið að mælingunum. Forðamatið sam-



**4. mynd.** Níturlosun og ólífrænt N við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs í móajarðvegi úr gömlu túni, Norðurtúni í Gunnarsholti. Jarðvegssýnið var tekið eftir endurvinnslu vegna sáningar í tilraunir og fyrir endursáningu.

*Figure 4. Nitrogen mineralization and inorganic N in a basaltic grassland soil at 20°C and at 60% of the water holding capacity of the soil. The land was ploughed in 1989 as a preparation for field experiments and the soil sample was taken in spring 1990 before reseeding. Site: Gunnarsholt in the southern part of Iceland.*

**5. tafla.** Nýtanlegur níturforði í jarðvegi í Norðurtúni í 0–30 sm dýpt við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs.

*Table 5. Mineralizable nitrogen pools and rate constants for mineralization in old grassland soil (humic andosol) in 0–30 cm soil depth at 20°C and 60% of water holding capacity.*

Nýtanlegur níturforði, N Nitrogen pools	Meðaltal±SE Average±SE kg/ha N
(a) Einþætt veldisvísislíkan, $N_0$ Single exponential model, $N_0$	188±10
(b) Tvíþætt líkan, $N_1$ Double exp. model $N_1$	78±40
Tvíþætt líkan, $N_2$ Double exp. model $N_2$	258±394
$N_0=N_1+N_2$	336±431
Hraðafastar dagar <sup>-1</sup> Rate constants days <sup>-1</sup>	Helmingatími dagar (0,693/k) Half life days (0.693/k)
(a) $k=0,0380±0,0076$	18
(b) $k1=0,158±0,105$	4
(b) $k2=0,00723±0,0177$	96

Ólífrænt N í þurrkuðum jarðvegi 67 kg/ha N.  
*Inorganic N in dried soil 67 kg/ha N.*

kvæmt tvíþættu líkani var hins vegar ekki marktækt.

Ferlarnir í tvíþætta líkaninu eru mjög samþættir, svo að hlutur hvors um sig verður ekki metinn. Hins vegar hefur komið fram að einþætta veldisvísislíking vanmeti nýtanlegan níturforða í jarðvegi og ofmeti hraðafastann ( $k$ ), og að tvíþætt líkan falli betur að mælingum á níturlosun (Deans o.fl., 1986).

Í jarðvegi frá Geitasandi mældist níturlosunin aðeins 14 kg/ha N á 74 dögum, en næstum því jafnmikið ólífrænt N mældist í þurrkuðum jarðvegi fyrir níturlosun. Níturlosunin fer hægt af stað í jarðvegi frá Geitasandi (5. mynd). Níturlosun frá 7. degi til 56. dags má lýsa með líkingu fyrir fyrstu gráðu efnahvarf, en mæld níturlosun á 74. degi er mjög breytileg. Sá hluti af nýtanlegum níturforða sem metinn er miðað við losun



frá 7. til 56. dags er 10 kg/ha N í 30 sm jarðvegsdýpt. Losunin á tímabilinu frá 56. til 74. dags var 4 kg/ha N. Þar sem mælingar frá og með 56. degi voru aðeins í tvö skipti, þann dag og á 74. degi (4 endurtekingar hvorn dag), er ekki unnt að meta hámark losunar fyrir síðari hluta losunarskeiðsins. Hlutdeild nitrats í heild af ólífrænu N fór vaxandi frá byrjun til loka tímabilsins, úr 9 í 97%.

Níturlosun í sjávarsandinum í Vík fylgir tveimur veldisvísislíkningum, frá 1. til 39. dags og frá 39. til 74. dags losunartímans (6. mynd). Hlutdeild nitrats vex úr 40 í 99% frá byrjun til loka tímabilsins.

Losuninni í sandjarðveginum á báðum stöðum má einnig lýsa sem línulegu ferli frá byrjun til loka mælingatímans (6. og 7. tafla).

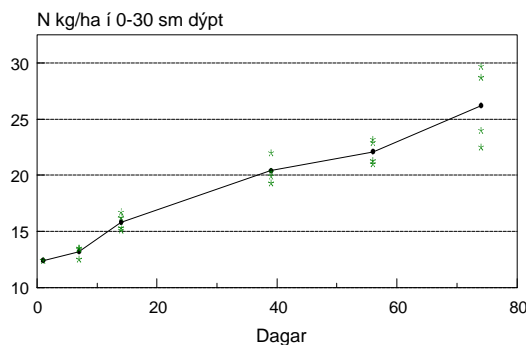
**Helmingatími lífrænna efna.** Helmingatíminn (0,693/k, þar sem k er hraðafastinn í veldisvísislíkningu) fyrir nítur í tornýttum plöntuleifum í móajarðveginum í Gunnarsholti er um 6–9 mánuðir við 10°C og er miklu styttri en í erlendum rannsóknum; 2,3 ár samkvæmt líkani Jenkinsons og Rayners (1977), tæp 2,4–3,7 ár í lössjarðveginum frá suðurhluta Neðra Saxlands (Nuske og Richter, 1981; Richter o.fl., 1982). Í rannsóknum Jenkinsons (1977b) var helmingatími kolefnis í rýgresi sem bætt

var í jarðveg jafnvel ennþá lengri, eða 8,6 ár alls, allt miðað við sama hitastig 10°C (8. tafla).

Eins og áður hefur komið fram benti Sierra (1990) á að hraðastuðulinn í veldisvísislíkani fyrir níturlosun fari minnkandi eftir því sem losunartíminn lengist. Í mælingum á móajarðveginum frá Gunnarsholti var mælingatíminn allt að 74 dagar, en í þeim mælingum sem vitnað er til hjá Nuske og Richter (1981) og Richter o.fl. (1982) var mælingatíminn allt að 220 dagar. Nuske og Richter (1981) sýndu hins vegar fram á að sömu hraðastuðlar mælast með mælingum í þrjú skipti á tímabilinu frá 4. til 8. viku losunartímans og með mælingum í sjö skipti frá 1. viku til 31. viku.

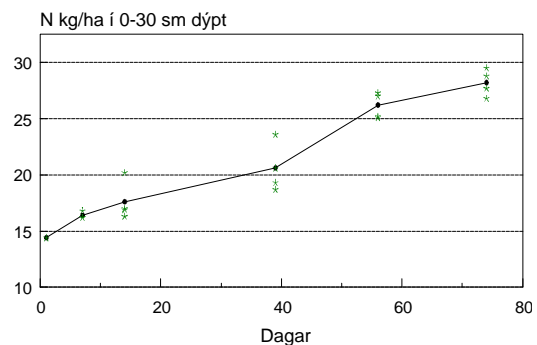
Eins og er verður ekki úr því skorið hvort sá mikli losunarhraði sem mælist í móajarðveginum í Gunnarsholti skýrist af jarðvegs-eiginleikum, lengd mælingatímans eða aðferðum við mælingar, sjá lýsingu á aðferðum þar sem gerð er grein fyrir mismun þeirra aðferða sem um ræðir.

Helmingatími plöntuleifa og lífmassa er aðeins brot af helmingatíma moldarefna, sem er samkvæmt rannsóknum Jenkinsons og Rayners (1977), 50 ár fyrir lífræn efni bundin ólífrænum jarðvegsögnum (physically stabilized organic matter) og 1980 ár fyrir óbundin,



**5. mynd.** Níturlosun og ólífrænt N við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs í örfoka sandjarðvegi frá Geitasandi á Rangárvöllum.

*Figure 5. Nitrogen mineralization and inorganic N in an eroded basaltic sandy soil at 20°C and at 60% of the water holding capacity of the soil. Site: Geitasandur in the southern part of Iceland.*



**6. mynd.** Níturlosun og ólífrænt N við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs í sandjarðvegi undir Víkurhömrum, Mýrdal.

*Figure 6. Nitrogen mineralization and inorganic N in a alluvial basaltic sand at 20°C and at 60% of the water holding capacity of the soil. Site: Vík in Mýrdalur in the southern part of Iceland.*

**6. tafla.** Nýtanlegur níturfórði í jarðvegi á Geitasandi í 0–30 sm dýpt við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs.

Table 5. Mineralizable nitrogen pools in an eroded sand, 0–30 cm depth at 20°C and 60% of water holding capacity.

	Tímabil, dagar—Period, days		
	7–56	56–74	1–74
Aðhvarf Regression	Einþætt veldisvísis Single exponential	Línulegt Linear	Línulegt Linear
Losun, N kg/ha—Mineralization, N kg/ha	10,3±1,6	4,1	13,5
Hraðafasti (k), dagar <sup>-1</sup> —Rate constant (k), days <sup>-1</sup>	0,0376		
Losun, N kg/ha á dag—Rate, N kg/ha per day	Minnkandi—Decreasing	0,23	0,18
Helmingatími, dagar—Half life, days	18		
Prósent af breytileika í losun, sem skýrist af líkingu Percentage variance accounted for	94,4		88,9

Ólífrænt N mælt í þurrkuðum sýnum 12,4 kg/ha N—Mineral-N in dried samples 12.4 kg/ha.

Níturlosun og ólífrænt N eftir 74 daga 25,9 kg/ha N—Mineralization and mineral-N after 74 days 25.9 kg/ha.

**7. tafla.** Nýtanlegur níturfórði í jarðvegi á Víkursandi í 0–30 sm dýpt við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs.

Table 7. Mineralizable nitrogen pools in an eroded sand, 0–30 cm depth at 20°C and 60% of water holding capacity.

	Tímabil, dagar—Period, days		
	7–56	56–74	1–74
Aðhvarf Regression	Einþætt veldisvísis Single exponential		Línulegt Linear
Losun, N kg/ha—Mineralization, N kg/ha	8,2±4,8	8,7±2,2	13,0
Hraðafasti (k), dagar <sup>-1</sup> —Rate constant (k), days <sup>-1</sup>	0,0355±0,0016	0,0610±0,0024	
Losun, N kg/ha á dag—Rate, N kg/ha per day	Minnkandi	Minnkandi	0,18
Helmingatími, dagar—Half life, days	20	11	
Prósent af breytileika í losun, sem skýrist af líkingu Percentage variance accounted for	58,9	81,3	87,0

Ólífrænt N mælt í þurrkuðum sýnum 14,4 kg/ha N—Mineral-N in dried samples 14.4 kg/ha.

Níturlosun og ólífrænt N eftir 74 daga 27,4 kg/ha N—Mineralization and mineral-N after 74 days 27.4 kg/ha.

tornýtt moldarefni (chemically stabilized organic matter). Niðurstöður Jenkinsons og Rayners eru byggðar á mælingum í hinum sígildu akurtílaunum í Rothamsted og líkani fyrir niðurbrot lífrænna efna. Mánaðarlegur meðalhiti er frá 3°C í janúar að 16°C í júlí.

Helmingatími auðumsettra lífrænna efna (decomposable plant material) og lífmassa við

10°C var 9 dagar í móajarðveginum en 16 dagar í lössjarðveginum.

*Líkan Stadelmanns af níturlosun og nýtanlegt nítur.* Níturfórði eða möguleg níturlosun, sem metin er með einþátta líkani Stanfords og Smiths (1972) er oftast meiri en sem svarar 10% af heildar-N og segir lítið um skammtíma-

**8. tafla.** Samanburður á helmingatíma lífrænna efna (0,693/k) í jarðvegi.  
 Tabel 8. Half life (0.693/k) of organic matter in soil.

Heimild—Reference	°C	RPM <sup>a)</sup> ár—years	DPM <sup>a)</sup> dagar—days	BIO <sup>a)</sup>
<b>Kolefni (<sup>14</sup>C)—Carbon (<sup>14</sup>C)</b>				
Jenkinson (1977a) <sup>b)</sup>	25	3,7	3	33
Jenkinson (1977b) <sup>b)</sup>	10	8,6	23	108
Jenkinson og Rayner (1977) <sup>c)</sup>	3–16	2,3	60	617
<b>Nítur (N-losun)—Nitrogen mineralization</b>				
Richter o.fl. (1982)	25	0,8	8	5
Richter o.fl. (1982)	10	3,7	23	17
Nuske og Richter (1981)	10	2,4		16
Norðurtún <sup>d)</sup> —Grassland andosol	10	0,53		9
Norðurtún <sup>e)</sup> —Grassland andosol	10	0,77		13

a) Skammstafanir samkvæmt Richters o.fl. (1982)—Abbreviation according to Richter et al. (1982). RPM: Torleystar lífrænar leifar, sjá athugasemdir í texta—Resistant organic material, old organic material, DPM: Auðumsetjanlegar plöntuleifar—Decomposable plant residues, BIO: Lífmassi—Soil biomass.

b) Samkvæmt hraðastuðlum fyrir niðurbrot lífrænna efna hjá Richter o.fl. (1982)—Based on decomposition coefficients for different soil biomass fractions as quoted by Richter et al. (1982).

c) Samkvæmt líkani byggðu á gögnum um (1) langtímabreytingar (10–100 ár) á lífrænu efni í jarðvegi í tilraunum í Rothamsted, (2) niðurbrot á <sup>14</sup>C merktu lífrænu efni (1–10 ár), (3) geislakolsaðferð (þúsund ár), (4) aukningu í geislakoli vegna kjarnorkusprengringa, aukninguna má nota til þess að meta árlega viðbót af lífrænu efni í jarðveg og loks studdust höfundar við upplýsingar um lífmassa í jarðvegi og umbreytingu plöntuleifa í lífmassa. Meðalhiti sveiflast frá 3°C í janúar til 16°C í júlí—Estimated by a model based on short term and long term data on turn over of organic matter in the classical field experiments in Rothamsted.

d) Gert er ráð fyrir helmingun hvarfhraða við umreikning á níturlosun frá 20°C að 10°C. Níturlosun var mæld við 20°C—Rate of reaction is assumed to be halved for lowering of temperature from 20°C to 10°C. Nitrogen mineralization was measured at 20°C.

e) Gert er ráð fyrir að hvarfhraði við 10°C sé einn þriðji af hvarfhraða við 20°C. Níturlosun var mæld við 20°C—Rate of reaction at 10°C is assumed to be one third of the rate at 20°C. Nitrogen mineralization was measured at 20°C.

losun, þ.e. á einu vaxtartímabili (Stadelmann o.fl., 1983). Þessir höfundar skipta níturlosun í þrjú stig:

1. Hröð losun í byrjun, en með minnkandi hraða.
2. Tímabil þar sem nítur losnar með óbreyttum hraða.
3. Níturlosun hægir smám saman á sér.

Fyrsta tímabilið varir í nokkra daga, jafnvel 1–2 vikur, næsta tímabil 1–2 mánuði og loks varir hægfara losun árum saman.

Líkan Stadelmanns o.fl. (1983) miðar að því að meta skammtímalosun níturs, þ.e. mögulega losun á einu vaxtartímabili. Skamm-

tímalosunin er metin með mælingum í 3–4 skipti eftir 14 daga frá byrjun níturlosunar (á tímabilinu 14–35 dögum frá byrjun). Með þessari aðferð má meta auðnýtanlegt N á einfaldan hátt, annað hvort grafískt eða með beinnar línu aðhvarfi, þar sem auðnýtanlegt N er N1 í líkingunni:

$$N_{los} = N1 + v \times t \quad (9)$$

þar sem N<sub>los</sub> er heildarlosun N kg/ha (í ákveðinni jarðvegsdýpt) eftir t daga, v er losunarhraðinn N kg/ha á dag og t er dagafjöldi frá byrjun níturlosunar, þegar þurr jarðvegssýni eru vökvuð að ákveðnu rakastigi (níturlosun við loftsækin skilyrði) eða sett undir vatn (loft-

**9. tafla.** Hámark níturlosunar við 20°C og 60% af vatnsrýmd í móajarðvegi, N kg/ha í 0–30 sm dýpt. Meðaltöl ± staðalskekkja (SE). Norðurtún, Gunnarsholti.

Table 9. Maximal nitrogen mineralization at 20°C and 60% of water holding capacity in grassland humic soil. N kg/ha in 0–30 cm depth. Average ± SE.

Líkan Model	Alls Total	Auðnýtt Decomposable	Tornýttara Resistant
Fyrstu gráðu efnahvarf, einþætt— <i>Single exponential model</i>	188±10,0		
Fyrstu gráðu efnahvarf, tvíþætt— <i>Double exponential model</i>	336±431	79±39,6	258±394
	Alls Total	Tímabil, dagar— <i>Period, days</i> 1–14 <sup>a)</sup>	1–56 <sup>b)</sup> 56 <sup>c)</sup> –
Þríþætt líkan <sup>d)</sup> — <i>Three pool model<sup>d)</sup></i>	188±10,0	73±7,0	94±9,7 21

a) Losun álitin stafa af þurrkun sýna—*Mineralization assumed to caused by drying of samples.*

b) Nýtanlegt N, talið samsvara losun úr óröskuðum jarðvegi—*Available N, assumed to correspond to mineralization from fresh soil samples.*

c) Tornýtanlegt N—*Mineralization from resistant organic matter fraction.*

d) Skýringar við þríþætta líkanið í töflunni. Aðhvarfslíking fyrir tímabilið frá 14. til 56. dags var reiknuð:  $N_{\text{losun}} = 72,5 + 1,682 \times \text{dagafjöldi}$ , Meðaltal ± SE = 6,97 ± 0,173. Líkingin skýrir 89,4% breytileikans í mælingum. Losun úr auðleystum samböndum er 72,5 kg/ha N samkvæmt líkingunni og heildarlosun með jöfnum hraða frá byrjun að 56. degi var  $1,682 \times 56 = 94,2$  kg/ha N. Losun með minnkandi hraða: heildarlosun skv. einþættu líkani að frádregnu auðleystu N og N sem losnar með jöfnum hraða er  $188 - 73 - 94 = 21$  kg/ha N í 0–30 sm dýpt—*Remarks on the three pool model in the table. Linear regression for the period from 14–56 days of the mineralization period: N mineralized = 72.5 + 1.628 × days, Average ± SE = 6.97 ± 0.173. The equation explains 89.4% of the variation in nitrogen mineralized. Mineralization from decomposable organic material is estimated by the constant term 72.5 kg/ha N and mineralization from the resistant fraction at a constant rate from start to day 56 is 1.682 × 56 = 94.2 kg/ha N. Mineralization with decreasing rate is estimated as the maximal mineralization from the single exponential model less the decomposable and constant rate fractions: 188–73–94=21 kg/ha N in 0–30 cm depth.*

firrið skilyrði, aðferð Warings og Bremners notuð af Stadelmann o.fl., 1983).

Auðnýtanlegt N (NI) er talið svara til auðleysanlegra nítursambanda (próteinsambanda, amínósýra, amíða o.fl.) í lífmassa örvera í jarðvegi, í efnaskiptasamböndum frá lífverum í jarðvegi og plönturótum, í plöntuleifum ofan- og neðanjarðar og í lífrænum áburði.

Stadelmann o.fl. (1983) telja að torleystari hluti níturforðans, sem mælist við níturlosun, sé í stöðugum moldarefnum (þ. Dauerhumus). Af líkani Jenkinsons og Rayners (1. tafla) og af samanburði á hraða níturlosunar við hraða niðurbrots lífrænna efna má hins vegar ráða að torleystari hluti níturforðans sé samsettur úr torleystum plöntuleifum fremur en varanlegum moldarefnum. Er þá átt við þann hluta sem mælist í níturlosunartilraunum.

Hægfara losun úr moldarefnum, bundnum eða stöðugum með áratuga eða jafnvel árbúsunda umsetningartíma, skiptir ekki máli þegar árleg níturlosun er metin.

Þríþætta líkanið skv. Stadelmann o.fl. (1983) er samsett úr hraðri byrjunarlosun með minnkandi hraða, þar sem hraðinn ræðst af losun úr auðleystum samböndum, nánar tiltekið úr lífmassa sem sundrast hefur við þurrkun jarðvegs, línulegum kafla með jöfnum losunarhraða og hægfara losun í lokin úr torleystum forða.

Losunarhraðinn minnkar fyrstu 14 dagana í móajarðveginum, helst síðan því sem næst jafn næstu 6 vikurnar til 56. dags, en eftir það fer aftur að draga úr hraðanum. Þetta er í samræmi við þríþætt líkan Stadelmanns o.fl. (1983) af níturlosun, einþætt líkan Stanfords

**10. tafla.** Árleg umsetning lífrænna efna í jarðvegi.Table 10. Yearly turnover of organic residues in soil<sup>a)</sup>.

	Brotið niður árlega, % <sup>b)</sup> —Decomposed yearly, % <sup>b)</sup>		N
	(1) <sup>c)</sup>	(2) <sup>d)</sup>	
Auðumsettar, ferskar plöntuleifar—DPM	99	100	100
Tornýttar, ligníntrénaðar plöntuleifar—RPM	26	8	17
Lífmassi í jarðvegi—BIO	34	100	100
Fysískt bundin moldarefni—POM	1,4		
Kemískt stöðug moldarefni—COM	0,03		

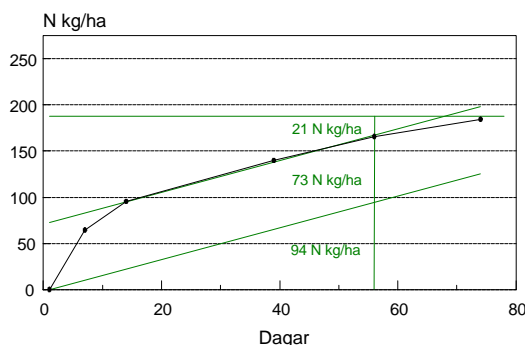
a) Designation of groups (DPM etc.) see Table 1.

b) Árleg umsetning (% af heild hvers flokks):  $100 - (e^{-k} \times 100)$ , þar sem  $k$  (1/ár) er hraðafasti í fyrstu gráðu niðurbrotshvarfi—Yearly decomposition (% of total for each fraction):  $100 - (e^{-k} \times 100)$ , where  $k$  (1/year) is the rate constant in a first order reaction.

c) Líkan fyrir akurjarðveg í Rothamsted (Jenkinson og Rayner, 1977)—Model for the classical field experiments in Rothamsted (Jenkinson og Rayner, 1977).

d) Niðurbrot við 10°C (Richter o.fl., 1982)—Mineralization at 10°C (Richter et al., 1982).

og Smiths (1972) lýsir ferlinu einnig vel. Í þríþættu líkani var losun með jöfnum hraða á tímabilinu frá 14. til 56. dags 1,7 kg/ha á dag (9. tafla, 7. mynd).



**7. mynd.** Líkan af níturlosun í mójardvegi sniðið eftir líkani Stadelmanns o.fl. (1983). Tölurnar á línuritinu tákna: (a) hraðfara níturlosun fyrstu 14 dagana (73 kg/ha N), (b) losun með jöfnum hraða frá 14. til 56. dags (94 kg/ha N), (c) hægfara losun með minnkandi hraða eftir 56. dag (21 kg/ha N). Heildarlosun er 188 kg/ha N samkvæmt einþættu veldisvísislíkani. Hraðfara níturlosun í byrjun og losun með jöfnum hraða eru metnar með líkingu fyrir beina línu á tímabilinu frá 14. til 56. dags. Figure 7. Model of nitrogen mineralization in dried samples of a basaltic grassland soil. The graph illustrating the model is based on the model proposed by Stadelmann et al. (1983).

Kostur við tvíþætt og fjölþætt líkön umfram einþætt er að níturfordinn er flokkaður eftir því hversu auðveldlega nítur losnar úr mismunandi gerðum lífrænna efna í jarðvegi. Þetta kemur vel fram þegar athugað er hve stór hluti af mismunandi lífrænum efnum brotnar niður árlega, samkvæmt líkani Jenkinsons og Rayners (1977).

Richter o.fl. (1982) báru saman rannsóknir Jenkinsons í Rothamsted fyrir umsetningu kolefnis og eigin rannsóknir á níturlosun úr jarðvegi (8. tafla). Samkvæmt útreikningum byggðum á þeim niðurstöðum brotna auðumsettar, ferskar plöntuleifar nær algjörlega niður á mánuði (3% á dag), N losnar úr lífmassa örvera í jarðvegi eftir þurrkun jarðvegssýnis á mánaðartíma (3,9% á dag) en á staðnum brotnar lífmassinn niður á rúmum fimm mánuðum (0,6% á dag).

Gera má ráð fyrir að nítur sem nýtist á vaxtartímanum sé úr ferskum plöntuleifum og úr lífmassa (auðleyt nítur í tví- og þríþættu líkani í 10. töflu,  $N_1$  í líkingunni  $N = N_1 + v \times t$ ), en það losnar þó aldrei allt (Stadelmann o.fl., 1983). Það gerist aðeins eftir dauðhreinsun jarðvegs. Við þurrkun jarðvegssýna losnar meira en í óhreyfðum jarðvegi á staðnum. Eftir þurrkun, frystingu og þiðnun losnar einnig stærri hluti af N úr þessum

**11. tafla.** Hraði níturlosunar (N kg/ha á dag) mældur í þremur jarðvegsgerðum.

Table 11. Rate of nitrogen mineralization (N kg/ha daily) measured in three soils.

Dagar Days	Staðir—Sites		
	Geita- sandur	Víkur- sandur	Norður- tún
0–7	-0,03	0,29	9,20
7–14	0,38	0,17	4,43
14–39	0,18	0,12	1,78
39–56	0,10	0,33	1,52
56–74	0,23	0,11	1,04
0–74	0,17	0,19	2,49

forða. Ennfremur telja Stadelmann og meðhöfundar að níturlosun úr torleystari samböndum ( $v$  í líkingunni  $N=N_1+v \times t$ ) sé í ríku mæli háð hitastigi og jarðvegsgerð.

Losunarhraðinn breytist ekki með sama reglubundna hætti í sandjarðveginum og í móatúninu og hraðinn er að jafnaði tæplega 0,2 kg/ha á dag í efsta 30 sm jarðvegslaginu í sandinum (11. tafla). Í móajarðveginum minnkar hraðinn hins vegar úr 9 kg á ha á dag í 1 kg frá fyrsta tímabili milli mælinga til hins síðasta.

*Nýtanlegur forði, jarðvegshiti og raki.* Hraði níturlosunar tvöfaldast til þrefaldast fyrir hverjar  $10^\circ$  sem hitastigið eykst á bilinu  $5-35^\circ\text{C}$  (Stanford o.fl., 1973; Nuske og Richter, 1981; Richter o.fl., 1982; Nordmeyer og Richter, 1985). Marion og Black (1987) vekja athygli á því að tvöföldun losunarhraða við hitaukningu um  $10^\circ$  ( $Q_{10}=2$ ) þýði áttföldun hvarfhraða við hitabreytingu frá  $5^\circ$  í  $35^\circ\text{C}$ , en  $Q_{10}=3$  þýði hins vegar 27-földun hraðans við sömu hitaukningu.

Líking Arrheniusar fyrir áhrif hitastigs á hraðafasta efnaferlis var reiknuð fyrir tilraunastaðina (12. tafla og 8. mynd).

Hallatalan (B) í Arrheniusar líkingu byggð á mælingum við 5, 10, 15 og  $25^\circ\text{C}$  reyndist um 5800 fyrir land sem plægt var upp 1959 og var óræktað eftir það, einungis unnið til þess að halda illgresi niðri, en hafði áður

verið undir grasi í um það bil 200 ár (Addiscott, 1983). Skurðpunkturinn var um 18. Þetta er nálægt tvöföldun losunarhraðans fyrir  $10^\circ$  hitaukningu. Hins vegar voru stuðlarnir í líkingunni nær því að svara til þreföldunar losunarhraða fyrir  $10^\circ$  hitaukningu í akurlendi sem fékk búfjáraburð, 35 tonn á ári frá 1843. Hraðaaaukningin við hækkun hitastigs um  $10^\circ$  var mitt á milli (2,4 sinnum meiri hraði) fyrir akur sem fékk tilbúinn áburð.

Sé gert ráð fyrir tvöföldun losunarhraða fyrir hækkun hitastigs úr  $10^\circ$  í  $20^\circ\text{C}$  fást eftirfarandi líkingar fyrir áhrif hita og raka á níturlosun með því að setja stuðlana úr líkingu Arrheniusar inn í líkingu (8), hvað Norðurtún varðar. Fyrir sandjarðveginn er líking (7) notuð til þess að fá fram áhrif hitans á hraðastuðulinn, kg/ha N á dag fyrir níturlosun:

Norðurtún

Einþætt líkan:

$$N=188 \times M \times (1 - \exp(-t \times \exp[16,4 - 5754/T]))$$

Tvíþætt líkan:

$$N=78 \times M \times (1 - \exp(-t \times \exp[17,8 - 5754/T])) + 258 \times M \times (1 - \exp(-t \times \exp[14,7 - 5754/T]))$$

Geitasandur

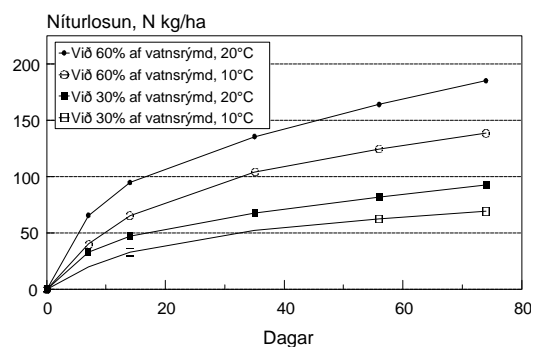
Línulegt líkan 1.–74. dags losunartímans:

$$N=M \times t \times \exp(17,924 - 5754/T)$$

Víkursandur

Línulegt líkan 1.–74. dags losunartímans:

$$N=M \times t \times \exp(17,885 - 5754/T)$$



**8. mynd.** Áhrif hita og raka í jarðvegi á níturlosun á 74 dögum. Norðurtún, Gunnarsholti.

Figure 8. The influence of temperature and moisture in soil on nitrogen mineralization in 74 days in andosol grassland soil (exponential mineralization).



**12. tafla.** Stuðlar í líkingu Arrheniusar,  $\ln(k)=\ln(A)-B/T$ , þar sem  $B=Ea/R$  við mismunandi áhrif hitaaukningar á hraða níturlosunar.

*Table 12. The influence of temperature on rate constants for nitrogen mineralization according to the Arrhenius equation,  $\ln(k)=\ln(A)-B/T$ , and  $B=Ea/R$ .*

Staður— <i>Site and soil</i>	$Q_{10}$	2	3	Líkan— <i>Model</i>
	B	5754	9120	
	k	ln(A)	ln(A)	
Norðurtún— <i>Grassland</i>	0,0380	16,4	27,8	Einþætt veldisvísis <i>Single exponential</i>
Norðurtún— <i>Grassland</i>	0,158	17,8	29,3	Tvíþætt veldisvísis <i>Double exponential</i>
Norðurtún— <i>Grassland</i>	0,00723	14,7	26,2	Tvíþætt veldisvísis <i>Double exponential</i>
Geitasandur— <i>Eroded sand</i>	0,0376	16,3	27,8	Einþætt veldisvísis (dagur 1–56) <i>Single exponential (day 1–56)</i>
Víkursandur— <i>Alluvial sand</i>	0,0355	16,3	27,8	Einþætt veldisvísis (dagur 1–39) <i>Single exponential (day 1–39)</i>
Víkursandur— <i>Alluvial sand</i>	0,0610	16,8	28,3	Einþætt veldisvísis (dagur 39–74) <i>Single exponential (day 39–74)</i>
Geitasandur— <i>Eroded sand</i>	0,1824	17,9	29,4	Línulegt (dagur 1–74) <i>Linear (day 1–74)</i>
Víkursandur— <i>Alluvial sand</i>	0,1755	17,9	29,4	Línulegt (dagur 1–74) <i>Linear (day 1–74)</i>

þar sem M er jarðvegsraki sem brot af kjörraka í jarðvegi (hér talið vera 60% af vatnsheldni jarðvegs), t er dagar frá byrjun losunartíma og T er hitastig (°Kelvin).

Áhrifum hita og raka á níturlosun í móatúninu samkvæmt líkingunni fyrir einþætt líkan er lýst á 8. mynd. Með upplýsingum um hita og raka í jarðvegi yfir lengri tíma má áætla níturlosun í meðalári og möguleg frávik. Líkanið gerir ráð fyrir að níturlosun vaxi í réttu hlutfalli við raka sem hlutfall af kjörraka.

#### Ályktanir

Níturlosun í sandjarðvegi mældist við staðal- aðstæður (20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs) að jafnaði 13 kg/ha N á 74 dögum í efstu 30 sm jarðvegs, en 184 kg/ha í móajarðvegi. Í framburðarsandi við Vík í Mýrdal var losunin 6% af heildarforða níturs, en á Rangárvöllum var losunin um 3% af heildarmagninu, svipað í sandjarðvegi og móajarðvegi.

Ljóst er að sandjarðvegurinn getur ekki framfleytt nema takmarkaðri gróðurhulu og sáðgresi þrífst ekki án áburðar. Nýtanlegur níturforði í sandjarðveginum dugir fyrir um 3 hkg/ha af þurrefni miðað við 2% N í þurrefni í gróðri og 50% nýtingu þess níturs sem losnar úr jarðvegi við 20°C og 60% af vatnsrýmd jarðvegs í 74 daga. Nýtanlegur níturforði í móajarðveginum dugir hins vegar fyrir 46 hkg/ha af þurrefni miðað við sömu forsendur. Enn meiri er munurinn á heildarforða níturs í þessum jarðvegsgerðum, 6 tonn/ha N í efstu 30 sm af móajarðveginum en 0,3–0,6 tonn í sandinum. Af þessu er ljóst að mikið þarf að safnast fyrir af lífrænum efnum í jarðvegi sandauðna áður þær geta framfleytt fjölbreyttum og gróskumiklum gróðri.

Gera má ráð fyrir að níturlosunin í sandjarðveginum sé með jöfnum hraða í að minnsta kosti 10 vikur við ákveðið hitastig og vatnsmagn í jarðvegi. Sé níturlosuninni hins vegar

skipt niður í tímabil má greina minnkandi losunarhraða innan þessara tímabila.

Aukinn hraði níturlosunar eftir að hún hefur nærri því stöðvast bendir til þess að eftir tímabil þar sem nítur binst ört í lífmassa verði losunin á ný yfirvegandi.

Losun í sandjarðveginum mældist með jöfnum hraða, 0,18 kg/ha N í efstu 30 sm. Í líkanagerð af níturferlum er auðveldara að nota líkingu fyrir beina línu til þess að lýsa losun sem falli af tíma, en að skipta losunarferlinu í tímabil með minnkandi losunarhraða.

Losunarhraði var hins vegar minnkandi með tímanum í mójardveginum. Losun níturs í þessum jarðvegi má því lýsa sem hvarfhraða af fyrstu gráðu, þ.e.a.s. með veldisvísislíkani.

Fram hefur komið að einþátta veldisvísislíkan vanmeti nýtanlegan níturforða í jarðvegi og ofmeti hraðafastann ( $k$ ) og að tvíþætt líkan falli betur að mælingum á níturlosun (Deans o.fl., 1986). Niðurstöðurnar úr móatúninu staðfesta að tvíþætt líkan falli betur að mælingum en einþætt. Nýtanlegur forði, eða mesta möguleg níturlosun, reyndist einnig meiri að jafnaði samkvæmt tvíþættu líkani, en matið á nýtanlegum forða samkvæmt tvíþætta líkaninu er hins vegar ekki marktækt. Því er hér stuðst við mat einþátta líkansins á mögulegri níturlosun.

Fleirþætt líkón hafa þann kost að þau greina losunina í sundur eftir því hve auðveldlega nítur losnar. Hér er níturlosuninni skipt í þrjú tímabil með því aðgreina tímabil með línulegri losun sem hefst nokkru eftir að mælingar byrja og stendur í nokkrar vikur. Með mælingum í nokkur skipti á því tímabili má meta línulegan níturlosunarhraða í þurrkuðum sýnum á tiltölulega einfaldan hátt. Heimildir benda einnig til þess að jafnan losunarhraða í óhreyfðum jarðvegi megi meta í þurrkuðum sýnum eftir hálf mánaðar losunartíma.

Samandregið má segja um niðurstöðurnar úr móajarðveginum að allt að 73 kg/ha N geti losnað tiltölulega hratt fyrir áhrif þurrkunar, m.a. úr lífmassa, allt að 94 kg nokkru hægar úr lífrænum leifum og loks 21 kg enn hægar úr enn torleystari moldarefnum, alls

188 kg/ha N í 0–30 sm dýpt. Þetta á við hitastig um 20°C og raka sem svarar 60% af vatnsheldni jarðvegs. Heildarlosunin er metin með einþættu veldisvísislíkani. Taka verður tillit til hitastigs og rakaskilyrða í jarðvegi. Til dæmis má nefna að á 74 dögum er níturlosun við 20°C og 60% af vatnsrýmd metin 185 kg/ha N í efstu 30 sm jarðvegsins, en við 10°C og 18% af vatnsrýmd jarðvegs er níturlosunin metin 42 kg/ha N, hvort tveggja samkvæmt tvíþættu veldisvísislíkani. Miðað við 50% nýtingu yrði upptaka því 21 kg/ha N. Til samanburðar má svo nefna að nítur tekið úr jarðvegi af túnvingli í móatúninu var um 20 kg/ha N sumarið 1991.

Losunarhraðinn breytist afar hægt eftir tvær vikur þegar umframlosun úr lífmassa líkur. Athugun á heimildum bendir til þess að reikna megi með óbreyttum losunarhraða frá 2. viku til og með a.m.k. 5. viku (Mary og Remy, 1979; Nuske og Richter, 1981; Beck, 1983; Stadelmann o.fl., 1983; Nordmeyer og Richter, 1985; Hadas o.fl., 1986; Bonde og Rosswall, 1987; Cabrera og Kissel, 1988). Losunarhraðinn úr þurrkuðum sýnum er jafnframt um skeið eftir tvær fyrstu vikurnar oft um það bil sá sami og úr ferskum jarðvegi.

Losunarhraði virðist óbreyttur í móatúninu á tímabilinu frá 2. til 8. viku. Samkvæmt líkani Stadelmanns o.fl. (1983) er gert ráð fyrir að losun eigi sér stað með sama hraða úr óröskuðum jarðvegi, að því tilskyldu að hitastig og raki í jarðvegi séu eins og við mælingarnar. Losunarhraði úr óröskuðum móajarðvegi er því metinn 1,7 kg/ha N á dag við 20°C og 60% (rúmmálshlutfall) af vatnsrýmd.

Losun níturs úr sandjarðveginum var með nokkuð öðrum hætti en úr móajarðveginum, auk þess sem losunin mældist innan við tíunda hluta af losuninni úr móajarðveginum á öllum mælingatímanum, 74 dögum. Losunarhraði var að jafnaði 0,18 kg/ha N á mælingatímanum, 74 dögum.

#### HEIMILDIR

**Addiscott, T.M.**, 1983. Kinetics and temperature relationships of mineralization and nitrifica-

- tion in Rothamsted soils with differing histories. *Journal of Soil Science* **34**: 343–353.
- Allison, F.E. & L.D. Sterling**, 1949. Nitrate formation from soil organic matter in relation to total nitrogen and cropping practices. *Soil Science* **67**: 239–252.
- Beck, Th.**, 1983. Die N-Mineralisierung von Böden im Laborversuch. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **146**: 243–252.
- Blakemore, L.C., P.L. Searle & B.K. Daly**, 1987. Methods for chemical analysis of soils. *N.Z. Soil Bureau Scientific Report* **80**.
- Bonde, T.A. & T. Rosswall**, 1987. Seasonal variation of potentially mineralizable nitrogen in four cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* **51(6)**: 1508–1514.
- Broadbent, F.E.**, 1986. Empirical modeling of soil nitrogen mineralization. *Soil Science* **141(3)**: 208–213.
- Broadbent, F.E. & T. Nakashima**, 1968. Plant uptake and residual value of six tagged nitrogen fertilizers. *Soil Science Society of America Proceedings* **32**: 388–392.
- Cabrera, M.L. & D.E. Kissel**, 1988. Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Science Society of America Journal* **52(4)**: 1010–1015.
- Daniels, F. & R.A. Alberty**, 1961. *Physical Chemistry*. 2. útg. John Wiley & Sons, Inc.
- De Ruiter, P.C., J.A. van Veen, J.C. Moore, L. Brussaard & H.W. Hunt**, 1993. Calculation of nitrogen mineralization in food webs. *Plant and Soil* **157**: 263–273.
- Deans, J.R., C.E. Clapp, J.A.E. Molina, K.S. Klair, M.J. Schaffer & N.J. Durben**, 1983. Maize dry matter production as related to biological nitrogen availability indexes. Í: *Proceedings of the International Symposium on Peat and Organic Matter in Agriculture and Horticulture* (ritstj. K.M. Schallinger). 2. útg. Volcani Center, Bet Dagan, Israel 10–14 Oct. Institute of Soils and Water, Bet Dagan, Israel.
- Deans, J.R., J.A.E. Molina & C.E. Clapp**, 1986. Models for predicting mineralizable nitrogen and decomposition constants. *Soil Science Society of America Journal* **50(2)**: 323–326.
- El-Harris, M.K., V.L. Cochran, L.F. Elliot & D.F. Bezdicsek**, 1983. Effect of tillage, cropping and fertilizer management on soil nitrogen mineralization potential. *Soil Science Society of America Journal* **47(6)**: 1157–1161.
- Griffin, G.H. & A.F. Laine**, 1983. Nitrogen mineralization in soils previously amended with organic wastes. *Agronomy Journal* **75(1)**: 124–129.
- Hadas, Avida, Sala Feigenbaum, A. Feigin & Rita Portnoy**, 1986. Nitrogen mineralization in profiles of differently managed soil types. *Soil Science Society of America Journal* **50(2)**: 314–319.
- Hansen, S., H.E. Jensen, N.E. Nielsen & H. Svendsen**, 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fertilizer Research* **27(2–3)**: 245–249.
- Jansson, S.I.**, 1958. Tracer studies of nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. *Annual Report of the Agricultural College of Sweden* **24**: 101–361.
- Jenkinson, D.S.**, 1977a. Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *The Journal of Soil Science* **28(3)**: 417–423.
- Jenkinson, D.S.**, 1977b. Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from <sup>14</sup>C labelled ryegrass decomposing under field conditions. *The Journal of Soil Science* **28(3)**: 424–434.
- Jenkinson, D.S. & J.H. Rayner**, 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* **123(5)**: 298–305.
- Johnson, H.**, 1990. *Nitrogen and Water Dynamics in Arable Soil*. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Science. Reports and Dissertations 6.
- Keeney, D.R. & J.M. Bremner**, 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Agronomy Journal* **58**: 498–503.
- Klute, A.**, 1986. Water retention: laboratory methods. Í: *Methods of Soil Analysis. Part 1*. 2. útg. (ritstj. A. Klute). *Agronomy* **9**: 635–662.
- Marion, G.M., J. Kummerow & P.C. Miller**, 1981. Predicting nitrogen mineralization in chaparral soils. *Soil Science Society of America Journal* **45**: 956–960.
- Marion G.M. & C.H. Black**, 1987. The effect of time and temperature on nitrogen mineralization in arctic tundra soil. *Soil Science Society of America Journal* **51(6)**: 1501–1508.

- Mary, B. & J.C. Remy**, 1979. Essai d'appréciation de la capacité de minéralisation de l'azote des sols de grande culture. Í: *Signification des cinétiques de minéralisation de la matière organique humifiée. Annales Agronomiques* **30(6)**: 513–527.
- Nielsen, N.E.**, 1989. Beskrivelsen af nedbrydningen af organisk stof i jord. Í: *Kompendium i planternes ernæring*. DSR-forlag, Institut for Kulturteknik og Planteernæring, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København: 136–146.
- Nordmeyer, H. & J. Richter**, 1985. Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. *Plant and Soil* **83(3)**: 433–445.
- Nuske, A. & J. Richter**, 1981. N-mineralization in löss-parabrownearthes: incubation experiments. *Plant and Soil* **59(2)**: 237–247.
- Ólafur **Arnalds**, 1988. Jarðvegur á ógrónu landi. *Náttúrufræðingurinn* **58**: 1010–1016.
- Ólafur **Arnalds**, 1993. Leir í íslenskum jarðvegi. *Náttúrufræðingurinn* **63**: 73–85.
- Ólafur **Arnalds**, C.T. **Hallmark** & L.P. **Wilding**, 1995. Andisols from four different regions of Iceland. *Soil Science Society of America Journal* **59**: 161–169.
- Parfitt, R.L.**, 1990. Allophane in New Zealand – A review. *Australian Journal of Soil Research* **28**: 343–360.
- Parfitt, R.L. & C.W. Childs**, 1988. Estimation of forms of Fe and Al: a review, and analysis of contrasting soils by dissolution and Moessbauer methods. *Australian Journal of Soil Research* **26**: 141–144.
- Richter, J., A. Nuske, W. Habenicht & J. Bauer**, 1982. Optimized N-mineralization parameters and loess soils from incubation experiments. *Plant and Soil* **69(3)**: 379–388.
- Rose, C.V. & R.C. Dalal**, 1988. Erosion and runoff of nitrogen. Í: *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems* (ritstj. J.R. Wilson). CAB-International: 212–235.
- Sierra, J.**, 1990. Analysis of nitrogen mineralization as estimated by exponential models. *Soil Biology and Biochemistry* **22(8)**: 1151–1153.
- Smith, J.L., R.R. Schnabel, B.L. McNeal & G.S. Campell**, 1980. Potential errors in the first order model for estimating soil nitrogen mineralization potentials. *Soil Science Society of America Journal* **44(5)**: 996–1000.
- Soil Survey Division Staff, 1993. *Soil Survey Manual*. USDA-SCS Agricultural Handbook nr. 18. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Staff, 1992. *Keys to Soil Taxonomy*. 5. útg. Soil Management Support Service Technical Monograf 19. Pocahontas Press, Blacksburg, Virginia.
- Stadelmann, F.X., O.J. Furrer, S.K. Gupta & P. Lischer**, 1983. Einfluss von Bodeneigenschaften, Bodenbenutzung und Bodentemperatur auf die N-Mobilisierung von Kulturböden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **146**: 228–242.
- Stanford, G. & E. Epstein**, 1974. Nitrogen mineralization-water relations in soils. *Soil Science Society of America Proceedings* **38**: 103–107.
- Stanford, G., M.H. Frere & D.H. Schwaninger**, 1973. Temperature coefficient of soil nitrogen mineralization. *Soil Science* **115**: 321–323.
- Stanford, G. & S.T. Smith**, 1972. Nitrogen mineralization potential of soils. *Soil Science Society of America Proceedings* **36**: 465–472.
- Tabatabai, M.A. & A.A. Al-Khafaji**, 1980. Comparison of nitrogen and sulphur mineralization in soils. *Soil Science Society of America Journal* **44(5)**: 1000–1006.
- Tisdale, S.L. & W.L. Nelson**, 1975. *Soil Fertility and Fertilizers*. Macmillan Publishing Co. Inc., New York: 129 s.
- Þorsteinn **Guðmundsson**, 1991. Jarðvegsrannsóknir á tilraunasvæðunum. Í: *Uppgræðsla á Auðkúluheiði og Eyvindarstaðaheiði 1981–1989* (ritstj. Ingvi Þorsteinsson). *Fjölrit RALA nr. 151*: 51–70.
- Þorsteinn **Guðmundsson**, 1994. Jarðvegsflokkun FAO með hliðsjón af íslenskum aðstæðum. *Fjölrit RALA nr. 167*: 37 s.

Handrit móttakið 14. apríl 1994,  
samþykkt 11. október 1995.