

Áhrif niðurbrots plöntuleifa á laust nítur í jarðvegi

The influence of turnover of plant residues on mineral N in soil

Friðrik Pálmason og Jón Guðmundsson



Áhrif niðurbrots plöntuleifa á laust nítur í jarðvegi

The influence of turnover of plant residues on mineral N in soil

Friðrik Pálmason og Jón Guðmundsson

Ljósmyndir: Áskell Þórisson

Efnisyfirlit

Summary	3
Samantekt	4
Inngangur	5
Aðferðir	6
Niðurstöður	8
Breytileiki í lausu nítri á hverjum tíma og tengsl hans við N í plöntusýnum	8
Breytileiki í lausu nítri milli sýnatökudaga og tengsl hans við N_{alls}	11
Breytingar á lausu nítri við niðurbrot 34 valinna sýna af norðlægum nytjaplöntum	14
Framgangur niðurbrotsins	16
Umræður	25
Þakkarorð	26
Heimildir	27

Summary

In this paper results from the Nordic research project: Characterization of plant residue quality for prediction of decomposition and nitrogen release in agricultural soils are summarized. The results of the project have been presented in published papers, (Stenberg et al. 2004, Jensen et al. 2005, Bruun et al. 2005, Henriksen et al. 2007, Salo et al. 2006). In the project changes in mineral nitrogen (NO_3^- og NH_4^+) and carbon dioxide release during 217 days from 76 plant residues of highly variable quality were measured. The samples were incubated at 15°C and 10 kPa water tension during the whole incubation period. The composition of the samples was analysed with the van Soest method; water-soluble substances, neutral detergent soluble, cellulose, hemicellulose, cellulose and lignin. Carbon and nitrogen concentrations and the C/N ratios in in each fraction were also determined.

Total N in plant material (mg N g⁻¹ of added C) was at the average the single factor closest correlated (Pearson correlation coefficient) to the mineral N released from the plant residues at each sampling time (Jensen et al. 2005). The difference of the correlations was though minimal between total N and neutral detergent soluble N (ND-N) as independent variables. The correlation was slightly higher for ND-N until day 22 of the incubation, but for the remaining sampling occasions the net N mineralization was better correlated to total N.

The best empirical function of some previously used functions to describe the time pattern of net nitrogen mineralization was a Monod type of equation (Bruun et al. 2005). The parameters of the function for N mineralization were better predicted by use of van Soest fractions than with C/N ratiion or NIR spectra and in PLS models the N content was the most important factor (Bruun et al. 2005).

In the present work the net N mineralization at each sampling date, as a function of the initial total N concentration in plant residues, was fitted by least squares with the Boltzmann equation. An increasing part of the total variation in net mineralization of N is explained by the equations from day 4 to 42 in the incubation or from 69 to 89% and after that slowly decreasing to 76% at the last day.

The N content of plant residues at onset of N net mineralization was determined by use of the Boltzmann equations on each sampling date. The time elapsing from inclusion of the residue in soil to the release of nitrogen in soil was closely related the initial nitrogen concentration in the residue.

Some aspects of the nitrogen mineralization from the residues are considered here by the example of 34 plant samples of crops species used or tested with good results in Iceland. The samples can be classified in four groups according to the pattern of net nitrogen mineralization. The groups are approximately classified by their initial N content. The N content of the residues in the first group ranges from 44.9-59.1 mg N g⁻¹ dry matter. The N mineralized increases rapidly in the beginning but declines slightly towards the end of the incubation. In the next group are samples with 19.7-50.4 mg N g⁻¹ DM with a steadily and in the beginning rapidly increasing net N mineralization. In the third group with 13.7-25.3 mg N g⁻¹ DM the gross immobilization is higher in the beginning than the gross mineralization. Later on the net mineralization increases and exceeds at the end of the incubation the net N mineralized in the beginning. The N content of samples in the fourth group is in the range 2.9-13.6 mg N g⁻¹ DM. In this group net immobilization takes place in the beginning and later on there is only a slight net mineralization or no change in mineral N. At the end of the 217 day incubation the inorganic N released in soil was not higher than in the beginning.

Samantekt

Hér í þessu riti eru dregnar saman nokkrar niðurstöður úr norrænu samstarfsverkefni, sem höfundar voru aðilar að. Niðurstöður verkefnisins hafa verið birtar áður í erlendum vísindagreinum (Stenberg o.fl. 2004, Jensen o.fl. 2005, Bruun o.fl. 2005, Henriksen o.fl. 2007, Salo o.fl. 2006). Í verkefninu var fylgst með breytingum á lausu nítri (NO_3^- og NH_4^+) úr mismunandi plöntuleifum, sem blandað var í jarðvegi. Hitastigi og vatnsspennu jarðvegsins var haldið stöðugu við 15°C og 10 kPa allan tíman. Breytingar sem urðu eftir íblöndun 76 mismunandi plöntusýna voru vaktaðar í alls 217 daga. Samsetning plöntusýnanna m.t.t. vatnsleysanlegra efna, sápuleysanlegra efna (NDS), sellulósa, hemisellulósa og lignins var greind með van Soest aðferð. Magn C og N og hlutfall þeirra (C/N) í einstökum þáttum var einnig ákvarðað. Þegar borin voru saman áhrif mismunandi plöntusýna á laust nítur á hverjum tíma kom í ljós að breytingar á lausu nítri sýndu að jafnaði meiri fylgni (Pearson fylgnistuðull) við heildarstyrk N (N_{alls}) í plöntusýnunum, en við aðra einstaka efnaþætti, sem mældir voru (Jensen o.fl. 2005). Lítil munur var samt á fylgni við N_{alls} og við sápuleysanlegt N (NDS-N). Breytingar á lausu nítri sýndu lítið eitt meiri fylgni við vatnsleysanlegt N en N_{alls} fram til 22. dags en fylgdu N_{alls} betur eftir það til lokadags tilrauna. Að öllu samanlögðu er því mæling á N_{alls} í plöntusýnunum heppilegasti mælikvarðinn á breytingar sem verða á lausu nítri í jarðvegi við niðurbrot þeirra. Auk þess er aðstaða til mælinga á N_{alls} nær alltaf fyrir hendi á rannsóknastofum, en aðstaða til van Soest mælinga, þar á meðal NDS-N sjaldnar.

Innan hvers sýnitökudags var breytingum á lausu nítri eins og þær mældust, best lýst með S-falli (Boltzmann sigmoid) af upphaflegum níturstyrk (N_{alls}) í plöntum. Þessar líkingar voru kvarðaðar gagnvart minnsta fráviki frá mælingunum. Líkingarnar skýra vaxandi hluta af breytileika í lausu nítri frá 4. til 42. dags eða frá 69-89%, eftir það fer hlutfallið lækkandi og var á lokadegi mælinga 76%. Breytingum á lausu nítri frá einum sýnadegi til annars var að jafnaði best lýst líkingu af svo nefndri Monod gerð. Við kvörðun líkingarinnar reyndist skipting níturs milli frymis og einstakra byggingarefnaþátta samkvæmt van Soest greiningu best. Oftast var nægjanlegt að nota aðeins einn þátt við kvörðunina (Bruun o.fl. 2005).

Skóðað var sérstaklega niðurbrot 34 valinna plöntusýna. Valin voru sýni af plöntum sem annað hvort eru þegar ræktaðar hér eða hafa reynst vel í prófunum. Skipta má þessum sýnum í fjóra hópa eftir því hvernig niðurbrot þeirra gengur fram. Þessi skipting fylgir einnig í grófum dráttum heildarstyrk N í sýnunum í upphafi.

Í fyrst hópnum eru sýni með N_{alls} á bilinu 44,9-59,1 mg N g⁻¹ þurrefnis (þe). Hjá þessum hópi eykst laust nítur í jarðvegi í upphafi en það dregur úr þeirri aukningu þegar á líður. Laust nítur er þó allan tíman meiri en í byrjun. Í öðrum hópnum eru sýni með N_{alls} á bilinu 19,7-50,4 mg N g⁻¹ þe. Hjá þessum hópi verður nær stöðug aukning á lausu nítri í jarðvegi allan tímann. Í þriðja hópnum eru sýni með N_{alls} á bilinu 13,7-25,3 mg N g⁻¹ þe. Hjá þessum hópi er niðurbrotið með þeim hætti að laust nítur í jarðvegi minnkar í upphafi þ.e.a.s. örverur taka meira af því nítri, sem er laust í jarðveginum en losnar á sama tíma úr plöntuleifunum. Þegar líður á niðurbrotið eykst laust nítur aftur í jarðveginum og er við lok tímans orðið meira en það var í byrjun. Í fjórða hópnum eru svo sýni með N_{alls} á bilinu 2,9-13,6 mg N g⁻¹ þe. Hjá þessum hópi verður í upphafi lækkun á lausu nítri, þ.e. meira er bundið af örverum en losnar úr plöntuleifunum, en síðan tekur við hægfara aukning sem er þó vart merkjanleg hjá sumum sýnum. Aukningin nær þó ekki að auka laust nítur í jarðvegi umfram það sem það var í byrjun. Úr sýni af trénuðum hörstönglum var N bundið í jarðvegi umfram losun úr plöntuleifum allan mælingatímann, þ.e.a.s. nettóbinding var allan tímann.

Inngangur

Þekking á níturlosun frá plöntuleifum í jarðvegi er mikilvæg frá sjónarmiðum umhverfisverndar og áburðarnýtingar. Í ræktun er mikilvægt að það nítur, sem losnar við niðurbrot plöntuleifa eða bætt er við eftir öðrum leiðum sé í sem bestu samræmi við upptöku gróðurs. Umfram magn af lausu níttri getur leitt til þess að það skolist út úr jarðveginum og í ár, vötn eða til sjávar. Áhrif of mikils framboðs á níttri í þessum vistkerfum getur svo leitt til ofvaxtar þörunga og súrefnisskorts í kjölfarið. Í jarðveginum getur laust nítur ummyndast í hláturgas (N₂O), sem losnar í andrúmsloftið. Hláturgas er mjög öflug gróðurhúsalofttegund og því mikilvægt að draga sem mest úr losun hennar. Í lífrænni ræktun er tilbúinn áburður ekki heimilaður (Reglugerð nr.74/2002) en þess í stað er m.a. byggt á því níttri, sem losnar úr plöntuleifum, sem brotna niður á eða í jarðveginum. Til þess að koma í veg fyrir ofnotkun eða minnka notkun tilbúins áburðar og draga þar með úr kostnaði er nauðsynlegt að meta og plöntuleifum. Meðal annars af þessum orsökum er mikilvægt að þekkja vel hvaða þættir það eru, sem ráða framgangi niðurbrots plöntuleifa og hvernig það skilar lausu níttri inn í ræktun.

Höfundar þessa heftis tóku þátt í norrænu verkefni um mismunandi aðferðir við kvörðun plöntuleifa m.t.t. niðurbrots þeirra. Verkefnið var samstarfsverkefni aðila í fimm Norðurlöndum þ.e. frá Danmörku, Noregi, Svíþjóð og Finnlandi auk okkar. Heiti verkefnisins var: „*Characterisation of plant residue quality for prediction of decomposition and nitrogen release in agricultural soils*“ eða á íslensku „*Greining á eiginleikum plöntuleifa með það að markmiði að segja fyrir um niðurbrot þeirra og losun níturs í ræktunarjarðvegi.*“

Í verkefninu var fylgst með framgangi niðurbrotsins í jarðvegi með plöntuleifum annars vegar með mælingum á losun koltvísýrings (CO₂) og hins vegar á lausu níttri í jarðveginum. Verkefnið hófst árið 2000 og því lauk formlega 2004, en eins og títt er um slík verkefni, þá hafa gögnin, sem safnað var verið tilefni margvíslegra greininga og úrvinnslu og voru greinar úr verkefninu að birtast til a.m.k. 2007. Auk þess sem þeim, sem eftir því hafa óskað, hefur verið veittur aðgangur að gögnum verkefnisins til frekari úrvinnslu. Lista yfir þær ritrýndu greinar sem birtar hafa verið úr verkefninu er að finna hér neðanmáls¹.

Í grein Jensen o.fl. (2005) er ítarlega fjallað um plöntusýnin, jarðveginn, mælingarnar á C og N losun og fylgni hennar við C, N og C/N í öllum þeim efnaflokkum trefja og leysanlegra efna, sem greindir voru. Eitt helsta markmið verkefnisins var að kanna notagildi NIR (Near Infrared Reflectance) mælinga til að segja fyrir um niðurbrot plöntuleifa í jarðvegi. Í grein Stenberg o.fl. (2004) er kvörðun NIR mælinga við þá efnaflokka í plöntusýnum sem aðskildir eru með breyttri van Soest aðferð (Henriksen og Breland 1999) rakin. Samanburður á notagildi NIR mælinga og þrepaskiptrar efnameltingar í van Soest efnaflokka var unninn annars vegar með kvörðun reynslulíkinga, sem lýsa niðurbrotinu, (Bruun o.fl. 2005) og hins vegar með því að nota aðferðirnar til að meta misnýtanlega

¹ Listi yfir þær vísindagreinar sem birst hafa úr verkefninu í alþjóðlegum tímaritum.

Published papers from the projects in international scientific journals.

Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273(1-2): 307-326.

Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 2283-2296.

Near infrared reflectance spectroscopy for quantification of crop residue. green manure and catch crop C and N fractions governing decomposition dynamics in soil. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 12: 331-346.

Characterization of plant residue quality for prediction of decomposition and nitrogen release in agricultural soils. *Acta Hort. (ISHS)* 700: 57-62.

Stepwise chemical digestion. near-infrared spectroscopy or total N measurement to take account of decomposability of plant C and N in a mechanistic model. *Soil biology & biochemistry* 39 (12): 3115-3126.

forða C og N í plöntum fyrir hermilkan af C og N losun við niðurbrot í jarðvegi (Henriksen o.fl. 2007). Í sem stystu máli var niðurstaðan í þeim greinum, sem birtust á árunum 2004 til 2007 þessi: NIR litróf og styrkur N_{alls} í plöntuleifum eru hagkvæmir valkostir til að segja fyrir um niðurbrot plöntuleifa í jarðvegi (Salo o.fl. 2006).

Í þessari samantekt eru tengsl heildarmagns níturs (N_{alls}) í plöntuleifunum og breytinga á lausu níttri (NO_3^- og NH_4^+) í jarðveginum skoðuð nánar og gögnin úr verkefninu notuð til að kanna sérstaklega tímasetningu umskipta frá minnkandi lausu níttri í jarðvegi yfir í aukningu. Einnig er framgangur niðurbrots valinna plöntuleifa, sem ræktaðar eru eða hafa verið ræktaðar hér á landi, rakinn m.t.t. breytinga á lausu níttri í jarðveginum. Að auki er gerð grein fyrir aðferðum verkefnisins og nokkrum niðurstöðum úr þeim vísindagreinum sem þegar hafa verið birtar úr verkefninu eða eru byggðar á gögnum þess.

Með þessari samantekt þá viljum við gera aðgengilegar þeim sem sinna ræktun hér á landi nokkrar niðurstöður úr þessu norræna verkefni í þeirri von að það megi verða til þess að efla skilning á mikilvægi níturs í plöntuleifum og möguleika á nýtingu þess í ræktun.

Aðferðir

Gögn um framgang niðurbrots plöntuleifa voru fengin með mælingum á losun CO_2 og breytingum á lausu níttri í jarðvegi, sem plöntusýnum hafði verði blandað í. Mælingarnar fór fram við staðlaðar aðstæður í tilraunastofum í öllum þáttökulöndunum.

Í upphafi verkefnis var safnað 249 mismunandi sýnum af plöntum og plöntuhlutum. Ekki var unnt að mæla niðurbrot í öllum þessum sýnum og voru því valin 76 til losunarmælinga og frekari greiningar á samsetningu. Við val sýnanna var byggt á mælingum á endurkasti frá nær-innrauðu litrófi (1100-2500 nm) og var miðað við að valin sýni gæfu sem besta mynd af öllu safninu (Stenberg o.fl. 2004; Jensen o.fl. 2005). Valin sýni voru af ofanjarðarhluta 37 tegunda plantna; laufblöðum, stönglum, sinu af grastegundum og hálmi af korntegundum svo dæmi séu nefnd. Breytileiki var líka vegna mismunandi áburðarnotkunar og þroskastigs. Fyrir niðurbrotsmælingar var C og N mælt í trefjaefnum og leysanlegu efni í öllum 76 plöntusýnunum með afbrigði af van Soest greiningu, einnig nefnd þrepaskipt efnamelting (e: stepwise chemical digestion) (Henriksen og Breland 1999, Jensen o.fl. 2005). Einn hluti þess að staðla framkvæmd tilraunanna var að nota sama jarðveginn í allar tilraunirnar. Sendinn jarðvegur frá tilraunastöð í Häme í suðurhluta Finnlands varð fyrir valinu. Steinefnahluti jarðvegsins var 88,0% sandur, 7,3% méla og 4,7% leir. Lífrænt kolefni var 1,8% og N_{alls} 0,14%. Valinn var sendinn jarðvegur með lágt leirinnihald til að takmarka bindingu níturs milli laga leiragna. Undirbúningur jarðvegs fyrir allar mælingarnar fór fram í Finnlandi. Áður en jarðvegurinn var sendur á einstakar rannsóknastofur var örveruflóra hans auðguð með því að bæta rauðsmára og vallarfoxgrasi í jarðveginn og það látið brotna niður við 15°C og 40% af vatnsrýmd í 53 daga eða þar til CO_2 losun frá plöntuleifunum lauk. Jarðveginum var síðan skipt niður í fimm hluta og hann frystur við -18°C fyrir sendingu til þáttökulandanna. Jarðvegurinn var geymdur á hverri rannsóknastofu við -18°C þar til kom að niðurbrotstilraununum. Þá var hann þíddur við stofuhita í 24 klst og hafður í jafnhitaskáp í 14-16 daga við 15°C, til þess draga úr áhrifum frosts og þíðu á umsetningu C og N, áður en plöntusýnum var bætt í hann og sýnataka fyrir mælingar hófst.

Áður en plöntusýnunum var blandað í jarðvegin voru þau öll klippt niður í búta, sem voru ekki stærri en 1 cm á lengd. Hlutfall plöntusýna í jarðvegi var haft fremur hátt eða 1 g þurrefni í 50 g af jarðvegi. Fyrir hverja gerð plöntusýna var reiknað, hvort þörf væri viðbótar nítur (Rammi 1) og því bætt í jarðveginn, sem viðkomandi plöntusýnum var síðan blandað í.

Útreikningar á þörf fyrir viðbótar níttrat við niðurbrot einstakra plöntusýna.

Í jarðveg sem nota á fyrir plöntusýni með hátt hlutfall C/N þarf að bæta við nítрати (KNO₃) svo niðurbrotið verði ekki takmarkað af aðgengilegu níttri í jarðvegi. Útreikningarnir byggjast á niðurstöðum í doktorsritgerð Thronds Henriksen (Henriksen, T. M. 1998) um að magn N sem nauðsynlegt er fyrir niðurbrotið sé 3% af heildar C í plöntunum.

Dæmi: Strá með 45% C, C/N=180: Magn plöntuefna sem bætt er í jarðveg er 2% af þyngd, í hverju kg jarðvegs eru því 9 g C og 50 mg N sem koma með plöntusýninu. Ef C í stoðefni er 80% af heildar C þá er C í stoðefni 7,2 g og nauðsynlegt N = $7,2 \cdot 0,03 = 216$ mg N/kg jarðvegs. Því þarf að bæta við $216 - 50 = 166$ mg NO₃-N/kg jarðvegs.

Rammi 1. Útreikningar á níttrat þörf.

Text box 1. Calculation of nitrate addition to samples with high C/N ratio needed to bring N content to 3% of total C in plant (according to Henriksen, T. M. 1998) The intention with the nitrate addition is to exclude inhibition of nitrogen mineralization by shortage of nitrogen in the mineralizing microbes in soil.

Niðurbrotið var látið fara fram í jafnhitaskápum við 15°C og 10kPa vatnsspennu. Vatnsinnihald jarðvegsins var stillt af í upphafi tilrauna og viðhaldið með vökvun meðan á tilrauninni stóð. Uppsöfnuð losun C og N var mæld sem CO₂, NH₄⁺ og NO₃⁻ með reglubundnu millibili á 31 vikna tímabili. Alls var ammóníum og níttrat mælt 8 sinnum á þessu tímabili og koltvísýringur 13 sinnum, í hvert skipti voru mældar þrjár endurtekingar fyrir hvert plöntusýni. Einnig voru á hverri rannsóknastofu mæld samanburðarsýni af vallarfoxgrasi auk jarðvegsýna án plöntuleifa í hvert sinn. Í hverju hinna fimm þátttökulanda voru tvær 31 vikna mælingaraðir. Fyrir hverja mælingu koltvísýrings (CO₂) voru 30 sýni (3 endurtekingar af 10 sýnum) sett í loftþétt ílát og CO₂ var safnað í lút (NaOH) frá byrjun til loka hvers tímabils. Önnur sýni voru ekki í loftþétt lokuðum ílátum. Uppsafnað ammóníum og níttrat frá byrjun losunarmælinga var mælt eftir útskolun með 1 M KCl-lausun. Koltvísýringismælingin raskaði ekki jarðvegs og plöntusýnunum, en það gerði hins vegar skolonin með kalíum klóríði og var þeim sýnum því fargað að lokinni mælingu. Mælingar voru gerðar á degi 0,4,10,22,42,79,133 og 217 frá upphafi tilrauna. Smávægileg frávik urðu þó á tímasetningu mælinga í einstökum löndum, en þau frávik voru ekki talin skipta máli við úrvinnslu gagnanna.

Framkvæmd og undirbúningur tilraunanna var miðuð við að draga sem mest úr áhrifum jarðvegstengdra þátta á niðurbrotið og þar með að það ráðist sem mest af eiginleikum plöntusýnanna. Þeir jarðvegspættir sem geta haft áhrif eru m.a. aðgengi að lausu níttri, hæfi örveruflórunnar til að setjast á og brjóta niður trefjaefni (holosellulosa) plöntuleifanna og binding bæði C og N í því niðurbrotshveli sem umlykur plöntuleifarnar í jarðveginum. Grófhlutun plöntusýnanna miðaði að því að takmarka snertingu jarðvegs og plöntuleifa og þar með stærð niðurbrotshvelsins. Auðgun örveruflórunnar í jarðveginum áður en plöntuleifunum var blandað í hann miðaði að því að tryggja næga örveruflóru til niðurbrotsins og jafnframt að vega á móti grófri hlutun plöntusýnanna. Viðbótar níttrat í upphafi var til að tryggja niðurbrotsörverunum nægt laust nítur til niðurbrotsins. Í grein Jensen o.fl. (2005) er gerð ítarlegri grein fyrir forsendum þessarar tilhögunar.

Breytingar í lausu níttri í jarðvegi með og án plöntusýna voru reiknaðar með því að draga magnið, sem mælt var í samskonar sýni á upphafsdegi frá því magni, sem mældist viðkomandi sýnatökudag. Sá hluti þessara breytinga sem stafaði af niðurbroti plöntuleifanna var fundinn með því að draga breytingu á lausu níttri í jarðvegi án plöntuleifa frá breytingum á jarðvegi með plöntuleifum í.



Mynd 1. Nýplægður grassvörður: Fyrir eða síðar losnar það nítur sem bundið er í gróðrinum, sem plægður er niður.

Fig. 1. Ploughed hayfield: The nitrogen of the plant residues will be available sooner or later.

Niðurstöður

Í þeim vísindagreinum, sem birtar hafa verið úr verkefninu er gerð grein fyrir helstu niðurstöðum verkefnisins. Ekki er ætlunin að rekja þær niðurstöður allar hér heldur verður aðeins gerð nánari grein fyrir athugun á tengslum nítur innihalds í plöntusýnunum við breytingar á framboði á lausu níttri. Að auki eru hér raktar niðurstöður þar sem gögn úr verkefninu voru notuð til að kanna sérstaklega tímasetningu umskipta frá minnkandi framboðs á lausu níttri (NO_3^- og NH_4^+) úr plöntuleifum í jarðvegi yfir í aukningu.

Breytileiki í lausu níttri á hverjum tíma og tengsl hans við N í plöntusýnum

Fylgni breytinga á lausu níttri við einstök efni og efnaflokk, sem greind voru í plöntusýnunum, var könnuð. Mest fylgni reyndist vera við heildarstyrk N (N_{alls}) og NDS-N (Pearson fylgnistuðull = 0,89) og svo við vatnsleysanlegt N (0,86) (Tafla 1). N_{alls} er því valið hér til að reikna aðhvarfslíkingar fyrir breytingar á lausu níttri á hverjum sýnatökutíma.

Tafla 1. Fylgni (*Pearson correlation coefficients*) breytinga á lausu nítri við valda efnisflokka (Jensen o.fl. 2005).

Table 1. Pearsons correlation coefficients of the relation of net N mineralization to the concentration of total nitrogen (N_{alls}), water soluble N (vatnsleysanlegt N) N and neutral detergent soluble N (NDS-N), (Jensen et al 2005).

Dagar frá byrjun	4	10	22	42	79	133	217	Meðaltal
Efnisflokkar N	Pearsons fylgnisstuðlar							
N_{alls}	0,72	0,86	0,90	0,94	0,94	0,94	0,92	0,89
Vatnsleysanlegt N	0,76	0,87	0,91	0,92	0,90	0,87	0,82	0,86
NDS-N	0,72	0,85	0,91	0,93	0,94	0,94	0,92	0,89

Fylgni milli tveggja þátta segir aðeins að breytingar á viðkomandi þáttum verði samhliða. Í fylgninni felst ekkert um hvernig tengslum milli þáttanna er háttað. Það var þess vegna kannað sérstaklega. Sambandi breytinga á lausu nítri á hverjum sýnatökutíma og N_{alls} í viðkomandi plöntusýni er, af þeim líkingum sem prófaðar voru, best lýst með S-kúrfu (Boltzmann σ -líkingu) (Jafna 1 og Tafla 1).

Jafna 1. Líking Boltzmanns fyrir S-kúrfu: Y: N losun/binding ; x: N í þurrefni plöntuleifa. Y_{min} , Y_{max} , th og α eru stuðlar í jöfnunni.

Equation 1. Boltzmann equation for a sigmoid curve: Y: net N mineralization; x: N concentration in plant residue DM; Y_{min} , Y_{max} , th and α are parameters in the equation.

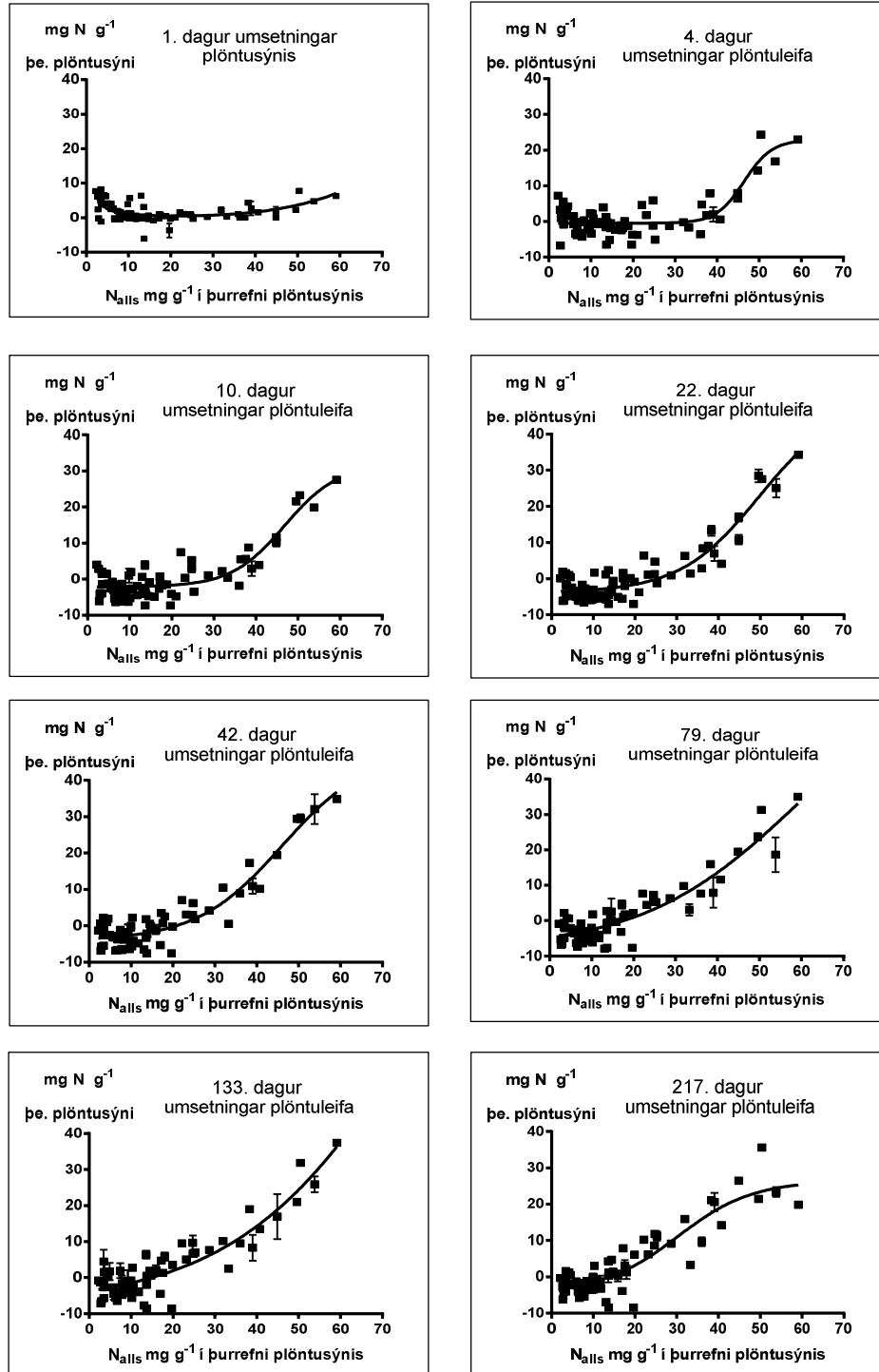
$$Y(x) = Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{1 + e^{-(th-x)/\alpha}}$$

Sá breytileiki sem aðhvarfið skýrir (R^2) er á bilinu 69- 89% og staðalfrávik frá aðhvarfslínu er 3,1-4,1 mg N g⁻¹ þe í plöntusýni.

Tafla 1. Aðhvarfsstuðlar í Boltzmann líkingu og gæði aðhvarfs.

Table 2. Parameters of Boltzmann equations and goodness of fit during incubation from day 4 to day 217.

Dagar	4	10	22	42	79	133	217
Y_{min}	-0,29	-1,982	-3,860	-4,539	-10,67	-10,1	-5,723
Y_{max}	22,69	32,41	53,85	53,93	127,2	303,1	26,54
Helmingatími th	46,41	47,18	51,55	48,44	78,55	108,2	28,85
Halltala a	3,16	6,504	10,32	11,8	25,24	27,88	11,14
R^2	0,69	0,79	0,86	0,89	0,84	0,81	0,76
Staðalfrávik, $S_{y,x}$	3,1	3,1	3,1	3,2	3,5	3,9	4,3
Fritölur	224	224	224	200	200	200	196
Fjöldi Y endurtekninga	3	3	3	3	3	3	3



Mynd 2. Nítur í plöntum (x) og níturlausun (y) úr plöntuleifum. Mæld gildi og aðhvarfslínur á degi, 4, 10, 22, 42, 79, 133 og 217 í losunarferlinu við 15°C og 10 kPa. Aðhvarfslínur reiknaðar samkvæmt Boltzmann líkingum og þeim stuðlum sem gáfu minnst frávik frá mældum gildum (tafla 2).

Fig. 2. Initial nitrogen in concentration in plants (x) and net nitrogen mineralization from plant residues (y). Measured values and regression curves according to Boltzmann equations on days 4 to 217 in incubation at 15°C and 10kPa.

Þessar niðurstöður segja okkur að á hverjum tíma megi skýra verulegan hluta af þeim breytingum, sem verða á lausu níttri í jarðvegi við niðurbrot plöntuleifa með mismunandi N innihaldi þeirra í upphafi niðurbrotsins. Aukningin er þó ekki línuleg á hverjum tíma þ.e.a.s. sérhver viðbót í N innihaldi hefur mismikil áhrif á laust nítur eftir því hvert N innihaldið er. Jafnframt er sambandið milli N_{alls} og breytinga á lausu níttri mismunandi frá einum sýnatökudegi til annars eins og sést greinilega á mynd 2.

Breytileiki í lausu níttri milli sýnatökudaga og tengsl hans við N_{alls}

Eins og vel sést á myndum 6 til 11 eru tengsl breytinga á lausu níttri við fjölda daga, sem liðnir eru frá upphafi niðurbrots plöntusýnanna, mismunandi eftir plöntusýnum. Hér að framan var rakið hvernig breytingar á lausu níttri innan hvers sýnatökudags fylgja vel N_{alls} og að jafna 1 lýsir vel því sambandi.

Jafna 2. Jafna af Monod gerð (frá Bruun o.fl. 2005). Y ; breyting á lausu níttri mg $N\ g^{-1}$ þe, t ; dagar frá upphafi niðurbrots; A , th og α eru stuðlar í jöfnunni.

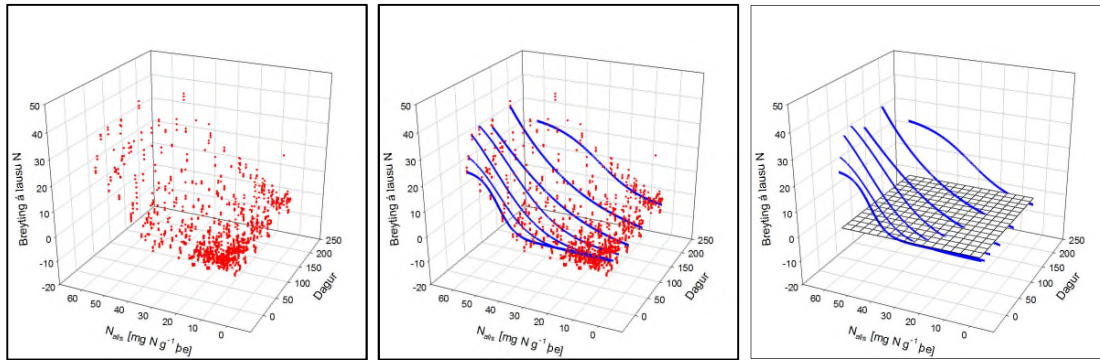
Equation 2. Monod type of equation according to Bruun et al. 2005 for the time pattern of net nitrogen mineralization. mg $N\ g^{-1}$ DM in plant residue as a function of days from the onset of mineralization. Parameters A , th and α .

$$Y = \left(A \cdot \frac{t}{th + t} \right) \left(1 - \alpha \left(1 - \left(A \cdot \frac{t}{th + t} \right) \right) \right)$$

Í grein Bruun o.fl. (2005) var rakið að líking af Monod gerð (Jafna 2) hafi reynst best til að lýsa framgangi niðurbrots einstakra sýna og að hægt hafi í flestum tilvikum verið að lýsa stuðlum þeirrar líkingar út frá aðeins einum þætti sýnanna. Í annarri grein (Bruun o.fl. 2006) þar sem gögn úr verkefninu voru nýtt til prófunar á reiknilíkani, sem spáir fyrir um losun níturs við niðurbrot plöntuleifa, var sýnt fram á að sú losun ræðst einfaldlega af niðurbrotshraða kolefnasambandanna í sýnunum og hlutfalli N og C (N/C). Hægt var að skýra mjög stóran hluta ($R^2=0,94$) af breytileika í lausu níttri á hverjum tíma, eins og hann mældist í verkefninu, með þessu hlutfalli. Niðurbrotshraða kolefnissambandanna eins og hann mældist í verkefninu var samkvæmt Bruun o.fl. (2006) best lýst með tveggja þátta líkani (Paustian o.fl. 1997).

Losun níturs úr plöntuleifum gengur misjafnlega fyrir sig eins og rakið er síðar í þessu riti með nokkrum dæmum. Ef horft er til nýtingar þessa níturs í ræktun þá skiptir máli hvenær laust nítur fer að skila sér út í jarðveginn. Ef hins vegar er horft til hættu á útskolun nítur sambanda eða umbreytingar þeirra í gas, sem síðan losnar úr jarðveginum, þá skiptir máli hversu lengi örverur taka til sín nítur umfram það sem losnar úr plöntuleifum. Í báðum tilvikum er mikilvægt hvenær umskiptin milli upptöku og losunar verða. Í greinum Bruun o.fl. (2005) og Bruun o.fl. (2006) eru boðnar ákveðnar lausnir á að lýsa breytingum á lausu níttri eftir því sem lengra líður á niðurbrot plöntuleifanna og þar með hvenær ofangreind umskipti verða. Í báðum tilvikum þurfa þó að liggja fyrir viðbótarupplýsingar umfram heildarmagn níturs í leifunum. Annars vegar stuðlar í jöfnu (2) fyrir viðkomandi plöntuleifar. Hins vegar hraði niðurbrots kolefnishluta plöntuleifanna.

Hér er því reynt að nálgast viðfangsefnið með öðrum hætti, þ.e. að styðjast eingöngu við N_{alls} í plöntuleifunum í upphafi. Áður en lengra er haldið í því er áhugavert að skoða myndræna framsetningu á viðfangsefninu.



Mynd 3.

- Mældar breytingar á lausu nítri í jarðvegi sem fall af upphaflegum heildarstyrk N í plöntuleifunum og dögum sem liðnir eru frá upphaf niðurbrots.
- Eins og a) nema búið er að bæta inn Boltzmann σ -kúrfum fyrir einstaka sýnatökudaga.
- Boltzmann σ -kúrfurnar ásamt plani þar sem breytingar á lausu nítri frá upphafi tilrauna eru =0 (umskipti milli minnkaðs og aukins framboðs af lausu nítri).

Fig. 3.

- Net nitrogen mineralization from plant residues as a function of initial total N concentration in the residue and days from initiation of mineralization.
- The same as a), but with Boltzmann σ -curves for each sampling day.
- The Boltzmann curves with a plan of transition from net immobilization to net mineralization.

Á mynd 3 eru mæliniðurstöður fyrir breytingar á lausu nítri sýndar miðað við N_{alls} í upphaflega plöntusýninu og fjölda daga sem liðnir eru frá upphafi niðurbrots. Einnig eru þar dregin inn gröfin sem reiknuð voru fyrir breytileikann í lausu nítri innan hvers sýnatökudags og hvernig þau gröf fara í gegnum 0-plan (engin breyting á lausu nítri).

Eins og er rakið hér að framan þá skýrist breytileiki í lausu nítri á hverjum tímapunkti að miklu leyti af upphaflegum styrk N í plöntusýninu. Samhengi N_{alls} og breytinga á lausu nítri á hverjum tíma er almennt lýst með Boltzmann σ -líkingum (Jafna 1). Þessar líkingar eru svo kvarðaðar við mælda losun allra plöntusýnanna á hverjum sýnatökudegi. Stuðlar líkingarinnar fyrir hvern sýnatökudag eru sýndir í töflu 2. Með því að reikna upphafsstyrks N (N_{alls}) í plöntusýnunum samkvæmt jöfnu 1, kvarðaðri fyrir einstaka sýnatökudaga og miða við að breytingar á lausu nítri séu jafnt og núll ($Y=0$) er hægt að skoða tengsl milli upphafsstyrks N (N_{alls}) í plöntusýnunum og þess hvenær fyrst verður aukning á lausu nítri í jarðveginum. Í töflu 3 eru reiknuð þau gildi sem N_{alls} þarf að hafa til að umskiptin verði á þessum sýnatökudögum. Með því að setja N_{alls} reiknað með þessum hætti upp á móti tímanum, sem umskiptin verða á, kemur í ljós ákveðið samhengi (mynd 4). Þetta samhengi fellur vel að dvínandi veldisfalli ($R^2=0,99$).

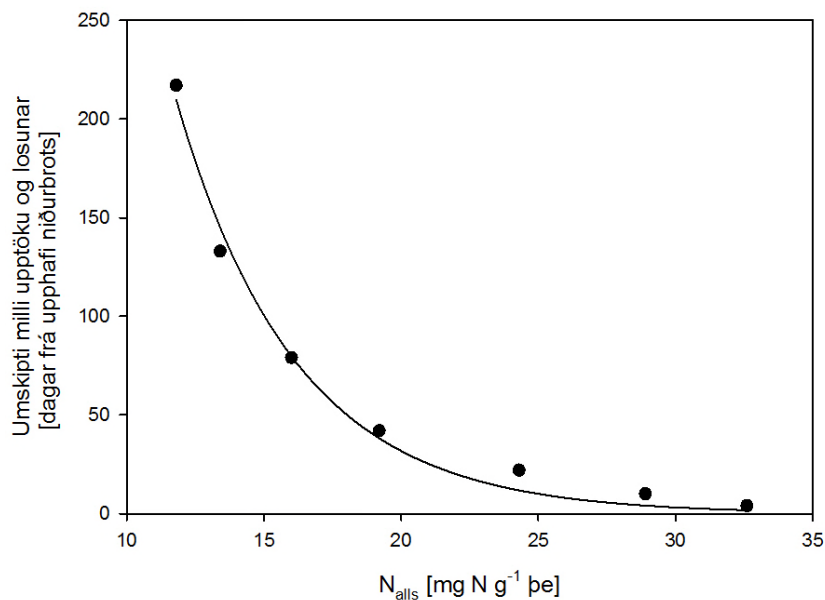
Tafla 2. Upphaflegur styrkur N í plöntusýnum við byrjun nettólosunar reiknaður af Boltzmann líkingunni á tilgreindum sýnatökudögum.

Table 3. Initial nittrogen concentration (N_{alls}) in plant residues at the date of transition from net immobilization to net mineralization calculated from the Boltzmann equations at each sampling day by setting $Y(x)=0$.

Stuðlar aðfelldrar líkingar: Coefficients of the regression equation.

Dagar frá upphafi tilraunar	4	10	22	42	79	133	217
N_{alls} [mg g^{-1} þe]	32,6	28,9	24,3	19,2	16,0	13,4	11,8
Stuðlar aðfelldrar líkingar	a	b	R^2	SE spágilda			
$y = ae^{(-bx)}$	3169,37	0,23	0,99	8,45 [dagar]			

Á mynd 4 sést vel að því meira magn sem er af N í upphaflega sýninu því fyrr fer nítur að losna út í jarðveginn við niðurbrot þess. Sýni með lítið heildarmagn N skila lausu níttri mjög seint út í jarðveginn jafnvel við þessi hagstæðu skilyrði sem niðurbrotið fór fram við.



Mynd 4. Tímasetning umskipta frá bindingu til losunar níturs í jarðveg og aðfellt veldisfall ($y=ae^{(-bx)}$).

Fig. 4. Days from the beginning of incubation to the transition from net mineralization to net immobilization as an exponential function ($y=ae^{(-bx)}$) of initial nitrogen concentration of total N in plant residues.

Breytingar á lausu nítri við niðurbrot 34 valinna sýna af norðlægum nytjaplöntum

Til nánari skoðunar á framgangi niðurbrotsins og á því hvaða þættir í samsetningu plöntuleifanna hafi þar mest áhrif eru hér valin 34 sýni. Val sýnanna miðaðist við að viðkomandi plöntur séu annað hvort þegar ræktaðar hér á landi eða hafi í prófunum reynst vel til ræktunar hér. Samsetning þessara plöntusýna er mjög breytileg bæði m.t.t. heildarmagns N og einnig annarra efnaflokka, sem greindir voru. Annars vegar eru skoðuð tengsl breytinga á lausu nítri í jarðvegi við samsetningu plöntuleifanna m.t.t. þeirra byggingarefnaflokka, sem greindir voru í þeim. Hins vegar er mismunandi framgangur niðurbrotsins rakinn og hvernig sá framgangur tengist mismiklu N í upphaflegu sýnunum.

Eins og fram kom hér að ofan þá er breytingum á lausu nítri innan einstakra sýnatökudaga best lýst út frá breytilegu heildarmagni N (N_{alls}) í plöntuleifunum í upphafi. Hér er heildarbreytingin á lausu nítri frá upphafi til loka tilrauna skoðuð nánar og borin saman við nokkra aðra þætti í samsetningu plöntuleifanna. Niðurstöður þessa samanburðar eru settar fram annars vegar með myndrænum hætti á þar sem breytingin á lausu nítri er dregin upp á móti viðkomandi þætti. Hins vegar eru niðurstöðurnar settar fram í töflu 3, með samanburði þeirra líkinga sem best falla að tengslum viðkomandi þátta. Af þessu má sjá að tengslin milli breytinga í lausu nítri frá upphafi til loka tilrauna og nokkurra þessara þátta eru skýr. Einnig að breytingar á N_{alls} í plöntusýnunum er sá þáttur sem skýrir best mismun í lausu nítri.

Heildarstyrkur N í plöntuleifum skýrir 86% af þeim mismun sem mælist í lausu nítri og stærri hluta en C í trefjaefnunum og C/N hlutföll. Litlu munar þó á N_{alls} , holósellulosa-C/ N_{alls} og $C_{\text{alls}}/N_{\text{alls}}$, (

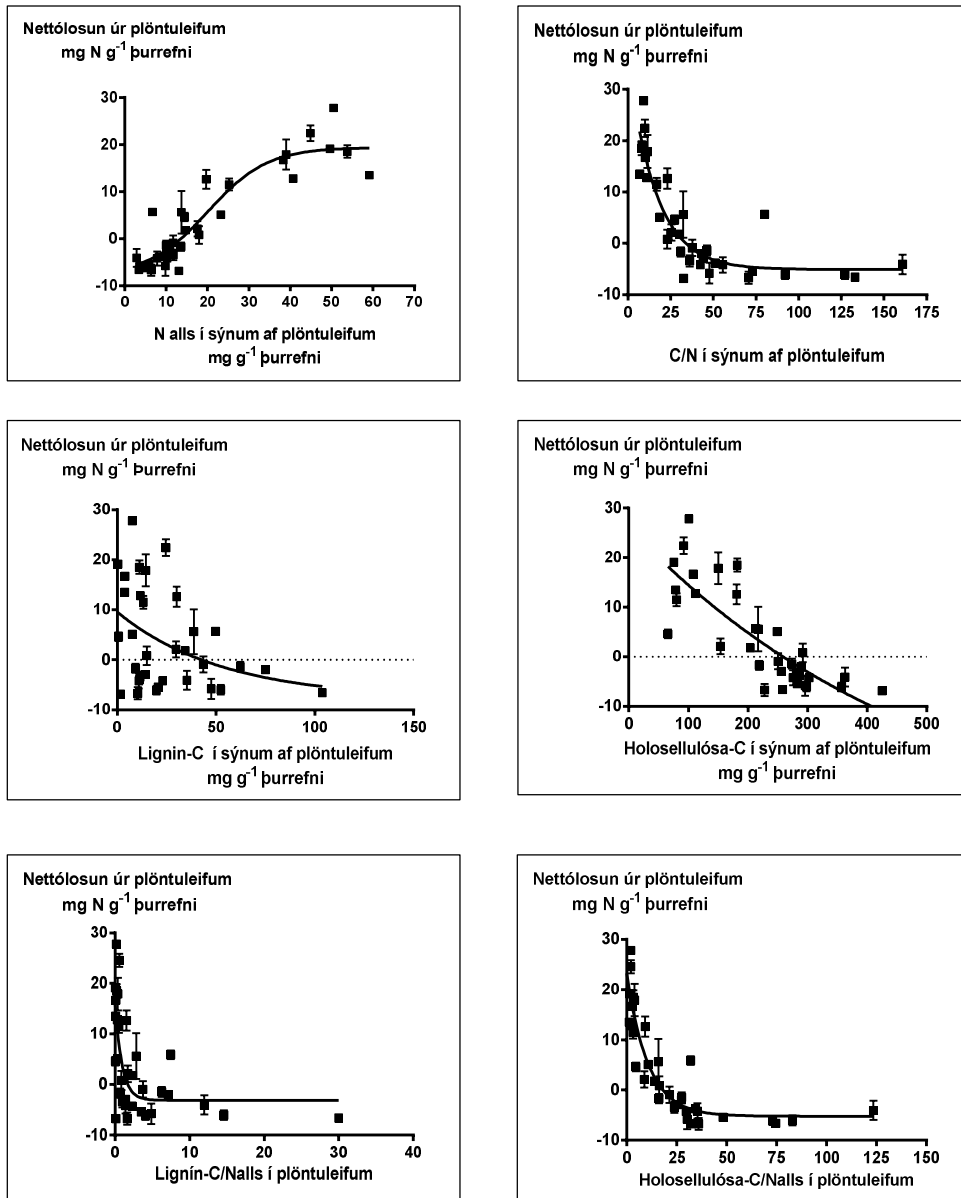
Tafla 3). Þessi samanburður styrkir valið á N_{alls} , sem mælikvarða fyrir breytingar á lausu nítri í jarðvegi eftir niðurfellingu í plöntuleifa. Niðurstöðurnar eru á sama veg og útreikningar á fylgnistuðli (Tafla 1) fyrir öll 76 sýnin, sem mæld voru og eru þessi völdu sýni því ekki frábrugðin þeim hvað þetta varðar.

Tafla 3. Hlutfall breytileika (R^2) í lausu nítri við lok tilrauna, sem skýrist af heildar-N, C í hólósellulósa-, C í tréni- og C/N hlutföllum í plöntusýnum.

Table 3. Proportion of total variation (R^2) of net mineralization explained by either total nitrogen (N_{alls}), holocellulose-C, lignin-C or C/N ratio in plant residues.

Aðhvarfslíkingar: regression equations. Einþætt veldisfall: one pool exponential function

	R^2	Sy.x	Aðhvarfslíkingar
N_{alls}	0.86	3.97	Boltzmann sigmóíð líking
Hólósellulósa-C/ N_{alls}	0.85	4.07	Einþætt veldisfall
$C_{\text{alls}}/N_{\text{alls}}$	0.83	4.30	Einþætt veldisfall
Hólósellulósa-C	0.67	5.93	Einþætt veldisfall
Lignín-C/ N_{alls}	0.45	7.65	Einþætt veldisfall
Lignín-C	0.13	9.64	Einþætt veldisfall



Mynd 5. Nettólosun/nettóbinding N eftir 217 daga sem fall af N_{alls} , hólósellulósa-C, lignín-C og C/N hlutföllum.

Fig. 5. Net mineralization /net immobilization of N on last day of incubation (217 days) as a function of total N holocellulose-C, lignin-C and C/N ratio in plant residues.

Þær þrjár breytur, sem best lýsa breytileikanum í lausu nítri eru mjög tengdar innbyrðis og því eðlilegt að skýringamáttur þeirra sé áþekkur. Valið á N_{alls} sem skýringabreytu er því fyrst og fremst á grundvelli hefðbundinna efnagreiningar-aðferða fyrir plöntuefni þ.e. Kjeldal eða Dumas aðferð við ákvörðun á heildarmagni níturs og van Soest aðferð við sundurgreiningu byggingarefna plantnanna. Nýrri aðferðir eins og NIR greiningar gætu þó verið fýsilegri.

Framgangur niðurbrotsins

Í greiningu Bruun o.fl. (2005) var rakið að líking af Monod gerð (Jafna 2) hafi reynst best til að lýsa framgangi breytinga á lausu nítri í jarðvegi við niðurbrot plöntuleifa. Jafnframt reyndust van Soest efnaflokkar betri en bæði C/N hlutföll og NIR litróf til þess að meta gildi stuðla í líkingunni fyrir einstakar plöntuleifar.

Níturlosun úr plöntuleifum í jarðvegi hefst og heldur áfram með mismunandi hætti allt eftir efnasamsetningu og byggingargerð plöntuleifanna. Jensen o. fl. (2005) ályktuðu að nota megi sáþuleysanlegt N til að flokka tímaferli níturlosunar í; (i) stöðuga nettó bindingu N í nokkra mánuði, (ii) nettóbindingu í byrjun og nokkra nettólosun eftir það og (iii) hraða og talsverða nettólosun í byrjun.

Hér verður aftur á móti litið á þessa tímaferla út frá heildarmagni N í plöntusýnunum og hvort og með hvað hætti niðurbrotið er að skila aukningu á lausu nítri út í jarðveginn.

Jafna 2 lýsir breytingum á lausu nítri á móti tíma frá upphafi niðurbrotsins. Stuðlar jöfnunnar voru metnir í GraphPad² tölfraeðiforriti fyrir hvert þessara 34 plöntusýna. Á myndunum hér á eftir (myndir 6 til 11) er framvinda niðurbrots einstakra plöntuleifa sýnd. Á myndunum eru sýnd meðaltöl breytinga á lausu nítri fyrir einstaka mældidaga ásamt staðalfrávikum. Jafnframt hefur verið dregið inn á hverja mynd graf sem reiknað er með jöfnu 2. Stuðlar jöfnunnar eru reiknaðir fyrir hvert plöntusýni sérstaklega samkvæmt minnsta frávikum. Í töflu 5 er framvindu niðurbrotsins og eiginleikum sýnanna lýst nánar.

Breytingar á lausu nítri verða með mismunandi hætti, þó má vel greina ákveðið munstur í framgangi niðurbrotsins. Plöntusýnin skiptast þannig upp í ákveðna hópa þar sem framgangur niðurbrotsins er með ákveðnum hætti innan hvers hóps.

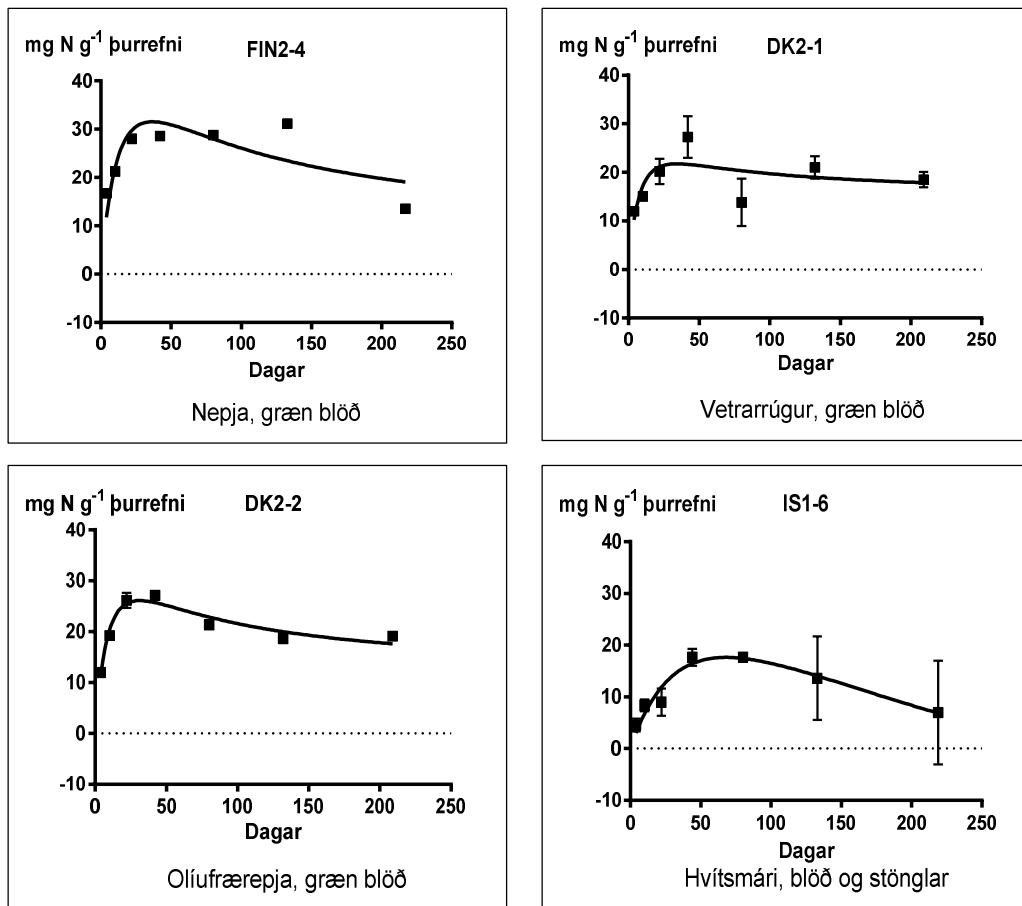
1. Hröð aukning í lausu nítri í upphafi en síðan minnkar magn þess eftir sem líður á niðurbrotið
2. Nær stöðug aukning á lausu nítri allan tímann.
3. Í upphafi niðurbrotsins minnkar laust nítur í jarðveginum en eykst síðan aftur og er í lok mæling orðið hærra en í upphafi.
4. Laust nítur minnkar í upphafi niðurbrotsins og helst lægra allan tímann en það var í upphafi.

Á myndum 6 til 11 þar sem gröfunum er raðað eftir minnkandi N_{alls} í plöntuleifunum má einnig sjá að þessi skipting fylgir einnig að mestu breytingum í N_{alls} .

Breytingum á lausu N í jarðvegi vegna losunar úr plöntuleifum er lýst í töflum 5 og 6, annars vegar flokkað eftir framgangi losunar N fyrir hvert sýni og hins vegar samandregið yfirlit yfir hvern flokk.

Sýni í fyrsta hópnum eru með N_{alls} á bilinu 45-59 mg N g⁻¹ þe. Ekki falla þó öll sýni með N_{alls} á þessu bili í þennan hóp, því niðurbrot á blöðum og stönglum olíurepju ($N_{\text{alls}} = 50,4$ mg N g⁻¹ þe) verður með öðrum hætti. Laust nítur í jarðvegi með þessum sýnum fór hratt vaxandi í 32-67 daga og var þá að meðaltali 24 mg N g⁻¹ þe, sem svarar til 24 kg N úr hverju tonni af þurrefni í plöntuleifunum. Eftir það fór laust N minnkandi var þó alltaf meira en í byrjun, að meðaltali eftir 217 daga 14 mg N g⁻¹ þe.

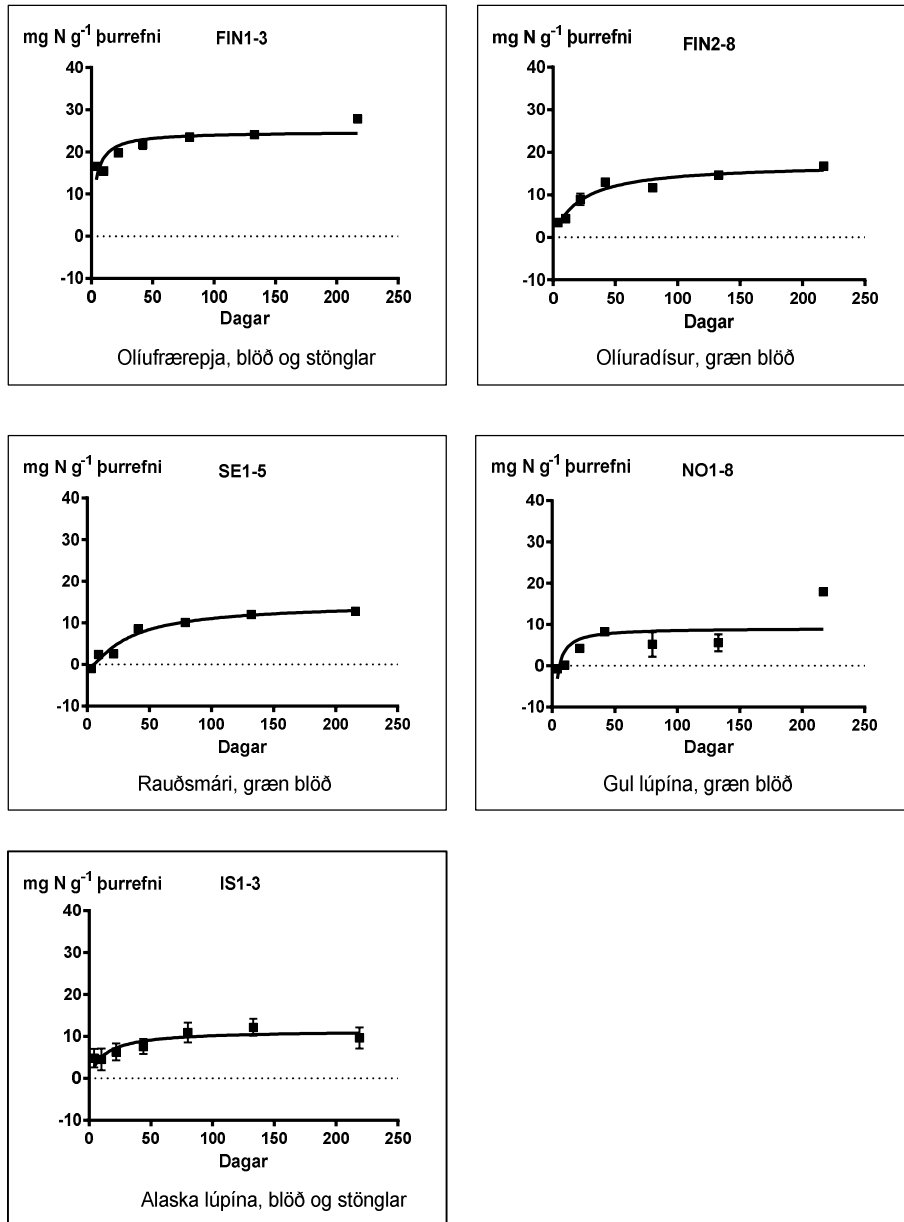
² <http://www.graphpad.com/scientific-software/prism/>



Mynd 6. Breytingar á lausu níttri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 1. Hröð aukning í byrjun síðan minnkandi laust N, Laust N þó að lokum alltaf meira en í byrjun. Punktar sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu níttri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta fráviki frá aðhvarfslínu

Fig. 6. The time pattern of net nitrogen mineralization in group 1. Rapid net mineralization at first after inclusion of plant residues in soil then later a slightly declining net mialization. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.

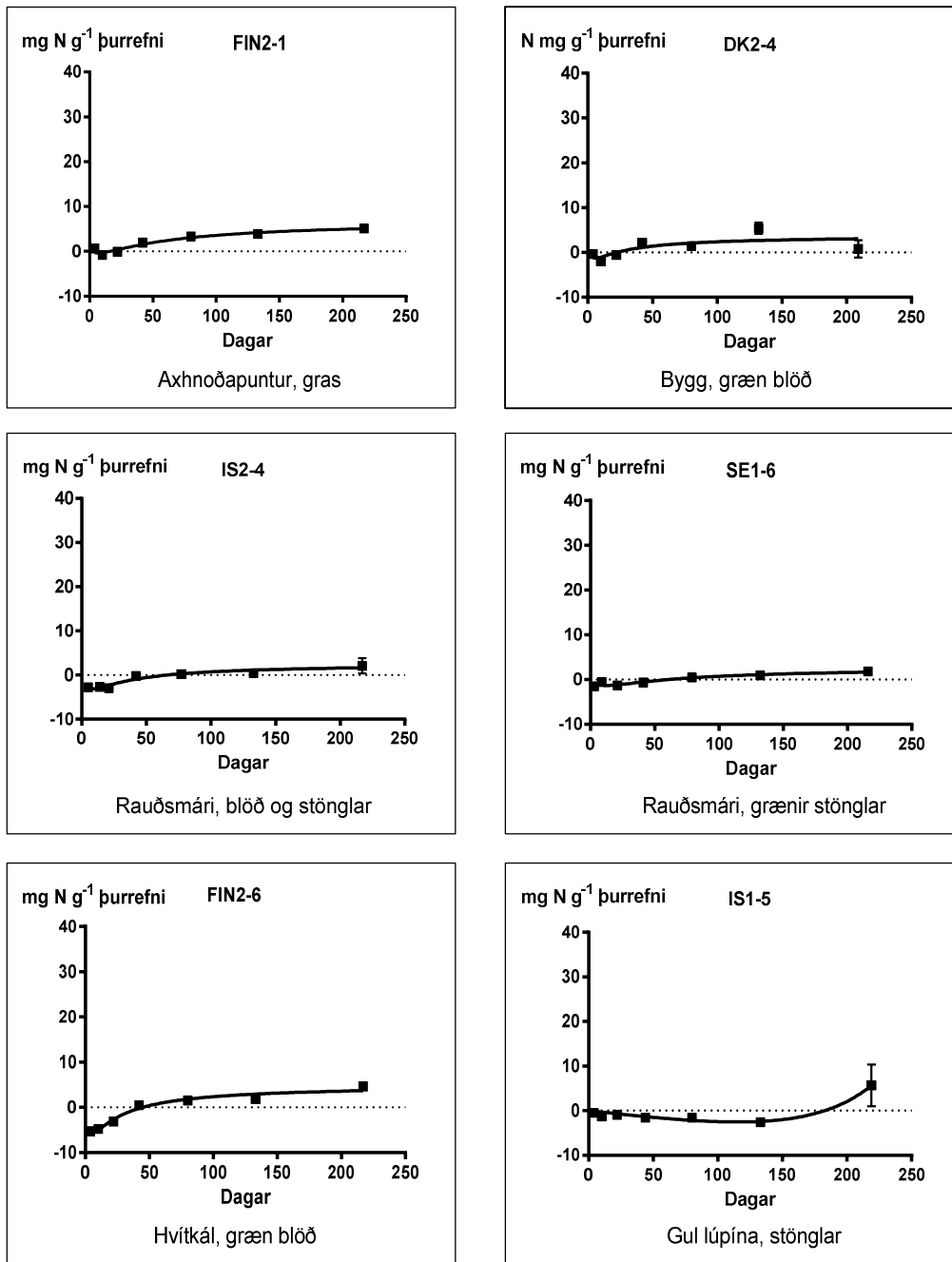
Í öðrum hópnum eru plöntusýni með N_{alls} á bilinu 20-50 mg N g⁻¹ þe og með nær stöðuga aukningu á lausu níttri í jarðvegi allan mælitímann. Aukningin var hröð byrjun en smám saman hægði á henni. Í lok mælingatímans eftir 217 daga var laust nítur að meðaltali um 15 mg N g⁻¹þe, sem svarar til 15 kg N úr hverju tonni af plöntuleifum. Skörun er á N_{alls} við fyrsta hópinn vegna sýnis af olíurepju með N_{alls} 50,4 mg N g⁻¹ þe. Niðurbrot sýna af axhnoðapunti og gulrótarblöðum ($N_{\text{alls}} = 23,2$ og 25,3 mg N g⁻¹þe) verður með öðrum hætti.



Mynd 7. Breytingar á lausu níttri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 2. Nær stöðug aukning á lausu N úr plöntuleifum frá byrjun til lokadags. Punktur sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu níttri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta frávikki gagnvart viðkomandi plöntusýni.

Fig. 7. The time pattern of net nitrogen mineralization in group 2. Steadily increasing net N mineralization. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.

Í þriðja hópnum minnkar laust nítur í fyrstu en eykst síðan aftur og er í lok mælitímans orðið hærra en í upphafi. Sýni í þessum hópi eru með N_{alls} 14-25 mg N g⁻¹þe, en niðurbrot sýna af Alaskalúpínu (19,7 mg N g⁻¹þe) verður þó með öðrum hætti. Lækkunin á lausu níttri í jarðvegi með þessum plöntusýnum var frá 0,4 -5,4 mg N g⁻¹þe, og að meðaltali 2,3 mg N g⁻¹þe eftir 5 til 13 daga með einni undantekningu. Þessi undantekning var sýni af stönglum af gulri lúpínu en þar varð ekki aukning á lausu N fyrr en eftir 115 daga frá blöndun sýnis í jarðveg. Aukningin á lausu N var í lokin eftir 217 daga meiri en það sem nam lækkuninni í upphafi og var laust N í jarðvegi að meðaltali 3,5 mg N g⁻¹þe, að lúpínusýninu meðtöldu.

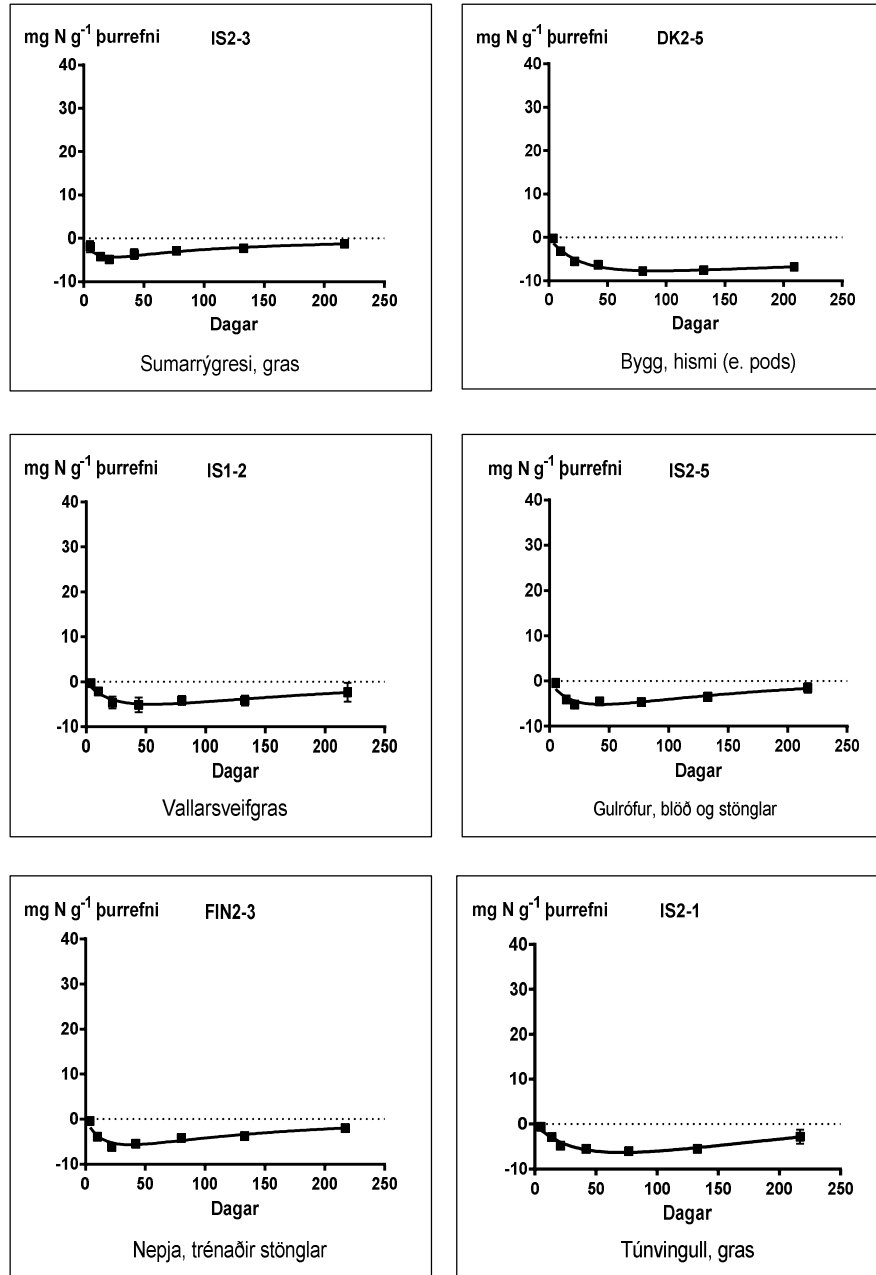


Mynd 8. Breytingar á lausu níttri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 3. Laust N minnkar í upphafi en eykst síðan um fram það sem var bundið af örverum. Punktarnir sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu níttri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta fráviki gagnvart viðkomandi plöntusýni.

Fig. 8. The time patterns of net nitrogen mineralization/ immobilization in group 3. Net N immobilization in the beginning is followed by net N mineralization exceeding the immobilization. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.

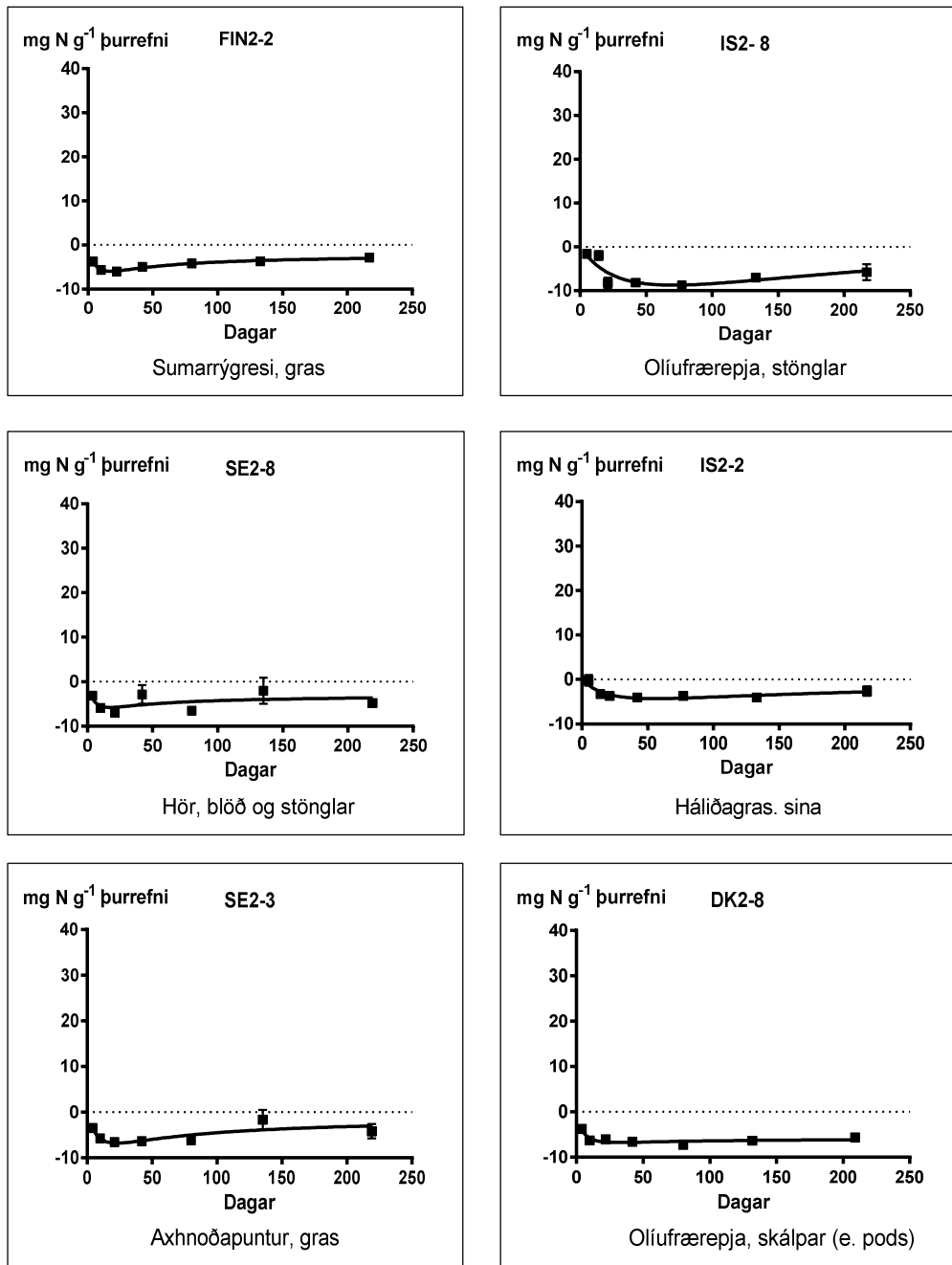
Í fjórða hópnunum eru sýni þar sem niðurbrotið nær ekki að skila neinni aukningu á lausu níttri í lok mælitímans. Heildarmagn N í þessum sýnum er á bilinu 3-13,6 mg N g⁻¹ þe og eru öll sýni með N_{alls} á þessu bili í þessum hópi. Þessi mörk stemma við útreikninga hér að framan á tímasetningu aukningar á lausu níttri miðað við magn í upphafi niðurbrots. Samkvæmt þeim útreikningum þá verður aukning á lausu níttri í jarðvegi með plöntuleifum með 11,6 mg N g⁻¹ þe fyrst á 217. degi. Mesta lækkun í lausu

nítri í jarðvegi við niðurbrot þessara plöntusýna var á bilinu 4,3-9,7 mg N g⁻¹þe og að meðaltali 6,5 mg N g⁻¹þe. Aukning á lausu nítri í kjölfar upphafslækkunar er lítil eða engin og í lok mælitímans nam lækkunin frá 1,3 til 6,8 mg N g⁻¹þe og að jafnaði 4,2 mg N g⁻¹þe. Í stöku sýnum er örðugt að greina að nokkur aukning í lausu nítri verði í kjölfar þeirrar lækkunar sem var í upphafi niðurbrotsins. Þetta á t.d. við um niðurbrot á stönglum af hörplöntum og skálpum af olíurepju (mynd 10 og 11).



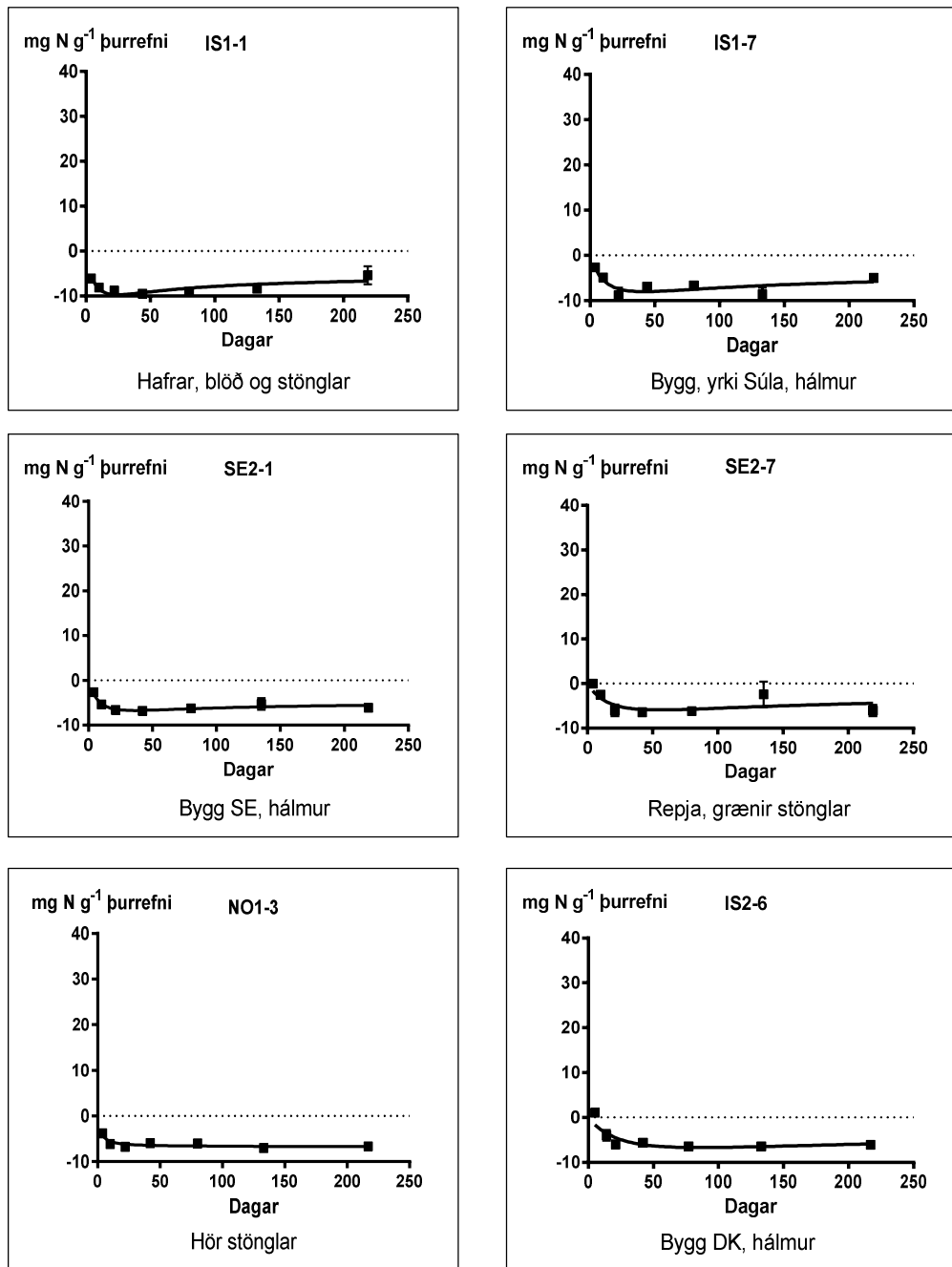
Mynd 9. Breytingar á lausu nítri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 4 (1. af þremur myndum). Laust N minnkar í upphafi, en síðan verður hægfara aukning, sem skilar þó ekki aukningu á lausu N yfir mælingatímann. Sýni með 13,6 til 10,2 mg N g⁻¹ þurrefni talið frá sumarrýgresi efst til túnvinguls neðst á myndinni. Punktarnir sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu nítri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta frávikni gagnvart viðkomandi plöntusýni.

Fig. 9. The time patterns of net nitrogen mineralization in group 4, first picture of three. Net N immobilization in the beginning is followed by net N mineralization not exceeding the immobilization. Plant residue samples with 13.6 to 10.2 mg N g⁻¹ dry matter. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.



Mynd 10. Breytingar á lausu nítri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 4 (2. af þremur myndum). Laust N minnkar í upphafi, en síðan verður hægfara aukning, sem skilar þó ekki aukningu á lausu N yfir mælingatímann. Plöntusýni með 10,1 til 6,7 mg N g⁻¹ þurrefni talið frá vetrarrýgresi til olúfrærepju. Punktarnir sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu nítri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta frávik gagnvart viðkomandi plöntusýni.

Fig. 10. The time patterns of net nitrogen mineralization in group, 4 second of three pictures. Net N immobilization in the beginning is followed by net N mineralization not exceeding the immobilization. Plant residue samples with 10.1 to 6.7 mg N g⁻¹ dry matter. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.



Mynd 11. Breytingar á lausu nítri í jarðvegi með plöntuleifum í hópi 4 (3. af þremur myndum). Laust N minnkar í upphafi, en síðan verður hægfara aukning, sem skilar þó ekki aukningu á lausu N yfir mælingatímann. Plöntusýni með til 6,4 til 2,9 mg N g⁻¹ þurrefni talið frá hafrasýni til hálms af byggi frá Danmörku. Punktur sýna meðalbreytingu (\pm SE) á lausu nítri frá upphafi niðurbrots. Gröfin eru dregið samkvæmt jöfnu 2 og minnsta frávikni gagnvart viðkomandi plöntusýni.

Fig. 11. The time patterns of net nitrogen mineralization in group 4, third of three pictures. Net N immobilization in the beginning is followed by net N mineralization not exceeding the immobilization. An exception is a steady net immobilization of nitrogen from a sample of flax stems (sample NO1-3, lowest left in the picture) with 3.5 mg N g⁻¹ dry matter. Plant residue samples with 6.4 to 2.9 mg N g⁻¹ dry matter. Each point is average change (\pm SE) in mineral nitrogen and the graphs are least square regression of Eq. 2.

Tafla 4. Styrkur níturs (N_{alls}) í plöntuleifum og kolefnis (C) í trefjaefnum og breytingar á lausu N í jarðvegi vegna losunar úr plöntuleifum eða bindingar N í lífmassa jarðvegs og leirögnum. $Sy.x$ er lóðrétt staðalfrávik frá aðhvarfslínu.

Table 5. Concentration of nitrogen in plant material (N_{alls}), carbon (C) in fibre material and net mineralization/immobilization of N from plant residues, $mg N g^{-1}$ dry matter: $Sy.x$ is the vertical standard deviation from the regression line.

Tegund: plant species, Plöntuhluti: plant structure. Mesta losun: the maximal net mineralization, Losun á lokadegi: net mineralization on last day of incubation, Mest N bundið: the maximal N immobilization, Dagar: days.

Hópur 1: Laust N eykst hratt í byrjun, minnkar þegar á líður, en er allan tímann meira en í byrjun.

Group 1: Rapid net mineralization at first after inclusion of plant residues in soil, later a slightly declining net mineralization.

Tegund	Plöntuhluti	N_{alls}	C í beðmi (holo-sellulósa)	C í tréni (ligníni)	Mesta losun N	Losun á lokadegi	$Sy.x$	
		í plöntusýni $mg g^{-1}$ þurrefni			Dagar	$mg g^{-1}$ þurrefni		
Nepja	Græn blöð	59,1	79	3,7	37	31,5	19,1	4,7
Vetrarrúgur	Græn blöð	53,8	182	11,1	35	21,8	17,9	5,8
Olíurepja	Græn blöð	49,6	76	0,3	32	26,1	17,6	1,8
Hvítsmári	Blöð og stönglar	44,9	92	24,5	67	17,6	6,8	7,9

Hópur 2: Stöðug aukning á lausu N frá byrjun til lokadags mælinga, hröð aukning í fyrstu en hægir smám saman á hraða losunar N úr plöntuleifum.

Group 2: Steady net nitrogen mineralization during the whole incubation, rapid at first, then gradually slowing down.

Tegund	plöntuhluti	N_{alls}	C í beðmi (holo-sellulósa)	C í tréni (ligníni)	Mesta losun N (lokadagur)	$Sy.x$	
		í plöntusýni $mg g^{-1}$ þurrefni			Dagar	$mg g^{-1}$ þurrefni	
Olíufræ-repja	Blöð og stönglar	50,4	101	7,5	217	24,4	2,64
Olíu-radísur	Græn blöð	38,3	108	3,8	217	15,8	1,65
Rauðsmári	Græn blöð	40,7	113	11,7	216	13,0	1,21
Gul lúpína	Græn blöð	39,0	150	14,4	217	8,9	5,01
Alaska lúpína	Blöð og stönglar	19,7	182	30,0	219	10,8	3,70

Hópur 3: Laust N minnkar í upphafi en eykst síðan umfram það sem var bundið.

Group 3: Net immobilization at first is then followed by net mineralization finally exceeding the immobilization.

Tegund	Plöntuhluti	N _{alls}	C í beðmi (holo-sellulósa)	C í tréni (ligníni)	Mest N bundið		Losun á loka-degi	Sy.x
					Dagar	mg g ⁻¹ þurrefni		
		í plöntusýni mg g ⁻¹ þurrefni			Dagur	mg g ⁻¹ þurrefni		
Gulrætur	Græn blöð	25,3	80	13,1	7	-4,3	10,1	1,26
Axhnoðapuntur	Gras	23,2	248	7,5	7	-0,4	5,1	0,69
Bygg	Græn blöð	18,0	292	14,9	5	-1,3	3,1	2,13
Rauðsmári	Blöð, stönglar	17,6	154	29,7	9	-3,1	1,7	1,28
Rauðsmári	Grænir stönglar	14,7	205	34,4	13	-1,3	1,7	0,70
Kál	Græn blöð	14,5	66	0,5	7	-5,4	3,7	0,97
Gul lúpína	Stönglar	13,7	217	38,7	115	-2,5	5,6	2,79

Hópur 4: Laust N minnkar í upphafi en síðan verður hægfara aukning sem skilar þó ekki aukning á lausu N yfir mælitímann.

Group 4: Net nitrogen mineralization at first followed by slowly increasing net mineralization not exceeding the net immobilization.

Tegund	Plöntuhluti	N _{alls}	C í beðmi (holo-sellulósa)	C í tréni (ligníni)	Mest N bundið		Bundið N á loka-degi	Sy.x
					Dagur	mg g ⁻¹ þurrefni		
		í plöntusýni mg g ⁻¹ þurrefni			Dagur	mg g ⁻¹ þurrefni		
Sumarrýgresi	Blöð, stönglar	13,6	219	9,2	23	-4,4	-1,3	1,36
Bygg	Hismi (pods)	13,1	116	1,6	92	-7,7	-6,8	0,71
Vallarsveifgras	Gras	11,8	281	11,5	54	-5,0	-2,4	2,13
Gulrófur	Blöð og stönglar	11,7	250	43,5	43	-5,2	-1,6	1,22
Nepja	Trénaðir stönglar	10,6	289	75,0	37	-5,7	-2,0	0,89
Túnvingull	Gras	10,2	303	22,9	70	-6,3	-2,9	1,34
Sumarrýgresi.	Gras	10,1	256	14,2	17	-6,0	-3,0	0,60
Olíurepja	Stönglar	9,8	296	47,5	70	-8,7	-5,5	2,07
Hör	Blöð og stönglar	9,3	245	56,5	17	-5,8	-3,6	2,75
Háliðagras	Gras	8,3	286	11,2	56	-4,3	-2,8	1,24
Axhnoðapuntur	Gras	7,8	276	10,9	23	-6,8	-3,0	1,94
Olíufræ-repja	Skálpar (pods)	6,7	213	49,7	32	-6,7	-6,1	0,74
Hafrar	Blöð og stönglar	6,4	228	10,3	24	-9,7	-6,7	1,71
Bygg, yrki Súla	Hálmur	5,9	283	20,7	42	-8,0	-5,8	1,99
Bygg SE	Hálmur	4,9	357	19,8	36	-6,7	-5,5	1,11
Repja	Grænir stönglar	3,6	298	52,4	55	-5,9	-4,4	2,64
Hör*	Stönglar	3,5	258	103,8	217	-6,7	-6,7	0,76
Bygg, DK	Hálmur	2,9	363	35,2	86	-6,7	-5,9	1,62

Tafla 5. Styrkur heildar N í sýnum af plöntuleifum, C í trefjaefnum og nettólosun og nettóbinding N úr plöntuleifum í jarðvegi. Meðaltöl, lægstu og hæstu mælingar.

Table 6. Total N concentration in plant residue samples, C in fibre fractions, net N mineralization and immobilization. Means, net mineralization/immobilization, respectively maximum values and measured values on last day of incubation in the four previously defined groups of plants. Mesta losun eða binding: maximum net mineralization/immobilization, Losun eða binding á lokadegi, 217 dagar: net mineralization/immobilization on the last day of incubation, day 217.

	N _{alls}	C í tréni (holo-sellulósa)	C í viðarefni (ligníni)	Mesta losun eða binding N		Losun eða binding á lokadegi. 217 dagar
	í plöntusýni mg g ⁻¹ þurrefni			Dagar	mg g ⁻¹ þurrefni	
Hópur 1: Laust N eykst hratt í byrjun, minnkar þegar á líður en er allan tímann meira en í byrjun						
Meðaltöl	51,9	107	9,9	43	24,3	15,4
Dreifing	45-59	76-182	0,3-25	32-67	18-32	7-19
Hópur 2: Stöðug aukning á lausu N frá byrjun til lokadags mælinga						
Meðaltöl	37,6	131	13,5	217	14,6	14,6
Dreifing	20-50	101-182	4-30	216-219	9-24	9-24
Hópur 3: Laust N minnkar í upphafi en eykst síðan umfram það sem var bundið						
Meðaltöl	18,1	180	19,8	23	-2,6	4,4
Dreifing	14-25	66-292	0,5-39	5-115	-5 til -0,4	2-10
Hópur 4: Laust N minnkar í upphafi en síðan verður hægfara aukning sem skilar þó ekki aukning á lausu N yfir mælitímann						
Meðaltöl	8,3	268	33,1	55	-6,5	-4,2
Dreifing	3-14	116-363	2-104	17-217	-10 til -4	-7 til -1

Umræður

Einfaldar upplýsingar eins og heildarstyrkur N í plöntuleifum geta nýst vel til að segja til um hvaða áhrif niðurbrot þeirra muni hafa á laust nítur í jarðvegi. Framgangur niðurbrotsins eins og honum er hér lýst er byggður á mælingum við stöðugt hitastig (15°C) og vatnsinnihald (10 kPa vatnsspennu) í jarðvegsins. Þær aðstæður eru ekki til staðar úti í náttúrunni. Jarðvegshiti hér á landi er alla jafnan mun lægri og vatnsinnihaldið breytilegt. Allar tímasetningar á áhrifum niðurbrotsins verður því að skoða í því ljósi. Breytingum á virkni niðurbrotsörvera við breytt hitastig er oft lýst með s.n. Q₁₀ gildi sem segir til um hversu mikið virknin breytist við hækun á hitastigi um 10°C. Q₁₀ gildi niðurbrotsferla plöntuleifa er oft talið um það bil 2 (Mary o.fl. 1996, Kätterer o.fl. 1998), en í því felst t.d. að við 5°C er hraðinn um helmingur þess sem hann er við 15°C. Vatnsinnihald jarðvegsins getur einnig breytt hraða niðurbrotsins og getur bæði verið skortur á vatni og eins ofgnótt sem hindrar aðgengi örveranna að súrefni. Vatnsskortur getur hvort heldur stafað af þurrkum eða lítilli vatnsheldni jarðvegsins (Guðmundsson 2006). Frost í jarðvegi virkar einnig eins og vatnsskortur.

Hér hefur meðvitað verið valið að draga upp einfaldaða mynd af niðurbrotsferlum og horfa eingöngu til þess hvernig þau birtast sem breytingar í lausu nítur. Að baki þeirri framsetningu er í raun miklu flóknari raunveruleiki, þar sem plöntuleifar eru í flóknum efnaferlum brotnar niður í smærri og smærri

sameindir og einingar. Orkan sem við það losnar er nýtt af niðurbrots lífverunum sem og þau næringarefni sem losna. Það ræðst svo af hlutfallinu milli orkunnar og næringarefnanna hvort aukning verður á lausum næringarefnum í jarðvegi eða ekki. Ef lítið er af næringarefnum miðað við orku nýta niðurbrotslífverurnar sjálfar þau næringarefni sem losna úr því sem brotið er niður. Í þannig stöðu er oft talað um bindingu næringarefna í örverum. Ef hins vegar yfrið er af næringarefnum miðað við orku sem fæst úr niðurbrotsefnunum þá byggist upp forði af næringarefnum sem t.d. plöntur geta nýtt sér

Í inngangi var vikið að því að þekkingu á áhrifum niðurbrots plöntuleifa á laust nítur í jarðvegi mætti nýta í ræktun og varðveislu níturs í jarðvegi. Ekki er ætlunin hér að vera með tæmandi upptalningu eða útfærslur á möguleikum í því sambandi, heldur aðeins að nefna örfá atriði ef það mætti verða til að vekja áhuga á að prófa nýtingu plöntuleifa og þróa útfærslur varðandi nýtingu þeirra.

Við niðurfellingu á plöntuleifum N innihald yfir 20 mg N g⁻¹ þe losnar það nítur sem í þeim er stöðugt frá upphafi og því hætta á að það tapist úr jarðvegi með útskolun og afnitrún ef ekki eru til staðar gróður sem getur nýtt það. Sé gróður hinsvegar fyrir hendi þá jafngilda plöntuleifarnar öðrum áburði í samræmi við N innihald þeirra.

Plöntuleifar með lágan styrk N, er hins vegar hægt að nýta til að grípa og halda í laust nítur í lengri eða skemmri tíma. Hvaða plöntur henta til þess fer allt eftir aðstæðum og markmiðum hverju sinni. Dæmi um mögulega nýtingu plöntuleifa með lágt N innihald < u.þ.b 10 mg N g⁻¹ þe, væri við uppgræðslu en þar mætti hugsa sér að nýta slíkar plöntuleifar með áburði til að byggja upp nauðsynlegan nítur forða í jarðvegi. Með iðnvæðingu kjötframleiðslu eins og á sér víða stað verður oft aðskilnaður á framleiðslunni og landi sem notað er til ræktunar. Við þær aðstæður verður oft ofgnótt áburðar miðaða við það land sem er tiltækt fyrir þann áburð. Þar væri t.d. möguleiki á að nýta plöntuleifar með lágt N innihald til að grípa það umframmagn.

Þakkarorð

Norræna rannsóknaverkefnið, Characterisation of plant residue quality for prediction of decomposition and nitrogen release in agricultural soils, var stutt af Norrænu nefndinni um landbúnaðar- og matvælarannsóknir (NKJ) og styrkt fyrir tilstuðlan rannsóknarráða norrænu landanna fimm af SJVF Danmörku, Formas Svíþjóð, NFR í Noregi, Landbúnaðar og skógræktarráðuneytinu í Finnlandi og Framleiðnisjóði landbúnaðarins á Íslandi.

Heimildir

Bruun, S., B. Stenberg, T. A. Breland, J. Gudmundsson, T. M. Henriksen, L. S. Jensen, A. Korsæth, J. Luxhoi, F. Palmason, A. Pedersen and T. Salo (2005). Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 2283-2296.

Bruun, S., J. Luxhoi, J. Magid, A. de Neergaard and L. S. Jensen (2006). A nitrogen mineralization model based on relationships for gross mineralization and immobilization. *Soil Biology & Biochemistry* 38(9): 2712-2721.

Guðmundsson, J., H. Óskarsson, Ó. Arnalds (2006). Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu? Fræðaðing landbúnaðarins 2006, Reykjavík.

Henriksen, T. M. (1998). Carbon and Nitrogen turnover as influenced by the chemical composition of crop residues and key properties of the decomposer community. Agricultural University of Norway. Doctor Scientarium Thesis 1998, 8.

Henriksen, T. M. and T. A. Breland (1999). Evaluation of criteria for describing crop residue degradability in a model of carbon and nitrogen turnover in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 31(8): 1135-1149.

Henriksen, T. M., A. Korsæth, T. A. Breland, B. Stenberg, L. S. Jensen, S. Bruun, J. Gudmundsson, F. Palmason, A. Pedersen and T. J. Salo (2007). Stepwise chemical digestion, near-infrared spectroscopy or total N measurement to take account of decomposability of plant C and N in a mechanistic model. *Soil Biology and Biochemistry* 39(12): 3115-3126.

Jensen, L. S., T. Salo, F. Palmason, T. A. Breland, T. M. Henriksen, B. Stenberg, A. Pedersen, C. Lundström and M. Esala (2005). Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. *Plant and Soil* 273(1 - 2): 307-326.

Kätterer, T., M. Reichstein, O. Andren and A. Lomander (1998). Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils* 27(3): 258-262.

Mary, B., S. Recous, D. Darwis and D. Robin (1996). Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* 181(1): 71-82.

Paustian, K., E. Levine, W. M. Post and I. M. Ryzhova (1997). The use of models to integrate information and understanding of soil C at the regional scale. *Geoderma* 79(1-4): 227-260.

Reglugerð um lífræna framleiðslu landbúnaðarafurða og merkingar
<http://www.reglugerd.is/interpro/dkm/WebGuard.nsf/key2/074-2002>

Salo, T., B. Stenberg, C. Lundström, L. S. Jensen, S. Bruun, A. Pedersen, T. A. Breland, T. Henriksen, A. Korsæth, H. Palmason and J. Gudmundsson, eds. (2006). Characterisation of plant residue quality for prediction of decomposition and nitrogen release in agricultural soils. International Symposium Towards Ecologically Sound Fertilisation Strategies for Field Vegetable Production. Perugia, Italy, ISHS Acta Horticulturae.

Stenberg, B., L. S. Jensen, E. Nordkvist, T. A. Breland, A. Pedersen, J. Gudmundsson, S. Bruun, T. Salo, F. Palmason, T. M. Henriksen and A. Korsæth (2004). Near infrared reflectance spectroscopy for quantification of crop residue, green manure and catch crop C and N fractions governing decomposition dynamics in soil. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 12(5): 331-346.