

Niturnýtni

Hólmgeir Björnsson



Landbúnaðarháskóli Íslands, 2021
Rit Lbhí nr. 136
ISSN 1670-5785
ISBN 978-9935-512-10-9

Höfundur: Hólmgeir Björnsson
Ljósmynd á forsíðu: Tilraunareitir á Korpu

Efnisyfirlit

Formáli.....	2
1 Inngangur	3
1.1 Áhrif N-áburðar á uppskeru túna	4
1.2 Áhrif N-áburðar á uppskeru óháð frjósemi lands?	5
1.3 Hvað veldur misjafnri sprettu milli ára?	6
2 Niturnýtni	9
2.1 Hlutverk niturs og upptaka, C/N.....	9
2.2 Sprettu grasa og upptaka niturs	10
3 Dreifingartími áburðar.....	14
3.1 Óhefðbundinn áburðartími	15
4 Bygg og kartöflur	21
4.1 N-þörf byggs og kornþroski	21
4.2 Þroski og fóðurgildi korns.....	22
4.3 Forræktunargildi fyrir korn og sáðskipti.....	23
4.4 N-áburður á kartöflur	24
4.5 Skortur á N-áburði	26
4.6 Forræktun fyrir kartöflur	27
5 Hvað ræður grassprettu?	29
5.1 Grassprettu og hiti	29
6 Niturtap og varasöm áhrif N-áburðar.....	33
6.1 Tilraunir með háa skammta af nitri	34
6.2 Sýrandi N-áburður	37
7 Þættir úr hringrás niturs	41
7.1 Söfnun niturs í jarðveg I. Tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri	41
7.2 Söfnun niturs í jarðveg II. Tilraun nr. 19-58 á Geitasandi.....	45
7.3 Söfnun niturs í jarðveg III. Aðrar jarðræktartilraunir	46
7.4 Söfnun niturs í jarðveg IV. Söfnun kolefnis í landgræðslu.....	46
7.5 Söfnun niturs í jarðveg V. Nitur í mýrum.....	48
7.6 Niturnám og niturtap	49
7.7 Mengun af nitri frá landbúnaði. Glæðloft (N_2O)	50
7.8 Hvítmári	53
8 Tilraunir framtíðar	54
9 Niturnýtni, samantekt	55
Heimildir	56
Viðauki: Uppskeruauki við N-áburði samkvæmt ldl-ferli	60

Formáli

Erindi með heitinu Viðhald næringarefna í túnrækt flutti ég að fengnum tilmælum á ráðunautafundi 2001. Í riti fundarins birtist ítarleg grein, en hún bar nokkur merki þess að vera flýtisverk. Að ósk þáverandi ritstjóra Freys, Matthíasar Eggertssonar, og í samræmi við ábendingar frá Óttari Geirssyni var greinin stytt til birtingar í Frey. Nokkru var breytt að auki og gert var ráð fyrir myndum til skýringar. Frágangurinn dróst þó, og þegar greinin var send til birtingar um áramótin 2005-6 hafði ritstjórnarstefna Freys breyst, greininni var hafnað, og svo hætti Freyr að koma út.

Ég var búinn að leggja það mikið í handritið að ég vildi ekki láta það falla alveg niður, en vettvangur skorti. Til greina hafði komið að skipta efninu í tvær greinar. Fyrst og fremst var ætlunin að fjalla ítarlegar um nitur eftir hugmyndinni um niturnýtni. Af því hefur nú orðið, en hinn hlutinn, umfjöllun um fosfór, kalí, kalk, brennistein o.fl., hefur fallið niður.

Þegar þarna var komið nálguðust formleg starfslok mín og það hafði forgang að ganga frá virkum rannsóknarverkefnum. Einnig komu til ný viðfangsefni, sum í framhaldi af fyrri verkefnum. Lauk því seinasta haustið 2018. Inn á milli hafði þó gefist færi á að safna efni í áætlað rit um niturnýtni.

Hugmyndin var að gera grein fyrir því sem við vitum um nitur í lífríkinu, hvaðan það kemur og hvert það fer, m.a. með tilliti til hlutverks jarðvegs og gróðurs í baráttunni við vaxandi gróðurhúsaáhrif. Í fyrri ritum var fremur lítið um myndræna framsetningu. En myndefni hafði orðið til við undirbúning fyrirlestra á ráðstefnum, fimmtudagserindum Rala og í kennslu á LbhÍ í samvinnu við Ríkharð Brynjólfsson. Stefnan var að þau yrðu kjarninn í nýrri framsetningu, minna færi fyrir formlegri nákvæmni. Raunin varð að lítið var leitað efnis annars staðar frá til að gefa meiri heildarmynd.

Ég tók ótrauður upp þráðinn aftur árið 2018 þegar færið gafst. Efnið sem ég hafði safnað reyndist þó heldur óskipulegt. Verra var að ég fékk við veikinda að stríða þegar kom fram á árið 2019. Nú hefur þó verið gengið frá handriti sem ég vona að sé sæmilega heillegt. Í lokaköflunum kom fyrir að ég var búinn að glata þeim heimildum sem efnið var sótt til. Heldur en fella það niður er því haldið, en þess getið að tilvísun í heimild vanti.

1 Inngangur

Um miðja tuttugustu öld rann upp mikið framfaraskeið í íslenskum landbúnaði með aukinni ræktun, en til þess að nýta hana þurfti meiri áburð. Tvær tilraunastöðvar í jarðrækt höfðu verið starfræktar frá því snemma á öldinni, á Sámstöðum í Fljótshlíð og í Gróðrarstöðinni á Akureyri. Um 1950 bættust við tvær tilraunastöðvar, á Reykhólum og á Skriðuklaustri. Tilraunastöðvarnar voru reknar af Tilraunaráði jarðræktar, sem var stofnað 1937, og á vegum þess hófust á þeim samræmdar áburðartilraunir árið 1950 eða á næstu árum á eftir. Stóðu þær flestar lengi, jafnvel svo áratugum skipti. Tilraunastöðvarnar urðu svo hluti af Rannsóknastofnun landbúnaðarins þegar hún var stofnuð 1965. Bændaskólinn á Hvanneyri hóf sjálfstæða tilraunastarfsemi 1955 sem brátt varð umfangsmeiri en á tilraunastöðvunum, en hún var þó unnin í samráði við Tilraunaráð jarðræktar. Margar tilraunir voru gerðar á bújörðum utan stöðvanna sjálfra, í fyrstu einkum vestanlands á vegum Hvanneyrar þar sam kalvandinn var mikill. Efnagreiningar á uppskerusýnum úr tilraunum hófust 1955, en þær urðu ekki algengar fyrir en 1961.

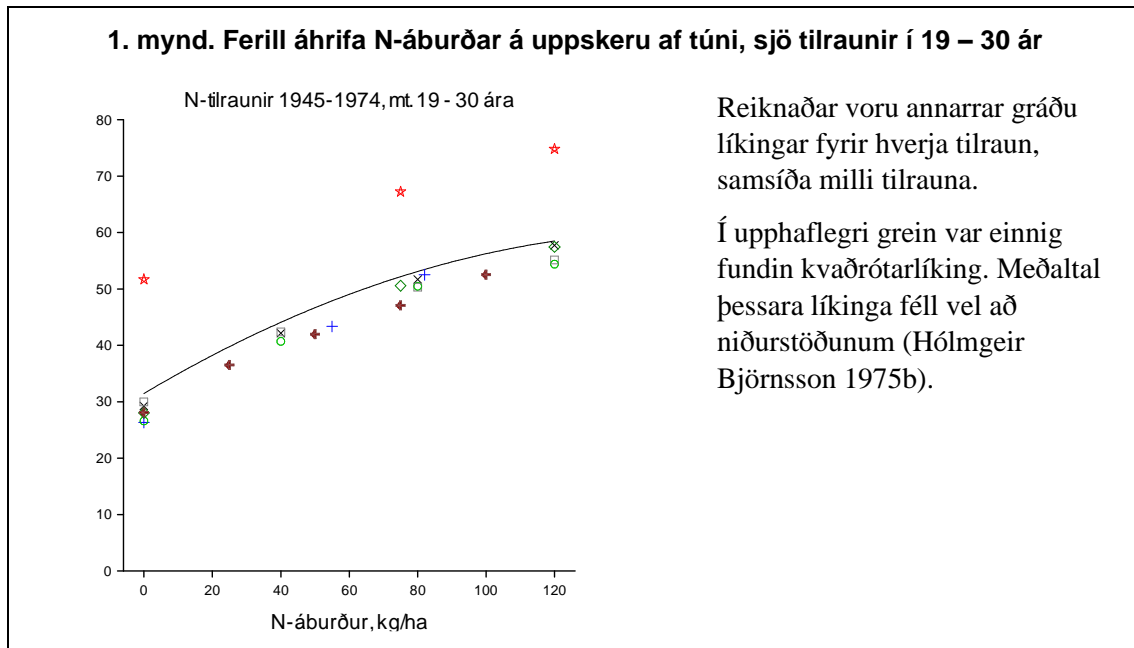
Af áburðarefnunum, N, P og K, hefur nitur (N) beinust áhrif á magn uppskeru, en öll hafa þau áhrif á gæðin. Árið 1975 kom út samantekt um tilraunir með N til ársins 1974, alls 36 tilraunir þar sem uppskera hafði verið mæld í a.m.k. tvö ár (Hólmgeir Björnsson 1975b). Í annarri grein var fjallað um helstu náttúrulegar uppsprettur niturs (Hólmgeir Björnsson 1975a). Frá ísaldarlokum, í um tíu þúsund ár, hefur nitur safnast í jarðveg, einkum mýrar. Jarðvegur eins og á Íslandi, sem er ríkur af eldfjallaösku, *andosol*, hefur sérstaka eiginleika til að safna nitri og er hann því frjósamur. Þessi frjósemi hefur staðið undir búfjárhaldi Íslendinga, bæði beit og vetrarfóðri, alla íslandsbyggð. Rétt er að halda því á lofti að þegar nitur safnast í jarðveg safnast þar einnig kolefni, og að sama skapi, þegar nitur losnar úr jarðvegi tapast kolefni. Þessir ferlar eiga því þátt í gróðurhúsaáhrifum.

Sama ár, 1975, var okkur þremur, nær jafnaldra, sem höfðum farið til náms í búvísindum á Norðurlöndum um tuttugu árum fyrr, fengið það verkefni að halda erindi um áburðarfræði á ráðstefnu NJF (félag norrænna búvísindamanna) þegar hún var í fyrsta sinn haldin á Íslandi (Hólmgeir Björnsson, Friðrik Pálmason og Jóhannes Sigvaldason 1975). Vitnað var í allmargar erlendar greinar með N-áburð á tún og hafði upptekið N aukist um sem nemur 55 - 75% af ábornu nitri. Útreikningar á íslenskum niðurstöðum sem þá lágu fyrir sýndu að gera mætti ráð fyrir svipuðum niðurstöðum hér á landi. Samandregið var ályktað að gera mætti ráð fyrir að við góð skilyrði skilufu sér um 2/3 eða 67% af ábornu N í uppskeru. Er það síðan viðmiðun við mat á tilraunum með N-áburð.

Áður en lengra er haldið skal bent á Plöntunæringar- og áburðarfræði eftir Friðrik Pálmason frá 2013. Er þar ágríp af helstu niðurstöðum rannsókna á Íslandi á áburði og áhrifum hans. Viðfangsefni þessa rits er meira afmarkað.

1.1 Áhrif N-áburðar á uppskeru túna

Til að finna feril uppskeruauka við N-áburði voru notaðar sjö langtímatilraunir á tilraunastöðvum jarðræktar, meðaluppskera til 1974 í 19–30 ár, og var ferill hennar að meðaltali $Y = A_i + 0,36N - 0,00113N^2$; $s_{y,x} = 1,48$ þar sem uppskeran er mæld í hkg þurrefnis á ha, gert er ráð fyrir því að uppskera tilraunanna fylgi samsíða ferlum, A_i er uppskera tilraunar i , $i=1, 2 \dots 7$, við 0 kg N/ha, og $s_{y,x}$ er staðalfrávik gilda frá ferlinum (1. mynd). Nokkur hefð er fyrir því í kennslu í áburðarfræði að nota niðurstöður sem þessar til að kynna útreikning á ferlum sem sýna t.d. áhrif plöntunæringar á vöxt plantna. Áður en öflugar tölur komu til sögunnar var oft gripið til annarrar gráðu líkingar, en hægt var að reikna hana í einföldum reiknivélum. Hún hefur þó þann ágalla að stefna ekki að hámarki, heldur lækka aftur eftir að hámarki er náð. Það á þó ekki við t.d. um áhrif áburðar á gras. Uppskeran getur að vísu lækkað ef áburður fer upp fyrir það magn sem grasið þolir, en það ber að líta á sem sjúkleg áhrif. Þau eru annars eðlis en grasvöxtur og því er ekki rétt að nota slíkar niðurstöður við mat á uppskeruferli.



Ferill sem á betur við grasvöxt er línulegt deilt með línulegu (*ldl*), en það er hýperbólískur ferill sem stefnir á aðfelli við há gildi. Þar sem mat á slíkum ferli er í rauninni ekki mat á nýtingu niturs og því utan aðalefnis greinarinnar er umfjöllun um hann sett í **Viðauka**. Mat á *ldl* ferlum sem eru samsíða milli tilrauna er

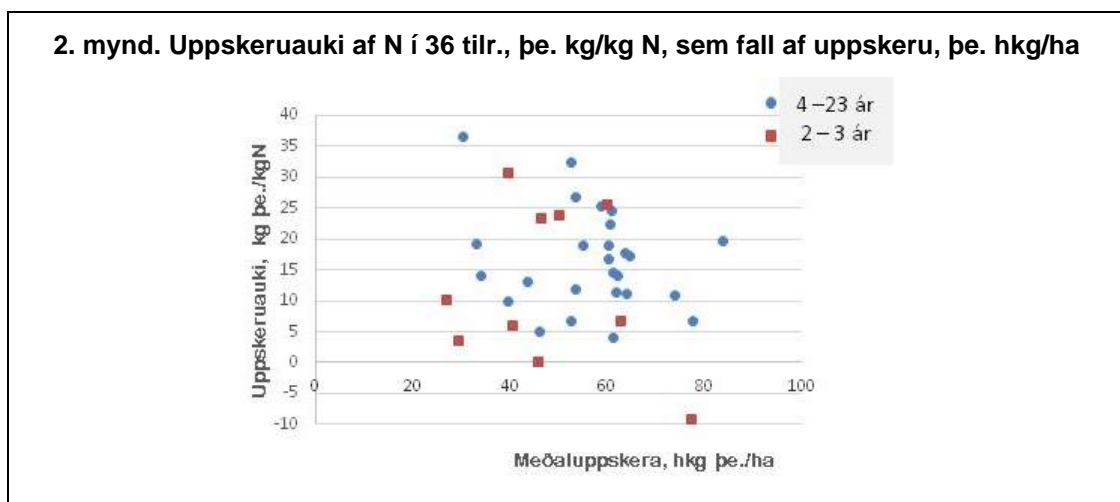
$$Y = A_i + \frac{-61,0}{1 + 0,00675 \times N}; s_{y,x} = 1,50.$$

þar sem A_i táknar aðfelli tilraunar i , þ.e. þá uppskeru sem fæst þegar skortur á áburði er með öllu hættur að vera takmarkandi fyrir uppskeru.

1.2 Áhrif N-áburðar á uppskeru óháð frjósemi lands?

Í áður nefndri samantekt um niðurstöður tilrauna með N-áburð (Hólmgeir Björnsson 1975b) var birtur uppskeruauki af N-áburði kringum 100 kg N/ha í 36 tilraunum, kg hey (85% þe.)/kg N, en við þann áburð er farið að draga töluvert úr áhrifum áburðar á uppskeru. Hér á eftir er uppskeran umreiknuð í 100% þurrefni. Flestar voru tilraunirnar á tilraunastöðvum jarðræktar og á bændaskólunum. Þó voru 16 tilraunir á bæjum utan þeirra, einkum á vestanverðu landinu. Meðal tilraunanna eru 6 langtímatilraunir sem voru notaðar á 1. mynd, þó ekki tilraun á Akureyri þar sem mesti áburður var 82 kg N/ha. Aðrar tilraunir höfðu staðið 2 – 15 ár, en aðeins 14 þeirra lauk 1973 eða fyrr. Margar tilraunir voru því enn í gangi og áttu eftir að skila meiri niðurstöðum. Algengast var að lægri skammturinn væri 80N, annars á bilinu 60N – 90N, nema 50N og 100N í einni tilraun hvort. Sá hærri var oftast 120N, í nokkrum 130N eða 140N, og 100N í tveimur tilraunum. Í 13 tilraunum voru áhrif áburðar mæld á sama bili, frá 80N til 120N.

Á 2. mynd er uppskeruaukinn sýndur sem fall af meðaluppskeru. Meðal hugmynda sem vöknudu var að uppskeruauki fyrir N-áburð væri í aðalatriðum óháður frjósemi lands. Mismunur tveggja tilraunaliða er tölfræðilega óháður meðaluppskeru þeirra. Áburðaráhrifin gætu verið mismikil eftir því hver uppskeran er, en prófa á tilgátuna að þau séu þau sömu.



Í 1. töflu er meðaltal uppskeruauka í þessum 36 tilraunum og staðalfrávik gildanna. Vegna þess að magn áburðar var breytilegt voru fundin gildi leiðrétt að sama áburðarmagni samkvæmt *ldl* ferli, sjá hér að ofan, og við það verður breytileikinn minni. Einnig eru niðurstöður takmarkaðar við þær 26 tilraunir sem stóðu meira en 3 ár og þá er staðalfrávik milli tilrauna lægra.

1. tafla. Meðaltal, miðgildi og staðalfrávik N-svörunar, þe. kg/kg N

		Fjöldi gilda	Meðal- tal	Mið- gildi	Staðal- frávik
<i>Allar tilraunir</i>	Óleiðrétt	36	13,2	12,4	8,14
	Leiðrétt skv. <i>ldl</i>	36	13,0	12,0	7,86
<i>Takmarkað við >3 ár</i>	Óleiðrétt	26	14,2	13,5	6,84
	Leiðrétt skv. <i>ldl</i>	26	13,8	12,6	6,46

Á 2. mynd og í 1. töflu sést hvað uppskeruaukinn hefur verið breytilegur. Á myndinni sést að hann er lítið eða ekkert háður meðaluppskeru, þ.e. hve vel sprettur. Með því að taka út úr þær

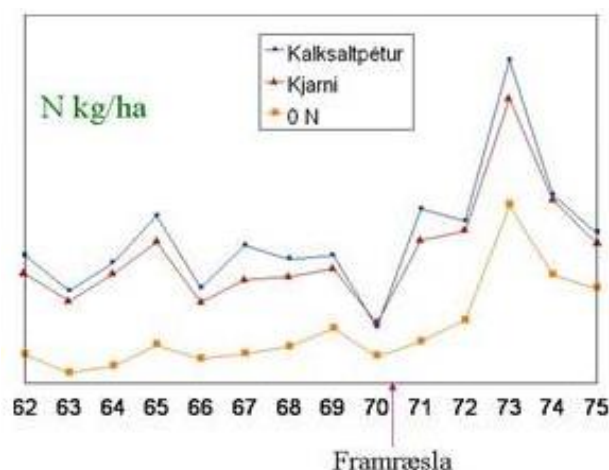
tilraunir sem höfðu staðið styst, 2 - 3 ár, minnkar breytileikinn. Í einni þeirra mældust neikvæð áburðaráhrif. Er það fremur til marks um mikla tilraunaskekkju en að áburðurinn hafi í rauninni dregið úr uppskeru. Víðar var farið með tilraunir undir lok tímabilsins en áður, og þær sem styst höfðu staðið voru e.t.v. gerðar við lakari ræktunarskilyrði. N-áburður hefur oft minni áhrif ef kalk skortir og jarðvegur er súr. Sá punktur, sem efstur er, er úr tilraun sem e.t.v. hefði ekki átt að taka með vegna afbrigðilegra aðstæðna. Það er tilraun nr. 19-58 sem var gerð á Geitasandi á vegum tilraunastöðvarinnar á Sámsstöðum. Sandurinn þar svaraði áburði með öðrum hætti en annað tilraunaland (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2018, sjá 7.2).

1.3 Hvað veldur misjafnri sprettu milli ára?

Túnið gefur töluvert nitur af sér án áburðar. Venjulega er talað um það sem losun á nitri í jarðvegi (*mineralisering*), væntanlega fyrst og fremst úr lífrænu efni, og að mjög lítið nitur berist að með úrkomu eða ryki hér á landi. Einnig gæti þó verið rétt að gera ráð fyrir niturnámi úr andrúmslofti. Þegar mýrlendi er ræst eða framræsla endurbætt má búast við aukinni losun á nitri. Nokkuð til viðbótar losnar þegar tún er brotið til akuryrkju. Þegar því er aftur breytt í tún safnast lífrænt efni að nýju. Erlendis er talið að jafnvægi náist á fáum árum, e.t.v. allt að tuttugu (Ball & Ryden 1984, Ledgard 2001). Íslenskur jarðvegur með einkenni eldfjallajarðvegs hefur meiri tilhneigingu til að safna lífrænu efni (Ólafur Arnalds o.fl. 2000).

Á 3. mynd er sýnd árleg N-upptaka í tilraun nr. 91-60 á Hvanneyri frá 1962 þegar efnagreiningar hófust. Þá tilraun má telja tímamótatilraun. Áður hafði þó komið glögglega fram í öðrum tilraunum að Kjarni er ófullnægjandi sem N-áburður á Vesturlandi nema jafnframt sé séð fyrir kalkþörf til að vega móti sýrandi áhrifum áburðarins (Magnús Óskarsson og Þorsteinn Þorsteinsson 1964).

3. mynd. Árleg upptaka niturs í tilraun nr. 91-60 á Hvanneyri (Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson 1978), meðaltal liða með 80–140 N kg/ha (80N, 100N, 120N, 140N)



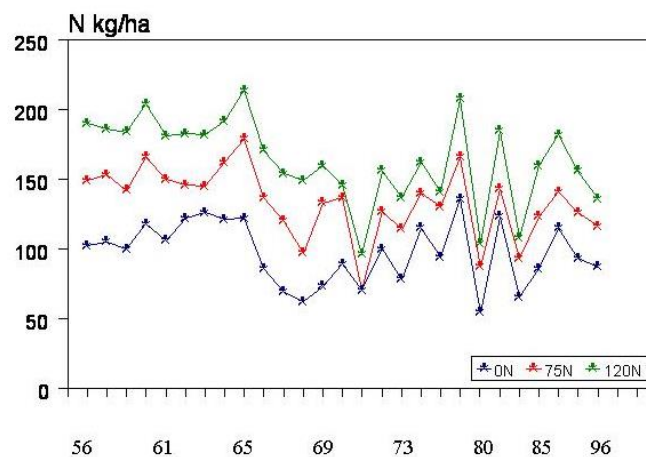
Árið 1970 var nýting áburðar mjög léleg á Hvanneyri. Það ár var framræslan endurbætt. Næstu ár var mikil losun niturs í jarðvegi. Hún kom seinna fram í reitum án N-áburðar en í reitum með N-áburði.

Það einkennir línurit eins og á 3. mynd að línur sem sýna árlega upptöku N eftir mismikinn áburð eru oftast nærri því að vera samsíða og er þá nýtingin sambærileg milli ára. Þótt áhrif áburðar mælist eitthvað breytileg geta þau í rauninni verið þau sömu, því að oftast hefur N verið mælt í einu samsýni af tilraunalið og tilraunaskekkjan er því mikil.

Í þessari tilraun á Hvanneyri eru frávikin frá samsíða ferlum óvenju mikil. Einkum er lítið samhengi milli N-upptöku á 0N-reitum og ábornum liðum. Framræsla hefur svo komið af stað mikilli N-losun í mýrinni frá 1971. Þó fyrr á reitum með N-áburði en ef N var ekki borið á. Seinna kom í ljós að efnagreiningar á sýnum frá 1971 eru óvissar, en sú mynd af niðurstöðum sem kemur fram á 3. mynd er þó í allgóðu samræmi við uppskerumælingar. Á Hvanneyri voru einnig tilraunir þar sem hægt var að bera saman reiti með og án N-áburðar í lengri tíma (Ríkharð Brynjólfsson 2005, sjá 7.6).

Annað dæmi um breytileika N-upptöku er sótt í tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri, 4. mynd (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003). Tilraunin var tvíslegin fyrstu 19 árin, 1954 – 1972, og 11 af 22 árum eftir það. Nitur var mælt árlega 1956 – 1976 nema 1960 og sjö sinnum eftir það. Á myndinni má greina tilhneigingu til lítilla áhrifa N-áburðar einstök ár, einkum 1970.

4. mynd. Árleg upptaka N í tilr 19-54 á Skriðukl. 56–59, 61–76, 80, 81, 83, 85, 87, 90 og 96

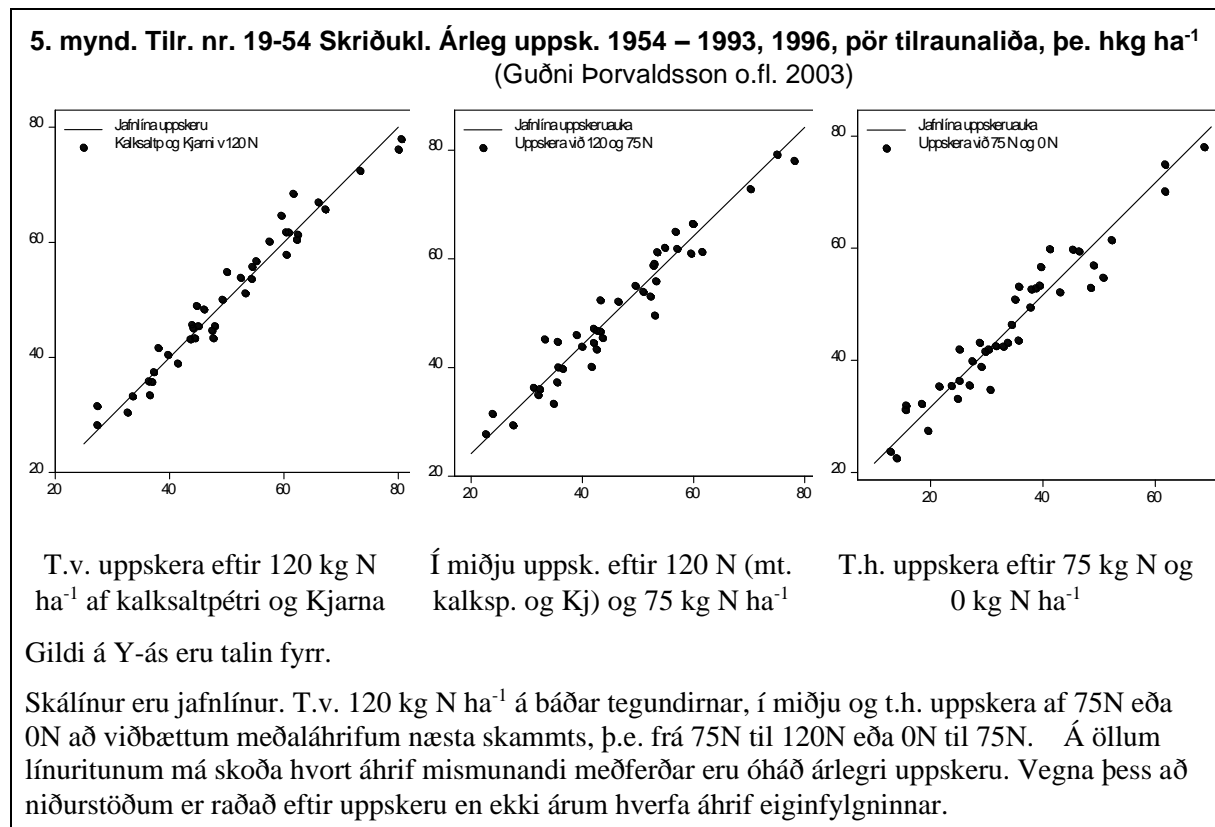


Á myndinni er samanburður á 75N og 120N í Kjarna við reiti án N-áburðar. Árlegur breytileiki er einnig sýndur á 5. mynd. Aðalviðfangsefni tilraunarinnar var þó samanburður á N-áburðartegundum (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003).

Árin 1966–1970 voru kölluð kalár. Aðeins tvíslegið þrjú þeirra ára sem N var mælt eftir 1972.

Til að skoða betur breytileika milli ára er samanburður á uppskerutölum tilraunaliða á 5. mynd. Þar er árleg uppskera í 41 ár pörðu eftir tegund áburðar eða áburðarskammti. Skálínur eru jafnlínur sem sýna legu punkta ef áburðaráhrif tilraunaliða, sem bornir eru saman, væru þau sömu öll árin. Að meðaltali er mismunur kalksaltpéturs og Kjarna $0,3 \pm 0,41$, áhrif af aukningu áburðar úr 75 í 120 kg N ha⁻¹ $4,2 \pm 0,51$, og af 75 kg N ha⁻¹ umfram 0N $11,6 \pm 0,57$. Staðalfrávik þessara þriggja samanburða eru í sömu röð 2,63, 3,27 og 3,65. Þegar dreifing punkta um jafnlínurnar er skoðuð ber ekki á neinni hneigð þannig að áhrif af magni N-áburðar eða tegund áburðar á uppskeru aukist eða minnki eftir því hvort sprettan er meiri eða minni það árið. Staðalfrávikin sem mæla breytileikann um línurnar sýna ekki marktækan mun á breytileika tilraunaliða.

Oft má líta á breytileika áburðaráhrifa milli ára sem tilviljunarkenndan, þ.e. **hendingu**. Þá getur verið rétt að bæta honum við tilraunaskekkjuna þegar mismunur tilraunaliða er metinn. Í langtímatilraunum geta áhrif áburðar þó breyst í ákveðna átt með árunum. Vegna fastrar reitaskipunar einkennist tilraunaskekkja í þeim að jafnaði af jákvæðri eiginfylgni milli ára. Getur hún verið nokkuð mikil milli nærliggjandi ára og veldur þá verulegri hækkun á tilraunaskekkju skammtímameðaltala. Greining á eiginleikum tilraunaskekkju í 19-54 er í viðauka við skýrsluna (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003). Þegar tilviljunarkenndur breytileiki áburðaráhrifa bætist við dregur úr vægi þessarar eiginfylgni.



Allmörg dæmi eru um að áhrif áburðar hafi verið minni þegar illa árar og minna sprettur líkt og kemur fram á 3. mynd. Hins vegar hefur því hvergi verið veitt athygli að dregið hafi úr áhrifum áburðar þegar vel sprettur. Er þó mikil spretta í góðu árferði einkum vegna aukins niturs í jarðvegi, t.d. vegna niturlosunar. Ef lögmálið um minnkandi vaxtarauka ætti við um áhrif af losun nitus í jarðvegi mætti hins vegar vænta minni áhrifa af N-áburði á uppskeru eftir því sem losunin verður meiri.

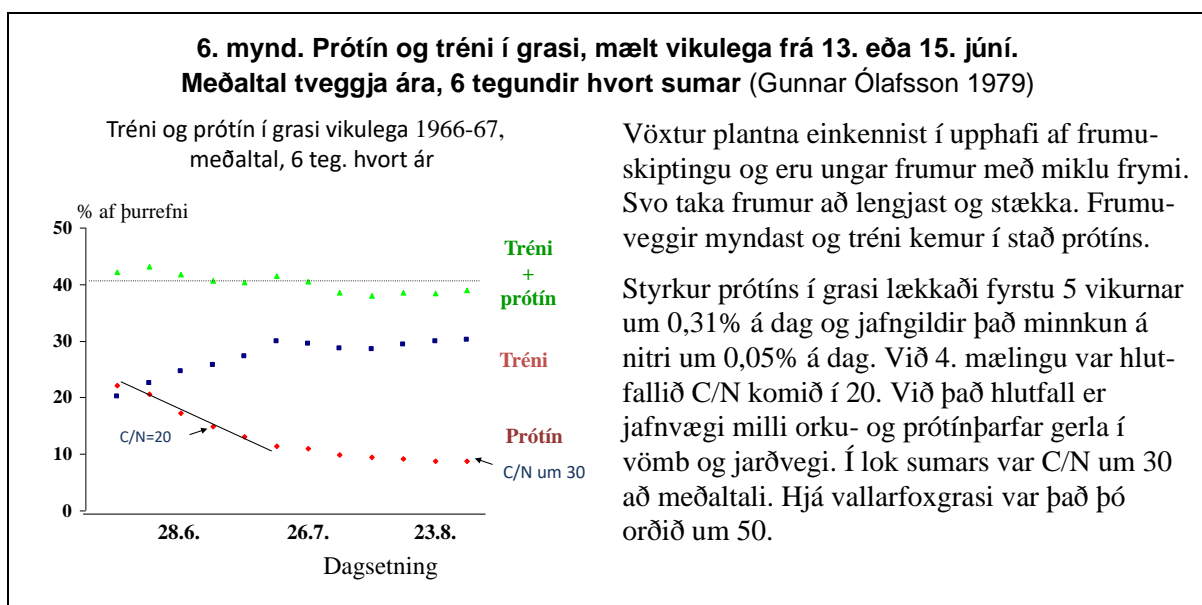
Fjallað er um nitur í uppskeru og jarðvegi í tilraunum með samanburð á tegundum N-áburðar síðar, einkum þeirrar á Skriðuklaustri, sjá 25., 26. og 28.-33. mynd og meðfylgjandi texta.

2 Niturnýtni

Niturnýtni (e. *Nitrogen Use Efficiency*, **NUE**) er hér notað um það sem e.t.v. væri réttara að kalla sýndarnýtni, þ.e. það hlutfall af auknum áburði sem skilar sér í aukinni upptöku niturs í gróður (*Nitrogen Uptake Efficiency*). Oftast er aðeins miðað við ofanjarðarhluta plantna ef mælingar á uppskeru og efnasamsetningu takmarkast við hann. Önnur merking í hugtakinu niturnýtni er hve vel upptekið nitur nýtist til að breyta koltvísýringi í lífrænt efni eða nýtilega uppskeru (*Physiological* eða *Agronomic Nitrogen Use Efficiency*) (van Keulen 2000). Niturnýtni á að mörgu leyti betur við en t.d. uppskerutölur til að meta niðurstöður tilrauna.

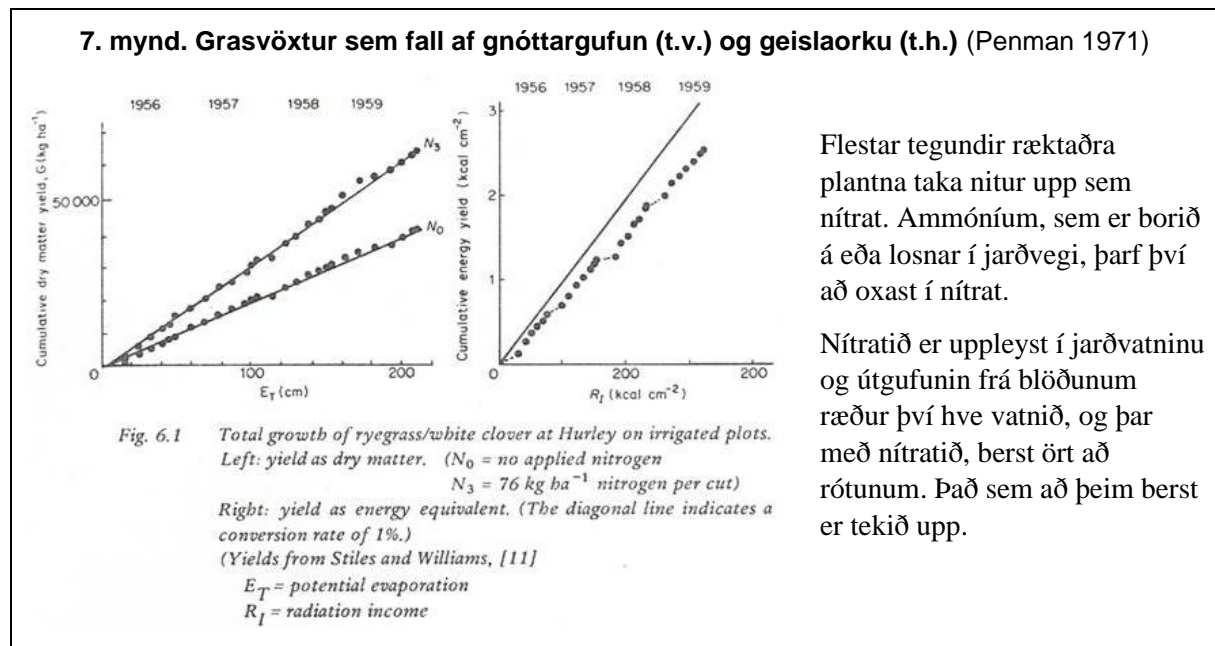
Eins og getið var í Inngangi hefur Niturnýtni að jafnaði reynst línuleg á því bili sem N-áburður hefur verið prófaður í tilraunum. Þótt uppskeruauki þurrefnis fari minnkandi þegar meira er borið á kemur í staðinn aukinn styrkur prótíns og þar með niturs í þurrefninu. Sem viðmiðun er notað að vænta megi þess að niturnýtni sé um tveir þriðju (0,67) við góð skilyrði, en að niturnýtni <0,60 geti vakið grunsemdir um að skilyrði hafi verið léleg. Mælingar á nitri í tilraunum eru þó oft fáar og reiknuð niturnýtni því ónákvæm. Í tilraunum hér á landi hefur sýnum af endurtekningum tilraunaliða oftast verið steipt saman í eitt samsýni sem svo er efnagreint. Ef upptaka er mæld ár eftir ár getur fengist nokkuð nákvæm mæling ef reiknuð er meðalnýtni í nokkur ár, en aðgæta þarf hvort líkur geti verið á breytilegri nýtni milli ára. Ef áburðarskammtar eru aðeins tveir er nákvæmnin meiri eftir því sem lengra er á milli þeirra. Áburðarskammtar á milli geta aukið nákvæmnina, en hafa minna vægi, og skammtur á miðju bili hefur vægið núll ef nýtnin er línuleg. Ítarlegasta umfjöllunin um niturnýtni í áður birtum greinum er í Hólmgeir Björnsson o.fl. (2018).

2.1 Hlutverk niturs og upptaka, C/N



Í lífverum er nitur að jafnaði 16% af þyngd þeirra efnasambanda sem nefnd eru hráprótín einu nafni. **Í hráprótíni er hlutfall C/N 2,5** og hráprótín í þurrefni fæst því með því að margfalda N% með 6,25. Nýmyndaðir vefir eru prótínríkir. Seinna einkennist vöxtur plantna meira af því að frumur stækka og þroskast og stoðvefur myndast (6. mynd).

Þörfin fyrir nitur er mest snemma á sprettutímanum og þá er upptaka þess úr jarðvegi örust. Í jarðvegi er nítrat uppleyst í jarðvatni. Vegna útgufunar úr laufblöðum dregst vatn að rótum. Nítratið sem berst með því er tekið upp jafnóðum. Á 7. mynd eru sýndar niðurstöður tilraunar sem stóð í fjögur ár (Penman 1971). Með vökvun og reglulegri dreifingu áburðar var séð til þess að styrkur nítrats í jarðvatni yrði stöðugur og þá fylgdi upptaka niturs útgufuninni. Sprettan varð í hlutfalli við upptöku niturs.



Flestar tegundir ræktaðra plantna taka nitur upp sem nítrat. Ammóníum, sem er borið á eða losnar í jarðvegi, þarf því að oxast í nítrat.

Nítratið er uppleyst í jarðvatninu og útgufunin frá blöðunum ræður því hve vatnið, og þar með nítratið, berst ört að rótunum. Það sem að þeim berst er tekið upp.

Um 70% prótíns í grænum plöntum er ensím í blaðgrænunni, *rubisco*. Mæling á styrk græna litarins er meðal aðferða sem má nota til að meta niturnæringu plantna og hvort þörf geti verið á að bæta við áburði. Nitur flyst úr eldri vef í vaxandi plöntuhluta og svo, þegar plantan þroskast, í forðavef eins og korn og fræ, kartöflur og rótarávexti. Hjá fjölærum gróðri eins og grasi í jarðstöngla. Við það eyðist blaðgrænan og blöðin fölna. Miða má við að í lifandi gróðri sé kolefni 43 – 45% af þurrefni sem er minna en 50% af lífrænu efni. Í ungu grasi er C/N < 20, en hækkar fram eftir sumri og getur verið 30 – 50 í ágústlok (6. mynd). Þegar gras er orðið að sinu eða korn er fullþroska getur nitur farið niður í 0,4% og þá er C/N > 100.

2.2 Sprettu grasa og upptaka niturs

Sprettu grasa og upptaka niturs var mæld á Korpu með því að klippa rendur í reitum með 4 grastegundum, alls 8 yrkjum, og þremur áburðartímum vikulega sumrin 1979 og 1980. Fyrri sumarið var rakt og kalt en það seinna fremur hagstætt. Þetta var gert í tveimur tilraunum og því ekki klipptir sömu reitirnir bæði árin. Eftir að hafa verið hvíldir í eitt ár voru þessir sömu reitir notaðir undir haustáburðartilraunir I og II, sjá næsta kafla. Aðferðin við klippingu var fremur einföld og ekki er loku fyrir það skotið að það dragi úr áreiðanleika mælinganna

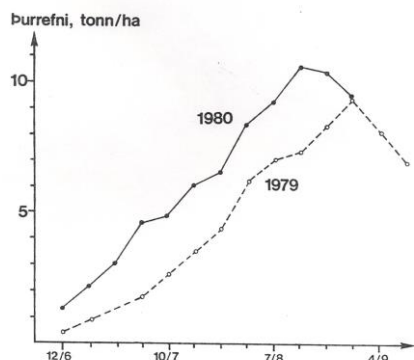
(Jarðræktartilraunir 1981). Á 8. mynd er sýndur ferill sprettu og upptöku niturs þessi tvö sumur. Auk niturs var meltanleiki *in vitro* mældur í sýnunum. Þótt veðurfar væri mun óhagstæðara 1979 og seinna sprytti, varð hámark sprettu vallarfoxgrass í sumarlok litlu minna en 1980, en það náðist 2 v. seinna (8. mynd a). Upptaka niturs úr áburði virðist lítið hafa farið af stað fyrr en um tveim vikum eftir að borið var á. Vallarsveifgras og puntgrös hófu þó sprettu fyrr og höfðu tekið upp um 10 kg N ha⁻¹ áður en borið var á 12. júní 1979 og 4,5 kg 10. júní 1980. Upptaka vallarfoxgrass var á sama tíma aðeins 5 og 2 kg N ha⁻¹. Sumarið 1980 varð upptakan mest eftir fyrsta áburðartímam og minnst eftir þann seinasta.

Meðal þess sem má lesa af 8. mynd er mismunur tegunda. Þegar líður á júlí fer upptekið magn niturs að verða meira í vallarfoxgrasi en í hinum tegundunum og munar töluverðu undir lok sumars, einkum 1980 ef snemma var borið á. Til samanburðar má nefna að í sláttutímatilraun 1982 var mun meira nitur í vallarfoxgrasi í 1. sl. en í öðrum grastegundum, 98 kg N ha⁻¹ borið saman við 62 – 78 kg N ha⁻¹ í fjórum öðrum tegundum og yrkjum. Sumarið eftir var minni munur á tegundum. Nitur í uppskeru í tveimur af þessum yrkjum var svipað og í vallarfoxgrasi, en nokkuð minna í hinum tveimur (Hólmgeir Björnsson og Friðrik Pálmason 1994). Vallarsveifgras og puntgrös (snarrót og beringspuntur) söfnuðu nitri í rætur umfram vallarfoxgras í haustáburðartilraunum þegar borið var á eftir 1. sl. (14. mynd), enda byrjuðu þessar tegundir vöxt fyrr um vorið eftir (8. mynd c, d). Því er ekki tilefni til að álykta að þessar tegundir nýti nitur í jarðvegi verr en vallarfoxgras (Hólmgeir Björnsson 1998a).

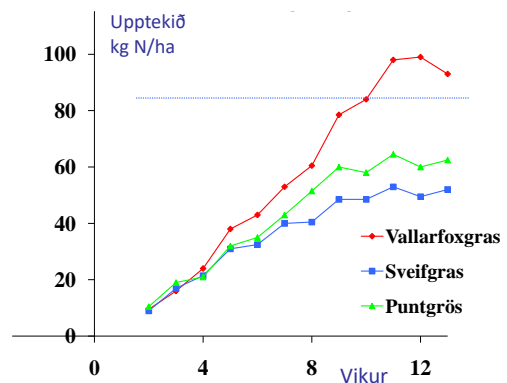
Á línurítum **e** og **f** á 8. mynd er dregin lína lárétt við 80N, þ.e. 2/3 hluta af 120 N sem var áborið magn. Vallarfoxgras fór yfir það mark í upptöku þegar kom fram í ágúst 1980, en hinar tegundirnar ekki. Óvíst er þó að niturnýtni hafi náð 2/3, jafnvel hjá vallarfoxgrasi. Upptakan var fremur hæg, en athyglisvert er hve línuleg upptaka hefur haldist lengi, fram í ágústlok hjá vallarfoxgrasi. Fyrra árið var upptakan hraðari, en það hægði á henni fyrir júlílok og munur tegunda var minni.

8. mynd. Klippingartilraunir á Korpu 1979 (tilr. 01-440-77) og 1980 (02-440-77). Mjóar rendur klipptar vikulega. Áburður 120 kg N ha⁻¹, Græðir 6, þrjár áburðartímar

a Spretta vallarfoxgrass 1979 og 1980 tveir áburðartímar í maí, meðaltal



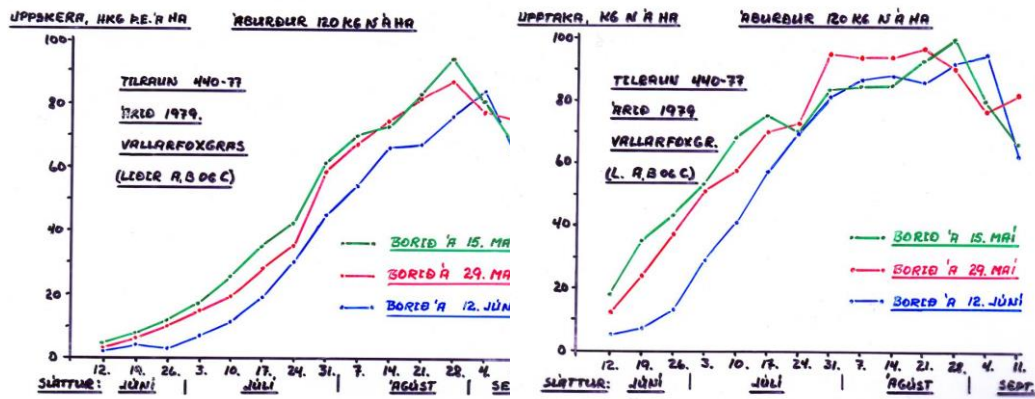
b Upptaka niturs 10.6. – 26.8. 1980 mt. ábt. 13. og 27. maí, 3 grastegundir



Frh. á næstu bls.

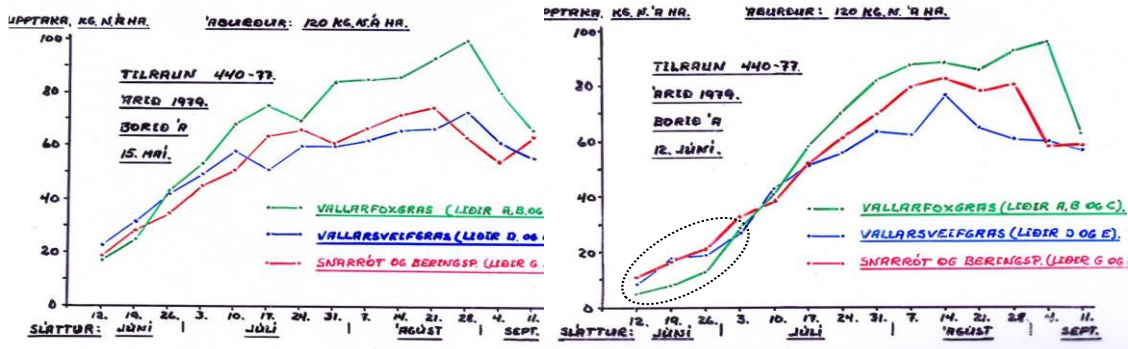
8. mynd frh.

c Hvenær er N tekið upp? Spretta vallarfoxgrass og upptekið N 1979



Lítið gerist fyrir en 1-2 v. eftir að borið er á

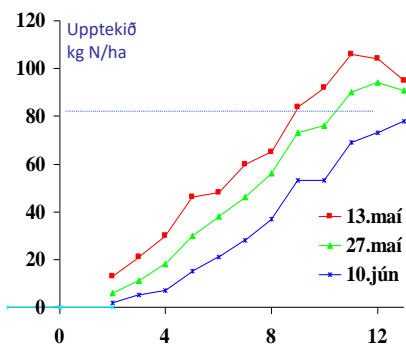
d Upptekið N 1979. Samanburður tegunda, meðaltal tveggja áburðartíma



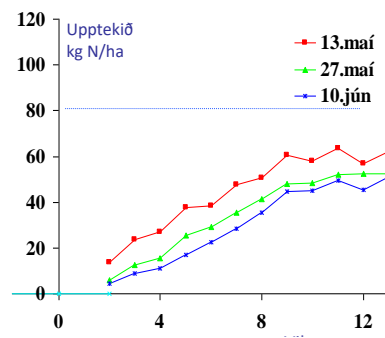
T.v. borið á 15. maí, t.h. borið á 12. júní. Vallarfoxgrass bíður eftir áburðinum

e-f N-upptaka grastegunda 1980, þrjár áburðartímar, uppt. N kg ha⁻¹, tími í vikum

e Vallarfoxgrass 1980
þrjár áburðartímar



f Vallarsveifgrass og puntgrös 1980
þrjár áburðartímar



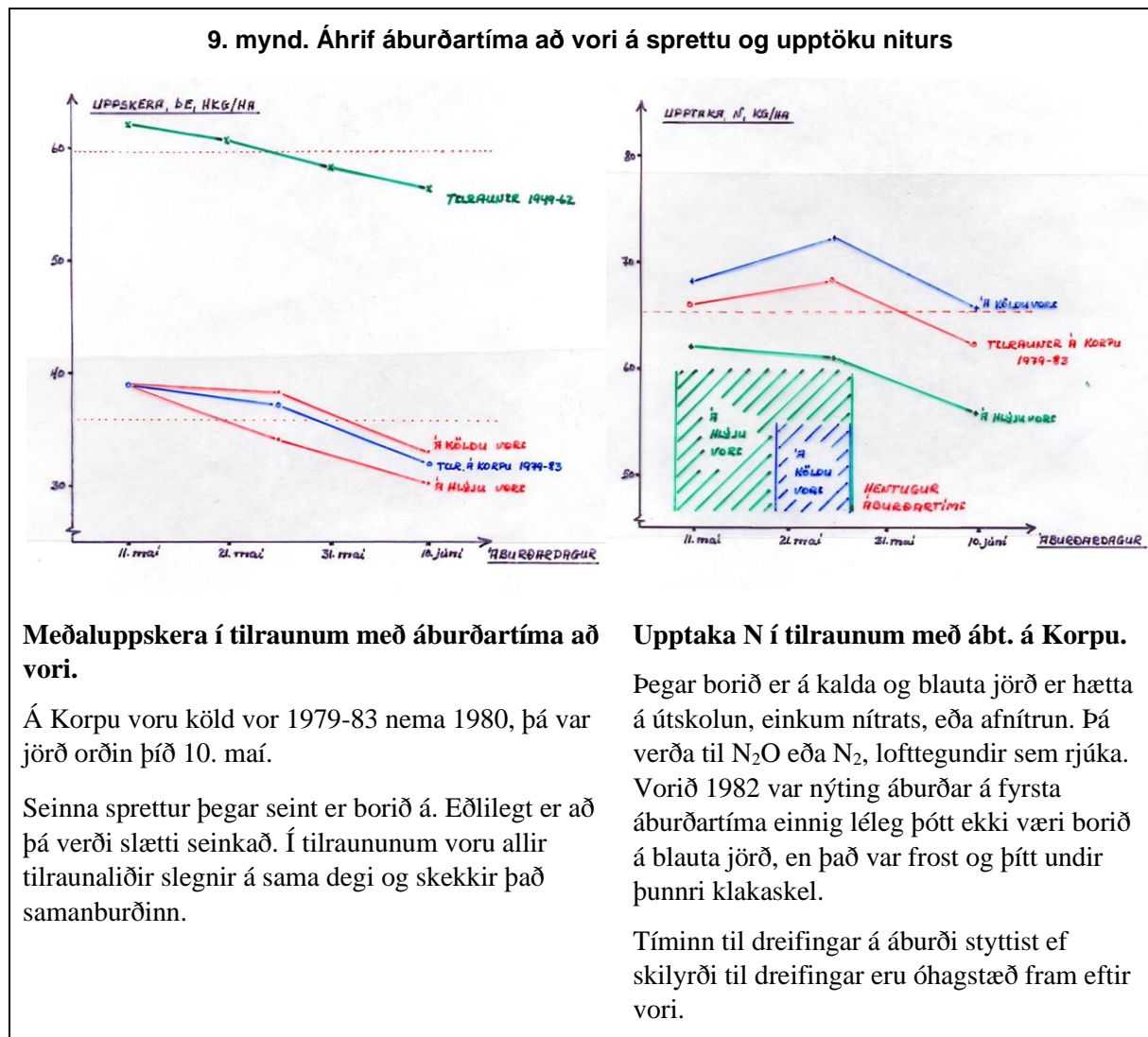
Línurit á a og t.v. á c sýna þurrefni, t ha⁻¹. Önnur línurit sýna upptöku niturs í grasið, kg N ha⁻¹. Tekin voru meðaltöl yrkja af vallarfoxgrasi og vallarsveifgrasi, þrjú yrki af hvorri tegund, og meðaltal snarrótar og beringspunts, eitt yrki af hvorri tegund (Jarðræktartilraunir 1981). Ef niðurstöður eru dregnar meira saman sjást helstu drættir betur (Björnsson og Hermannsson 1989). Vallarfoxgrass spratt 141 og 145 kg þe. ha⁻¹ d⁻¹ í 56 daga ef snemma var borið á 1979 og 1980. Upptakan fer seint af stað hjá vallarfoxgrasi ef ekki er borið á fyrir en í júní og hún nær fyrri áburðartímum varla fyrir lok sumars. Það hægir á N-upptöku hinna grastegundanna um mitt sumar og spretta þeirra er meira aðlöguð því að þá sé háin slegin.

Mæling á sprettuhraða grass fæst einnig í sláttutímatilraunum þegar grasið hefur sprottið mislengi eftir 1. (eða 2.) sl. fram að næsta slætti (Hólmgeir Björnsson 2000, Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 1990). Vallarfoxgrass spratt hraðast, 113 kg þe. ha⁻¹ dag⁻¹ að meðaltali, vallarsveifgrass og snarrót hægar, og túnvingull gaf lægsta gildið, 71 kg þe. ha⁻¹ dag⁻¹. Meðaltölin eru þó hærri ef mælingar í ágúst eru ekki teknar með. Vaxtarhraði vallarfoxgrass hækkaði um 8±2,9 kg ha⁻¹ dag⁻¹ á hverja gráðu sem hitinn á sprettutímanum var hærri, en ekki fundust marktæk áhrif af hita á aðrar grastegundir. Jákvæð áhrif fundust einnig af aukinni geislun á vaxtarhraða grass, en ekki fundust tengsl við úrkomu á sprettutímanum (Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 1990).

Spretta vallarfoxgrass skv. 8. mynd a, um 140 kg þe. ha⁻¹ d⁻¹, er álíka hröð og hjá öðrum nytja-plöntum þar sem tillífunin fer eftir s.k. C3-ferli, en hjá plöntum með C4-ferli eins og t.d. sykurreyr, sem þrífast í heitu loftslagi, getur vaxtarhraðinn í 100 daga verið 180 – 240 kg þe. ha⁻¹ dag⁻¹ (Hólmgeir Björnsson 1987). Gras, sem sprettur lengi fram eftir sumri, verður trénað og hefur lítið orkugildi til fódurs, en hlutfall ösku lækkar einnig. Það getur orðið verðmætt sem lífmassi við framleiðslu eldsneytis eða á annan hátt í iðnaði.

3 Dreifingartími áburðar

Tilraunir með dreifingartíma áburðar að vori og skiptingu áburðar voru lengi meðal viðfangsefna jarðræktartilrauna. Hafa þeim verið gerð betri skil en mörgum öðrum viðfangsefnum þeirra. Helstu niðurstöður voru dregnar saman í Frey 1987 og 1998 (Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987; Hólmgeir Björnsson 1998c). Í nýrri tilraunum hefur verið mæld upptaka niturs (9. mynd) og meltanleiki við slátt (2. tafla).



Auk áhrifa áburðartíma á uppskeru hefur hann áhrif á meltanleika við slátt. Í 2. töflu er sýnt hvað áhrif á meltanleika sem hafa fundist í tilraunum svara til margra daga seinkunar á sláttutíma vallarfoxgrass. Niðurstöður frá 1980 – 1983 birtust í grein um áhrif áburðar- og sláttutíma á efnainnihald í grasi (Hólmgeir Björnsson og Friðrik Pálmason 1994). Gildi frá 1977 var notað við gerð Reiknilíkans af mjólkurframleiðslu kúabúa (Gunnar Sigurðsson o.fl. 1980), en það var sennilega áætlað eftir reynslu. Staðalskekkjan á mismun meltanleika milli áburðartíma var 0,84 – 1,32. Deilt með 0,34 (fall meltanleika á dag) fæst staðalskekkjan 2,5 – 4,5 á fjölda daga sem þarf að fresta slætti ef halda á sama meltanleika. Í fjögur skipti náðu

reiknuð áhrif ekki staðalskekkjunni og í stað meðaltals voru færðir 0 (núll) dagar. Í þrjú skipti hefði átt að fresta slætti um 5,6 – 7,5 daga ef dreifing áburðar dróst um 14 – 21 dag.

2. tafla. Áhrif áburðartíma á meltanleika vallarfoxgrass, og reiknað jafngildi í dögum milli sláttutíma. Reiknað er með að meltanleikinn falli 0,34% á dag

	Fyrsti slt.	Melt% 1. slt.	Dagar m. slt.	Melt% 2. slt.	Dagar m. slt.	Melt% 3. slt.
1977			14			
Jafng í slt.			6			
1980	13.5.	66,5	14	68,8	14	68,0
Jafng í slt.			5,6		0	
1982	4.5.	67,7	21	66,8	21	67,6
Jafng í slt.			0		0	
1983	4.5.	65,6	21	66,1	21	68,4
Jafng í slt.			0		7,5	

Til þess að nýta sprettutíma sumarsins er eðlilegt að slá tvisvar ef sóst er eftir góðu heyi og sumarið er ekki mjög stutt. Erlendis er víða slegið oftar eða beitt, og með hlýnandi loftslagi er það einnig farið að tíðkast hér á landi. Til þess að háin spretti vel og gefi gott hey þarf að bera á fyrir seinni slátt. Áburði sumarsins er þá skipt og borið á í tvennu lagi. Miklar tilraunir hafa verið gerðar erlendis með mismunandi skiptingu áburðar, fjölda slátta og sláttutíma. Jafnan mun þó mest borið á á vorin. Niðurstaðan er sú helst að innan víðra marka hafi skipting áburðar takmörkuð áhrif á uppskeru alls og nýtni áburðar. Áhrif áburðar geymast að nokkru leyti til næsta vors, en nýtingin verður þó e.t.v. heldur lakari ef áburðurinn nýtist ekki að fullu samsumars (Morrison 1980; sjá einnig 3. töflu og Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987).

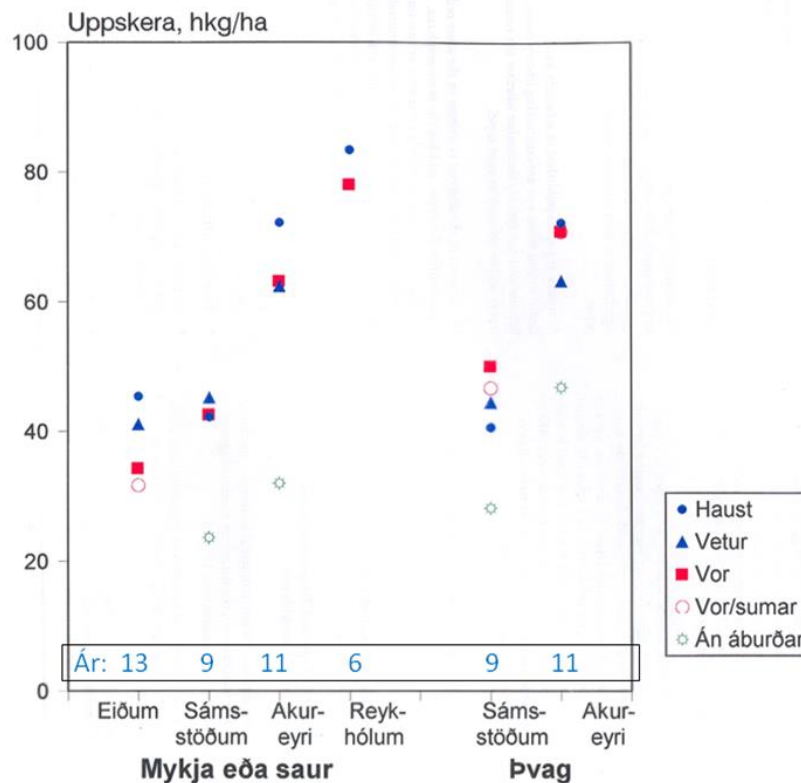
3.1 Óhefðbundinn áburðartími

Almennt er talið hentugast og að áburðurinn nýtist best ef borið er á í upphafi sprettutíma eða milli slátta. Dreifing búfjáráburðar er þó mikið verk og meira en svo að því verði öllu komið við á besta tíma. Allmargar tilraunir voru gerðar með dreifingartíma búfjáráburðar á fyrri hluta 20. aldar og sýndu þær að það gat gefið góðan árangur að bera á á öðrum tímum árs (10. mynd). Töluvert hefur verið gert af tilraunum og rannsóknum með búfjáráburð. Haldin var eins dags ráðstefna á Hvanneyri á vegum Bændaskólans árið 1992 og kom efni hennar út sem Rit Bændaskólans á Hvanneyri nr. 1. Eftir það var rannsóknum með búfjáráburð haldið áfram á Hvanneyri (Ríkharð Brynjólfsson) og á vegum tilraunastöðvarinnar á Möðruvöllum (Þóroddur Sveinsson og Hafdís Sturlaugsdóttir 2006), en ekki er fjallað um þær hér.

Haustdreifing á áburði er notuð í frærækt til að fjölga stönglum sem bera blómskipun vorið eftir. Einnig hefur verið eftirspurn eftir aðferðum til að flýta vorbeit á ræktuðu landi. Auk þess geta skilyrði til að dreifa áburði verið óhagstæð á vorin ef blautt er og kalt eða klaki í jörð. Uptaka er einnig lítil ef þurr er og kalt. Því þótti tilefni til að gera tilraun með að dreifa áburði síðsumars eða að hausti eftir að grassprettu var að mestu lokið. Gerðar voru tilraunir þar sem áburður til viðbótar voráburði var borinn á ýmist eftir 1. sl. eða síðla sumars. Ef borið er á strax

eftir 1. sl. geymist hluti áburðaráhrifanna til næsta vors, en öll ef ekki er borið á fyrr en eftir slátt. Sambærilegar uppskerutölur til að bera saman áhrif áburðar í heilt ár voru fengnar með því að leggja saman uppskeru 2. sl. og 1. sl. árið eftir. Eru það kölluð tilraunaár. Fyrri sláttur upphafsárið er þá ekki talinn með (Hólmgeir Björnsson 1998a,b).

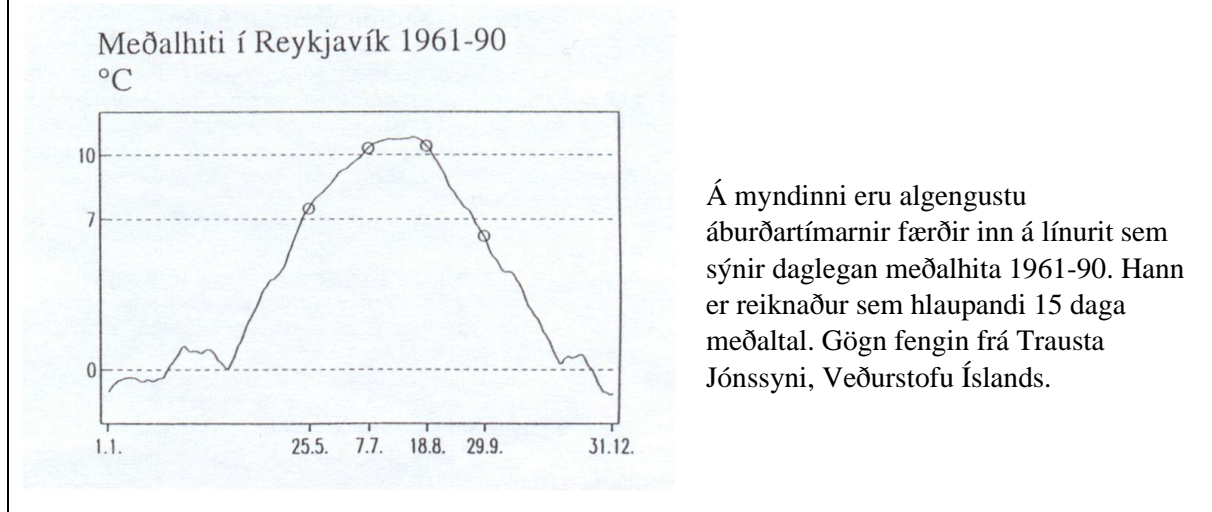
10. mynd. Tilraunir með dreifingartíma búfjáráburðar 1929 – 1959, mt. 6 – 13 ára



Í tilraunum með dreifingartíma búfjáráburðar var borin saman dreifing á mismunandi tímum. Áburðurinn var misjafn eftir árstímum og hefur það áhrif á niðurstöður. Veður við dreifingu skiptir máli. Ef borið var á í þurru varð ávinnslan stundum léleg á Akureyri og Eiðum. Á Sámsstöðum var haust- og miðsvetrardreifing best þegar vor voru köld og þurr. Þessi samantekt birtist í töfluformi á ráðunautafundi 1998 (Hólmgeir Björnsson 1998b). Þar eru nánari upplýsingar, m.a. um áburðinn, getið um fleiri tilraunir og vísað í frumheimildir.

Á Korpu voru fjórar tilraunir 1980 – 87 (11. og 12. mynd). Tilraunaár voru 4, 2, 3, 3 í tilraun I, II, III, IV. Að meðaltali varð uppskeran einna lægst ef allur áburðurinn var borinn á að vori, en munurinn var lítill. Myndin breytist þegar reiknuð er upptaka niturs, þ.e. nýtni. Þá kemur í ljós að hún var að jafnaði mest þegar allt var borið á að vori, einkum í IV. Er það í samræmi við aðrar tilraunir með dreifingartíma sem áður var getið. Niðurstöðurnar breyttu samt hugmyndum um dreifingartíma (Hólmgeir Björnsson 1998c). M.a. hafði verið talið að dreifing nituráburðar að hausti ylli hættu á kali, en engin vísbending fannst um það í þessum tilraunum. Enn fremur hafði verið gert ráð fyrir að áburður sem ekki væri tekinn upp fyrir haustið skolaðist út. Á Möðruvöllum voru gerðar svipaðar tilraunir sem stóðu 1991 – 1994. Á Korpu var seinna gerð tilraun á gömlu túni 1990 – 2003 með áhrif áburðar að hausti og fyrir eða eftir byrjun gróanda að vori (Guðni Þorvaldsson 2007) og önnur með áburð á ýmsum tímum að vetri.

11. mynd. Dreifingartími í haustáburðartilraunum á Korpu og meðalhiti



Valdar niðurstöður um nýtingu og afdrif niturs í tilraunum á Korpu eru dregnar saman í 12. – 14. mynd, nokkuð einfaldaðar. Upptaka niturs í tilraunum á Möðruvöllum lá ekki fyrir þegar tilvitnaðar greinar voru skrifaðar, en þar varð uppskeran mest þegar borið var á að vori eða eftir fyrri slátt. Í tilraun I voru tveir tilraunaliðir aðeins í tveim blokkum af fjórum, þ.e. áburður síðsumars og 60N að vori og er samanburður við þá því ónákvæmur. Fyrstu árin var nýting áburðar að vori léleg, en breyttist til hins betra 1985 með batnamdi tíðarfari. Það var seinasta ár tilraunar I, en fyrsta ár tilraunar IV og mun hún hafa verið gerð á betur þurru landi en hinar. Nýting áburðar á öðrum tímum en að vori breyttist ekki að sama skapi svo að yfirburðir vordreifingar að þessu leyti urðu meiri.

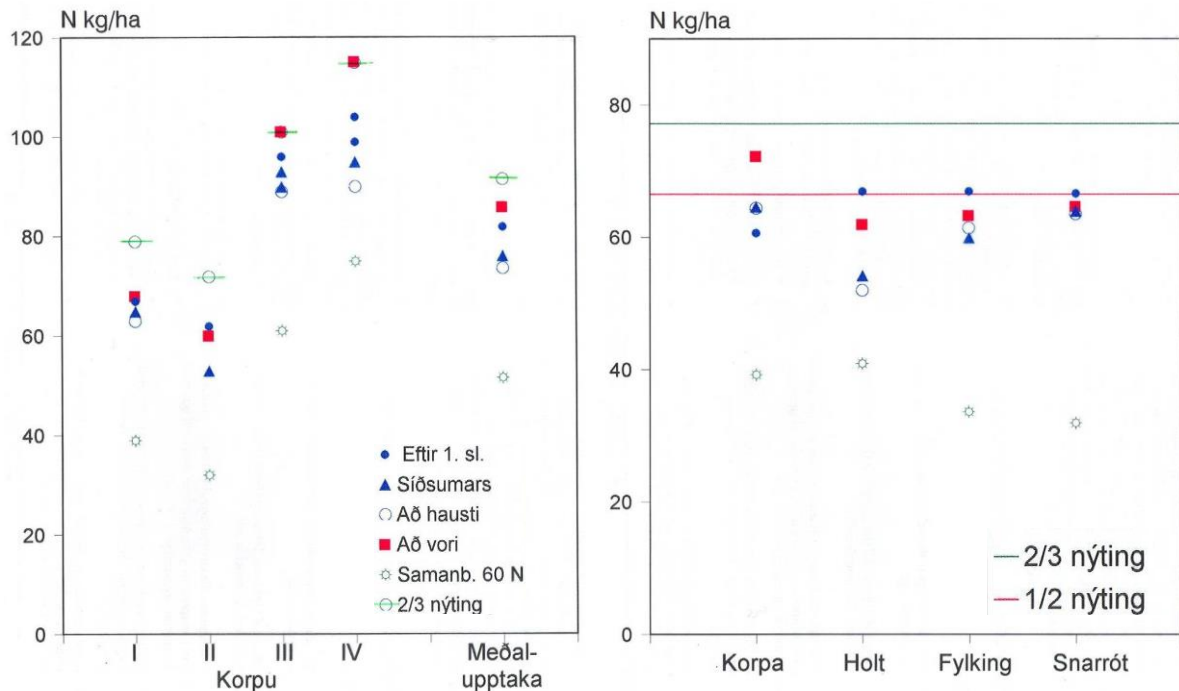
Auk þess að mæla uppskeru með því að slá reitina voru klipptar rendur, $2 \times 0,1$ m, á áburðartímum áður en borið var á til að mæla grasvöxt frá seinustu áburðardreifingu eða slætti. Uppskeyra af klippingu á samreitum var sameinuð í eitt sýni til efnagreiningar. Í I og II voru efnagreiningar takmarkaðar við 4 yrki. Af N-áburði eftir slátt (oftast 7. – 8. júlí) voru um 30% komin fram í grasi seint í ágúst eða byrjun sept., og af N-áburði 17. – 20. ág. voru um 20% komin fram í grasi um jafndægur. Á 13. mynd eru sýndar athuganir að vori í tilraun I og II, meðaltal áburðartíma og grastegunda, fyrsta tilraunaári sleppt og leiðrétt fyrir tilraunalið sem vantaði í II. Upptekið nitur eftir N að vori árið áður var sambærilegt við N á jafndægum um haustið ef ekki hafði verið borið á eftir slátt um sumarið (sjá Hólmgeir Björnsson 1998b). Áhrifa áburðar frá í ágúst gætti enn lítið. Í þessum niðurstöðum kemur hvað skýrast fram hve miklu getur munað á tegundum og yrkjum innan tegunda við upphaf sprettu á vorin.

Til að varpa frekara ljósi á hvernig nitur, sem borið er á eftir slátt eða að hausti, varðveitist til vors voru gerðar mælingar á rótum. Í apríl árin 1984 – 87 áður en grænkaði voru tekin rötarsýni í 15 cm dýpt til að mæla lífrænt efni og nitur í tilraun I 1984 og í tilraun IV 1985 – 87 (14. mynd). Í nóvember 1983, áður en rötarsýni voru tekin í I, voru jarðvegssýni tekin í tilraun I og III og ammóníum og nítrat mælt. Jarðvegur var þveginn úr rötarsýnum eins og kostur var. Auk þess að mæla í þeim nitur voru þau glædd og glæðitapið notað sem mælikvarði á lífrænt efni í rótum. Glæðitapið var að jafnaði nokkuð meira en helmingur. Talið var að það væru einkum fremur gróf korn sem yrðu eftir við þvottinn, en óverulegt af lífrænu. Sú skekkja sem þetta veldur skiptir þó varla máli við samanburð á rótum eða nitri milli liða.

12. mynd. Upptaka N í tilraunum með haustáb. á Korpu 1980 – 87, alls 12 tilraunaár

Viðbót við 60N dreift á mismunandi tíma

Samanburður grastegunda í I og II



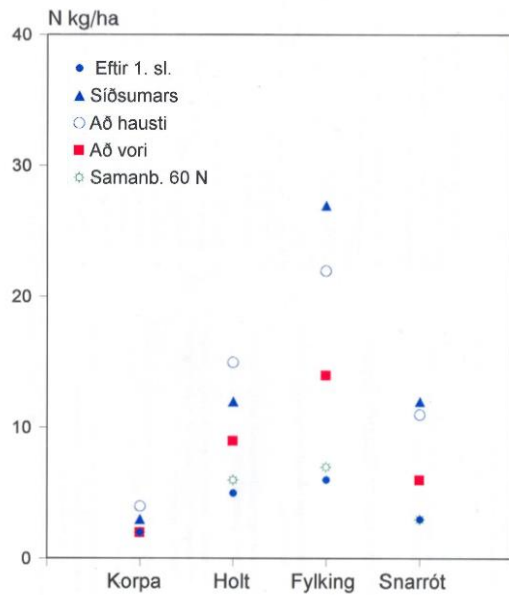
Samanburðarliður eru 60N borin á 23. – 25. maí. Tilraunaáburður á aðra liði er 60N til viðbótar: borinn á að vori um leið og grunnáburður, eftir 1. sl. (oftast 7. – 8. júlí, síðsumars (17. – 20. ág. í I og 8.sept. í II), og nálægt jafndægum að hausti (23. – 28. sept., ekki í II), alls 120N á aðra liði en samanburðarlið. Tilraun IV var þáttatilraun með tvídeildum reitum, þ.e. tveimur sláttutímum, 4. og 25. júlí, og tveimur samanburðarliðum, þ.e. 120N auk 60N.

Til viðmiðunar er sýnd góð nýting, 40 kg N/ha (2/3) umfram meðaltal yrkjanna. Í III og IV var nýting voráburðar umfram 60 eða 120N góð, en mun lakari annars. Litlu munaði á dreifingartímum. Í I og II voru efnagreind sýni af fjórum yrkjum af þremur grastegundum, í III var blandaður gróður, í IV Adda vallarfoxgras, en gróður var nokkuð blandaður undir lok tilraunarinnar, einkum eftir fyrri sláttutímum.

Til hægri er upptaka N hjá 4 yrkjum af 8 í I og II. Til viðmiðunar eru línur sem sýna 2/3 og 1/2 nýtingu (+40N eða +30N) á tilraunaáburði (+60N) umfram meðalupptöku af viðmiðun (60N). Vallarfoxgras nýtti voráburðinn best (tilraun IV á mynd t.v. og Korpa á mynd t.h.). Annars var nýtingin best ef hluti áburðar var borinn á eftir 1. sl. og tvíslegið. Telja má nýtingu lélega ($\leq 1/2$) nema í III og öðru en vallarfoxgrasi í IV. Holt vallarsveifgras, sem er stöngulríkt og sprettur snemma, nýtti áburð síðsumars og að hausti verr en Fylking og snarrót.

Rætur voru heldur meiri eftir því sem lengra hafði liðið frá dreifingu áburðar án þess að slegið væri. Miklu munaði á lífrænu efni í rótum eftir tegundum, 10,1 t ha⁻¹ hjá vallarfoxgrasi og 17,3 t ha⁻¹ hjá Fylkingu, en hlutfallslega minna munaði á nitri í rótum. Lífrænt efni í rótum var óháð magni N-áburðar og breyttist ekki með tímanum ef seint var slegið. Það var óreglulegra ef snemma var slegið og nokkur tilhneiging var til aukningar með árunun. Er líklegt að það sé vegna minnkandi hlutar vallarfoxgrass.

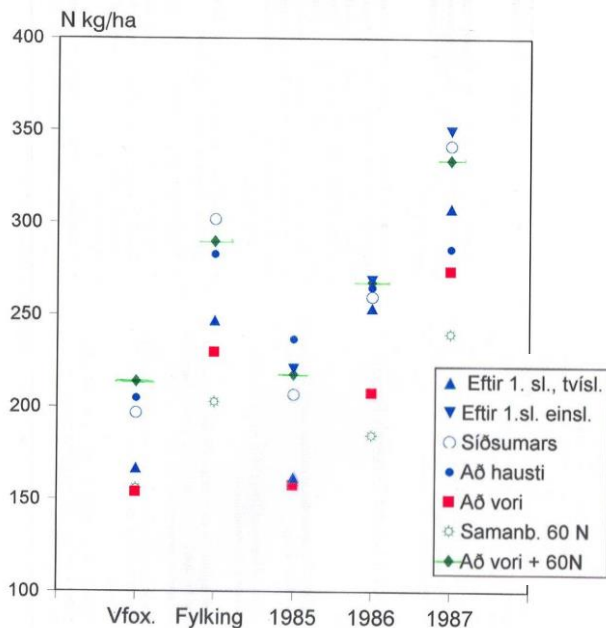
13. mynd. N í gróðri að vori, 25. maí, eftir 60N sem viðbótaráburð á fimm dreifingartímum og í samanburðarlið, mt. 5 tilraunaára í tilraun I og II á Korpu



Tilraunaliðir voru einslegnir um 8. júlí árið áður, nema tvíslegið þegar borið var á strax eftir 1. sl.

Upptaka niturs 25. maí sýnir misjafna byrjun vorgróðurs eftir grastegundum og áburði árið áður. Vallarfoxgrasið Korpa er nær ekkert farið af stað, en upptakan var þó nærri tvöföld ef borið var á um sumarið eða haustið áður en ekki slegið eftir það. Nær enginn munur var á samanburðarlið (60N) og tvíslegnum lið (60+60N í júlí) og upptakan óveruleg nema hjá vallarsveifgrasi. Einkum var Fylking komin mikið af stað eftir að borið var á haustið áður en ekki slegið. Nokkru minna ef 120N höfðu verið borin á vorið áður en ekki slegið nema 8. júlí.

14. mynd. Nitur í rótum, sýni tekin í apríl 1984 – 87



Í tilraun I voru árið 1984 176 kg N ha⁻¹ í rótum vallarfoxgrass og 253 kg N ha⁻¹ í rótum Fylkingar.

Í tilraun IV eru gildin meðaltöl grunnáburðarskammta (60N og 120N) og sláttutíma.

Nitur var oftast minnst í samanburðarlið, þar var minnst borið á (60N eða 60N og 120N). N var mest ef ekki var slegið eftir að borið var á, þ.e. síðsumars eða að hausti, og í IV einnig ef borið á eftir 1. sl. en samt einslegið. Þau gildi eru nálægt **tígli með grænu þverstriki þ.e. N í 60+60N/120N (áb. að vori) að viðbættu 60N**. Má líta á það sem svo að grasið hafi náð að nýta áburðinn og safna mestu af N í rætur fyrir veturinn. Áburður haustið 1986 kom ekki fram í grasi vorið 1987.

Nitur í rótum jókst ár frá ári í IV og var 197, 251 og 312 kg N ha⁻¹ að meðaltali þessi ár. Magn róta jókst hlutfallslega ekki eins mikið, úr 9,9 í 11,7 t ha⁻¹. Tilraun IV var með tveimur meðferðarþáttum auk áburðartíma. Hvorki magn N-áburðar né áburðartími höfðu greinileg áhrif á nitur í rótum að meðaltali, en víxlhrifa við sláttutíma gætti. Tilraunaskekkja á rótarsýnum var mikil. Sýni voru smá miðað við stærð reita og niðurstöður því mun óvissari en mælingar á uppskeru. Sveifgras og língresi hafa meiri rætur en vallarfoxgras, og ójafnt gróðurfar veldur

einnig miklu um skekkjuna á þessum mælingum. Með tímanum hefur vallarfoxgras látið undan, einkum við fyrri sláttutímam, og á það einhvern þátt í að magn róta hefur aukist.

Klippingartilraunir (8. mynd) og haustáburðartilraunir I og II (12.-14. mynd) voru gerðar á sömu reitunum. Til eru árlegar upptökutölur 1979-80 og heilsárstölur frá því síðsumars 1980-84 til sláttar í júlí árið eftir, 1981-85, þar sem hægt er að reikna niturnýtni. Þarna var fremur raklent og tíðarfar óhagstætt nema 1980. Er það sennilega ástæða lítillar niturnýtni.

Nítrat og ammóníum var mælt í jarðvegi í tilraun I og III í nóvember 1983. Nítrat mældist meira í reitum með vallarfoxgrasi en snarrót og Fylkingu. Eftir dreifingu í septemberlok var $\text{NO}_3\text{-N}$ um 4 kg N ha^{-1} í 0-40 cm hjá snarrót og Fylkingu, en $9,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ hjá vallarfoxgrasi. Þegar svona seint er borið á er aukin hætta á útskolun nitrats.

4 Bygg og kartöflur

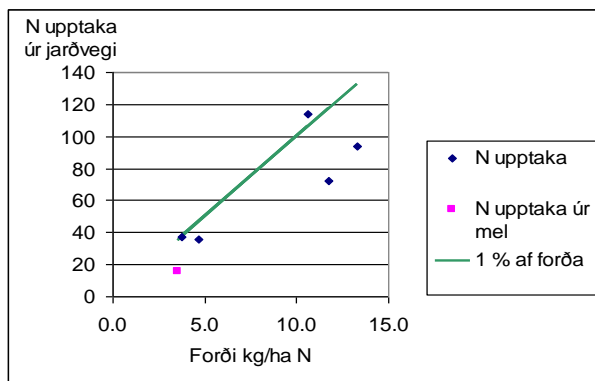
4.1 N-þörf byggs og kornþroski

Hér er sagt frá tilraunum með N-áburð á bygg á mismunandi jarðvegi, þremur árið 2000 og sex árið 2001 (15. mynd), tilraun með forræktun fyrir korn, og tilraun þar sem metin voru áhrif þriggja þátta á kornþroska á breytilegum jarðvegi (17. mynd). Fengist hafði áður góð þekking á áburðarþörfinni með því að tilraunaliðum með áburð var skotið inn í samanburðartilraunir með byggryki.

Í áburðartilraunum 2000 og 2001 voru 30 kg N ha⁻¹ milli áburðarskammta, en spönnin frá lægsta til hæsta skammtsins var breytileg eftir eiginleikum jarðvegs, oft 30 – 90 kg N ha⁻¹, en mest 0 – 120 kg N ha⁻¹. Í þremur tilraunum 2001 var N% í hálmi 0,75 – 0,86% að meðaltali, en þá er enn nokkuð grænn litur á hálmi. Í tveimur tilraunum á mel eða sendnum jarðvegi á Korpu og á Vindheimum, þar sem lífrænt efni er tiltölulega lítið, voru hins vegar nær öll gildi N ≤ 0,50% í hálmi og allt niður í 0,33%. Þá er hálmurinn gulnaður, C/N um eða yfir 100. Gerlar þurfa þá mikið af lausu nitri til að geta brotið niður hálminn. Þegar svo er getur þurft aukinn N-áburð ef bygg er ræktað á eftir bygg.

Í tveimur áburðartilraunum og helmingi þeirrar þriðju var N-nýtnin aðeins 29% að meðaltali. Í einni þeirra var kennt um vatni í akri um vorið. Vegið meðaltal nýtninnar í öðrum tilraunum, sex og hálfri tilraun, var 63%. Nýtnin var þó misjöfn og staðalfrávik hennar milli tilrauna, þ.e. að frádreginni tilraunaskekkju, var metið 4,6%, einstök gildi 58 – 84% (Friðrik Pálmason o.fl. 2003, Jarðræktarrannsóknir 2001). Í kornrækt er stefnt að því að sá eins snemma og er unnt, en því fylgir hætta á að niturnýtni verði lakari.

15. mynd. Upptaka niturs í tilraunum með korn 2000 – 2001 sem fall af N í jarðvegi



Upptaka niturs fylgir áburði línulega (sjá 2. mynd)

$$N_{\text{upptekið}} = N_0 + bN_{\text{í áburði}}$$

b er niturnýtni og N_0 upptaka án N-áburðar.

Á línuritið er færð niturnýtni í 6 af 9 tilraunum þar sem hún var talin viðunandi, að meðaltali 0,63 (63%) (Friðrik Pálmason o.fl. 2003). Niturnýtnin, N_0 , er reiknuð eftir jöfnunni hér að ofan og færð sem fall af forða niturs í jarðvegi, þ.e. nitri í efstu 30 cm jarðvegs. Til viðmiðunar er lína sem sýnir 1% af nitri í jarðvegi og er ekki gert ráð fyrir að N_0 fari upp fyrir þá línu.

N-losun var einnig mæld í hitaskáp við 15°C (Friðrik Pálmason o.fl. 1996). Í sýnum frá Korpu var 2,3 sinnum meiri losun í mýri en mel, en magn N í jarðvegi að 30 cm dýpt var 2,8 sinnum meira í mýrinni en á melnum.

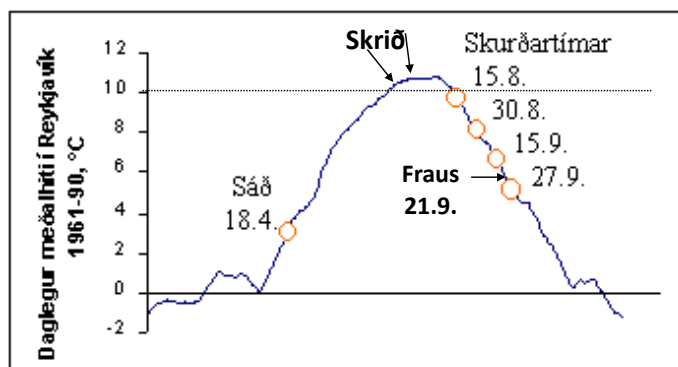
Í sumum þessara tilrauna með áburð á bygg var niturnýtni minni en gera má ráð fyrir á túni. Það þarf ekki að koma á óvart. Eftir Jónatani Hermannsýni hef ég að algengur sáðtími sé 5. maí og er áburðurinn felldur niður með fræinu. Kornid getur komið upp eftir um 3 v. og þriðja blað

eftir 5 v. Svo sé fjórða blað komið og hliðarsprotar hafi myndast eftir 6 v. Viku síðar er stöngull farinn að myndast og með viku bili eftir það fyrst fánablað, svo hefst skrið og lýkur því á viku. Þá eru samkvæmt framansögðu liðnar 10 vikur frá sáningu og kominn miður júlí. Ræturnar taka fyrst og fremst nitur upp sem nítrat. Það er uppleyst í jarðvatninu og berst að rótunum með vökvastræmi sem útgufunin drífur. Hún hefst ekki fyrr en byggið kemur upp og fer vaxandi eftir því sem byggið sprettur og þangað til það þekur. Upptakan er því drifin áfram af útgufun frá blöðunum sem er mjög lítil þar til komið er fram í júní. Á þessum tíma er hætta á að nitur tapist ef vorið er úrkomusamt og hætta er mikið meiri en í túni, einkum hætta á að jarðvegsskilyrði verði ekki orðin hagstæð þegar sáð er og borið á.

4.2 Þroski og fódurgildi korns

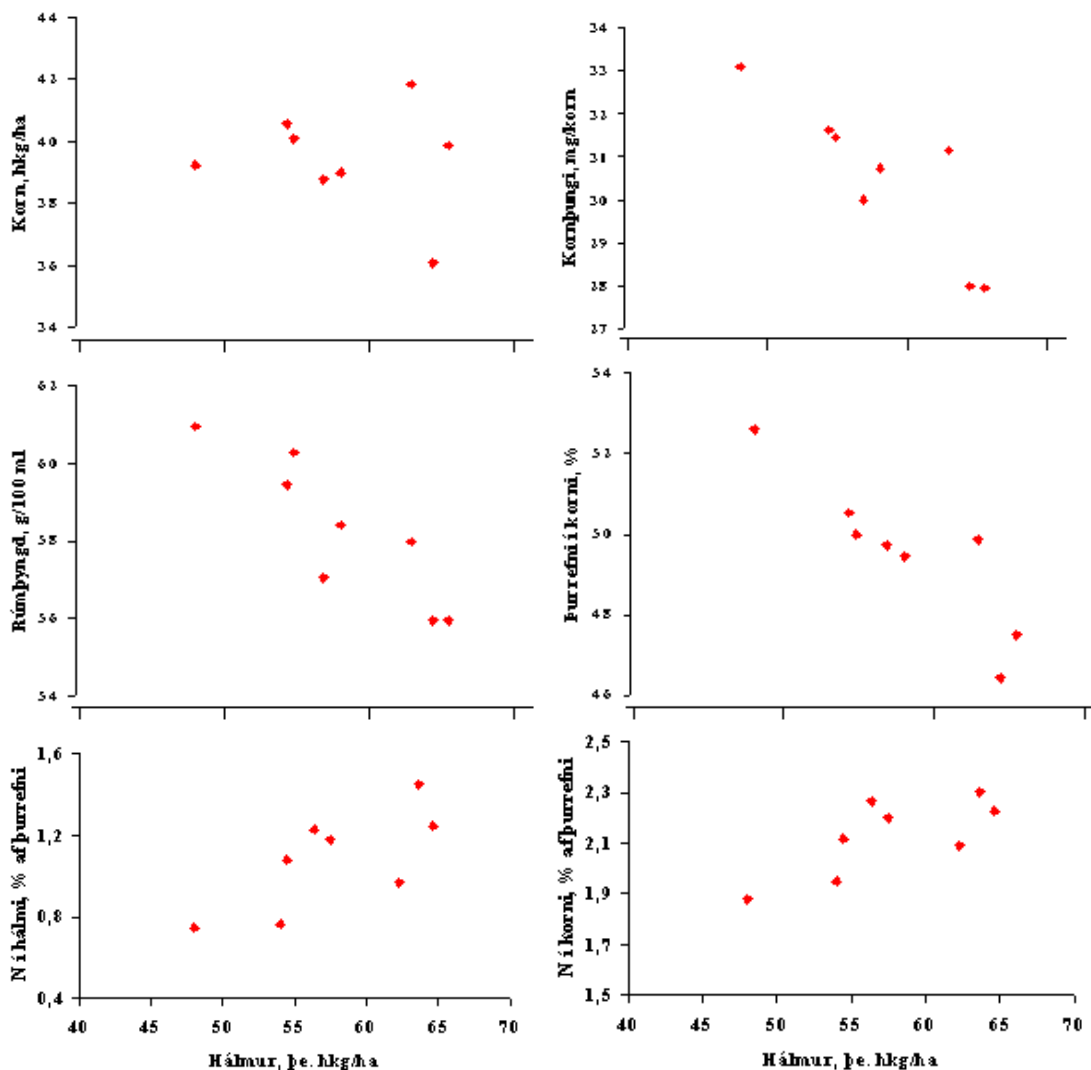
Í tilraun á Korpu árið 2002 voru eiginleikar sem sýna þroska og fódurgildi korns mældir á korni sem var látið standa mislengi fram að skurði (16. mynd). Í tilrauninni voru tvö misfljót yrki, Skegla og Sunnita, og N-skammtar 30, 60 og 90 kg N ha⁻¹. Lífrænt efni í jarðvegi var nokkuð jafnt vaxandi frá öðrum enda tilraunarinnar til hins og því fylgdi aukin N-losun. Upptaka á nitri hélt áfram lengur fram eftir sumri eftir því sem losunin var meiri. Stráíð hélt áfram að vaxa þótt kornið færi að þroskast og héldist grænt. Hálmurinn varð meiri og uppskera af þurru korni svipuð, en kornið náði ekki eins miklum þroska. Meiri hálmur fylgdu lægri gildi á eiginleikum sem sýna þroska, þ.e kornþunga, rúmþyngd og þe%, en N% í korni varð herra (Hólmgeir Björnsson, Jóhannes Sveinbjörnsson og Jónatan Hermannsson 2002).

16. mynd. Þriggja þátta tilraun með þroska og fódurgildi korns 2002
(Hólmgeir Björnsson o.fl. 2002)



Þættir voru þrír 2×3×4, yrki×N×skurðartímar, og endurt. tvær. Í tilrauninni voru yrkin Skegla og Sunnita sem skriðu 10. og 21. júlí. N-áburður var 30, 60 og 90 kg N ha⁻¹. Áhrif áburðar á uppskeru korns voru stöðug, óháð yrki og skurðartíma, en þroski korns þróaðist misjafnlega. Niturnýtni, að fyrsta skurðartíma slepptum, var 61% af ábornu.

17. mynd. Úr þriggja þátta tilraun með þroska og fóðurgildi korns 2000, sjá 16. mynd



Tilrauninni var skipt eftir á í 8 smáblokkir með 6 reitum í hverri. Hverjar tvær blokkir hlið við hlið voru nokkuð svipaðar, en jarðvegur breyttist frá öðrum enda til hins. Aðferð minnstu kvaðrata (LS) var notuð við uppgjör, en nákvæmni var aukin með aðferð sennilegustu frávíka (REML) ef blokkamunur var lítill. Á 17. mynd er sýnt besta mat nokkurra eiginleika í hverri smáblokk sem fall af uppskeru hálms. Uppskera af korni var óháð magni af hálmi. Eiginleikar sem sýna þroska lækkuðu með auknum hálmi, en styrkur N í hálmi og korni fór vaxandi og þar með upptaka niturs.

4.3 Forræktunargildi fyrir korn og sáðskipti

Almennt er mælt með sáðskiptum í akuryrkju, einkum til að auðvelda baráttuna við illgresi og plöntusjúkdóma, en einnig til að viðhalda góðri byggingu jarðvegs. Áhrifaríkt er að vera með fjörlært gras/tún í sáðskiptunum, gjarnan með smára eða öðrum belgjurtum. Nytjajurtir hafa misjafnar þarfir fyrir plöntunæringu og með sáðskiptum getur því fengist jafnari nýting á áburðarefnum í jarðvegi. Minni hætta verður á að hann verði mjög snauður af einstaka efnum.

Víða er þó tilhneiging til sérhæfingar í landbúnaði og er þá sömu tegundinni sáð árum eða jafnvel áratugum saman.

Í sáðskiptum skiptir verulegu máli í hvaða röð tegundirnar koma, m.a. vegna baráttunnar við illgresi og plöntusjúkdóma. Einnig er talað um forræktunargildi tegundar. Það er mismunandi, m.a. vegna þess að jarðvegurinn er misgjöfull á nitur eftir því hvað var ræktað árið á undan. Akuryrkja er enn takmörkuð hér á landi og þar með sáðskipti (Guðni Þorvaldsson og Þóroddur Sveinsson 2003).

Vorið 2000 var fimm tegundum sáð í stóra reiti, tvo af hverri, til að mæla gildi þeirra í **forræktun fyrir bygg** sem var sáð árið eftir (Jónatan Hermannson og Hólmgeir Björnsson 2002). Borið var á hverja tegund eins og álitíð var eiga best við hana, frá 0 kg N/ha á einæra lúpínu til 180 kg N/ha á repju. Uppskera var mæld um haustið og öll uppskera ofanjarðar fjarlægð. Vorið eftir var öllum reitum, sem voru 10 alls, skipt í fjóra smáreiti, bygg sáð í alla, en N-áburður 0, 30, 60, 90 kg N/ha á smáreitum. Niðurstöður urðu þær að ekki var marktækur munur á forræktun með lúpínu, líni, repju og rýgresi, en minni uppskera fékkst þegar bygg kom á eftir bygg. Þegar bygg þroskast fer meginhluti alls niturs úr hálmi og rótum í kornið og eftir verða N-snaugar plöntuleifar, ólíkt hinum tegundunum þar sem falla til plöntuleifar með lágu hlutfalli C/N og nitur losnar árið eftir. Uppgjörið sýndi að eftir forræktun með bygg var upptaka niturs 27 kg N/ha minni að meðaltali en eftir hinar tegundirnar. Miðað við 67% nýtni svarar það til 40 kg N/ha af áburði. Samkvæmt þessari túlkun á niðurstöðum hefði mátt vænta sömu uppskeru eftir bygg og aðra forræktun í þessari tilraun ef áburður á bygg hefði verið aukinn um 10 kg N/ha.

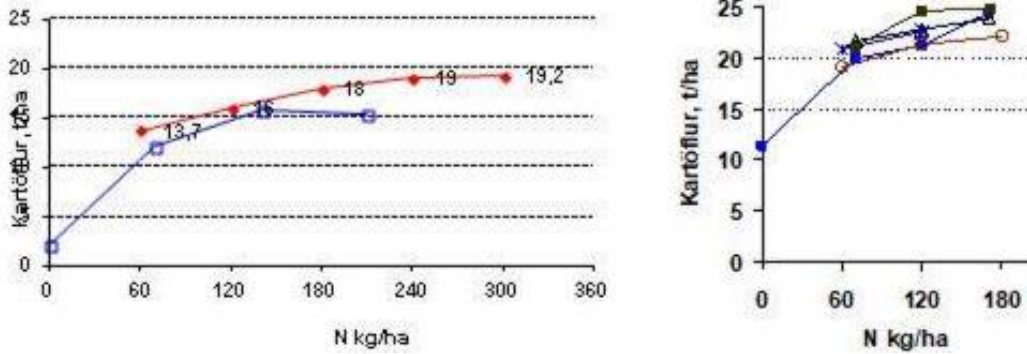
4.4 N-áburður á kartöflur

Allmargar tilraunir með áburð á kartöflur voru gerðar 1950 – 2004. Flestar voru þær með vaxandi skammta af blönduðum áburði, oft 600, 1200, 1800, 2400, 3000 kg/ha. Með 1200 kg/ha af þeim áburði, sem oftast var notaður, var magn áburðarefna 120 kg N/ha, 63 kg P/ha og 125 kg K/ha. Einnig voru gerðar nokkrar tilraunir til að finna áhrif einstakra áburðarefna.

Algeng uppskera af kartöflum var um 20 t/ha ef áburður var ríflegur. Þá gat fosfór í uppskerunni verið 6 – 9 kg P/ha (niðurstöður eru takmarkaðar). Í tilraunum 2003 – 2004 fékkst þó marktækur uppskeruauki af P-áburði umfram 32 kg P/ha í þremur af fjórum gördum þar sem það var prófað. Reikna má með að í hverju tonni af kartöflum séu um 5 kg af kalíi. Í 20 tonnum eru því um 100 kg kalí. Augljóst er að fosfór er að jafnaði borinn á langt umfram það sem fer með uppskerunni, jafnvel þó að magni áburðar sé stillt í hóf. Það á einnig við nitur (18. og 19. mynd.) og oft einnig kalí. Áhugavert rannsóknarverkefni væri að athuga hvað verður um næringarefnin ef borið er á umfram þarfir og hver áhrifin verða á jarðveginn og áburðarþörf til framtíðar. Reglan ætti að vera að forðast notkun áburðar umfram þarfir.

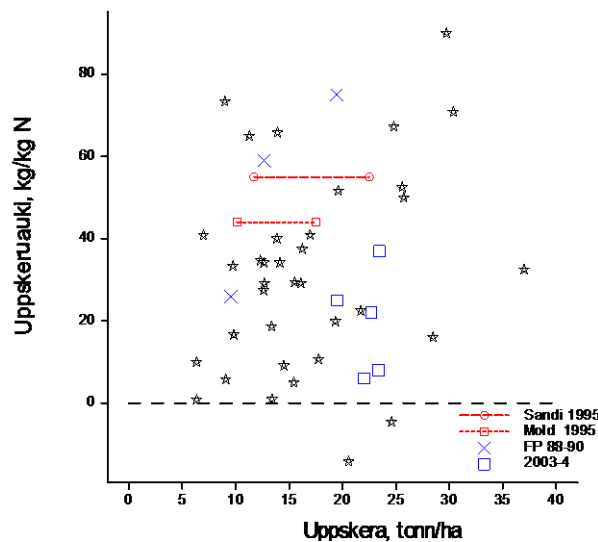
18. mynd. Uppskera kartaflna við vaxandi áburð

Á 0N-reitum var enginn áburður, hvorki N, K né P. T.v. eru tilraunir með blandaðan áburð, meðaltal 23 tilrauna 1953-61, 60–300 kg N/ha, og 3 tilrauna í Þykkvabæ 1988–90, 0–210 kg N/ha). T.h. eru einstakar tilraunir með vaxandi N 2003–4.



T.v. er uppskera án smælkis, t.h. smælki meðtalið. Smælkið hefur þó oftast óveruleg áhrif á mismun tilraunaliða. Í tilraunum 2003-4 voru N-áhrif 22,2 kg kartöflur á kg N. Eru það um 5 kg af þurrefni, en í því voru 1,5 – 1,8% N. M.v. 1,7% N eru 85g N í 5 kg af þurrefni. Það eru því aðeins um 8,5% áborins niturs sem eru flutt burt með þeirri aukningu uppskeru sem fékkst. Mætti með sáðskiptum nýta það nitur sem eftir verður?

19. mynd. Áburðaráhrif á kartöflur móti meðaluppskeru, kg af kartöflum/kg N (Hólmgeir Björnsson 2008)



Uppskeruauki kartaflna af áburði var oftast reiknaður á bilinu frá 60-80 til 170-180 kg N/ha. Sleppt var tilraunaliðum með < 60 kg N/ha og ≥ 200 kg N/ha. Sleppt var tilraunum, sem spönnuðu minna en 60 kg N/ha, og ef ekki voru a.m.k. tveir liðir innan gefinna marka.

Í flestum eða öllum tilraunum, nema 2003–4, var notaður blandaður áburður (Græðir 1 eða líkur áburður). Því má vænta þess að í mörgum tilraunum hafi áhrif af áburði umfram 60 kg N/ha ekki verið hrein N-áhrif, en að einhverju leyti áhrif af P eða K, sjá 18. mynd.

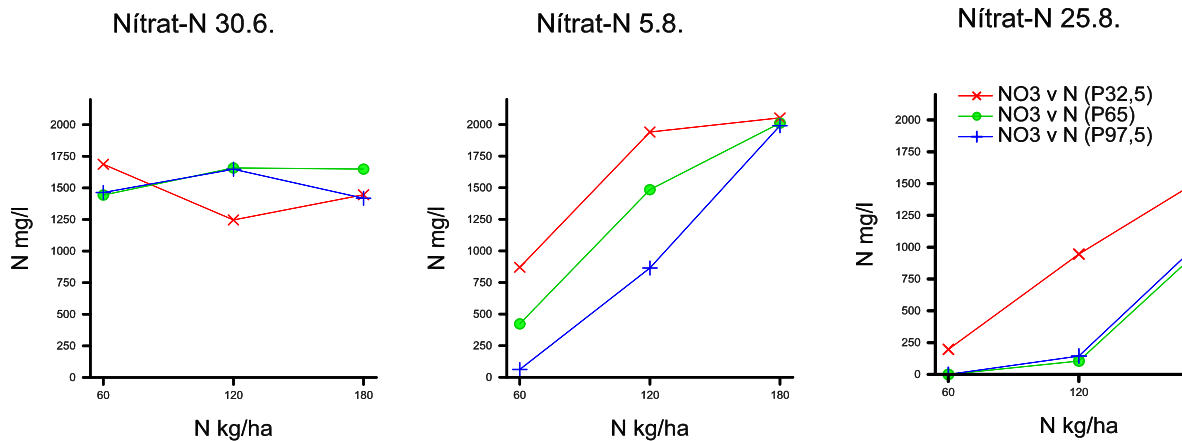
Auk þeirra tilrauna sem voru nýttar á 18. mynd voru allmargar tilraunir með breytilegu skipulagi. Á 19. mynd eru sýndar niðurstöður úr einstökum tilraunum um aukna uppskeru. Hún er reiknuð á magn N-áburðar á því bili þar sem má vænta þess að aðeins nitur hafi haft áhrif þótt notaður hafi verið NPK-áburður. Uppskeruaukinn, kg af kartöflum deilt með kg af N, er færður sem fall af meðaluppskeru beggja skammtanna. Það eru tölfræðilega óháðar stærðir (sjá 2. mynd). Niðurstöður eru úr 36 tilraunum 1950-74, 3 tilraunum í Þykkvabæ 1988-90, 9 stöðum á Suðurlandi 1995 (án samreita, staðirnir eru endurtekningar) og 5 tilraunum á Korpu og Suðurlandi 2003-4. Oftast er átt við kartöflur >33-35 mm, annars uppskeru alls. Staðalskekkju var hægt að meta í tilraunum frá 1995 og 2004 og var hún á bilinu 10-16 kg/kg N. Því má líta svo á að tvö gildi, sem eru <0,0, séu vegna tilraunaskekkju.

Athygli vekur hve uppskeruaukinn er breytilegur. Hann virðist alveg óháður því hvað uppskeran er mikil og er því hlutfallslega meiri eftir því sem kartöflusprettan er minni. Mismunandi aðferðum við ræktun hefur verið beitt í tilraununum, t.d. við niðursetningu. Aðferðir við dreifingu áburðar geta haft áhrif á uppskeru kartaflna, sjá síðar.

4.5 Skortur á N-áburði

Á tún er tilbúinn áburður borinn þegar farið er að grænka, oftast eftir að byggi er sáð. Þau grænka fyrr og búast má við að upptaka niturs hefjist fyrr á túninu og því sé hættan á áburðartapi meiri á akri en í túnrækt. Það getur orðið til þess að nitur sé ekki nægilegt þegar fer að spretta. Því er vert að prófa aðferðir og koma upp kerfi til að finna N-skort á sprettutímanum og bæta úr honum. Jafnframt að finna hvaða áhrif það hefur á gæði uppskeru, t.d. byggs. Prófaðar voru tvær aðferðir til að mæla hvort niturnæring kartaflna væri nægileg (Hólmgeir Björnsson 2004a). Meginhluti niturs í grænum gróðri er bundinn í blaðgrænunni. Styrkur græna litarins er því mælikvarði á N-næringu gróðursins. Hydro N-testir var fenginn að láni til að mæla blaðgrænu, en sú mæling tókst ekki nógu vel. Hin aðferðin er að mæla nítrat í blöðum (20. mynd). Nítratið afoxast í blöðunum. Ef styrkur þess er farinn að falla berst nitur ekki nógu ört út um plöntuna til að halda við fullri starfsemi blaðgræunnar.

20. mynd. Nítrat-N í blöðum kartaflna (Hólmgeir Björnsson 2004a)



Blaðvökvi var pressaður úr miðtaug ungra blaða til að mæla nítrat. Skorts var farið að gæta við 60N í byrjun ágúst. Hann varð meira áberandi eftir því sem P-áburður var meiri (græn og blá lína), e.t.v. vegna örari afoxunar þegar fosfór er nægur.

Nitur í kartöfluuppskerunni var 55 kg N/ha ef áburður var 60 kg N/ha og það varð 0,36 kg N meira á hvert kg N sem áburður var aukinn. Í kartöflugrösum voru 16 kg N/ha við 60 kg N/ha í áburði og jókst um 0,27 kg N á hvert kg N í auknum áburði.

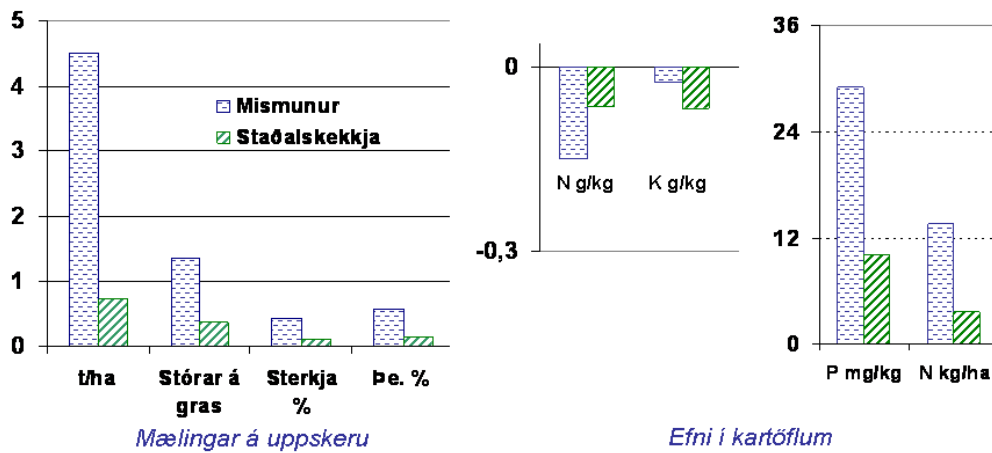
4.6 Forræktun fyrir kartöflur

Niðurstöður um forræktun með gulrófum fyrir kartöflur fengust í tilraunum 2004 án þess að það hefði verið skipulagt í þeim tilgangi (21. mynd). Tilraunir með kartöflur voru gerðar á sama landi og árið áður, en bætt var við landi þar sem gulrófur voru ræktaðar til frætöku árið áður (Hólmgeir Björnsson 2008). Þegar kartöflur komu upp var vöxtur áberandi meiri þar sem gulrófur höfðu verið (sjá ljósmynd á 23. bls. í sömu heimild). Þessi skil lágu á reitaskilum milli blokka í gegn um tvær tilraunir af fjórum. Áhrif tilraunamedferða mátti telja jöfn í blokkum báðum megin skilanna og því spillti þessi landmunur ekki árangri af upphaflegum tilgangi tilraunanna. Uppskeyra kartaflna var á bilinu 21 – 27 t/ha, en meiri sem nemur $+4,5 \pm 0,8$ af kartöflum t/ha eftir forræktun með gulrófum en kartöflum. Voru ekki jafn mikil áhrif á uppskeru af nokkurri tilraunamedferð í þessum tilraunum.

Kartöflur >55 mm urðu fleiri eftir gulrófur en kartöflur. Hlutfall sterkju og þe% var einnig marktækt hærra eftir gulrófur, en hlutfall N (prótíns) marktækt lægra. Upptekið N og P varð marktækt meira eftir gulrófur. Á N munar $13,6 \pm 3,7$ kg N ha⁻¹. Miðað við allt að 67% nýtingu svarar það til 20 kg N ha⁻¹ í áburði og meira ef nýtingin er lakari. N-áburður umfram 60 kg N ha⁻¹ hafði þó ekki marktæk áhrif á uppskeru kartaflna. Uppskeyran var breytileg, en 80 kg N ha⁻¹ eru á því bili sem upptaka á N var þar sem kartöflur höfðu verið árið áður.

21. mynd. Kartöflur á Korpu 2004, mism. eftir forræktun með gulrófum og kartöflum

Á línuritum eru sýnd áhrif forræktunar með gulrófum á uppskeru af kartöflum og samsetningu hennar. Tölur á lóðréttum ás sýna **forræktunaráhrifin** (*uppskeru eftir gulrófur að frádreginni uppskeru eftir kartöflur*). Samanburður við staðalskekkju sýnir marktæk áhrif á alla þætti nema á styrk K. Styrkur efna á við ferskar kartöflur.



Án áburðar fær gróðurinn aðeins það nitur sem losnar í jarðvegi. Gera má ráð fyrir að losun eigi sér stað allt sumarið, m.a. úr plöntuleifum frá fyrra ári. Áður kom fram að áhrif áburðar á uppskeru af grasi og kartöflum í tilraunum hafa verið óháð því hver meðaluppskeran var (sjá 5. og 19. mynd). Á 21. mynd sést að sterkja og þe.% voru hærri en N% lægri í kartöflum eftir gulrófur en eftir kartöflur þrátt fyrir meiri N-upptöku, en vænta má lægri gilda á sterkju og þe.% ef N-áburður er aukinn. Er þetta önnur túlkun en í upphaflegri grein. Þess ber að geta að árið áður var notaður illgresiseyðirinn Afalon (Linuron virkt efni), leiðbeiningum fylgt. Ekki var veitt athygli skemmdum á grösnum, en ekki er hægt að útiloka áhrif árið eftir.

5 Hvað ræður grassprettu?

Á kalárunum, eins og árin 1965-1971 eru oft nefnd, var algengt að tún og þar með taldar tilraunir væru aðeins slegnar einu sinni á sumri. Á Reykhólum batnaði tíðarfar 1972 og voru tilraunir slegnar fyrr. Þar af voru 11 tilraunir sem skipta má í tvo flokka eftir sláttutímum 1972 og 1973 með 6 og 5 tilraunir í hvorum. Innan þeirra fylgdust áburðar- og sláttutímar að svo að sjaldan munaði meira en degi. Í lok sumars 1972 kom í ljós að komin var sæmileg háaspretta. Var há slegin í öðrum flokknum, en hinn fór nokkuð loðinn undir vetur. Árið 1973 var borið á og þessar tilraunir slegnar á nokkurn veginn sama tíma. Meðaltal uppskeru í hvorum flokki eru í 3. töflu og niðurstöður frá 1971 til samanburðar. Í fyrri heimildum voru uppskerutölur birtar sem hey með 85% þe., en eru hér umreiknaðar í 100% þe.

Árið 1973 varð uppskeran meiri þar sem ekki var slegið árið á undan og munar 11,1 hkg þe./ha. Er það sambærilegt við uppskeru í hinum flokknum í 2. sl. 1972 sem var 15,9 kg þe./ha. Er það ekki mikill munur þegar tekið er tillit til þess að tilraunirnar voru á ólíku landi sem spratt misvel. Heysýni úr þessum tilraunum voru efnagreind 1972, en 1973 ekki nema úr þeim sem voru tvíslegnar árið áður. Því er ekki hægt að bera saman N-upptöku. Þessar niðurstöður eru sterk vísending um að há sem er látin óslegin geti að verulegu leyti skilað sér sem aukin spretta að ári.

3. tafla. Dagsetningar og uppskera í tilraunum á Reykhólum 1971-1973
Tilraunir flokkaðar eftir því hvort þær voru einslegnar eða tvíslegnar 1972

Fj.tilr. í hóp	1971		<u>Dagsetningar, mt.</u>				<u>þe. hkg/ha</u>					
	áb.	sl.	1972		1973		1971					
			áb.	1.sl.	2.sl.	áb.	sl.	Alls	1.sl.	2.sl.	Alls	
5	2.6.	21.7.	17.5.	10.7.		23.5.	26.7.	34,8	53,1		53,1	60,5
6	8.6	27.7.	31.5	5.7.	13.9.	27.5.	25.7.	34,0	56,4	15,9	72,3	49,4

5.1 Grassprettu og hiti

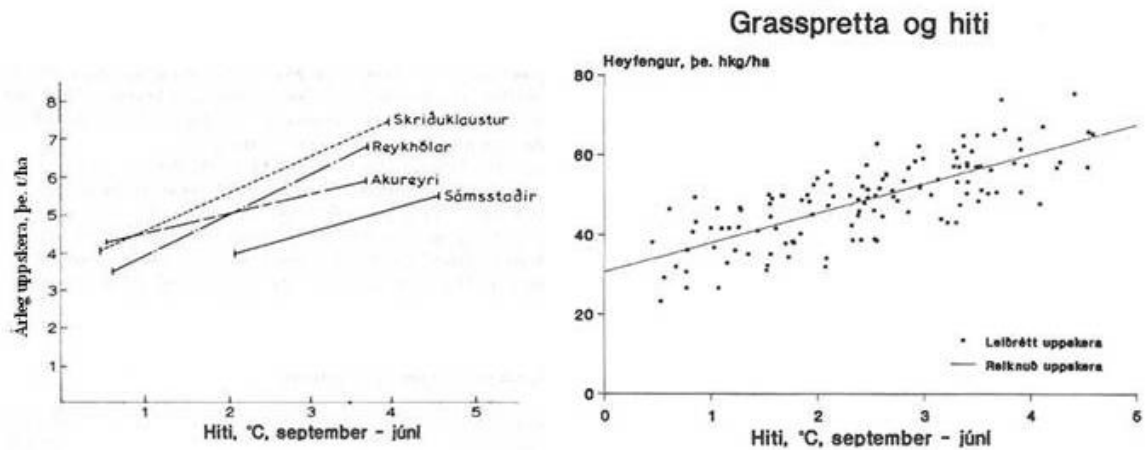
Árið 1984 tók íslenskur vinnuhópur undir forustu Páls Bergþórssonar veðurfræðings þátt í verkefni á vegum fjölþjóðlegrar kerfisfræðistofnunar í Laxenburg í Austurríki til að meta áhrif loftslagsbreytinga á landbúnað á köldum og tempruðum svæðum (Páll Bergþórsson o.fl. 1988). Önnur þáttökulönd voru Finnland, Kanada, Rússland og Japan og voru niðurstöður gefnar út á bók. Auk þess að greina þau tengsl veðurfars og landbúnaðar, sem finna mátti í tiltækum gögnum, var lögð áhersla á að meta bæði hættur og ný tækifæri í landbúnaði sem gætu fylgt breyttum skilyrðum og hvernig bregðast mætti við. Við á Rala höfðum verið upptekin af því hvernig ætti að verjast áföllum af köldu veðurfari, minnug kaláranna 1965 – 1970. Árið áður, 1983, var einmitt kaldasta ár 20. aldar á Íslandi. Það varð hins vegar fljótt ljóst að tilefni verkefnisins var einkum yfirvofandi hlýnun andrúmslofts vegna aukinnar losunar gróðurhúsa-lofttegunda.

Alkunna er hve breytingar á loftslagi, einkum hita, hafa haft mikil áhrif á afkomu og líf Íslendinga allt frá landnámi. Páll Bergþórsson hefur verið öðrum ötulli við að finna þetta samhengi, einkum með því að tengja saman hita og búnaðarskýrslur. Má þar nefna heyfeng, þroskalíkur byggs, gjafatíma búfjár og skógarmörk, en einnig höfðu aðrir fengist við slík viðfangsefni. Niðurstöðum sínum hafði Páll komið á framfæri meðal veðurfræðinga erlendis og vitneskjan um mikil áhrif veðurfars á landbúnað á Íslandi hefur sennilega orðið til þess að Páli var boðin þátttaka í verkefninu og samstarfshópi með honum. Í íslenska hluta verkefnisins var, auk þess sem þegar er nefnt, fjallað um tengsl hita og fallþunga sauðfjár á fjórum svæðum þar sem dilkum var öllum slátrað í sama sláturhúsi.

Páll Bergþórsson hafði notað skýrslur um heyfeng og fundið samband hans við lofthita. Tók hann breytingar á notkun tilbúins áburðar með í dæmið. Við Áslaug Helgadóttir á Rala tókum að okkur að taka saman gögn um grassprettu eins og hún mældist í langtímatilraunum á fjórum tilraunastöðvum og finna samband lofthita við hana í stað heyfengs (22. mynd). Í stuttu máli má segja að niðurstöður Páls hafi verið staðfestar þótt mælingin á heyfeng væri ólík og stuðlar aðhvarfs því ekki þeir sömu. Í búnaðarskýrslum er heyfengur mældur eftir hirðingu, en þá hefur orðið nokkurt tap, og stærð túna var ekki þekkt með fullri nákvæmni. Í tilraunum er hins vegar mæld öll sú uppskera sem ljárin losar og uppskeruflöturinn er þekktur. Þó er ljóst að fjórar tilraunastöðvar svara ekki til meðaltúna á landinu þótt hver í sínum landsfjórðungi séu. Athugun sýndi að kal, sem alloft hefur skert heyfeng á Íslandi, hafði haft óveruleg áhrif á þessar tilraunir. Tilraunir á Hvanneyri voru ekki með í þessari greiningu. Þær hófust seinna og einstakar tilraunir stóðu sjaldan lengi. Á mýrinni hefur uppskera verið breytileg og óvíst er að niðurstöður þaðan hefðu fallið að sömu aðhvarfslíkingu og á tilraunastöðvunum.

Aðhvarf uppskeru að hita sept. – júní svarar til þess að væntanleg aukning uppskeru frá kaldasta til hlýjasta árs sé á bilinu $1,8 - 2,6 \text{ t ha}^{-1}$ á því bili sem hitinn á hverri tilraunastöð spannaði, en þar við bætast slembifrávík. Eðlilegt er að skýra þessa niðurstöðu með því að hitinn hafi áhrif á lengd sprettutímans. Gróft mat er að sprettutíminn lengist um 27 daga á hverja $^{\circ}\text{C}^{-1}$ sem hitinn hækkar (Björnsson & Helgadóttir 1988). Ef sprettutími lengist má búast við að slætti seinki eitthvað miðað við þroska grassins og við það getur heyfengur aukist án þess að N-upptaka hafi aukist. Það er þó ekki nægilegt til að skýra þá auknu sprettu sem fékkst. Til þess að nýta lengri sprettutíma þarf meiri plöntunæringu, einkum nitur. Áætlað hefur verið að losun niturs í jarðvegi aukist um $0,3 - 0,4 \text{ kg N á ha}$ á hvern dag sem vaxtartíminn lengist (Hólmgeir Björnsson 2004b).

22. mynd. Grasspretta og hiti í langtímatilraunum tilraunastöðvanna 1951 – 1983



Tilraunir voru 5 – 9 á hverri tilraunastöð, en færstar stóðu þær allan tímann. Valdir voru tilraunaliðir sem fengu nægilegan P- og K-áburð, en hóflegan N-áburð, 67 – 120 kg N ha⁻¹ á ári, 95 kg N ha⁻¹ að meðaltali. Uppskeyra var misjöfn milli tilrauna og var aðferð minnstu kvaðrata notuð til að meta árleg gildi, 29 – 33 ár á hverri stöð um sig. Taka þurfti tillit til þess að sláttutími hefur áhrif á uppskeru, ekki bara sama sumarið, heldur er eftirverkun árið eftir. Voru þessi áhrif og áhrif af fjölda slátta metin um leið og samband uppskeru við hita, sjá 4. töflu. Þótt stuðlar aðhvarfs að hita væru á bilinu 513 - 1043 á tilraunastöðvunum (mynd t.v.) var mismunur þeirra ekki marktækur.

Sameiginlegt mat á aðhvarfi að meðalhita september – júní var **735±104 kg þe. ha⁻¹ á hverja °C** sem hitinn hækkaði (7,35 hkg þe. ha⁻¹). Staðalfrávik frá aðhvarfslínu var 708 kg. Á mynd t.h. hafa gildi á hverri stöð verið færð að sameiginlegu meðaltali þeirra. Á tveimur stöðvum var gert ráð fyrir þrepi á ferlinum vegna minni uppskeru á seinni hluta tímans, e.t.v. vegna eftiráhrifa kaláranna, eða breytinga á meðferð þeirra eins og t.d. áburðartíma og slætti.

4. tafla. Stuðlar aðhvarfs að dagsetningu sláttar, þe. kg/ha á dag

	Allar tilraunir		Aðeins tvíslegnar	
	Sama ár 1. sl.	d. milli sl.	Fyrri ár (seinni) sl.	Fyrri ár (seinni) sl.
Akureyri	17	11	-14	-17
Reykhólar	15	18	2	-2
Sámsstaðir	23	-7	-16	-18
Skriðuklaustur	43	25	-38	-18

N-áburður var á bilinu 67 – 120 kg N ha⁻¹ og 95 kg N ha⁻¹ að meðaltali í gögnum sem voru notuð við útreiknings aðhvarfs á 22. mynd. Í 5. töflu er einnig aðhvarf að hita takmarkað við 100N (meðaltal af 80N og 120N) í áburðartilraunum og til samanburðar aðhvarf af uppskeru eftir 0N í sömu tilraunum. Á aðhvarfsstuðlunum munar 225 kg ha⁻¹ °C⁻¹. Stuðull aðhvarfs uppskeruauka af N-áburði að hita var 171 kg ha⁻¹ °C⁻¹. Ekki var tækifæri til að meta áhrif hita á t.d. N-upptöku, en hún er ekki tiltæk nema í hluta gagnanna.

5. tafla. Áhrif hita á sprettu með og án N-áburðar og áhrif hita á N-svörun

	Meðaláburður, N kg ha ⁻¹	Meðaluppskera, þurrefni, hkg ha ⁻¹	Aðhvarf, kg ha ⁻¹ °C ⁻¹	
			b	Staðalskekkja
Allar tilraunir	95	51	735	104
N-tilraunir	100	52	842	111
Án N-áburðar	0	22	617	99
N-svörun,(100N-0N)			171	55

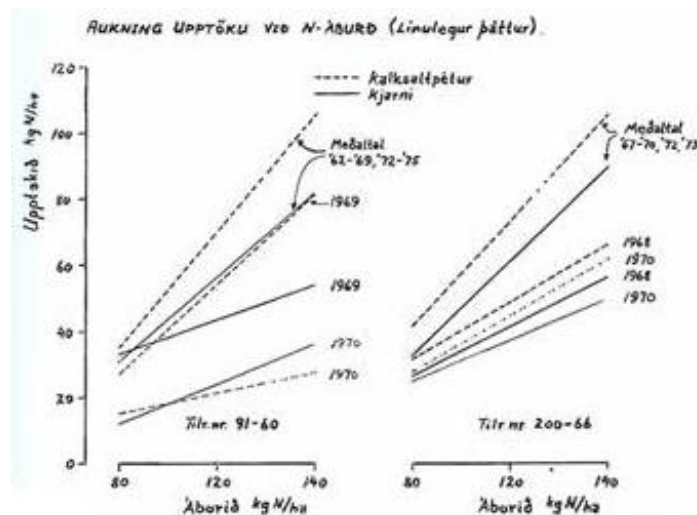
Sólarhringshitinn í Reykjavík var $\geq 5,0^{\circ}\text{C}$ á 155 daga og $\geq 7,0^{\circ}\text{C}$ á 124 daga tímabili að meðaltali 1931 – 1990 (Veðurstofa Íslands, óbirtar niðurstöður). Hitinn var svipaður á Sámsstöðum, en lægri á hinum tilraunastöðvunum.

6 Niturtap og varasöm áhrif N-áburðar

Á Hvanneyri hófust jarðræktartilraunir 1955 og varð starfsemin þar brátt öflugri en á tilrauna-
stöðvunum. Björn Jóhannesson (1960) hafði sýnt að áfok, sem að miklum meirihluta er basalt,
er minna eftir því sem fjær dregur gosbeltinu til vesturs og norðvesturs. Viðnám gegn sýrandi
áhrifum áburðar eins og Kjarna á jarðveg er því minna, og mýrlendi vestanlands er sá jarðvegur
á landinu sem er hvað viðkvæmastur fyrir sýrandi áhrifum áburðar. Tilraunir á Hvanneyri sýndu
snemma lakari árangur eftir Kjarna (ammóníumnítrat) en kalksaltpétur, minni uppskeru og
sýrandi áhrif á jarðveg, og hætta á kali var aukin (Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson
1978, Sigfús Ólafsson 1978). Þessi áhrif komu einnig fram í tilraunum á bæjum víða á
Vesturlandi sem gerðar voru á vegum Bændaskólans. Árleg upptaka niturs var mun meiri eftir
kalksaltpétur en Kjarna, sjá 3. mynd. Tilraun nr. 91-60 með samanburð á kalksaltpéttri og Kjarna
1960 – 1975 var umfangsmest þessara tilrauna. Tekið er fram um hana að hún hafi verið á
leirborinni mýrarjörð. Af öðrum tilraunum heima á Hvanneyri má nefna tilraun nr. 200-66 sem
stóð 1967 – 1973, en þar var kalkammonsaltþétur einnig til samanburðar. Tilraun nr. 164-65,
sem stóð 1966 – 1972, var tilraun með áburðartíma auk samanburðar á kalksaltpéttri og Kjarna.
Enn fremur var tilraun með þvagefni sem ekki er fjallað um hér. Sáð var og tilraunirnar lagðar
út 5 – 6 árum eftir að landið var ræst og uppskera mæld fyrst árið eftir.

Efnagreiningar á þurrefnissýnum úr tilraun nr. 91-60 hófust árið 1962 eins og áður kom fram.
Við seinni úrvinnslu voru mælingar frá 1971 taldar vafasamar í tilraunum á Hvanneyri og því
ekki notaðar. Niturnýtni var reiknuð sér, annars vegar frá 0N að meðaltali 80 – 140N (4 liðir í
91-60, 2 liðir í 200-66), og hins vegar á bilinu 80 – 140N, sjá 2. og 3. mynd. Í greinum á
Ráðunautafundi og í Frey (Hólmgeir Björnsson 1978, 1980a) var niturnýtnin greind nánar en í
upphaflegri grein.

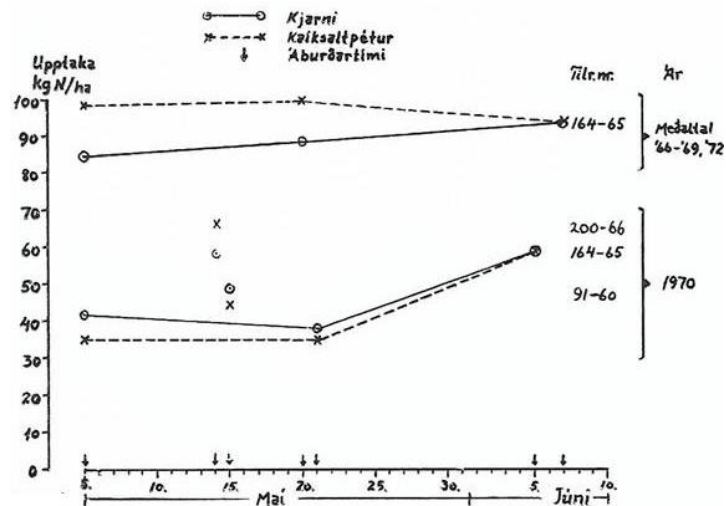
23. mynd. Niturtap í tveimur tilraunum á Hvanneyri (Hólmgeir Björnsson 1980a)



Árin 1962 – 1969 og 1972 – 1975 var niturnýtnin að mestu sambærileg (23. mynd). Þó minni
1968 (báðar teg.) og 1969 (á Kjarna í 91-60). Árið 1970 var úrkoma mjög mikil á Vesturlandi
og má tiltölulega hlýr miðað við kalárin, þó 0,8°C undir meðallagi (Jónatan Hermannsson,
munnleg heimild). Við þessi skilyrði hefur orðið mjög mikið tap á nitri, einkum í 91-60.

Í áburðartímatilraun á Hvanneyri var meiri N-upptaka eftir kalksaltpétur en Kjarna ef borið var á í maí, en í júní var þessi munur horfinn (24. mynd). Mjög lítil N-upptaka var hið úrkomusama vor 1970. 0N-reitir voru ekki í tilrauninni og því ekki hægt að reikna niturnýtni. N-áburður var 120 kg N ha⁻¹ og upptaka aðeins um 40 kg N ha⁻¹. Niturnýtni því undir 33%. Á 24. mynd er upptaka í öðrum tilraunum á Hvanneyri þetta vor til samanburðar.

24. mynd. Upptaka áburðar í áburðartímatilraun á Hvanneyri og áburðartap 1970



Í áburðartímatilraun með kalksaltpétur og Kjarna nr. 164-65 voru 120 kg N/ha borin á á 15 daga fresti frá 5. maí til 5. júní 1966-1972. Í sex ár, þegar niturnýtni var góð, var munurinn á upptöku meira en 10 kg N/ha milli tegunda og er það sambærilegt við aðrar tilraunir á Hvanneyri þar sem sýrandi áhrifa áburðar gætti. Árið 1970 var mikið áburðartap líkt og í fleiri tilraunum, en mikið dró úr því þegar dreifing áburðar var dregin fram í júní. Nítratjónin er meira í vatnslausn en ammóníum og gæti það verið ástæða meira taps, útskolunar eða afnítunar, á nítrati en ammóníum þetta vor. Til samanburðar er upptaka N og áburðardagur í öðrum tilraunum 1970, áburður 110 kg N/ha að meðaltali.

Athygli vekur að mismunur kalksaltpéturs og Kjarna er horfinn ef dreifing áburðar dregst til 5. júní. Í tilraunum með stækju hefur því verið veitt athygli að hún reyndist mun betur ef seint var borið á. Það má skýra svo að á súrum jarðvegi séu neikvæð áhrif minni ef jarðvegshiti er ekki mjög lágur.

Uppleyst efni voru mæld í afrennsli af túnum á Hvanneyri í rúmt ár 2001 - 2002 og var N í því sem svarar 13,1 kg N á hvern hektara. Þetta er líklega í meira lagi með tilliti til þess hve N er að jafnaði lítið í ám á Íslandi. Á vorin og fram eftir sumri þegar borið hefur verið á er aukið nitur í jarðvatni, en þá má líka gera ráð fyrir að hreyfing á vatni í jarðvegi sé minni vegna vatnsnotkunar gróðurs (B[jörn] Þorsteinsson o.fl. 2019).

6.1 Tilraunir með háa skammta af nitri

Á tilraunastöðvunum höfðu snemma verið gerðar tilraunir með háa áburðarskammta, allt að 180N eða 300N, allur áburður var borinn á að vori. Niðurstöður sýndu að stórir áburðarskammtar gætu verið varasamir. Í öðrum tilraunum var sjaldan borið meira á en 120 kg N/ha. Árin 1964 eða 1965 hófust á tilraunastöðvunum á Sámstöðum, Reykhólum og Skriðuklaustri tilraunir nr. 147-64 með Kjarna, kalksaltpétur og Kjarna og kalk. Þeim var ætlað

að standa í 10 ár. N-áburður var 60, 120, 150, 180, 240 kg/ha. Fyrstu tveir skammtarnir eru á því bili sem oftast hafði verið í tilraunum. Næstu tveir, 150N og 180N, eru á bili sem telja mætti raunhæft í notkun. Líklegt þótti þó að svo mikill áburður yrði varla borinn á allur að vori. Hæsti skammturinn gat svo sýnt hvað gerðist ef farið yrði út fyrir hæfileg mörk. Tilraunin var 5×3 þáttatilraun, 5 N-skammtar með 3 gerðum af kalk- og N-áburði. Í liðnum Kjarni og kalk var í upphafi tilraunar borið á það magn af kalki sem var áætlað að þyrfti til að vinna gegn sýrandi áhrifum Kjarna á 10 árum. Á Reykhólum var uppskera af 60N meiri en á hinum tilraunastöðvunum og engin áhrif voru af áburði umfram 120N (26. mynd).

Tilraunin á Sámsstöðum var gerð sem þrjár sjálfstæðar tilraunir, ein fyrir hverja áburðartegund. Á landinu mun hafa verið stunduð kornrækt um árabíl og því verið plægt hvað eftir annað, ólíkt því sem var algengast á hinum tilraunastöðvunum. Tilraun með kalksaltpétur og tilraun með Kjarna og kalk var hætt eins og ráð var fyrir gert 1974, eftir 11 ár, en tilraun með Kjarna hélt áfram.

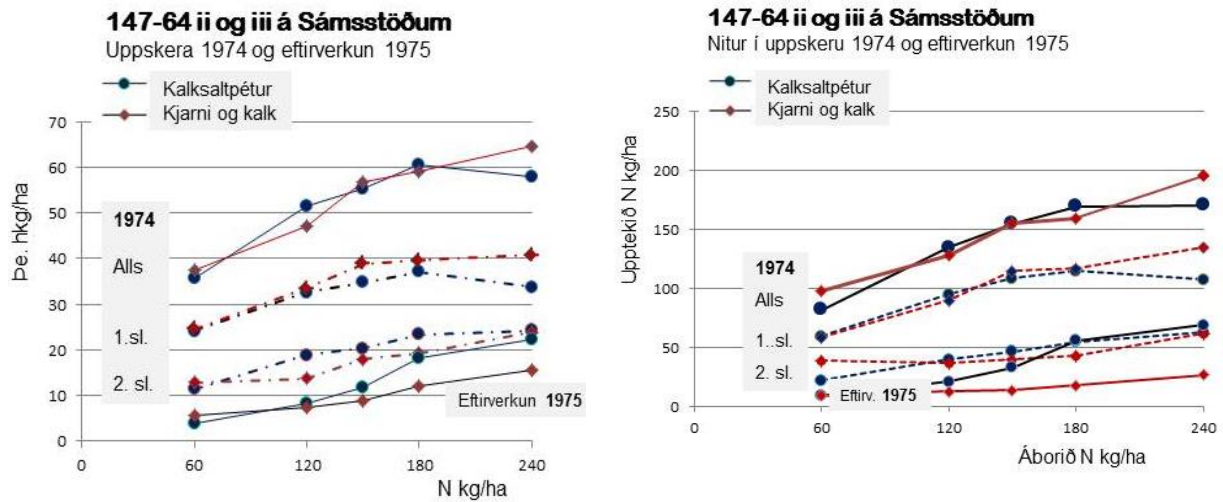
Áður er komið fram að geta til sprettu, sem er ónotuð þegar (seinni) sláttur er sleginn, flyst oft til næsta árs. Sömuleiðis að áburður sem er borinn á eftir fyrri slátt, eða jafnvel ekki fyrr að hausti, getur nýst árið eftir, sennilega án verulegs taps. Þetta veldur því að niturnýtni getur mælst ólík milli ára þó að í rauninni sé hún nokkuð stöðug. Algengt er að mismunandi áhrif áburðar komi að mestu leyti fram í 1. sl. Meðaltal uppskeru á tilraunatímanum skipt á 1. og 2. sl. hefur ekki verið birt í tilraunaskýrslum.

Eftirverkun áburðar má mæla sem uppskeru árið eftir að tilraun er hætt ef allir reitir fá sömu meðferð, en það hefur sjaldan verið gert. Tilraunin nr. 147-64 á Sámsstöðum var slegin 20.8. haustið 1974, en eftirverkun án áburðar að vori mæld 10. júlí 1975 á þeim tveim þriðju hlutum hennar sem voru lagðir niður. Á 25. mynd er sýnd uppskera og N-upptaka seinasta tilraunaárið, 1974, og eftirverkunarárið 1975. Eru það niðurstöður sem ekki hafa birst áður.

Upptaka niturs í eftirverkun eftir kalksaltpétur í 147-64 vorið 1975 sætir nokkrum tíðindum, 25. mynd. Eftir Kjarna og kalk var N% 1,5 – 1,8% líkt og búast má við ef ekki er borið á að vori, en eftir kalksaltpétur var N% 2,3% og 2,5% eftir 60N og 120N, en eftir 180N og 240N, þar sem sprettan var mest, var N 3,1% og upptakan 56 og 69 kg N/ha. Í 1. sl. árið áður, 1974, var svipaður stígangi, 2,5% við 60N og 2,9% – 3,2% frá 120N til 240N. Áhrif áburðar á jarðveg voru ekki athuguð í þessari tilraun, en þessar niðurstöður sýna að notkun kalksaltpéturs frá 1964 hefur haft verulega kalkandi áhrif.

Við skimun á árlegum jarðræktarskýrslum fundust þrjár tilraunir á Sámsstöðum, nr. 32-70, 32-71 og 32-72, þar sem kostur er á að meta hreina eftirverkun eftir eins árs notkun áburðar. Tilraunaliðir voru fjórir, áburður 100 og 150 kg N/ha að vori, og áburði skipt, 75+75N og 100+50N (Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987). Vorið eftir var ekki borið á, en uppskera mæld 1.7., 27.6. og 3.7. Sýni efnagreind nema 1973. Við fljótlega skoðun sást ekki greinilegur mismunur á eftirverkun eftir tilraunaliðum.

25. mynd. Eftirverkun áburðar í tilraun nr. 147-64 á Sámsstöðum



Sýnd er uppskera af þe. (t.v.) og upptaka N hjá hvorri áburðartegund um sig (t.h.).

Efst er 1974 í 1. sl. og 2. sl. samanlagt, svo í hvorum slætti um sig, neðst eftirverkun 1975.

Árið 1974 var N-nýtni 60N - 180N 73% hjá kalksaltpéttri og 52% hjá Kjarna með kalki. Kalksaltpétur bláir deplar, Kjarni og kalk rauðir.

T.h. skerast línur, N-upptaka í eftirverkun eftir kalksaltp. fer upp fyrir N-upptöku í 2. sl. 1974.

Í 1. sl. 1974 var uppskera minni eftir 240N af kalksaltp. en vænta mátti

Töluverðra áburðaráhrifa gætti fram í 2. sl. Eftirverknarárið voru áhrif áburðar á uppskeru sambærileg við 2. sl. 1974 þótt sprettan væri minni.

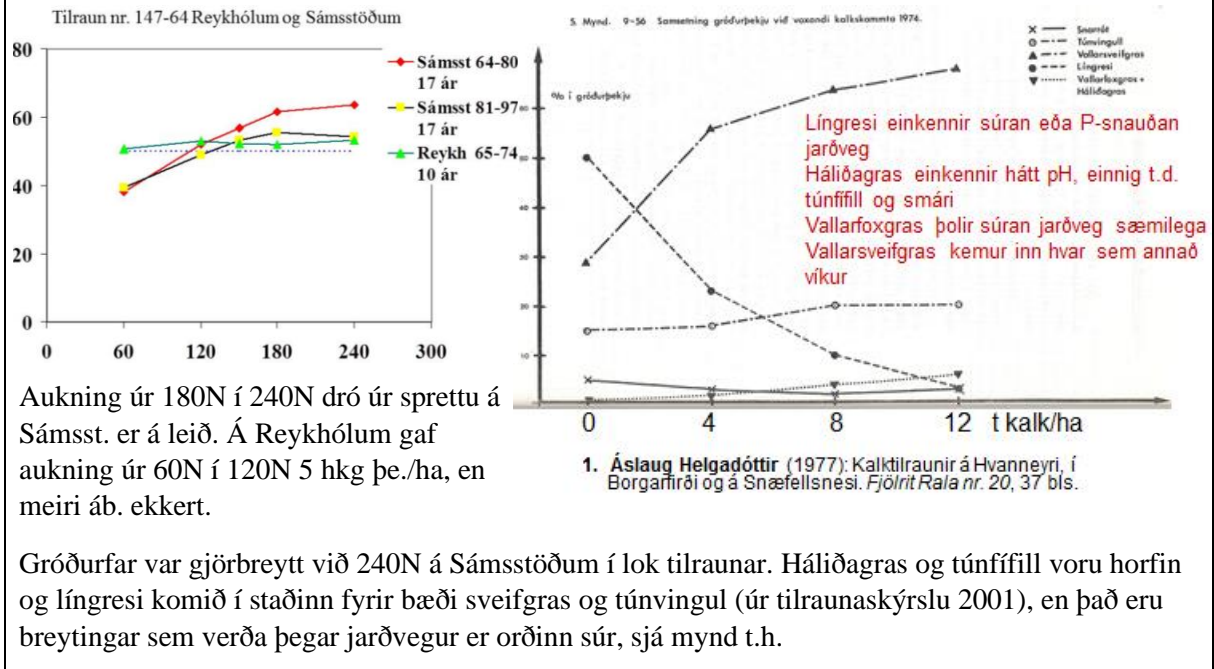
Eftir Kjarna og kalk var N% 1,5 – 1,8% 1975 óháð N-áburði, það er lágt líkt og búast má við ef ekki er borið á að vori. Eftirverkun var samt nokkur.

Upptaka N í eftirverkun eftir kalksaltpétur sætir nokkrum tíðindum. N% var 2,3% og 2,5% eftir 60N og 120N. Eftir 180N og 240N, þar sem sprettan var mest, var N 3,1% og upptakan 56 og 69 kg N/ha.

Tilrauninni með Kjarna á Sámsstöðum var haldið áfram til 2005. Við lok hennar eftir 42 ár voru tekin sýni úr jarðvegi og efnagreind (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2007). Þegar greinin var skrifuð lágu þó ekki fyrir mælingar á efnunum í uppskeru eftir 1976. Nálægt miðbiki tilraunatímans var farið að draga úr uppskeruauka frá 180N til 240N (26. mynd) og þá var líka orðin veruleg breyting á gróðurfari.

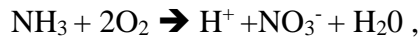
T.v. á 26. mynd eru sýnd áhrif áburðar á uppskeru á Reykhólum ásamt niðurstöðum frá Sámsstöðum. Svo lítil áhrif N á uppskeru hafa varla mælst annars staðar. Á Sámsstöðum voru sýrandi áhrif af N-áburði >120N á jarðveg orðin allmikil 2005 líkt og í tilraunum á Hvanneyri. Styrkur auðleystra efna í jarðvegi (AL-greining) lækkaði mikið með auknum áburði, einkum umfram 120N, og gildin á Ca, og einkum Mg, voru orðin mjög lág við 240N. Árleg upptaka á K var um 60 - 110 kg umfram áborið til 1976 (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2007). Verið getur að nálægðin við Heklu sem gýs ísúrum og súrum gosum valdi því að jarðvegurinn hefur lengi getað gefið af sér mikið kalí.

26. mynd. Tílr. nr. 147-64 með Kjarna á Sámsst. og Reykhólum og áhrif kalks á gróður



6.2 Sýrandi N-áburður

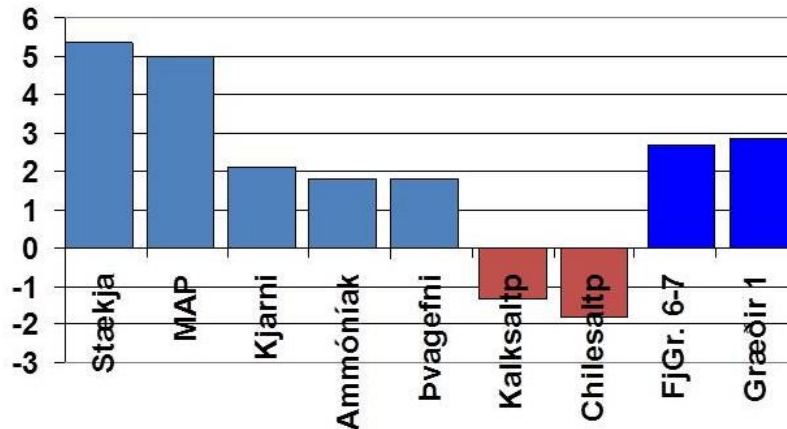
N-áburður hefur gagnstæð áhrif á sýrustig jarðvegs eftir því hvort nítíð er borið á sem nítírat eða ammóníum. Flestar nytjaplöntur taka N upp sem nítíratjón og til þess getur ammóníum þurft að oxast:



það verður til vetnisjón, og það er hún sem sýrir. Taki plönturnar nítíð hins vegar upp sem ammóníum taka þær upp mun meira af katjónum en anjónum og þurfa að gefa frá sér vetnisjón til jafnvægis (prótónupumpa) sem er sýrandi að sama skapi. Ýmis önnur ferli hafa sýrandi áhrif á jarðveg. Má þar nefna súrt regn, sem er einkum vegna brennisteinssambanda, rotnun lífrænna leifa og rótaröndun í jarðvegi. Súrnun veldur útskolun katjóna, einkum Ca^{++} og Mg^{++} , og þá lækkar basamettun jarðvegs. Á móti vinnur veðrun á steinefnum í jarðvegi og eru áhrifin meiri eftir því sem þau eru ríkari af tvígildum málmjónum, t.d. í basalti. Á Íslandi er áfok, sem að um fjórum fimmtu er basalt, mikilvægur þáttur.

Árið 1953 hóf Áburðarverksmiðjan í Gufunesi framleiðslu á N-áburði. Var það ammóníum-nítírat með um 33% N og hlaut áburðurinn verslunarheitið Kjarni. Valið á áburðartegund var þó umdeilt. Var því haldið fram að hann væri sýrandi og myndi spilla jarðvegi. Auk þess er þetta efni oft notað sem sprengiefni og því óttuðust menn að hann yrði hættulegur í meðförum. Aðrir valkostir hefðu verið kalkammonsaltþétur og kalksaltþétur. Sá fyrirtaldi er ammoníumnítírat sem kalki er blandað í. Á þessum tíma þekktist það með 20,5% N, en í seinni tíð oft 26% N. Kalksaltþétur, sem er kalsíumnítírat, er kalkandi áburður með 15,5% N og naut hann álits og vinsælda, en er dýrari í framleiðslu.

27. mynd. Hversu mikið sýrandi? Kalkþörf, kg CaCO₃ á kg N í áburði.
Aðalheimild Havlin o.fl. (2013), 178. bls.



Kalkþörf v. Kjarna er skv. Friðriki Pálmasyri.

MAP = mónóammoníumfosfat er fosfórgjafinn í blönduðum áburði, Græði og Fjölgræði. Kalkþörf vegna Fjölgræðis er á myndinni reiknuð samkvæmt því (H.B.).

Kalkþörfin er ekki nákvæmlega þekkt og getur hún verið breytileg eftir aðstæðum, jarðvegi, raka loftslags o.fl. Því ber bókum ekki alltaf saman um kalkþörf (Stouman Jensen og Hustad 2006).

Á árunum 1925 – 1933 voru gerðar all margar tilraunir með samanburð tegunda af nituráburði (Guðmundur Jónsson 1979). Þær stóðu í allt að 5 ár. Meðaluppskera þennan skamma tilraunátíma sýndi ekki mikil neikvæð áhrif af stækju sem er ammóníumsúlfat ((NH₄)₂SO₄), en hún er verulega sýrandi áburður því að nitrið er eingöngu sem ammóníumjón. Sýrandi áhrif stækju komu betur fram í seinni tilraunum sem stóðu lengur.

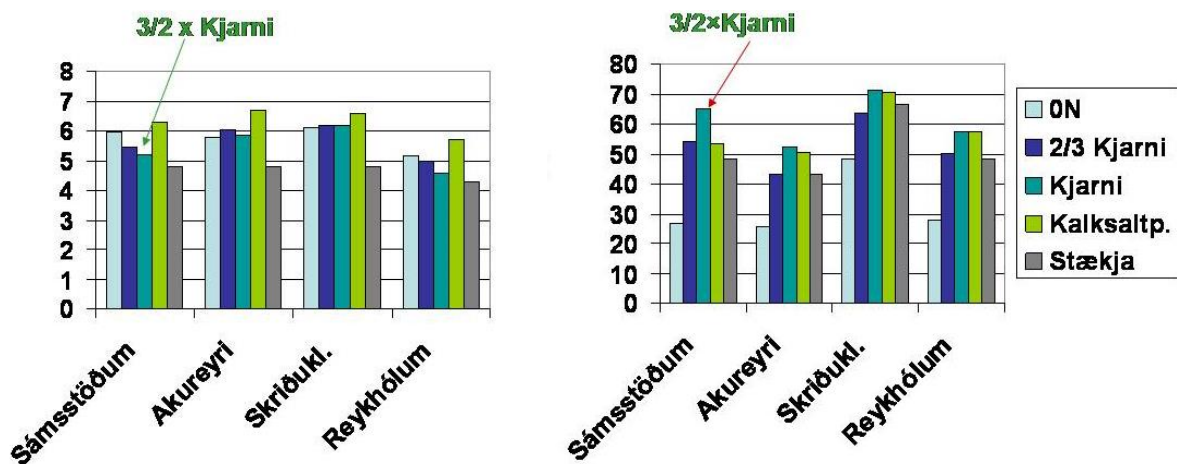
Á árunum 1945 – 1954 hófust langtímatilraunir með samanburð N-áburðartegunda á tilraunastöðvum jarðræktar. Auk kalksaltpéturs og ammóníumnítrats (Kjarna) var prófuð stækja, en hún er mikið notuð til áburðar víðs vegar í heiminum. Árið 1973 voru tekin jarðvegssýni úr fjórum dýptarsniðum niður í 20 cm (Bjarni Helgason 1975). Á 28. mynd eru sýndar niðurstöður pH-mælinga og meðaluppskera til 1973. Jarðvegssýni voru einnig tekin úr tilrauninni á Akureyri 1983 og efnagreind (Bjarni E. Guðleifsson og E. Schnug 1990). Þessum tilraunum er öllum lokið og jarðvegssýni voru tekin við lok þeirra nema á Reykhólum.

Gerð var skýrsla um tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri þegar efnagreiningum var lokið (Guðni Þorvaldsson o. fl. 2003) og greinar hafa verið birtar. Sýrandi eða kalkandi áhrif áburðar höfðu mikil áhrif á efni í jarðvegi (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2006). Meðaltöl uppskeru af þurrefni, N% og reiknuð N-upptaka eru í 6. töflu. Á 5. mynd kom fram að mismunur á uppskeru tilraunaliða, annarra en með stækju, var lítið breytileg milli ára. Þar eru í texta staðalfrávik árlegra áburðaráhrifa á uppskeru. Hér er fjallað um niturnýtni í þessum tilraunum.

6. tafla. Uppskeyra í 19-54 1954-93, 1996, og mt. N-upptöku árin sem mælt var

	Fjöldi ára	N kg/ha	Uppskeyra þe. hkg/ha			N % af þe.		Upptekið N kg/ha		
			1. sl.	2. sl.	Alls	1. sl.	2. sl.	1. sl.	2. sl.	Alls
			41	30	41	27	19	27	19	27
a. Viðmiðun		0	34,6	19,3	49,1	1,95	2,17	70	45	102
b. Kjarni	120	120	50,3	24,1	62,3	2,50	2,19	134	56	173
c. Stækja	120	120	41,3	15,2	68,4	2,74	2,20	120	59	161
d. Kalksaltp.	120	120	50,6	23,3	60,1	2,45	2,15	131	52	168
e. Kjarni	75	75	46,3	21,3	68,1	2,19	2,10	107	47	140

28. mynd. Langtímatilraunir með samanburð á tegundum N-áburðar



pH í 0-5 cm 1973 (Bjarni Helgason 1975). Uppskeyra til 1973 20-29 ár þe. hkg ha⁻¹.

Bornar voru saman þrjár tegundir N-áburðar við sama magn af nitri:

- á Akureyri 82 kg N ha⁻¹,
- á Reykhólum og Skriðuklaustri 120 kg N ha⁻¹,
- á Sámssstöðum. fyrst 62, svo 93, loks 120 kg N ha⁻¹.

Til viðmiðunar voru

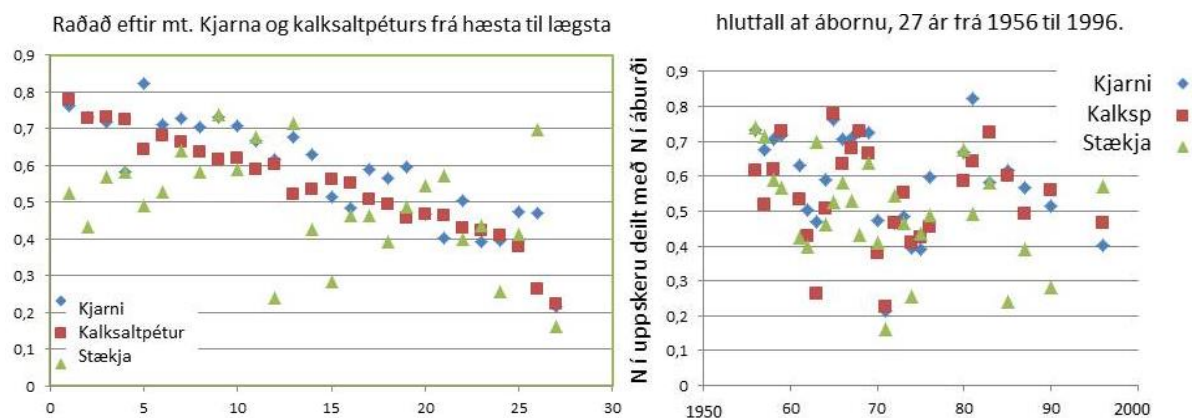
- a-liður: 0N (án N-áburðar)
- e-liður: Kjarni „2/3N“ á Akureyri, Reykhólum og Skriðuklaustri, „3/2N“ á Sámssstöðum.
- Í raun á Akureyri 55N, á Reykhólum og Skriðuklaustri 75N, og á Sámssstöðum fyrst 93, svo 120, loks 180 kg N ha⁻¹.

Kalksaltpétur hefur hækkað pH. Eftir stækju er pH < 5 í öllum tilr. Í tveim tilraunum var pH lægra eftir Kjarna en án N-áburðar, og í 3 tilraunum lægra eftir hærri N-gjöfina. Árið 1996 höfðu áhrif áburðar á pH aukist verulega á Skriðuklaustri (Guðni Þorvaldsson o. fl. 2003).

Uppskeyrumunur eftir kalksaltpétur og Kjarna var óverulegur, Kjarni þó ívið hærri. Uppskeyra eftir stækju er mun minni en eftir aðrar tegundir. Komu þau áhrif fram u.þ.b. á 5. ári, nema á 2. ári á Reykhólum. Þessi áhrif hafa lítið aukist eftir 1973 m.v. lauslega athugun.

Á 29. mynd er árleg niturnýtni þriggja áburðartegunda á Skriðuklaustri miðað við 0N. Smára gætti nokkuð í 0N-reitum sum árin og er því niturnýtni vanmetin með samanburði við þá. Stækja fylgir ekki hinum áburðartegundunum vel. Upptekið magn var ekki mikið minna þótt uppskeran væri minni, en N% er mun hærri. Á súrum jarðvegi fer seint að spretta og má gera ráð fyrir tiltölulega miklum flutningi á nitri til næsta árs ef snemma var slegið.

29. mynd. Árleg niturnýtni á 120N í 19-54 á Skriðuklaustri

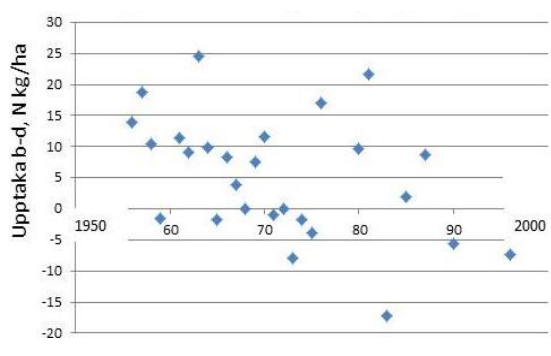


Meðaltöl af N-nytni Kjarna (bláir tiglur) og kalksaltp. (rauðir ferningar) dreifast nokkuð jafnt frá 0,77 1965 til 0,41 1975 og 0,40 1974, en 0,37 1963 (N-nytni Kjarna þó 0,47) og 0,22 1971. N-nytni stækju er breytileg, oft mikið minni. Ef snemma er slegið getur N flust til næsta árs. Eykur það breytileikann.

Árið 1970 er áhugavert. Þá var snemma borið á 4 tilraunir, 5.-6. maí, eftir kaldan vetur. Næstu daga rigndi töluvert og virðist N, og jafnvel P, hafa tapast eða runnið milli reita, og áburðarsvörun hvarf. Einnig gæti hafa orðið afnítun í vatnsósa jarðvegi. Á 19-54 var borið 13. maí eftir nokkra hlýja daga. Þá nýttist áburðurinn mun betur, en niturnýtni var samt lítil, 0,47 og 0,38 hjá Kjarna og kalksaltpéttri. Sjá 20. mynd um N-tap á Hvanneyri sama vor.

Af 28. mynd má lesa að Kjarni og kalksaltpétur séu jafngildar áburðartegundir, en þær geta þó haft sýrandi eða kalkandi áhrif á jarðveginn. Kalksaltpétur er dýr áburður. Hann var nær eingöngu notaður til tilrauna, lítið magn notað árlega. Hann var því geymdur milli ára í pokum sem höfðu verið opnaðir og gat dregið til sín raka úr loftinu og lækkað styrk N í áburðinum. Á 30. mynd er mismunur upptöku eftir Kjarna og kalksaltpétur í 19-54 á Skriðuklaustri. Þar er upptaka N marktækt meiri eftir Kjarna en kalksaltpétur samkvæmt t-prófi. Dreifing punkta er nokkuð þétt um gildið $b-d = 0$ og hún er samhverf frá -10 og upp undir +10 kg N ha⁻¹. Um +10 eru gildin þétt. Ofan +10 eru 8 gildi, en aðeins eitt er neðan -10. Þessi frávik frá samhverfri dreifinu samrýmast þeirri hugmynd að sum árin gæti N-áburður hafa verið minni á reitum með kalksaltpétur en til stóð vegna raka í áburðinum.

30. mynd. Árlegur mism. á N-uppt. af 120N í 19-54, Kjarni-kalksaltpétur



Aukin upptaka frá 75N til 120N (b-e) er bein mæling á niturnýtni því að sami áburður var notaður. Hún er þó ónákvæm vegna þess hve litlu munar á áburðarmagni. Að meðaltali var hún 72,3±5,0%. Mikill breytileiki er m.a. vegna flutnings á nitri milli ára. Lægsta gildið, 0,21, var árið 1970, en það var afbrigðilegt (29. mynd). Hæsta gildið, 149%, var árið 1981. Þá var N-upptakan sú mesta sem mældist, 197 og 296 N kg/ha eftir 0N og 120N. Einn sláttur var sleginn þetta ár, 21. júlí, en 2. júlí árið áður og hafa áburðaráhrif flust milli ára. Án árána 1970, 1974 og 1981, sem má telja afbrigðileg, er árleg niturnýtni 73,2±3,5% frá 75N til 120N.

7 Þættir úr hringrás niturs

Nitur er ríkjandi lofttegund í andrúmsloftinu og það gengur ekki greiðlega í samband við önnur efni. Til þess að verða aðgengilegt sem næringarefni þarf það að ganga í efnasamband, fyrst og fremst við súrefni. Gerist það einkum með tvennum hætti í náttúrunnar ríki. Annars vegar þegar rafstraumur fer í gegnum andrúmsloftið, þ.e. við eldingar. Hins vegar binda gerlar í sambýli í rótarhnúðum belgjurta nitur. Það gera þó einnig gerlar sem eru í lausara sambýli við rætur ýmissa tegunda eða lifa frjálssir í jarðvegi. Loks ber að nefna blágræna þörunga eða grænbakteríur. Í tímans rás hefur hlutur þeirra við að nema nitur og koma því í hringrás í lífríkinu að líkindum verið mikill. Þeirra er einkum getið þar sem vatn er á yfirborði í votlendi og á hrísgrjónaekrum og á stöðuvötnum, t.d. Mývatni.

Jarðvegur á Íslandi hefur mikla sérstöðu. Hann telst eldfjallajörð (*Andosol*) vegna þess að hann er að miklu leyti myndaður úr gosefnum. Á þurrlendi er móajarðvegur útbreiddastur, en fræðilegra heiti er brúnjörð (Ólafur Arnalds 2004). Eitt af mörgum sérkennum hans er að hann er mun ríkari af lífrænu efni, og þar með bæði C og N, en annað þurrlendi. Í brúnjörð er að meðaltali um 3,3% C og er það tvöfalt eða meira borið saman við annan þurrlendisjarðveg. Eldfjallajörð sem er mótuð af áhrifum vatns, en er þó ekki á votlendi, er votjörð (*Gleyic Andosol*). Brúnjörð og votjörð eru oft samfléttaðar. Í jarðvegi af þessum tveimur gerðum, sem þekja um 44 þús. km², er bundinn meira en helmingur þess kolefnis sem finnst í jarðvegi á Íslandi (Hlynur Óskarsson o. fl. 2004). Við uppblástur tapast jarðvegur með öllu þessu kolefni og er gert ráð fyrir að um helmingur þess tapist út í andrúmsloftið. Ekki er í heimildinni gerð grein fyrir því hvað verður um það nitur sem er bundið í lífræna efninu sem eyðist.

Eftir dreifingu áburðar verður ammóníum úr áburði uppleyst í jarðvatni og fljótlega einnig nítrat og getur magn þeirra haldist umtalsvert fram eftir sumri. Þá er hætt við útskolun ef úrkoma verður mikil, einkum á vorin ef jarðvegur er blautur eða klaki er í jörð. Í ýmsum rannsóknum hafa þessar jónir verið mældar, m.a. í áburðartímatilraunum eins og getið er framar (Hólmgeir Björnsson 1998b). Mest hefur Friðrik Pálmason fengist við þessar mælingar (sjá Friðrik Pálmason 2013), en ekki verður gerð frekari grein fyrir slíkum mælingum hér.

7.1 Söfnun niturs í jarðveg I. Tilraun nr. 19-54 á Skriðuklaustri

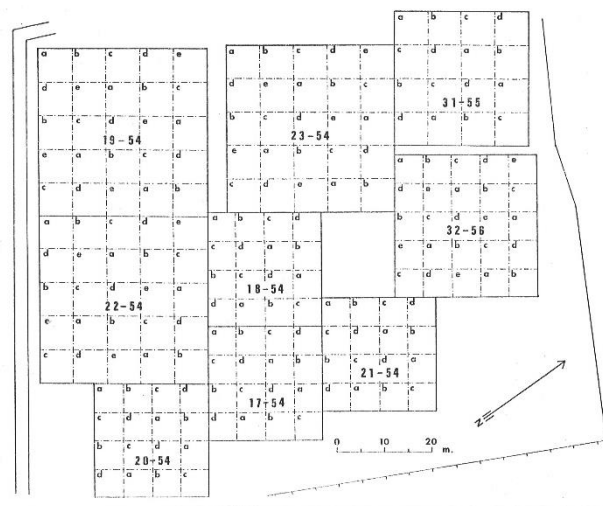
Mikilli athygli er beint að söfnun kolefnis t.d. á jarðveg vegna gildis hennar til að vega á móti vaxandi gróðurhúsaáhrifum í andrúmslofti. Til þess að það geti orðið er þó óhjákvæmilegt að nitur binst jafnframt í jarðveg. Getur það verið takmarkandi. Þorsteinn Guðmundsson (2008) er með vandaða umfjöllun um þessa ferla og þá óvissu sem er við að fást.

Tilraunin á Skriðuklaustri var uppskerumest langtímatilrauna með tegundir N-áburðar (3., 4., 28. – 30. mynd, reitaskipun á 31. mynd). Jarðvegssýni voru tekin 1996 (Guðni Þorvaldsson o. fl. 2003, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2004). Nokkur hvítsmári var í reitum án N-áburðar og hans varð einnig vart við 75N. Ef marka má skráðar athugasemdir hefur hann þó ekki verið árviss og sjaldan verulegur hluti uppskerunnar nema helst í seinni slætti. Ekki er við neina mælingu að styðjast um hve mikið nitur kom frá smáranum, en gera má ráð fyrir lágri tölu. Á 32. mynd er reiknað með 67% nýtni á áburði frá 0N að 120N og þá fæst að 83 kg N ha⁻¹ ár⁻¹ í

uppskeru hafi komið úr jarðvegi og að afgangurinn, $14 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ár}^{-1}$, hafi komið úr smára. Það gæti þó verið mun meira, og einnig gæti hann hafa lagt nokkuð til jarðvegsins.

Kolefni í jarðvegi var 4 – 8% neðan við 5 cm og flokkast jarðvegurinn því ekki sem mýrarjörð. Eftir jarðvegssniði utan tilraunar var hann flokkaður sem frjó gljáajörð eftir flokkunarkerfi FAO (Þorsteinn Guðmundsson 1994) eða votjörð (*Gleyic Andosol*, Ólafur Arnalds 2004). Jarðvegssýni voru einnig tekin 1973 og mældist kolefni þá mun minna en 1996 (Bjarni Helgason 1975). Jafngildir mismunur á reiknuðu magni kolefnis í 0 – 10 cm (súlurit t.h. á 32. mynd) því að $0,6 - 1,0 \text{ t C ha}^{-1}$ hafi safnast á ári í 23 ár, minnst á 0N-reitum en mest eftir áburð með sýrandi eða kalkandi áhrif. Má segja að það samræmist niðurstöðum t.v. á sömu mynd. Samanburður á mælingum er þó óviss því að aðferðir við töku sýna voru ekki þær sömu, og rúmþyngd jarðvegs var ekki mæld 1973. Kolefni mældist u.þ.b. jafnmikið 1996 á óábornum reitum utan tilraunar (leiðrétt fyrir legu reita) og á 0N-reitum (ekki sýnt).

31. mynd. Tilraunir á Skriðuklaustri 1954 – 1960



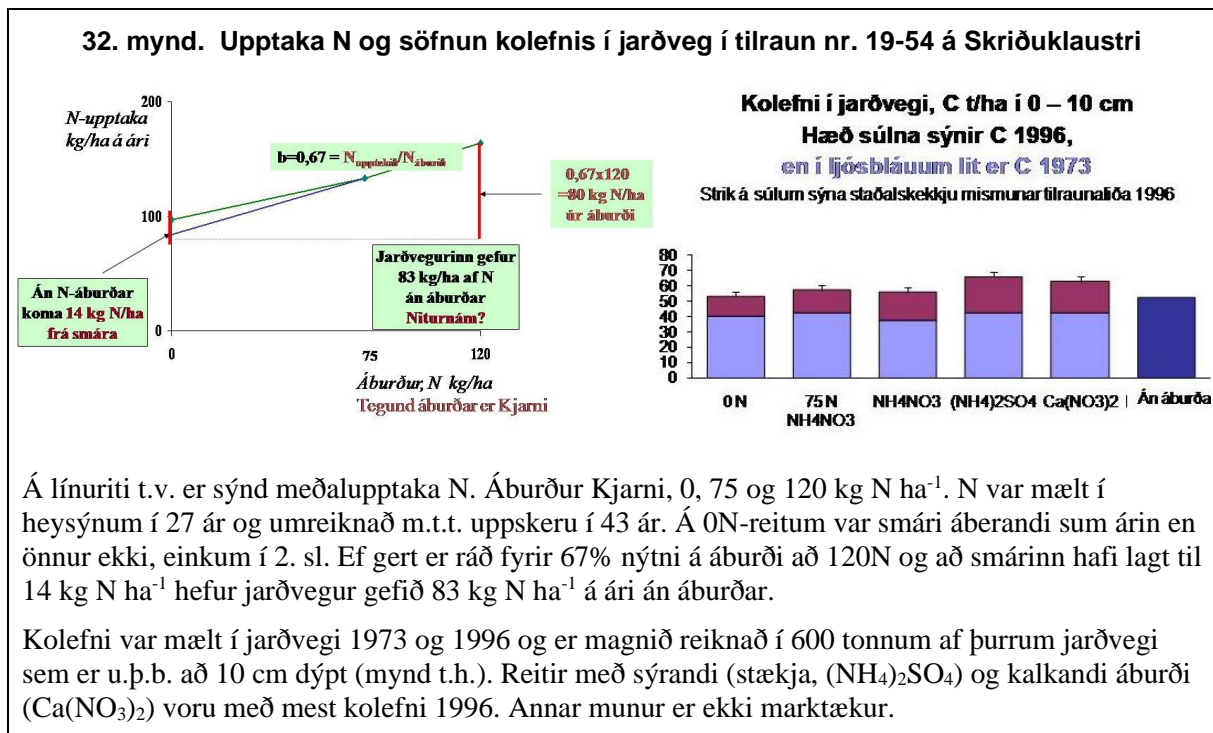
Tilraunalandið var í halla skammt suður með vegi undir hárrí og brattri fjallshlíð. Djúpur framræslu-skurður er með veginum og frá honum skurður niður hallann, t.v. á kortinu. Landið var ræst um 1950. Tilraun nr. 19-54 var efst, nálægt báðum skurðbökkunum, og má ætla að þar sé jarðvegur hvað dýpstur. Af öðrum tilraunum stóðu fjórar lengst, nr. 17-, 18-, 20- og 21-54 og var árið 1986 seinasta ár þeirra. Þá var tilraunalandið í þeim farið að blotna, sjá tilraunaskýrslu 1984, þó ekki efst, þ.e. í efri hlutanum á tilraun nr. 18-54.

Jarðvegssýni voru tekin haustið 1996 úr 15 af 25 reitum í 19-54. Það var úr efstu röð, miðröð og neðstu röð tilraunareita. Enn fremur voru tekin sýni utan tilraunarinnar t.h., móts við enda þeirra þriggja reitaraða sem sýni voru tekin úr. Þar höfðu aldrei verið tilraunareitir og því að mestu eða öllu leyti án áburðar, en slegið og öll uppskera fjarlægð líkt og á tilraunareitunum.

Gerð var grein fyrir efnajafnvægi í uppskeru og jarðvegi, einkum niturs, í skýrslu og greinum (Guðni Þorvaldsson o. fl. 2003, Hólmgeir Björnsson o.fl. 2001b). Eins og línurit t.v. á 32. mynd er dregið fæst að um $83 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ár}^{-1}$ hafi verið í uppskeru umfram það sem kom úr áburði eða frá smára. Þetta gildi er notað hér þó að það styðjist ekki að öllu leyti við mælingar í tilraun. Þetta nitur gæti hafa fengist við losun í jarðvegi. Þá ætti lífrænt efni í jarðvegi að hafa minnkað að sama skapi, þ.e. um nálægt $1,9 \text{ t C ha}^{-1}$ á þeim 23 árum sem liðu milli athugana á jarðvegi. Samanburður við óábornu röndina sýnir hins vegar aukningu á nitri í jarðvegi, en hún var aðeins öðru megin við tilraunina og óvissan er mikil (40. tafla í Guðni Þorvaldsson o. fl. 2003). Hins

vegar sést á 32. mynd t.h. að C og N í jarðvegi hafði aukist en ekki minnkað ef áburður var kalksaltpétur eða stækja, þótt hafa verði fyrirvara um samanburðarhæfni mælinga á jarðvegi 1973 og 1996. Áhrif Kjarna á N í jarðvegi voru óvissari, en mælingar sýna einnig aukningu á N í jarðvegi frá 1973.

Í 10 – 20 cm var C% ýmist svipuð eða aukin 1996 borið saman við 1973. Óvissa í mælingu á dýpt sýnis hefur mun minna að segja þar en nær yfirborði, og gera má ráð fyrir sambærilegum breytingum á C. Mælingar neðan 20 cm sýna ekki merki um að gengið hafi á lífrænt efni eða N í jarðvegi. Í efsta hluta sniðsins gæti hafa myndast nýtt lífrænt efni.

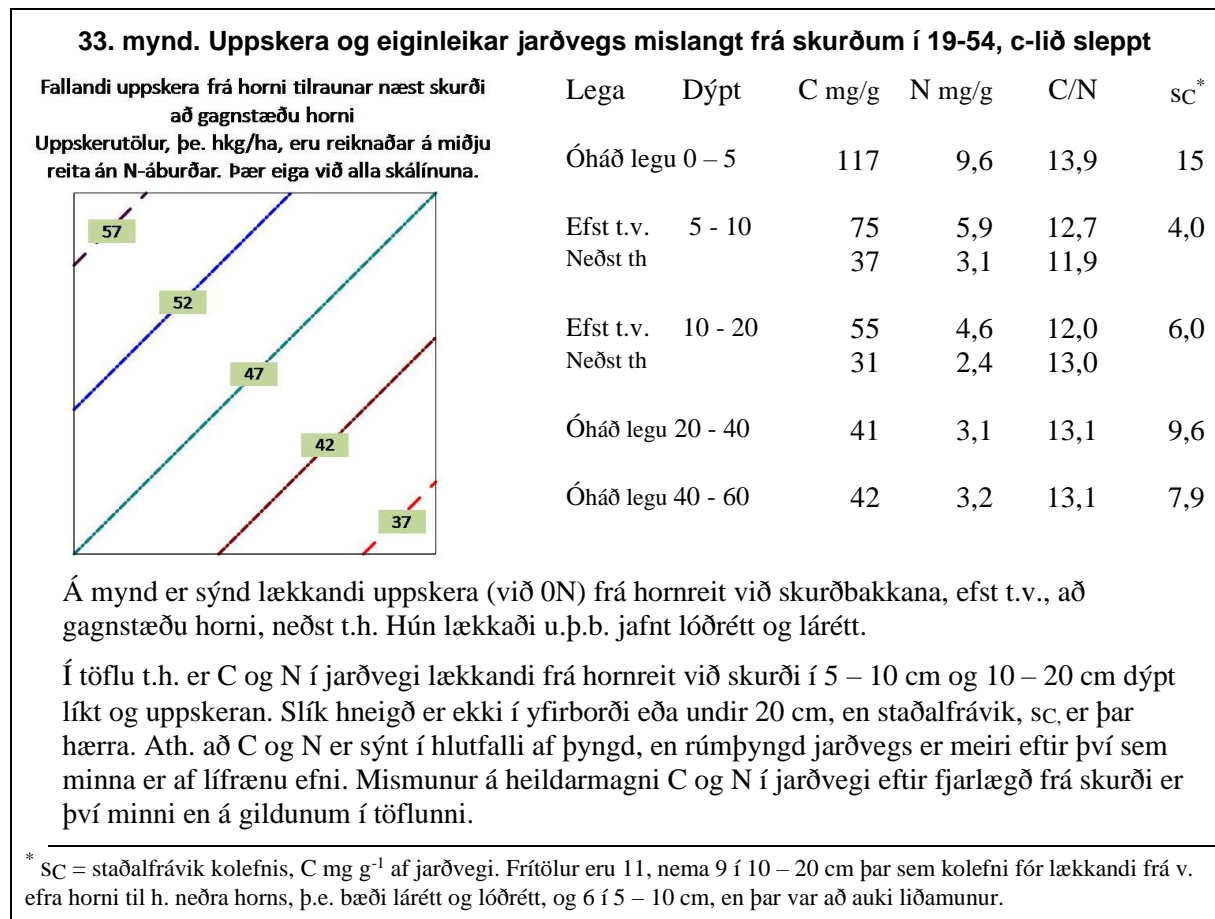


Tegundir N-áburðar höfðu veruleg áhrif á eiginleika jarðvegs og skýrust eru áhrifin á pH. Stækjan var mjög sýrandi og er ekki fjallað frekar um áhrif hennar hér. Í 0 – 5 cm var C/N 13,9 í 0N-reitum. Er það lítið eitt hærra en á reitum með Kjarna þar sem C/N var 13,4 og 13,0. Þótt munurinn sé ekki meiri en þetta gæti hann bent til minni umsetningar á lífrænu efni ef N var ekki borið á. Á reitum með kalksaltpéttri, þar sem pH var 6,9, var C/N töluvert lægra eða 11,8. Ekki var greinilegur munur á C/N milli þessara áburðartegunda undir 5 cm. Sá munur sem fannst í efsta laginu er nægilegur til þess að marktækur munur var á reiknuðu magni N í 0 – 10 cm (600 t jarðvegs á ha) milli 0N-reita og reita með Kjarna þótt ekki væri marktækur munur á magni kolefnis. Magnið er 4,0, 4,4, 4,4, 5,3 og 4,1 t N ha⁻¹ eftir 0N, Kjarna (75N og 120N), kalksaltpétur og utan tilraunar, talið í sömu röð. N í jarðvegi umfram 0N-reiti, jafnað á allan tilraunatímamann, 42 ár, jafngildir því að Kjarnareitir hafi safnað 10±3,2 kg N ha⁻¹ ár⁻¹ og kalksaltpétursreitir 31±4,0 kg N ha⁻¹ ár⁻¹.

Á 33. mynd og í 7. töflu er úrvinnsla sem nær nokkuð lengra en áður hefur birst í greinum um tilraunina. Það einkennir uppskerutölur að þær lækka skarpt frá horninu við skurðbakkana að gagnstæðu horni. Einnig lækkaði C og N í 5 – 10 og 10 – 20 cm dýpt í jarðvegi. Á reitum með 0N lækkaði reiknuð uppskera úr 57 í 37 hkg þe. ha⁻¹ milli hornreita, en milli miðju þessara reita eru 40 m. Magn C og N í jarðvegi í töflu á 33. mynd á við 0N, þ.e. leiðrétt fyrir áhrifum áburðar.

Uppskeran fylgdi kolefni í jarðvegi allnáið, meiri eftir því sem C% í 5 – 10 cm og 10 – 20 cm var hærri. C% í 0 – 5 cm var breytilegri og fylgdi uppskeran ekki C%, hvorki í 0 – 5 cm né neðan 20 cm (7. tafla).

Jarðvegssýni voru aðeins tekin úr þremur röðum (endurt.) af fimm. Í 5 – 10 cm og 10 – 20 cm voru breytingar á C% og N% nokkuð jafnar í báðar áttir, en neðar voru þær aðallega milli reitaraða. Þróun hlutfallsins C/N ber nokkurn veginn saman við þróun C% og N% í efri lögum, en er þó stöðugra. Neðan 20 cm er tilhneiging til óreglulegra gilda og staðalfrávik á C% og N% verður hærra. C/N er stöðugra en efnin hvort um sig.



7. tafla. Fylgni uppskeru við styrk kolefnis í jarðvegi og fylgni milli kolefnis í mismunandi dýpt. Frítölur eru 8 (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2001a).

	Meðal- uppskeyra	C% í 0 – 5 cm	C% í 5 – 10 cm
C% í 0 – 5 cm	-0,01		
C% í 5 – 10 cm	0,85	0,32	
C% í 10 – 20 cm	0,93	0,06	0,87

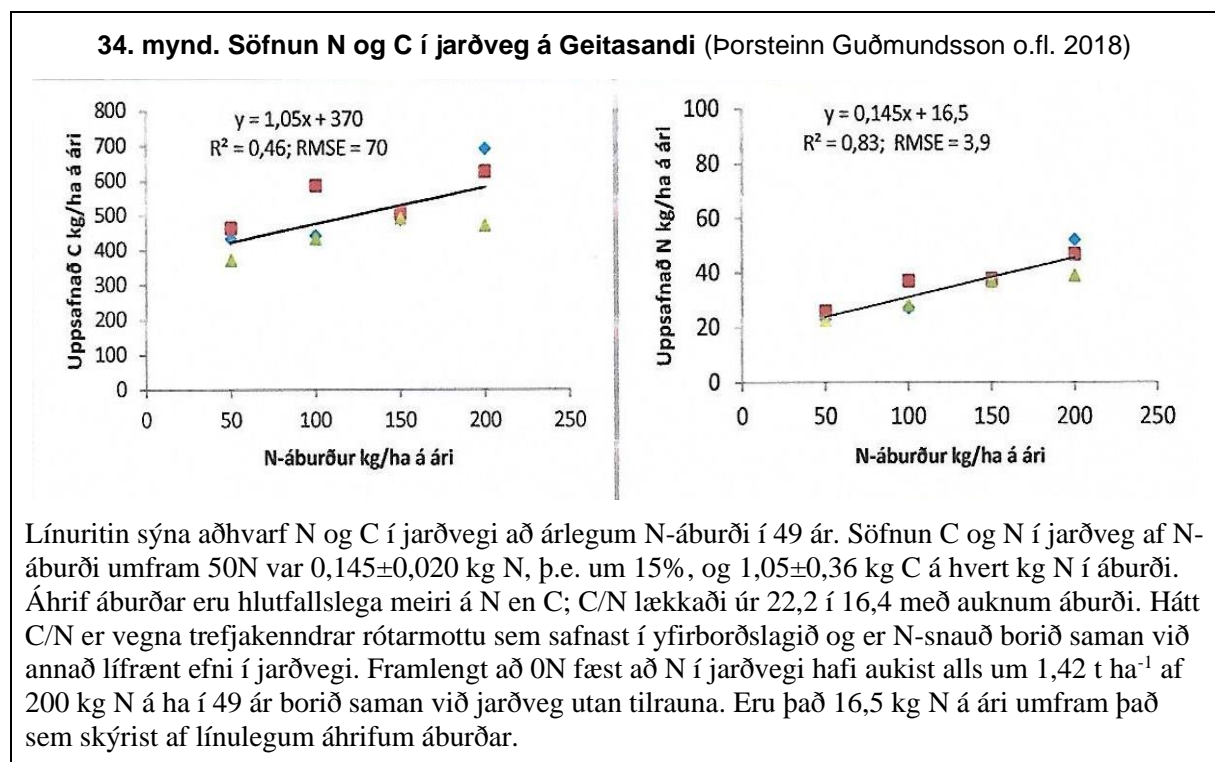
Efsta lagið, 0 – 5 cm, er mun ríkara af lífrænu efni en dýpra. Þar er ekki kerfisbundin breyting eftir legu. Hún gæti hafa horfið vegna tilfærslu við jarðvinnslu og þar með samsvörunin við C% og N% í dýpri lögum. Ef nitur safnast í jarðveg, t.d. með niturnámi á varanlegu graslandi, má gera ráð fyrir að það verði fyrst og fremst nálægt yfirborði, óháð eða lítið háð neðri lögum. Áhrif mismunandi tegunda áburðar á efnaeiginleika voru mest í efstu 5 cm. Áhrifa

kalksaltpéturs gætti þó lítillega í 5 – 10 cm. Dýpra gætti aðeins áhrifa stækju. Í lýsingu á sniði segir að jarðvegurinn beri merki oxunar/afoxunar frá 14 cm dýpt.

Uppskera og nitur alls í uppskeru var meiri eftir því sem nitur í jarðvegi var meira. Ekki sjást þó merki um að með aukinni upptöku hafi gengið á nitur í jarðvegi. Mælingar á sýnum neðan 20 cm benda ekki heldur til þess að N-upptaka umfram áborið hafi verið vegna N-losunar djúpt í jarðvegi.

7.2 Söfnun niturs í jarðveg II. Tilraun nr. 19-58 á Geitasandi

Á tilraunalandi á Geitasandi, sem var á vegum tilraunastöðvarinnar á Sámsstöðum (síðar Rala), hófust þrjár áburðartilraunir á ógrónu landi árið 1949 og stóðu í 49 ár. Jarðvegssýni voru tekin við lok tilrauna. Þá mældist N í 0 – 20 cm dýpt utan tilraunar 0,77 t/ha og kolefni 13 t ha⁻¹, C/N var 19 í 0-5 cm, en neðar var það <15. Þegar magn niturs er svo lítið sem þarna mældist er frjósemi jarðvegs ekki nægileg til að landið geti gróið af sjálfsdáðum (Ólafur Arnalds o.fl. 2013). Á 34. mynd kemur fram að af N-áburði frá 50N til 200N á ári í tilraun nr. 19-58 komu 15% fram í jarðvegi (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2018). Þetta er eina tilraunin þar ekki fékkst nitur úr jarðvegi umfram það sem kom úr áburði öll árin sem tilraunin stóð.



Nitur í uppskeru var mælt í 14 ár af 49 (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2018). Nýtingu á 100N borið saman við 50N mátti telja góða öll árin. Í 4 ár voru gildin um 100%, þ.e. umfram væntingar, en skekkjan á mismun mælinga er há. Saman benda þessi gildi þó til meiri nýtni og má e.t.v. túlka það þannig að þegar árferði var hagstætt hafi jarðvegurinn verið nægilega virkur við 100N til að losa smávegis nitur þótt hann hafi ekki verið það við 50N. Upptaka eftir 50N var mest 50 kg N ha⁻¹ sem er marktækt umfram 67%. Önnur ár var upptakan ekki meiri en svo að ekki þarf að gera ráð fyrir losun úr jarðvegi til viðbótar því sem kom úr áburði. Í 4 ár af 14 var upptaka á

50N reitum hins vegar á bilinu 12 – 20 kg N ha⁻¹, þ.e. ≤40%. Hluti þess sem á vantaði 67% af ábornu, allt að 13 – 21 kg N ha⁻¹, gæti hafa safnast í jarðveg og er þá innifalinn í þeim 16,5 kg N ha⁻¹ á ári sem söfnuðust á tilraunátímanum umfram línuleg áhrif áburðar. Eðlilegt er að gera ráð fyrir að það sé nitur sem hafi borist að með áfoki. Magnið er að vísu fengið með frádrætti þar sem upphafsgildið, það sem var við upphaf tilraunar, er ekki þekkt, en ekki er líklegt að sandurinn undir hafi haggast mikið á tilraunátímanum.

7.3 Söfnun niturs í jarðveg III. Aðrar jarðræktartilraunir

Th[Þ]orsteinn Guðmundsson o.fl. (2013) greina frá mælingum á C í jarðvegi í fjórum langtíma-tilraunum með N-áburð, en ekki eru niðurstöður um N í jarðvegi. Þrjár þeirra eru á brúnjörð (*Silandic Andosol*) (eða móajörð), þ.e. nr. 147-64 og 10-45 á Sámsstöðum og 5-45 á Akureyri. Þær höfðu staðið í 41 – 58 ár. Þar hefur C í jarðvegi aukist með N-áburði í efstu 20 cm jarðvegs. Fjórða tilraunin var nr. 16-50 á mýrarjörð undir Krosshól á Sámsstöðum. Þar hafði fallið mikill vikur í Heklugosinu 1947, en að líkindum hefur töluvert af honum verið hreinsað af. Í þeirri tilraun var minna C í jarðvegi við 100N en 0N.

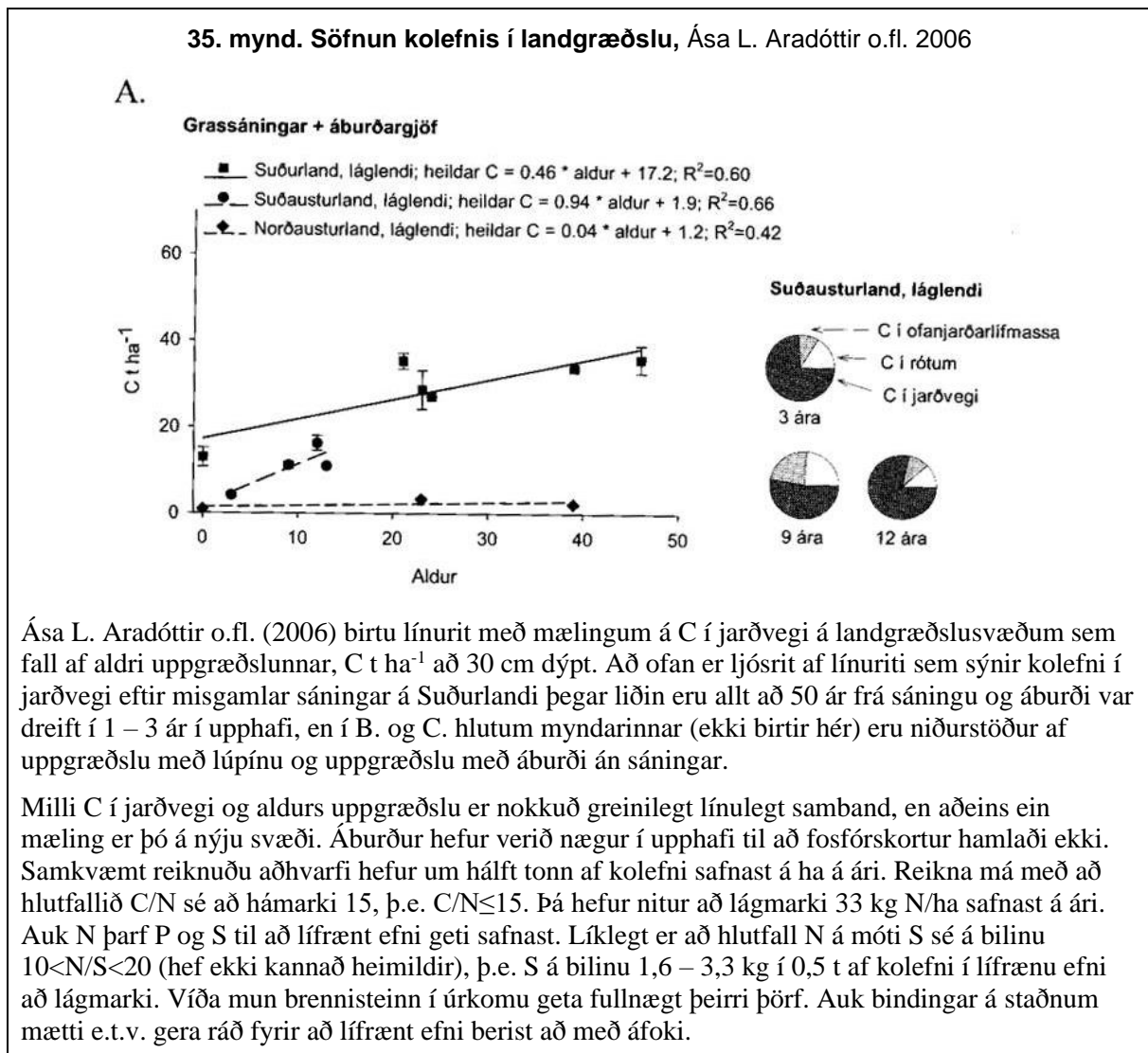
Sunna Áskelsdóttir og Þorsteinn Guðmundsson (2011) birta niðurstöður um söfnun á C og N í jarðvegi í þremur tilraunum með samanburði við land án áburðar utan tilraunar. Ein þeirra er tilraun á Geitasandi sem áður var gerð grein fyrir (34. mynd). Önnur er tilraun 147-64 með 60N til 240N í Kjarna á hólum á Sámsstöðum (26. mynd). Við 60N og 120N var hófleg söfnun á C, 54-78 kg/ha, og söfnun á N 0 og 3 kg/ha, þ.e. lítil sem engin. Við meiri áburð safnaðist meira, eftir 240N 163 kg C og 14 kg N á ha. Eru það líklega áhrif þess að jarðvegurinn var orðinn mun súrari. Þriðja tilraunin var fosfórtilraun nr. 9-50 með 0P til 39P á mýrinni undir Krosshól. Er sú mýri nokkuð sérstök vegna nálægðar við Heklu. Þar hefur gengið á C og N í jarðvegi, minnst við 0P, en mest á N við 13P og 22P. Oftast fylgjast C og N nokkuð vel að. Hlutfallið milli þeirra virðist oft stöðugra en efnin hvort um sig.

7.4 Söfnun niturs í jarðveg IV. Söfnun kolefnis í landgræðslu

Með aðgerðum til landgræðslu hefur víða safnast verulegt magn kolefnis og niturs í jarðveg (Ása L. Aradóttir o.fl. 2006). Á svæðum sunnanlands þar sem jarðvegur var frá upphafi sæmilega ríkur af lífrænu efni og aðeins var sáð og borið á í 1 – 3 ár í upphafi, en ekki úr því, er magn kolefnis í jarðvegi meira eftir því sem lengra er liðið frá upphafi aðgerða (35. mynd). Í tilvitnaðri grein eru einnig línurit sem sýna kolefni á landgræðslusvæðum þar sem borið var á árlega og í lúpínusáningum. Ef borið var árlega á land þar sem ekki var sáð var söfnun kolefnis í jarðveg meira en tvöföld á við það sem var í sáningum sunnanlands, að meðaltali 1,21 t C/ha á Suðurlandi og 1,5 t C/ha á Austurlandi. Lúpínusáningar voru allmargar, en aðeins þrjár eldri en 10 ára. Kolefni í jarðvegi var einnig breytilegt í þeim, að meðaltali meira en 0,8 t/ha. Við hálendisbrúnina á NA-landi voru nokkrar sáningar þar sem söfnun kolefnis var ekki marktæk og valda þær miklu um þennan breytileika. Niðurstaðan var að árlega hefðu safnast um 600 kg C á hektara á landgræðslusvæðum. Í nýmynduðu lífrænu efni í jarðvegi er hlutfallið C/N frekar hátt, allt að 15. Því þurfa að lágmarki 40 kg/ha N að safnast í jarðveg til að mynda lífrænt efni

með 600 kg af C. Ekki hefur verið gerð grein fyrir því hvaðan svo mikið N geti borist inn í lífkeðjuna á einu ári. Getur verið að um sé að ræða einhverja virkni sem tengist sérstökum eiginleikum Andosol?

Í tilraun með áburð á lúpínu, sem var gróðursett á Geitasandi, var C í jarðvegi mælt eftir 4 ár. Það var 9,5 g/kg C í nánd plantna ef séð hafði verið fyrir þörfum lúpínunnar fyrir P og S, en 4,4 g/kg utan rótasviðsins (Hólmgeir Björnsson 2007a,b). Ekki var mælt heildarmagn að 30 cm dýpt. Áætlað var að árleg söfnun gæti hafa verið ríflega 0,5 t C/ha. Í tilrauninni var uppskera ofanjarðar fjarlægð og er líklegt að það hafi dregið úr söfnun kolefnis í jarðveg.



Járngerður Grétarsdóttir (2002) fann C/N á bilinu 13,3–14,9 á ógrónum svæðum. Á landgræðslusvæðum var hlutfallið lægra á SV-landi en fór frekar hækkandi á NA-landi. Í tilraunum á Geitasandi, sem fyrr var sagt frá, varð hlutfallið mun hærra (34. mynd) því að töluvert safnaðist af órotnuðu efni, en annars má gera ráð að C/N verði 15 eða lægra.

Í umfangsmikilli könnun (>500 punktar) á mólendi og auðnum mældist N í efstu 30 cm jarðvegs frá 5000 til >20.000 kg/ha, en getur verið 200-300 kg/ha á ógrónu sem er ófullnægjandi til að landið geti gróið. Í áfoksbeltinu er áætluð söfnun í efstu 30 cm 15-20 N kg/ha á ári ef þykknun er 0,1 cm á ári (Ólafur Arnalds o.fl. 2013). Þegar söfnun á landgræðslusvæðum var metin og

fyrir er getið virðist ekki gert ráð fyrir að áfok sé verulegt. Með áfoki eins og hér er getið þarf áfok ekki að vera nema 0,2-0,3 cm á ári til að 30-60 kg/ha N safnist. Ekki var getið um kolefni í áfokinu, en hverju öðru ætti nitrið að vera bundið? C/N er varla lægra en 6,25 eins og í prótíni. Miðað við C/N = 15 á landgræðslusvæði gætu þá allt að 58% kolefnis í nýmynduðu lífrænu efni verið sótt í andrúmsloftið. Til samanburðar var söfnun N í snauðan jarðveg í tilraun á Geitasandi metin 16,5 kg N ha⁻¹ á ári í 49 ár (34. mynd). Gæti það hafa borist með áfoki sem væri rúmlega 0,1 cm á ári.

7.5 Söfnun niturs í jarðveg V. Nitur í mýrum

Mýrar á Íslandi hafa hlaðist upp eftir lok ísaldar. Þótt myndunartíminn sé ekki nákvæmlega þekktur má fara nokkuð nærri um hve ört þær hafa safnað þeim niturforða sem í þeim er. Óskar B. Bjarnason (1966) gerði ítarlegar rannsóknir á íslenskum mó með tilliti til mótekju. Umfangsmesta rannsóknin var á mýri sem kennd er við Akranes. Á 755 ha af 945 ha alls var meðaldýpt mólagsins 3,08 m. Nitur var að meðaltali 114,5 t N ha⁻¹. Þar við bætist N sem var bundið í ruðningnum, þ.e. efstu lögunum sem eru ekki mór, og nokkuð er enn dýpra, undir mónum. Ef gert er ráð fyrir ísaldarlokum fyrir 10000 árum og að mór hafi farið að myndast 1000 árum síðar, en mómyndun lokið fyrir 1000 árum þegar áfok var orðið verulegt, hafa í 8000 ár safnast í Akranesmýrina um 14,3 kg N ha⁻¹ á ári að meðaltali.

Þorsteinn Guðmundsson (2008) kannaði mýrar, m.a. myndunarhraða á mismunandi tímum. Hann hefur látið mér í té niðurstöður sínar um myndunarhraða mýra á Torfalæk og á Hesti og Hvanneyri í Andakífl. Þessar mýrar eru ekki eins djúpar og mýrin á Akranesi. Þorsteinn miðar við að mýrarnar hafi myndast á 9.000 árum. Niðurstöður hans eru í 8. töflu

8. tafla. Söfnun niturs í mýrar (Þorsteinn Guðmundsson persónuleg heimild, Akranesmýrin sjá texta)

	Dýpt sniðs cm	C heild t/ha	C uppsöfnun kg/ha/ár	N heild t/ha	N uppsöfnun kg/ha/ár
Torfalækur	235	1135	126	50	6
Hestur	265	1206	134	58	6
Hvanneyri mýri	250 ¹	1670	186	72	8
Hvanneyri tún	250 ¹	2063	229	86	10
Akranesmýrin	308				14,3

¹Sniðið náði ekki til botns í mýrinni og því er árleg söfnun niturs vanmetin.

Árleg ákoma niturs úr lofti er talin í hæsta lagi um 1 kg N ha⁻¹ á Íslandi. Miðað við það verður að gera ráð fyrir að nitur í mýrum sé einkum af öðrum uppruna. Bent hefur verið á að nitur sem féll á háar hlíðar í fjallinu fyrir ofan hafi getað borist undan hallanum í mýrarnar. Það þarf þó stórt svæði til að meira en 10 kg N ha⁻¹ hafi safnast í mýrina á ári. Í staðinn er hér gælt við þá hugmynd að í mýrinni hafi verið umtalsverð virkni til að nema nitur úr loftinu þó að ferillinn sé óþekktur (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2001a).

Kolefni er mikið í oframræstum mýrum í hlutfalli við nitur, C/N>20. Eftir framræslu getur það því losnað sem koltvísýringur og valdið auknum gróðurhúsaáhrifum án þess að nitur losni að sama skapi. Losun niturs eykur njög frjósemi framræstra mýra, en hún er háð hita í jarðvegi og þar með breytingum á veðurfari. Á kalárunum sem svo eru nefnd, 1966-1970, spilltist framræsla

mýrartúna og dró úr sprettu. Dæmi um það frá Hvanneyri eru á 3., 23. og 24. mynd. Ríkharð Brynjólfsson (2005) rakti langtímasamanburð á 0N og 100N í tveimur tilraunum við sama magn af P og K. Í báðum jókst losun niturs í jarðvegi mikið á tilraunátímanum. Þær hófust 1975 og 1971 og var N í uppskeru minna en 50 kg á ha í upphafi, en mældist um 100 kg á ha eftir 15-20 ár. Önnur tilraunin var frá 1975 til 1991. Þar fór uppskeran vaxandi undir lok tímans, en niturnýtnin, eins og hún er nefnd hér í þessari grein, hélst um 50%. Hin tilraunin stóð 1971 til 2004, en uppskera var þó ekki alltaf mæld. Þar var uppskera lítil án N-áburðar í upphafi, en niturnýtnin mældist um 30% er á leið. Lítil niturnýtni í þessum tilraunum getur verið vegna minni N-losunar við 100N en 0N og því gætu sýrandi áhrif N-áburðar valdið. Á 26. mynd var sýndur uppskeruferill úr tilraun nr. 147-64 á Reykhólum á mýrlendi sem gaf mikið af sér, en N-áburður hafði þar lítil áhrif.

7.6 Niturnám og niturtap

Nitur tapast út í andrúmsloftið sem nituroxíð af fleiri en einni gerð, ammóníak og óbundið nitur (N_2), úr landbúnaði, farartækjum og iðnaði. Þau efnasambönd sem tapast geta skilað sér aftur í úrkomunni eða sem ákoma í þurru formi, og blöðin geta tekið upp ammóníak. Mælingar á úrkomu benda til að það sé ekki meira en um $1 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ár}^{-1}$ sem berst þá leið á Íslandi. Á stórum, strjálbýlum svæðum í Evrópu og Norður-Ameríku er ákoman $<5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ár}^{-1}$, en á þéttbýlum svæðum fellur til mikið meira vegna mengunar. Víða er árleg ákoma $>15 \text{ kg N ha}^{-1}$ og getur orðið tvöföld eða þreföld það magn.¹ Þessi uppspretta niturs hefur töluverð áhrif á frjósemi lands, t.d. skóga, og getur breytt vistkerfum verulega.

Á tünnum og engjum hefur mikil losun niturs haldist langtímum saman, jafnvel öldum saman. Erfitt er að skýra hana með losun úr þeim forða lífræns efnis sem er í jarðvegi. Ekki eru þekkt merki þess að hann sé að ganga til þurrðar. Jafnframt hefur nitur safnast á löngum tíma í mýrar. Ef gera á ráð fyrir að það hafi komið með afrennsli af umliggjandi landi sem liggur hærra þarf að gera ráð fyrir verulegri ákomu og að hún tapist ekki nema af litlu leyti. Önnur kenning, sem erfitt er að útiloka, er að í jarðvegi sé niturbindandi starfsemi sem mönnum hefur yfirsétt. Í viðleitni til að meta sem flestar hliðar á umsetningu niturs á langtímarannsókn í Rothamsted í Englandi eftir tölvert meira en eina öld var allmikið magn, 39 kg N ha^{-1} , sem erfitt var að skýra öðru vísi en sem niturnám (Dart 1986, Hólmgeir Björnsson 1979). Það var þó tekið til endurskoðunar fyrir lok 20. aldar. Endanleg niðurstaða, sem birtist í tímariti frá Rothamsted, var að ekki hafi fundist söfnun á N umfram það sem rakið verði til þekktra ferla. Ég hef líka séð í ráðstefnuriti grein með mörgum dæmum frá löndum í Evrópu um allmikið N í uppskeru umfram ábórið, en mismunurinn er talinn samrýmast þeirri ákomu af N sem mælist á nálægum veðurstöðvum. Heimildum, sem hér var stuðst við, hef ég þó misst af.

Ég tel þó enn ýmislegt benda til þess aðgengi að nitri umfram áburð hér á landi hafi verið langt umfram það sem hægt er að skýra með losun úr jarðvegi eða plöntuleifum, eða hafi komið bundið í efnasambönd úr loftinu með úrkomu eða á annan hátt. Þessi atriði eru söfnun niturs í mýrar frá lokum ísaldar, upptaka niturs á ábornum tilraunareitum umfram það sem kom frá N-

¹ sjá kort á vefsíðum, skoðuð 5. okt. 2016: <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/03/160330174216.htm> og http://fate.jrc.ec.europa.eu/modelling/nutrients/pan-european-database-images/atmo_dep.png

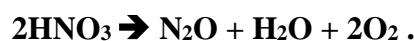
áburði, og myndun lífræns efnis á landgræðslusvæðum. Enn má nefna engjar sem hafa verið heyjaðar reglulega öldum saman, jafnvel frá landnámi, bæði vallendi á árbökkum og votlendi. Því er hér haldið í þá tilgátu að um sé að ræða gerla sem lifa í rötarnánd eða frjálssir í jarðvegi og geta bundið verulegt magn niturs úr andrúmslofti, bæði í ræktuðu landi og frjósömu óræktuðu landi. Það væri ein helsta undirstaða þess að frjósemi túna haldist.

7.7 Mengun af nitri frá landbúnaði. Glaðloft (N₂O)

Nitur er mikilvægt til að tryggja framleiðslu matvæla og annarra afurða í landbúnaði, en því fylgir hættu á mengun, bæði lofts, jarðvegs og vatns. Ekki skiptir máli hvort nitrið kemur úr áburði eða á annan hátt í jarðveg, en hættan er meiri eftir því sem magnið er meira og ef ekki er gætt jafnvægis milli næringarefna. Einnig skiptir máli hvenær eða hvernig það tapast. Í viðleitni til að halda mengun innan hóflegra marka er fylgst vel með áburðarnotkun í löndum EB. Bændur þurfa að fá áburðaráætlun samþykkt áður en borið er á. Auk áburðar þarf að taka niturnám belgjurta með í reikninginn. Reglur eru misjafnar eftir löndum og fara m.a. eftir úrkomu, en markmiðið er það sama. Farið er eftir niðurstöðum rannsókna.

Auk vatnsgufu, sem hlífir jörðinni við útgeislun og gerir lífvænlegt á jörðinni, eru önnur efni, s.k. gróðurhúsalofttegundir, sem varna útgeislun, en fara vaxandi í andrúmsloftinu og valda hlýnun jarðar með ófyrirsjálegum afleiðingum. Mikilvægast er koldíoxíð (CO₂), en næst koma metan (CH₄) og glaðloft (N₂O). Tvær þær síðar töldu eiga það sameiginlegt að þær koma einkum frá landbúnaði eða annarri landnotkun. Auk landbúnaðar myndast þær í sorphaugum og lífrænu seti þar sem lífrænt efni safnast í miklu magni. Þær eyðast úr andrúmsloftinu á löngum tíma, glaðloftið þó hægar. Á hundrað árum eru áhrif metans á hita á jörðu talin 25 sinnum umfram áhrif koldíoxíð, en glaðlofts 298 sinnum (skv. heimasíðu Umhverfisstofnunar), en önnur gildi hafa sést.

Miklar rannsóknir eru gerðar á losun glaðlofts í landbúnaði og hvernig megi draga úr henni. Það myndast við afnitrun sem örverur valda ef orka er nægileg en súrefni skortir



Nítratið (NO₃⁻) getur myndast við rotnun lífrænna leifa meðan aðgengi að súrefni var nægilegt, eða borist að með grunnvatni, m.a. úr áburði.

Efni sem geta myndast við afnitrun eru (og í þessari röð) NO₂, NO, N₂O, N₂. Í tempraða beltinu eru sveppir ríkjandi í graslendi, en sveppina vantar ensím til að rýra N₂O svo að úr verði nitur (N₂) og glaðloftið rýkur út í andrúmsloftið (Laughlin og Stevens 2001). Dæmi um aðstæður þar sem N₂O getur myndast er ef kúm er beitt á land þar sem nýlega hefur verið borið á nítrat. Undir kúamykjuklessunum, en í þeim er næg orka, getur orðið loftlaust og þar með skilyrði til afnitrunar (36. mynd).

Gera verður ráð fyrir að myndun glaðlofts geti skipt máli við skilyrði sem verða í ræktuðu landi á Íslandi. Þegar langvarandi svellalög gerir á tún að vetri skín birta í gegnum svellið og hitar yfirborðið svo að lífræn starfsemi eykst. Það getur jafnvel orðið tillífun. Ef svellið liggur lengi gengur á súrefnisforðann, efnaskiptin breytast og ný efni fara að myndast, sum skaðleg gróðri. Að endingu drepst gras og annar gróður, það verður kal (Bjarni E. Guðleifsson 1997). Þetta eru

dæmigerð skilyrði til afnitrunar og að N₂O geti myndast. Algengasta bakteríutegundin sem fannst í leysingarvatni svellaðra plantna er *Pseudomonas fluorescens* (sami), en ýmsar tegundir af *Pseudomonas* eru einmitt þekktar sem afnitrunargerlar. Það má því gera ráð fyrir að við þessar aðstæður myndist glaðloft. Annað dæmi er þegar borið er á blautt land og þar verður loflítið eða loftlaust, t.d. ef gerir úrfelli. Og svo er það hættan á losun glaðlofts úr framræstum mýrum. Sú hættan er á nokkru bili ofan grunnvatnsstöðu þar sem loftrými er lítið og hreyfing á lofti hæg. Til þess að endurheimt votlendis bæti til fulls úr gróðurhúsaáhrifum þarf grunnvatnið að ná yfirborði.

36. mynd. Dæmi frá ráðstefnum um myndun glaðlofts

Dæmi um N-tap með lofttegundum

60 kg N/ha í KNO₃,
borið á á eftir fljóttandi
búfjáraburði, N₂O+N₂
meðaltal 4 skipta
Dagar % af N í áb.
3 0
2 0,8
1 1,1
0 2,9
= 5 kg/ha
á 3-4 dögum
um 8 %

Heildarmagn N₂O-N
á ári í Bretlandi

Gróðurleifar (1,25%*) 9,6 Gg
Af beit 19,0 "
Úr áburði 15,8 "
Úr búfjáraburði 7,9 "
Annað 35 "
Alls 87 "

•líklega meðtalið það sem kemur úr jarðvegi

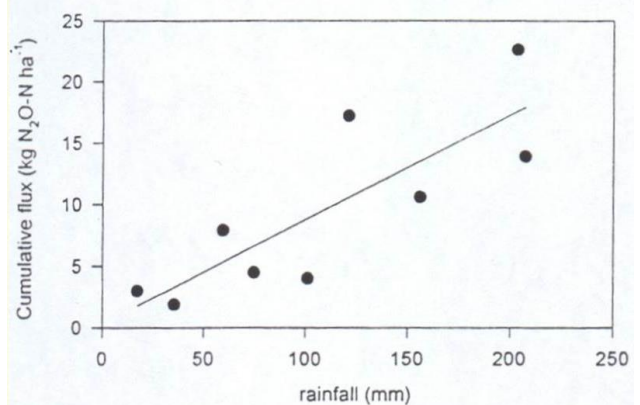
Hlutföll milli lofttegunda

N₂O ≥ N₂

NO/N₂O = 0,05-0,2
hæst að sumri

Jim Stevens, Belfast

N₂O tap eftir úrkomu á 4 vikum um dreifingu áburðar



N₂O-tap eftir áburðarmagni

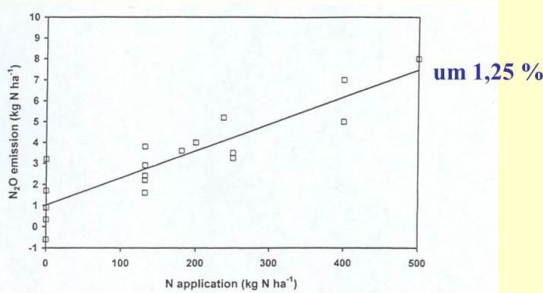


Figure 2. Relationship between N fertilizer application and N₂O emission for mineral soils with N application rates < 500 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ and a full year of flux measurements. From Bouwman [1996].

Grossman o.fl., 2000

N₂O-tap eftir áburðarmagni

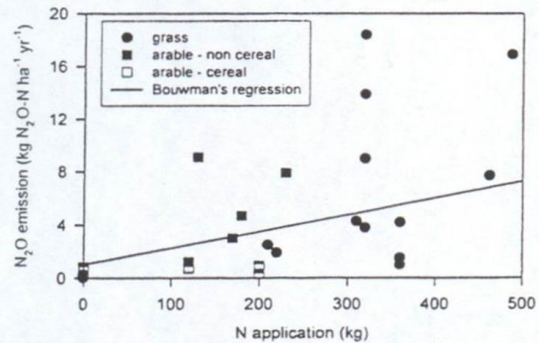


Figure 3. Annual N₂O emission versus N fertilizer application for grassland and arable crops in Scotland, showing "Bouwman's" regression line from Figure 2 [from Dobbie et al., in press].

Glaðloft kemur einkum úr nitrati. Ammóníum í N-áburði oxast að jafnaði í níturat áður en það er tekið upp og getur með því orðið efni í glaðloft. Viðmiðunartala á Bretlandi og Írlandi við mat á gróðurhúsaáhrifum landbúnaðar er að 1,25% niturs tapist sem N₂O ef ekki eru niðurstöður úr rannsóknum sem benda til annars. Frávik geta orðið veruleg, einkum ef úrkoma er mikil.

Myndirnar voru gerðar til að sýna með erindi um nitur á Rala 2001. Heimildir, sem vísað er til á myndum t.v., hafa ekki varðveist og vantar því í heimildaskrá.

Hvað er til ráða til að bæta nýtingu N og minnka hættu á mengun? Varast offóðrun með prótíni. Þá verður minna tap úr búfjáráburði. Meta áburðarpörf árlega, taka jarðvegssýni og nota líkön. Ræktendur verði gerðir ábyrgir, hámark sett á útskolun. Jafnvægisútreikningar á hverjum bæ. Skipting áburðar og hvernig er áburðurinn er borinn á, t.d. niðurfelling í jarðveg. Ýmsar reglur eru settar, t.d. um notkun búfjáráburðar. Tekið er tillit til jarðvinnslu og nýtingar á gróðurleifum. Hafa landið sem mest gróið. Ef landið er opið er mikil hættu á að jarðvegur tapist, einkum að vetrinum (Árni Snæbjörnsson o.fl. 2006). Stunda jurtakynbætur m.a. með tilliti til rótarkerfis og prótínhlutfalls.

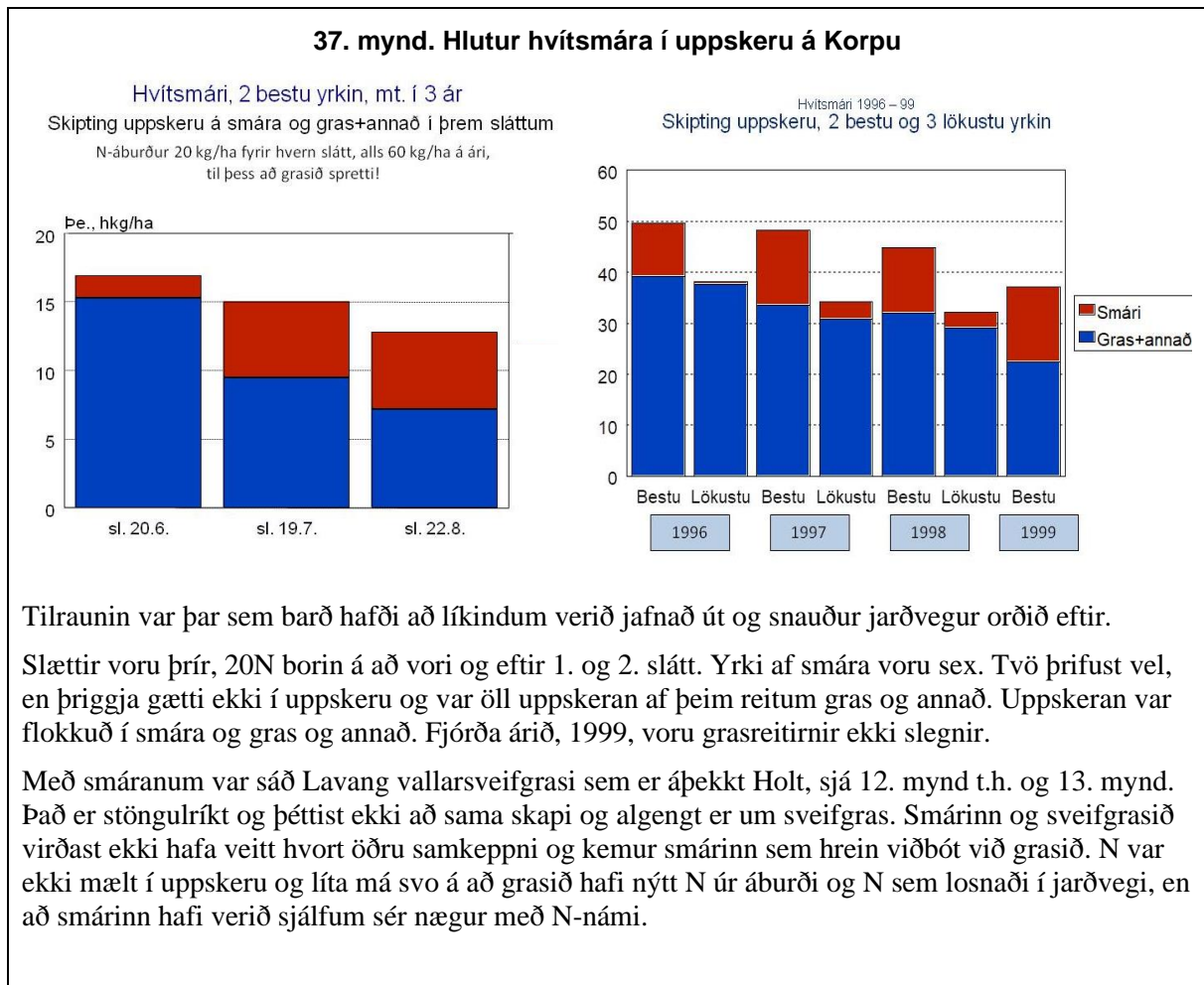
Skiptingu áburðar má nota í ýmsum tilgangi. Til þess að auka prótín í lokaafurð, t.d. í korni, til þess að dreifa upptöku N á lengri tíma og minnka með því hættu á útskolun, til þess að stjórna sprettu og gæðum, t.d. grass, til þess að laga áburðargjöf að árferði og bæta þar með nýtingu. Í stað þess að bera allan N-áburðinn á að vori eða í upphafi vaxtartíma má halda honum í lágmarki, en mæla seinna hvort skorts gæti.

Hvað verður um það nitur sem borið er á í kúabúskap á Írlandi? Með beit fara 50%, þar af flytjast 8% af ábornu í afurðirnar, 20% rjúka (lofttegundir), 20% bindast í jarðvegi sem lífrænt efni, 10% skolast út. Útskolun er talin vera $N_{út} = 0,13 \times N_{áb} - 3,2$ á bilinu 100-500 kg $N_{áb}$ /ha (Watson o.fl. 2001).

7.8 Hvítmári

Í umfjöllun hér á undan hafa belgjurtir orðið útundan. Afkastamestir við niturnám eru rótarhnúðargerlar sem lifa í sambýli á rótum belgjurta. Þeir geta gefið mjög mikið af sér, en þeir geta líka brugðist. Allmargar mælingar á niturnámi belgjurta hafa verið gerðar hér á landi, en mælingar á nitri í sýnum af uppskeru eru fremur fáar. Oft er meira en 90% niturs í ofanjarðarhlutum þeirra unnið úr lofti (Friðrik Pálmason 2013).

Hér er látin nægja 37. mynd sem sýnir hvítmára á fremur ófrjóum jarðvegi. Ekki virðist hafa verið samkeppni milli smárans og sveifgrassins, en nitur var ekki mælt í sýnum af uppskeru.



8 Tilraunir framtíðar

Tilraunir með áburð á liðinni öld voru að miklu leyti gerðar á og hugsaðar fyrir nýlega ræktað land og tún sem ekki hafði verið endurræktað. Stundum hefur þó val á tilraunamedferð mótast af því að tilraunirnar voru gerðar á endurræktuðu landi.

Oft var jarðvinnsla lítil umfram það að jafna landið, ýmist sjálfgrætt eða grasfræi sáð. Algengt er þó að vinnslan hafi náð dýpra, t.d. í 15 - 20 cm, og búfjáráburður stundum unninn niður í moldina fyrir sáningu. Í þeim tilraunum sem fjallað hefur verið um var áburði dreift ofan á. Þá safnast fosfór og kalí í yfirborðið, en dýpra, jafnvel neðan plógdýptar, gengur á kalí. Lág gildi á ammóníumlaktatleysanlegu P og K (P-Al og K-Al) neðan 5 cm í túni fundust í verkefni um móajarðveg á þremur stöðum á landinu þar sem sýni voru tekin (Hólmgeir Björnsson 2011).

Í framtíðinni er eðlilegt að gera ráð fyrir að rannsóknir á borð við þjónustuefnagreiningar á jarðvegi hafi verið gerðar á undan tilraunum með áburð, þótt meiri rannsóknir á jarðvegi geti verið æskilegar. Þegar meta á áhrif áburðar á einæran gróður eða tún nægir að hafa 3 eða 4 áburðarskammta, að meðtöldu 0N (eða 0P, 0K) ef það á við, til að finna feril áburðarsvörunar, annars vegar línulegan þátt og hins vegar hve mikið dregur úr áhrifum á sprettu með auknum áburði. Fjöldi endurtekninga þarf að meta. Endurtekningu má ná með því að bæta við meðferðarþætti, t.d. P- eða K-áburði í tilraun með N, en oft má gera ráð fyrir því að áhrif þáttanna séu óháð, þ.e. að víxlhrif séu engin. Þá nýtast þættirnir til fulls sem endurtekningar hvers á öðrum. Hver endurtekning tekur þó með því móti meira land og hætta er á að tilraunaskykkjan verði meiri. En þá má skipta tilrauninni í smáblokkir sem eru minni en heil endurtekning með samþættingu (*confounding*) smáblokkanna við vel valinn hluta af víxlverkun þátta. Ef þættir eru þrír væri það hluti af víxlverkun þriggja þátta. Þetta var gert með ágætum árangri í kartöflutilraunum 2004. Voru ekki aðrar endurtekningar en tvö til þrjú stig af þremur meðferðarþáttum, NPK (Hólmgeir Björnsson 2008, viðauki B).

Alltaf þarf að hafa í huga við val á tilraunalandi og þegar lega tilraunar á því er ákveðin að það sé sem jafnast. Ef vitað er um einhver skil skal sjá til þess að þau lendi á blokkamörkum. Í tilraunum með samanburð á kornyrkjum var reitum raðað hlið við hlið milli skurðbakka. Yrki voru mörg og skiptist ein endurtekning á nokkrar raðir. Frjósemi landsins breyttist eftir tilraunastykkinu endilöngu. Hver reitaröð milli skurða var því skilgreind sem smáblokk og breytileiki milli þeirra einangraður í uppgjöri með *reml*. Þó er óþarft að nota *reml* nema nokkur vísu sé um að munur sé á smáblokkum. Þegar yrkjum er skipt í smáblokkir skal gæta að jafnvægi í skipulagi svo að skekkjan á mismun yrkja verði sem jöfnust. Í góðum tölfræðiforritum á að vera hægt að fá hjálp við það. Þó má raða þannig að tvíraða eða sexraða yrki verði borin saman innbyrðis af meiri nákvæmni en tvíraða við sexraða svo dæmi sé tekið. Annað dæmi má nefna. Eitt árið fyllti tilraunin betur út í landið milli skurða en árið áður. Í ljós kom að reitirnir næst skurðinum þar sem ekkert korn var árið áður skáru sig úr. Þá var sett hjálparbreyta (*covariate*) inn í uppgjörið til að meta þetta frávik og leiðrétta fyrir því, en að vísu varð skekkjan á mismun yrkja meiri við það og breytileg. Völ er á allmörgum tilbrigðum af tilraunaskipulagi sem geta átt við ef bera á saman t.d. mörg yrki í sömu tilraun. Ekki skal farið út í þá sálma hér, en góð forrit eiga að geta leyst úr því.

9 Niturnýtni, samantekt

Eftir skoðun á fyrstu niðurstöðum útreikninga á áhrifum N-áburðar á upptöku niturs í tilraunum á túni árið 1975 var valið að miða við $2/3$ eða $0,67$ sem eðlilega eða góða nýtni niturs á túni. Í þessari grein koma fram niðurstöður úr seinni mælingum.

Á 8. mynd eru sýndar vikulegar mælingar 1979 og 1980 á grasvexti og upptöku niturs frá vori og fram í septemberbyrjun. Áburður var 120 kg N ha^{-1} , en ekki var samanburður með minni áburði eða án áburðar svo að hægt væri að reikna niturnýtni. Áburðartímar voru þrjár. Í tilraununum voru átta yrki af fjórum tegundum. Niðurstöður mælinga birtust í tilraunaskýrslu 1980, en að undanskildum línuritum sem sýna grasvöxt höfðu þær ekki verið birtar að nýju. Vallarfoxgras tók upp lítið nitur fyrr en borið var á, en vallarsveifgras og puntgrös mun meira.

Í fjórum haustáburðartilraunum var mæld upptaka af 60N , borið á á mismunandi tímum, til viðbótar 60N sem voru borin á alla liði um vorið. Fleiri tilraunaliðir voru í einni tilrauninni (12.-14. mynd). Tvær tilraunir voru á sömu reitum og áður nefndar klippingartilraunir eftir árs hvíld. Af N-áburði eftir slátt, viku af júlí, voru um 30% komin fram í grasi við næsta áburðartíma sem var seint í ágúst eða í byrjun september. Af N-áburði 17.–20. ágúst voru um 20% komin fram um jafndægur. Í þessum tilraunum var niturnýtnin $< 1/2$. Er það minna en í öðrum tilraunum, nema í þeim tilraunum með Kjarna þar sem hann hafði valdið súrnun á jarðvegi (3., 23., 24. mynd). Í hinum tveimur haustáburðartilraunum var landið vel þurrt, og þar var niturnýtnin meiri, um $2/3$ hjá vallarfoxgrasi. Nýtnin var minni hjá öðrum grastegundum, e.t.v. vegna þess að þær taka nitur ekki upp eins lengi fram eftir sumri. Einnig safna þær meira nitri í rætur. Þær fara að spretta á vorin áður en borið er á, þó misjafnt eftir tegundum og yrkjum af þeim, og má nýta þann eiginleika með því að bera á síðsumars eða haustið áður. Mest spratt Fylking vallarsveifgras.

Árleg gildi á niturnýtni í langtímatilraunum voru mjög breytileg því að sláttutímar voru ekki staðlaðir. Þá flytjast áburðaráhrif milli ára, en einnig voru ár þar sem niturnýtni var lítil, að líkindum vegna áburðartaps (29. mynd). Að slepptum 3 árum, sem voru afbrigðileg, var niturnýtni frá 75N til 120N í tilraun 19-54 á Skriðklaustri $73,2 \pm 3,5\%$ að meðaltali í 24 ár.

Niðurstöður sem hér birtast um eftirverkun áburðar eftir 11 ár í áburðartilraun á Sámstöðum (25. mynd), og um eiginleika jarðvegs á mismunandi dýpi og fjarlægð frá skurðbakka í tilraun á Skriðklaustri (33. mynd) hafa ekki birst áður nema að takmörkuðu leyti.

Hjá einærum gróðri með langan vaxtartíma getur verið meiri hætta á N-skorti vegna útskolunar en á túni vegna þess að snemma er borið á (bygg) eða jarðvegurinn er sendinn (kartöflur). Þá þarf aðferðir til að prófa fyrir skorti þegar líður á vaxtartímann.

Í lokaköflunum eru dregnar fram niðurstöður um upptöku niturs umfram áhrif áburðar og um nitur sem safnast í jarðveg. Einnig um söfnun N í mýrar og losun úr þeim og um mengun af N-samböndum sem losna úr jarðvegi og áburði. Sú spurning er ítrekuð frá fyrri greinum hvort um geti verið að ræða einhverja virkni í jarðvegi til að nema nitur úr andrúmslofti.

Heimildir

- Árni Snæbjörnsson, Ríkhart Brynjólfsson og Þorsteinn Guðmundsson 2006. Opið ræktarland og tap næringarefna. *Freyr* 102, 22-25.
- Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir og Jón Guðmundsson 2006. Binding kolefnis á landgræðslusvæðum. *Fræðaging landbúnaðarins 2006*, 245-248.
- Ball, R.P. og J.C. Ryden 1984. Nitrogen relationships in intensively managed temperate grassland. *Plant and Soil* 76, 23-33.
- Bjarni E. Guðleifsson 1997. Öndun grasa undir svelli. *Ráðunautafundur 1997*, 143-151.
- Bjarni Guðleifsson og E. Schnug 1990. The effect of soil pH on element-availability and element uptake by grasses grown on Icelandic peat soils. *Búvísindi* 4, 11-18.
- Bjarni Helgason 1975. Breytingar á jarðvegi af völdum ólíkra tegunda köfnunarefnisáburðar. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* 7, 8-19.
- Björn Þorsteinsson, Jóhannesson G.H., Thorlacius A. og Guðmundsson Th. 2019. Precipitation, runoff and nutrient losses from cultivated Histosols in western Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 32, 61-74.
- Dart, P.J. 1986. Nitrogen fixation associated with non-legumes in agriculture. *Plant and Soil*, 90, 303-334.
- Dobbie, K.E., I.P. McTaggart, K.A. Smith 1999. Nitrous oxide emissions from agricultural systems: Variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. *Journal of geophysical research*, 104, no. D21, 26.891-26.899.
- Friðrik Pálmason 2013. Plöntunæring og áburðarfræði, 238 bls. *Vefútgáfa LbhÍ*, maí 2013. ISBN 13 978-9979-881-19-3.
- Friðrik Pálmason, Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 2003. Nýting niturs í kornökum. *Ráðunautafundur 2003*, 173-177.
- Friðrik Pálmason, Halldór Þorgeirsson, Hólmfríður Sigurðardóttir, Hólmgeir Björnsson og Ólafur Arnalds 1996. Níturlosun í jarðvegi. *Búvísindi* 10, 185-206.
- Guðmundur Jónsson 1979. Skrá um rannsóknir í landbúnaði. *Rannsóknastofnun landbúnaðarins*, 428s.
- Guðni Þorvaldsson 2007. Nýting haustáburðar til sprettu. *Fræðaging landbúnaðarins 2007*, 295-300.
- Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 1990. The effects of weather on growth, crude protein and digestibility of some grass species in Iceland. *Búvísindi* 4, 19-36.
- Guðni Þorvaldsson, Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 2005. Veður og spretta túngrasa að vori. *Fræðaging landbúnaðarins 2005*, 356-359.
- Guðni Þorvaldsson, Þorsteinn Guðmundsson og Hólmgeir Björnsson, 2003. Langtímaáhrif mismunandi níturáburðar á uppskeru og jarðveg. Tilraun 19-54 á Skriðuklaustri. *Fjölrit RALA nr. 212*, 80 bls.
- Guðni Þorvaldsson og Þóroddur Sveinsson 2003. Reynsla bænda af korn- og græn fóðurrækt. *Ráðunautafundur 2003*, 160 – 168.
- Gunnar Ólafsson 1979. Efnainnihald og meltanleiki ýmissa túngrasa á mismunandi þroskastigi. *Fjölrit RALA nr. 42*, 20 bls.
- Gunnar Sigurðsson, Helgi Sigvaldason, Hólmgeir Björnsson, Ketill A. Hannesson, Páll Jensson og Sigfús Ólafsson 1980. Reiknilíkan af mjólkurframleiðslu kúabúa. *Fjölrit RALA nr. 56*, 80 bls.
- Havlin, John, Tisdale, Samuel L., Nelson, Werner L., Beaton, James D. 2013. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management 8. útgáfa, 516s.

- Hlynur Óskarsson, Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson og Grétar Guðbergsson 2004. Organic carbon in Icelandic Andosol: geographical variation and impact of erosion. *Catena* 56, 225-238.
- Hólmgeir Björnsson 1975a. Uppspretta og nýting köfnunarefnis. *Freyr* 71, 242-245.
- Hólmgeir Björnsson 1975b. Köfnunarefni og grasspretta. *Freyr* 71, 330-337.
- Hólmgeir Björnsson 1976. Þurrefnisákvörðun í jarðræktartilraunum. Jarðræktartilraunir, Ársskýrsla I 1975. *Rannsóknastofnun landbúnaðarins*, 1-6.
- Hólmgeir Björnsson 1978. Niðurstöður tilrauna með kalksaltpétur og Kjarna. *Ráðunautafundur 1978*, 256-262.
- Hólmgeir Björnsson 1979. Köfnunarefnisjafnvægi í ræktarjörð. Frá tilraunum á Rothamsted. *Freyr*, 75, 801-805.
- Hólmgeir Björnsson 1980a. Áburðartap. *Freyr* 76, 462-470. Athugasemd á 515. bls.
- Hólmgeir Björnsson 1980b. Niturnám gróðurs úr andrúmslofti. *Freyr*, 76, 104-110.
- Hólmgeir Björnsson 1987. Vinnsla sólarorku í landbúnaði og nýting hennar. *Náttúrufræðingurinn*, 57, 145-155.
- H.[Hólmgeir] Björnsson 1998a. Application of nitrogen fertilizers in autumn. Í *Ecological Aspects of Grassland Management. Proceedings of the 17th General Meeting of the European Grassland Federation*. Debrecen, Hungary, Agricultural University Debrecen, May 18-21, 1998 (G. Nagy og K. Petö eds.): 639-642.
- Hólmgeir Björnsson 1998b. Dreifing áburðar síðsumars og að hausti. *Ráðunautafundur 1998*, 141-154.
- Hólmgeir Björnsson 1998c. Dreifingartími áburðar. *Freyr* 94, 6. hefti, 18-22, 25.
- H.[Hólmgeir] Björnsson 2000. Nitrogen use of grass in Iceland in relation to soil and climate. Í: *Crop development for the cool and wet regions of Europe. Achievements and future prospects* (ritstj. Parente, G. & Frame, J.). COST Action 814, Proceedings of the final conference, Pordenone, Italy, 10-13 May 2000, 431-435.
- Hólmgeir Björnsson 2001. Viðhald næringarefna í túnækt. *Ráðunautafundur 2001*, 51-64. .
- Hólmgeir Björnsson 2004a. Niturþörf kartaflna. *Fræðaping landbúnaðarins 2004*, 306-310.
- H.[Hólmgeir] Björnsson 2004b. Mineralisation of nitrogen in relation to climatic variation and soil. Í D.J. Hatch, D.R. Chadwick, S.J. Jarvis, R.A. Roker (ritstj.) *Controlling nitrogen flows and losses*, Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 140-142.
- Hólmgeir Björnsson 2007a. Áhrif brennisteins- og fosfóraburðar á vöxt alaskalúpínu og bindingu kolefnis í jarðvegi. *Fræðaping landbúnaðarins 2007*, 384-391.
- Hólmgeir Björnsson 2007b. Fertilization of Nootka lupin (*Lupinus nootkatensis*) for biomass production and carbon sequestration. *Icelandic Agricultural Sciences*, 20, 81-92.
- Hólmgeir Björnsson 2008. Tilraunir með áburð á kartöflur 2004 og yfirlit yfir niðurstöður tilrauna 1950 - 2004. *Rit Lbhí 17*, 69 bls. (English summary: Fertilizer experiments with potatoes 2004 and compilation of results 1950-2004).
- Hólmgeir Björnsson 2011. Verkefni um móajarðveg 2002 - 2005. II: Efni í jarðvegi. *Fræðaping landbúnaðarins 2011*, 437-440.
- H.[Hólmgeir] Björnsson og Áslaug Helgadóttir 1988. The effects of temperature variations on agriculture in Iceland. Section 3: The effects on grass yield, and their implications for dairy farming. Í: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture. Vol. 1 Assessments in Cool Temperature and Cold Regions* (M. L. Parry, T. R. Carter og N. T. Konijn ritstj.). *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*: 445-474. 275-276
- Hólmgeir Björnsson og Friðrik Pálmason 1994. Áhrif áburðar- og sláttutíma á efnainnihald í grasi. *Ráðunautafundur 1994*, 193-205. Leiðréttingar á 4 bls.
- Hólmgeir Björnsson, Friðrik Pálmason og Jóhannes Sigvaldason 1975. Jord, gödsling och gräsproduktion. *NJF*, 57, 169.-174. Erindi á aðalráðstefnu NJF í Reykjavík í júní 1975.

- H.[Hólmgeir] Björnsson, Th. Gudmundsson and G. Thorvaldsson 2001a. Rhizospheric N-fixation in Icelandic grassland. *11th Nitrogen Workshop, Book of Abstracts*, 9–12 September 2001, Reims, France.
- H.[Hólmgeir] Björnsson, Th. Gudmundsson and G. Thorvaldsson 2002. Long-term organic carbon accumulation in an andic gleysol in Iceland. *NJF seminar no 342: Agricultural soils and greenhouse gasses in cool-temperate climate*. Reykholti 31.7.-2.8. 2002. Veggspjald með útdrætti.
- Hólmgeir Björnsson, Guðni Þorvaldsson og Þorsteinn Guðmundsson 2001b. Efnajafnvægi í langtímatilraun með tegundir nituráburðar á Skriðuklaustri. *Ráðunautafundur 2001*, 292-295.
- Hólmgeir Björnsson, Jóhannes Sveinbjörnsson og Jónatan Hermannsson 2002. Þroski og fóðurgildi korns. *Ráðunautafundur 2002*, 93–104.
- Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987. Áburðartími, skipting áburðar og sláttutími. *Ráðunautafundur 1987*, 77-91.
- Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1989. Pasture production and quality in a cool oceanic climate. *XVI International Grassland Congress, Nice, France*, 1453-1454.
- Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1983. Dreifing áburðar síðsumars og að hausti. *Freyr*, 79, 665.-667.
- Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1990. Samstarfsverkefni Evrópulanda um mælingu á vaxargetu túngrasa. *Freyr* 86, 660-663.
- Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson 1978. Samanburður köfnunarefnisáburðartegunda á túnnum I. Uppskeyra og efnainnihald grasa í mýrartúni á Hvanneyri. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir*, 10,1, 34-71.
- Hólmgeir Björnsson, Þorsteinn Guðmundsson og Guðni Þorvaldsson 2018. Áhrif nituráburðar og nýting hans í langtímatilraun á snauðri sandjörð. *Skrína* 4(1): 1-16 (www.skrina.is).
- Járngerður Grétarsdóttir 2002. Long-term effects of reclamation treatments on plant succession at two localities in Iceland. *Cand. Scient. Thesis*, Botanical Institute, University of Bergen, 82 bls.
- Jónatan Hermannsson og Hólmgeir Björnsson 2002. Forræktun fyrir korn. *Ráðunautafundur 2002*, 249–251.
- van Keulen H 2000. Efficiency of nitrogen use. Í *Crop developments for the cool and wet regions of Europe COST 814. Workshop on N-use efficiency*, June 2-5, 1999, Melle, Belgium (L Carlier, JV Waes, AD Vliegheer, L Gevaert, K Pithan eds.), 18-19.
- Laughlin, R.J. og R.J. Stevens 2001. Evidence for fungal denitrification in soils. *Nitrogen Workshop*, 9 – 12 September 2001, Reims, France. Book of Abstracts. 129 – 130.
- Ledgard, S.F. 2001. Nitrogen cycling in low input legume-based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant and Soil* 228, 43-59.
- Magnús Óskarsson og Þorsteinn Þorsteinsson 1964. Áhrif kalks, kalksaltpéturs og Kjarna á sprettu og efnamagn grasa. *Ársrit Ræktunarfélags Norðurlands* 63, 83-109.
- Morrison, J. 1980. The influence of climate and soil on the yield of grass and its response to fertilizer nitrogen. In: WH Prins og GH Arnold (ritstj.) The role of nitrogen in intensive grassland production. *Proceedings of an International Symposium of the European Grassland Federation*, Wageningen, 51 – 57.
- Ólafur Arnalds 2004. Hin íslenska jarðvegsauðlind. *Fræðaðing landbúnaðarins 2004*, 94-103.
- Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson og Sigmundur Helgi Brink 2013. Nitur í úthagavistkerfum á Íslandi. *Landsýn – vísindaðing landbúnaðarins*, haldið á Hvanneyri 8. mars 2013. Ágrip erinda og veggspjalda. http://sql.lbhi.is/skrina/sites/default/files/gogn/vidhengi/2013/Landsyn_2013_agrip.pdf.
- Óskar B. Bjarnason 1966. Íslenskur mór. *Rit iðnaðardeildar*.

- Penman, H.L. 1971. Water as a factor in productivity. Í: *Potential Crop production. A case study*. Edited by P.F. Wareing and J.P. Cooper, 89-171.
- Ríkharrð Brynjólfsson 1994. Áhrif háarsláttar á uppskeru og gæði heyja. *Ráðunautafundur* 1994, 206-213.
- Ríkharrð Brynjólfsson 1996. Áhrif áburðartíma, áburðarmagns og sláttutíma á uppskeru og efnamagn túngrasa. *Ráðunautafundur* 1996, 113-123.
- Ríkharrð Brynjólfsson 2005. Þróun N-svörunar í langtímatilraunum á Hvanneyri. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2005, 436-437.
- Sigfús Ólafsson 1978. Samanburður köfnunarefnisáburðartegunda á tünnum II. Áhrif Kjarna og kalksaltþéturs á efnamagn í mýrarjarðvegi. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir*, 10,1, 72-82.
- Stouman Jensen, Lars og Søren Hustad 2006. Applied Plant Nutrition, 331 bls. Birt á vef LbhÍ sem handrit með fyrirvaranum: *Only for use and limited distribution at The Agricultural Univ, of Iceland 2008*.
- Sunna Áskelsdóttir og Þorsteinn Guðmundsson 2011. Uppsöfnun og tap á C og N úr langtímatilraunum á Sámsstöðum og Geitasandi. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2011, 418-421.
- Watson, C.J., P. Poland og M.D.B. Allen. *Nitrogen Workshop*, 9 – 12 September 2001, Reims, France. Book of Abstracts. Organic N and C accumulation in grassland soil, 377 – 378.
- Þorsteinn Guðmundsson 1994. Jarðvegsflokkun FAO með hliðsjón af íslenskum aðstæðum. *Fjölrit Rala* 167. 38 bls.
- Þorsteinn Guðmundsson 2008. Kolefnisbinding í jarðvegi. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2008, 290-298.
- Th.[Þorsteinn] Guðmundsson, H. Björnsson and G. Thorvaldsson 2004. Organic carbon accumulation and pH changes in an Andic Gleysol under a long-term fertilizer experiment in Iceland. *Catena* 56, 213–224.
- Þorsteinn Guðmundsson, Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2006. Áhrif N-áburðar á efnasamsetningu jarðvegs. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2006, 190-196.
- Þorsteinn Guðmundsson, Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2007. Langtímatilraunir í jarðrækt, hlutverk og dæmi um áhrif N-áburðar á auðleyst næringarefni. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2007, 287-294.
- Th[Þorsteinn] Guðmundsson, Sunna Áskelsdóttir og Guðni Thorvaldsson 2013. Long term effects of fertilization on SOC in Icelandic Andosols under Grassland. Proceedings of the International conference *SOIL CARBON SEQUESTRATION, for climate, food security and ecosystem services*. Reykjavík, Iceland, May 26.-29. 2013, 144-148.
- Þorsteinn Guðmundsson, Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 2018. Langtímaáhrif nituráburðar á kolefni, nitur og auðleyst næringarefni í snauðri sandjörð. *Skrína* 4(2): 1-11 (www.skrina.is).
- Þóroddur Sveinsson 2010. Áburðarsvörun í tünnum með mismunandi ræktunarsögu. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2010, 197-206.
- Þóroddur Sveinsson og Hafdís Sturlaugsdóttir 2006. Áburðaráhrif mykju og árangur ísáningar með DGI niðurfellingarbúnaði - I. Áburðaráhrif. *Fræðaðing landbúnaðarins* 2006, 149-163.
- Enn fremur:
- Jarðræktartilraunir 1981. *Fjölrit Rala* nr. 85, 93 bls
- Jarðræktarrannsóknir 2001. *Fjölrit Rala* nr. 210, 70 bls.

Viðauki: Uppskeruauki við N-áburði samkvæmt ldl-ferli

Til að finna feril uppskeruauka við N-áburði var notuð meðaluppskera í 7 langtímatilraunum á tilraunastöðvum jarðræktar í 19–30 ár til 1974 (Hólmgeir Björnsson 1975b). Í 1. töflu eru helstu upplýsingar um tilraunirnar, m.a. þeir skammtar N-áburðar sem notaðir voru og uppskera án N-áburðar (0 kg N/ha)². Einnig er sýnd reiknuð uppskera við 0 kg N/ha samkvæmt annarrar gráðu líkingu, og við ótakmarkaðan áburð samkvæmt **ldl**-ferli, báðir ferlarnir skýrðir hér á eftir. Úr tilraunum með samanburð N-áburðartegunda eru aðeins notaðir reitir með Kjarna (ammóníumnítrat) og liður án N-áburðar, þrjár tilraunaliðir. Slík tilraun var einnig á Sámsstöðum, en þar breyttust áburðarskammtar á tilraunatímanum og því var hún ekki tekin með.

1. tafla. Langtímatilraunir til 1974 með N-áburð á tilraunastöðvunum. Meðaltal við 0N, reiknuð uppskera við 0N skv. 2. gráðu ferli og hámark uppskeru skv. ldl

	Tilraun	Árabil	Tilraunaliðir, N kg/ha	Þe. hkg/ha við 0 kg N/ha	Reiknuð uppskera	
					við 0N, 2. gr.	hámark, ldl
Skriðuklaustri	21-54	54-74	0, 40, 80, 120	29,2	29,9	90,8
	19-54	54-74	0, 75, 120	51,7	48,7	109,6
Akureyri	21-54	54-74	0, 40, 80, 120	26,6	27,7	88,6
	5-45	45-74	0, 55, 82	26,4	27,9	89,0
Reykholum	8-51	52-74	0, 40, 80, 120	30,0	29,2	90,0
	9-53	53-74	0, 75, 120	28,0	29,4	90,4
Sámsstöðum	16-56	56-74	0, 25, 50, 75, 100	28,1	27,5	88,4

Ferill uppskeruaukans samkvæmt annarrar gráðu líkingu³ er

$$Y = A_i + 0,36N - 0,00113N^2; s_{y,x} = 1,48$$

þar sem uppskeran er mæld í hkg þurrefnis á ha. Gert er ráð fyrir því að uppskera tilraunanna fylgi samsíða ferlum, A_i er uppskera tilraunar i , $i=1, 2 \dots 7$, við 0 kg N/ha, og $s_{y,x}$ er staðalfrávik gilda frá ferlinum. Annarrar gráðu líking hefur þann galla að ferillinn hefur hámark og fer reiknuð uppskera því lækkandi ef N-áburður fer umfram það hámark. Til þess að komast hjá því var í fyrri grein einnig reiknaður uppskeruferill samkvæmt kvaðratrótarlíkingu, sem er laus við þennan galla, og meðaltal þeirra reiknað.

Að jafnaði má reikna með að uppskeran stefni að hámarki með auknum áburði ef ekki koma til neikvæð áhrif áburðar, t.d. á jarðveg eða að hlutföll milli næringarefna séu óheppileg. Áhrifin fylgja þá lögmálinu um minnkandi vaxtarauka. Með þeirri reiknitækni, sem aðgengileg var langt fram eftir liðinni öld, voru útreikningar oft einfaldaðir. Með margliðu af annarri gráðu eins og hér var notuð var útreikningum komið á línulegt form. Önnur líking, sem mikið var notuð, er veldisvísiferill (*exponential*) sem stefnir á aðfelli (*asymptot*) og var oft kenndur við Mitscherlich. Hún var einfölduð með hjálp línurits (grafískt). Nú er slík einföldun óþörf. Meðal ferla, sem nú eru aðgengilegir, eru ferlar á forminu margliða deilt með margliðu. Sá einfaldasti,

² Sjá Jarðræktartilraunir, Ársskýrsla I 1974. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, og aðrar skýrslur um jarðræktartilraunir.

³ Í áður birtri heimild var uppskera gefin sem hey með 85% þurrefni og eru stuðlar sem hér birtast því 15% lægri.

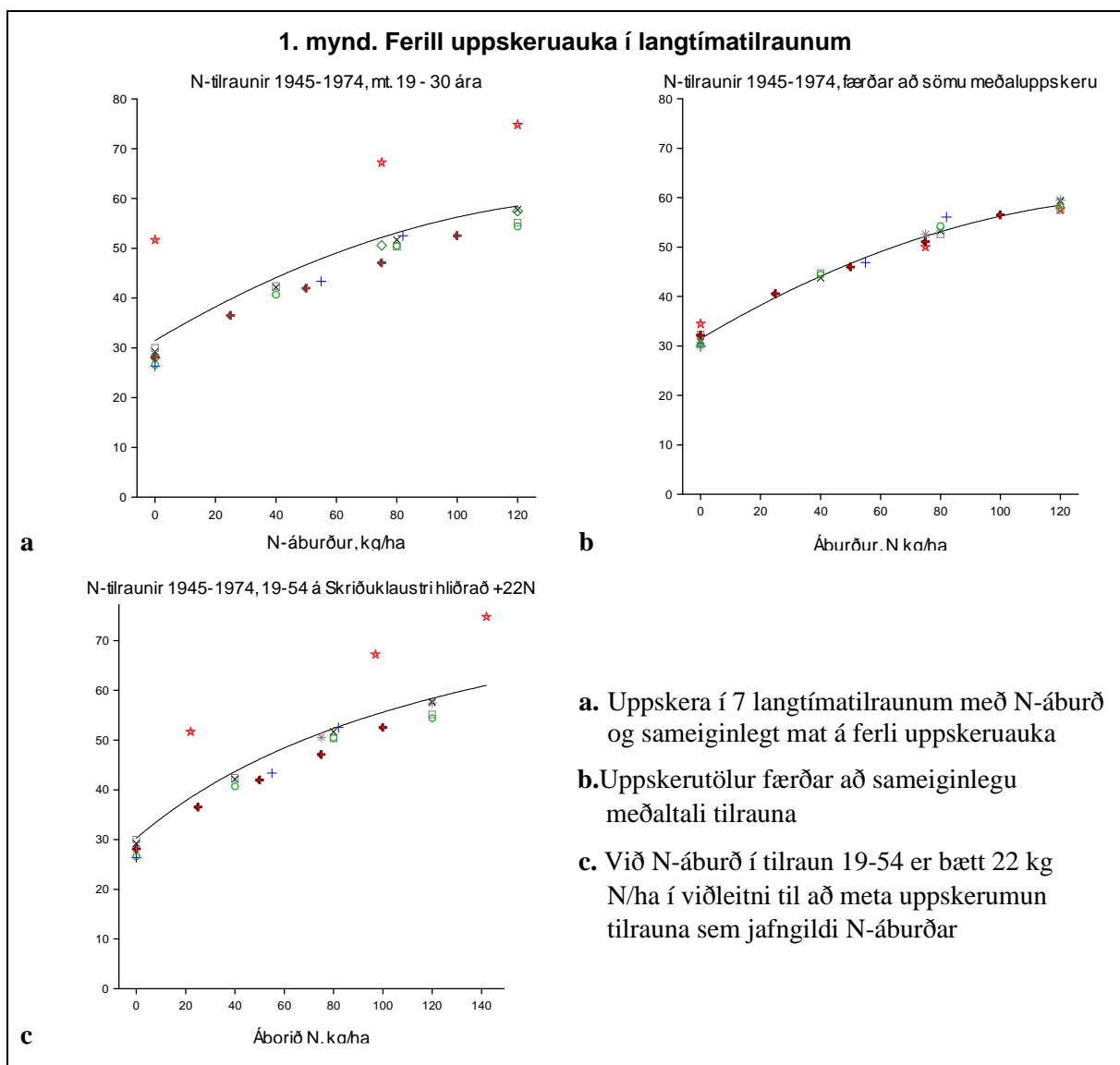
línuleg deilt með línulegri, **ldl**⁴, hefur reynst vel sem ferill svörunar við N-áburði. Samsíða ldl-ferlar eru á forminu

$$Y = A_i + \frac{B}{1 + D \times N}$$

þar sem A_i táknar nú aðfelli tilraunar i , þ.e. þá uppskeru sem fæst þegar áburður er með öllu hættur að vera takmarkandi fyrir uppskeru, og B og D eru aðhvarfsstuðlar ferilsins. Þegar þessu líkani er beitt á sömu gögn og áður er niðurstaðan

$$Y = A_i + \frac{-61,0}{1 + 0,00675 \times N}; s_{y..x} = 1,50.$$

Á 1. mynd **a** er ferillinn sýndur við meðaluppskeru allra tilraunanna. Á 1. mynd **b** hafa uppskerutölur verið færðar að meðaltali tilrauna og sýna því dreifinguna um ferillinn.



⁴ Það er líking hýperbólú. Önnur tilbrigði af margliðu deilt með margliðu, sem eru valkostur í forriti eins og Genstat, eru kvaðratísk deilt með línulegri, **qdl**, og kvaðratísk deilt með kvaðratískri, **qdq**.

Hámark uppskeru í hverri tilraun samkvæmt þessum ferli í hverri tilraun er í 1. töflu og uppskeruauki á mismunandi bili í 2. töflu. Staðalfrávik frá báðum ferlunum eru næstum jöfn. **ldl** fellur því álíka vel að gögnunum og annarrar gráðu líking, en ástæða er til að ætla að ekki sé eins varasamt að framlengja **ldl** út fyrir það svið sem prófað var í tilraununum, þ.e. við $N > 120$. Þeir punktar sem mest víkja frá sameiginlegum ferli er uppskera við 0 kg N/ha í 19-54 og við 82 kg N/ha í 5-45. Báðir punktarnir liggja ofan reiknaðs ferils eins og greina má á 1. mynd **b**.

2. tafla. Aukning á uppskeru þurrefnis að meðaltali á mismunandi bili N-áburðar, kg/kg N, reiknuð samkvæmt **ldl**-ferli.

Bil áburðar	þe. kg/kg N
0 – 40	32,4
40 – 80	20,1
80 – 120	14,8
120 – 160	10,9

Í öllum þessum tilraunum var uppskera mæld lengi eftir 1974, í 16-56 til 2004. Í útreikningum sem hér fara á eftir eru þó ekki notuð nýrri meðaltöl þar sem tilgangurinn er að kanna eiginleika aðferðarinnar en ekki að finna betra mat á stuðlum. Meðal þess sem gerir uppskerutölur óvissar er mælingin á þurrefni. Hún hefur breyst allmikið á tilraunatímanum. Ætla má að á fyrri árum hafi sýni oft verið linþurr borið saman við það sem síðar varð, þegar góðir þurrkskápar höfðu verið teknir í notkun (Hólmgeir Björnsson 1976). Uppskeruaukinn mælist meiri ef sýnin eru linþurr, en óvíst er að sú skekkja raski ekki þeim samanburði sem hér fer á eftir.

Aðhvarfslíkingu, fundna með **ldl**, má leysa til að finna til hvaða N-áburðar uppskera án N-áburðar í tilraun i svarar,

$$N_{j_i} = \frac{-A_i - B}{A_i * D}$$

(ath. að stuðlarnir A og B hafa jafnan gagnstæð formerki). Algengt er að skýra uppskerumun tilrauna sem mismun á losun niturs í jarðvegi. Er þá gert ráð fyrir að í hverri tilraun hafi það nitur sem losnar sömu áhrif á uppskeru óháð því hvað mikið var borið á. Í tilraun nr. 19-54 fæst $N_j = 66$, en 47 að meðaltali í hinum (frá 45,9 til 48,6), það munar 19 kg N/ha.

Til að prófa annað form ferils var bætt mismiklu N við áborið magn í tilraun nr. 19-54 til að jafna mun tilrauna vegna losunar og fundið með ítrun hvaða viðbót gefur lágsta ferningstölu-summu frávíka (*least squares*, aðferð minnstu ferninga). Í 3. töflu er ágríp af niðurstöðum.

3. tafla. Uppskeruferill með **ldl** þegar niðurstöðum úr tilraun nr. 19-54 hefur verið hliðrað með því að bæta mismiklu við áborið magn niturs, ágríp af niðurstöðum ítrunar, frítölur afgang 17.

Hliðrun	Afgangur, meðalfervik	Aðfella, A_i	
		19-54	Mt. 6 tilr.
0	2,26	109,9	89,5
+10	1,61	105,2	87,4
+15	1,46	104,9	88,2
+19	1,40	105,2	89,4
+22	1,39	105,6	90,4
+25	1,40	106,2	91,6
+30	1,45	107,3	93,7

Samkvæmt 3. töflu fellur best að gögnunum að bæta 22 kg N/ha við áborið magn í 19-54, sjá 3. mynd **c**, en áhrifin á afgangsbreytileika eru óveruleg þótt aðeins sé bætt við 19 kg N/ha eins og munaði samkvæmt upphaflegum ferli. Þegar viðbótin í 19-54 er 19 kg N/ha er $B = -61,3$ og $D = 0,00713$, þá verður $N_j = 59$ í 19-54 og 37 í hinum tilraununum að meðaltali, þ.e. mismunur aðfellanna er jafnmikill og áður. Hvorki tókst því að jafna mismun uppskeru né mismun á N_j með hliðrun. Þess var þó varla að vænta. Ef sú viðbót við áborið N, sem losun úr jarðvegi gefur, fylgdi lögmálinu um minnkandi vaxtarauka af nitri ætti uppskeruaukinn frá 75 í 120 kg N/ha að vera minni en í öðrum tilraunum. Svo er ekki. Niðurstöður úr 19-54 víkja einkum frá á þann veg að uppskera við 0 kg N/ha liggur ofan ferilsins. Skýring þess gæti verið að við 0N hafi meira nitur verið aðgengilegt úr jarðvegi en við meiri N-áburð. Í tilraunaskýrslum er stundum getið um smára í reitum án N-áburðar og jafnvel við 40 kg N/ha, en þær niðurstöður, sem hér er unnið úr, benda ekki til að áhrif hans hafi verið nægileg til að þau komi fram sem frávik frá sennilegum uppskeruferli nema e.t.v. í einni tilraun.

Þótt litlu muni á tilraunum öðrum en nr. 19-54 má skipta þeim í tvo flokka þannig að enn minna muni á uppskeru í hvorum flokki:

- I. 21-54 (Akureyri), 5-45, 16-56,
- II. 21-54 (Skriðuklaustri), 8-51, 9-53.

Hér á eftir er farið með tilraunir í hvorum flokki sem ein tilraun væri. Reynt var að færa þessa flokka saman með því að auka við N í seinni flokknum og eru valdar niðurstöður í 4. töflu. Án slíkrar viðbótar er $B = -60,8$ og $D = 0,00714$, $NI = 43,2$ og $NI = 45,1$. Mismunurinn svarar til um 2 kg N/ha. Hins vegar þarf að bæta við 7 kg N/ha við áborið nitur í II. flokki til að jafna uppskerumun, en þá eru líka staðalfrávik frá ferlinum farin að vaxa til marks um að þetta mikil hliðrun falli ekki að gögnunum. Mismunur þessara tveggja flokka tilrauna er þó of lítill til þess að draga megi miklar ályktanir af þessum reikniæfingum.

4. tafla. Stuðlar með **ldl** sem fást þegar niðurstöðum úr tilraunum í flokki II er hliðrað með því að bæta mismiklu við áborið magn niturs. Frítölur afgangsu eru 19.

	Hliðrun	Afgangur, meðalfervik	Aðfella, A_i	
			I	II
	0	1,25	88,0	89,7
	+2	1,24	88,6	89,9
	+4	1,25	89,8	90,5
	+6	1,30	91,3	91,5
	+7	1,33	92,2	92,2
	+8	1,36	93,2	92,9
	+10	1,45	95,4	94,6
Sleppt 0N, þ.e. liðum með 0 kg N/ha, 13 frítölur	+0	1,50	83,2	84,9

Til þess að skoða betur hvernig **ldl**-ferillinn dugur til að lýsa sambandi uppskeru og N-áburðar eru í neðstu línu 4. töflu niðurstöður þar sem sleppt er öllum uppskerutölum við 0 kg N/ha. Þá hækkar meðalfervik frávíka. Nánari skoðun á niðurstöðum sýndi að það er uppskera við 82 kg N/ha í 5-45 sem veldur um 40% fertölusummunnar. Eykur hún sveigju ferilsins. Ef 0 kg N/ha er sleppt verða áhrif þessa gildis enn meiri og gildi aðfellunnar (A_i) lækkar (neðsta lína). Þegar umræddu gildi er sleppt lækkar meðalfervikið (sbr. 1. l.) í 0,79. Með því að skoða gögnin nánar var staðfest að ekki er að öðru leyti um að ræða tilhneigingu til að reitir án N-áburðar gefi meiri uppskeru en framlengdur ferill sem er takmarkaður við ábornu reitina. Þess hefði þó mátt vænta ef niturnám rótarhnúðagerla legði til umtalsvert nitur.

Niðurstaðan er að uppskerutölur í tilraunum með vaxandi N-áburð falli vel að samsíða ldl-ferlum þegar tekið hefur verið meðaltal yfir langt tímabil, hér 19 – 30 ár. Tvö frávik eru stærst, en ekki svo samstæð að þau styðji aðra kenningu. Allar gefa þessar tilraunir mikla uppskeru án N-áburðar. Samkvæmt ferlinum jafngildir það 47 kg N/ha í áburði að meðaltali í 6 tilraunum, en ein tilraun sker sig verulega úr og þar jafngildir uppskera án N-áburðar 66 kg N/ha í áburði. Hins vegar var upptakan meiri en þetta svo að ljóst er að jarðvegurinn hefur gefið meira af sér. Niðurstöður reiknilauna með að hliðra tilraunum eftir uppskeru án N-áburðar féllu ekki að þeirri hugmynd að áhrif niturs úr áburði séu eins og framlenging af áhrifum niturs úr jarðvegi, en svara fremur til þess að áhrif áburðar séu óháð aðgengi grass að nitri í jarðvegi. Af þessum tilraunum voru þó sex helst til nálægt hver annarri til að reyna á þessa kenningu.