

Áhrif nituráburðar á uppskeru af grasi og nýting hans í langtímatilraun á snauðri sandjörð

Hólmgeir Björnsson*, Þorsteinn Guðmundsson og Guðni Þorvaldsson
Landbúnaðarháskóla Íslands

Ágrip

Tilraun með N-áburð á nýræktartúni á Geitasandi hófst 1958 og stóð til 2007. Umfjöllun takmarkast við 1959 – 2006. Áburðarliðir voru 50, 100, 150 og 200 kg N ha⁻¹ á ári. Grunnáburður var 53 kg P og 100 K ha⁻¹ á alla liði. Að vori voru borin á 50N eða 100N og N-áburður umfram 100N borinn á eftir fyrri slátt. Áhrif áburðar á hlutdeild háplöntutegunda í þekju voru lítil eftir 17 ár. Í lok tilraunar hafði túnvingull aukið hlutdeild sína á kostnað vallarsveifgrass og língresis við 50N og 100N. Úthagagróður var farið að gæta við 50N. Uppskeran af 50N var minni en vaxtaraukinn frá 50N til 100N. Nitur var mælt í samsýnum áburðarliða í 14 ár. Í 11 ár fengust ógallaðar mælingar úr tveimur sláttum og var meðalupptaka niturs 58% af 50N og 75% af aukningu úr 50N í 100N, en 62% af +50N eftir slátt. Reiknuð upptaka allan tilraunatímamann var 52% af 50N og 79% af aukningu 50N til 100N. Gildi á N% sem vantaði voru reiknuð eftir aðhvarfi að sláttudegi. Samkvæmt fyrri rannsóknum má vænta upptöku á tveimur þriðju hlutum N-áburðar á gras við góðar aðstæður. Upptaka eftir 50N var mikið minni í 4 ár af 14 og jafngildir það því að söfnun niturs úr áburði í jarðveg hafi verið umfram losun, en aukning upptöku frá 50N til 100N var eftir væntingum þessi ár. Í önnur 4 ár var N-upptaka frá 50N til 100N um 100% og sýnir það aukið aðgengi að nitri við 100N umfram áburð. Aðeins eitt ár benti upptaka af 50N til aðgengis að nitri umfram áburð. Gróf samsvörun fannst milli neikvæðra og jákvæðra fráviks í N-upptöku og óhagstæðrar og hagstæðrar vorkomu.

Efnisorð: niturnýtni, nitursnauður jarðvegur, skipting áburðar, túngróður

Abstract

Long-term effects of N fertilisation on grass yield and nitrogen use efficiency on a marginal sandy soil

An experiment with N-fertiliser on freshly sown permanent grass was performed on previously bare sandy soil at Geitasandur beginning 1958 and ended 2007. Results of yield measurements 1959 – 2006 are used. The treatments were 50, 100, 150 and 200 kg N ha⁻¹ annually. In spring 50 and 100 kg N were applied, and nitrogen exceeding 100 kg N after the first cut. The first 17 years of fertilisation had little effect on vascular plants composition. At the end of the experiment, on treatments with 50N and 100N, arctic fescue (*Festuca richardsonii*) had increased on expense of common meadow grass (*Poa pratensis*) and bentgrass (*Agrostis sp.*), and native vegetation had increased in the 50N treatment. The

* holmgeir@lbhi.is

yield of the 50N treatment was lower than the yield increase from 50N to 100N. Nitrogen in forage samples, composite over replicates, was determined in 14 years. For 11 years with complete results in two cuts the N-uptake was 58% and 75% for 50N and the increase from 50N to 100N respectively. Estimated for the whole experimental period, the respective values were 52% and 79%, missing N% was estimated with regression on cutting date. Based on earlier results two thirds of applied N can be expected to be taken up under normal conditions. In this research the N-uptake after 50N was far less in 4 years of 14 which is equivalent to the accumulation in soil of fertiliser nitrogen in excess of nitrogen mineralisation, while increased uptake from 50N to 100N was according to expectation these years. For another four years the increased N-uptake from 50N to 100N was about 100%, indicating increased access to nitrogen at 100N in excess of fertilisation in spring. In one year only the N-uptake at 50N indicated nitrogen supply in excess of fertilisation. Negative and positive deviations in N-uptake corresponded roughly to poor and good conditions in spring, respectively.

Key words: nitrogen use efficiency, nitrogen deficient soil, split application, sward composition

Inngangur

Á Rangárvöllum hafa verið ógrónir sandar eins lengi og heimildir herma. Þeirra er líklega fyrst getið í Njáls sögu sem talin er rituð í lok 13. aldar (Arnór Sigurjónsson 1958). Árið 1940 var 42 ha spilda af örfoka landi á Geitasandi í landi Stóra-Hofs afgirt á vegum félags undir forustu Klemenzar Kr. Kristjánssonar, tilraunastjóra á Sámstöðum. Tilraunaráð jarðræktar eignaðist svæðið árið 1947 (Árni Jónsson 1951). Þar hafa verið gerðar margvíslegar tilraunir og ræktunarránsóknir og er það eitthvert snauðasta svæðið þar sem slíkar rannsóknir hafa verið gerðar hér á landi. Árið 1958 hófust þrjár langtímatilraunir með áburð á vegum Tilraunaráðs jarðræktar og tilraunastöðvarinnar á Sámstöðum. Sáð var grasfræi og gerð var ein einföld tilraun með hvert aðalnæringarefnanna, N, P og K, og ríflega borið á af hinum svo að tryggt yrði að þau skorti ekki. Seinna kom í ljós að brennisteinsskortur er útbreiddur á Íslandi, einkum þar sem lífrænt efni í jarðvegi er lítið eins og á Geitasandi (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Þótt ríflega væri borið á af þrífosfati hefur það ekki nægt til að koma í veg fyrir brennisteinsskort í þeirri tilraun sem hér er fjallað um, a.m.k. þegar mikið var borið á af N-áburði (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2018).

Tilraunastöðin á Sámstöðum varð hluti af Rannsóknastofnun landbúnaðarins árið 1965 og féll undir jarðræktardeild stofnunarinnar. Uppskerutölur birtust í tilraunaskýrslum sem komu út nær árlega og voru endurbirtar í sérstakri skýrslu (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Tilraunastöðin var lögð niður árið 1994 og frá því sáu starfsmenn jarðræktardeildar Rala og síðar Landbúnaðarháskóla Íslands um framkvæmd tilraunanna. Tilraununum lauk haustið 2007 með því að tekin voru jarðvegssýni og þau efnagreind. Efnagreiningar á heysýnum voru í upphafi gerðar á vegum Tilraunaráðs jarðræktar á búnaðardeild Atvinnudeildar Háskólans, en seinna á Rannsóknastofnun landbúnaðarins og Landbúnaðarháskóla Íslands (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2009, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011).

Sandurinn er enn að mestu ógróinn nema þar sem gætir áhrifa aukinnar plöntunæringar vegna tilrauna eða annarrar ræktunar. Utan umræddra tilrauna, þar sem gróður er enn strjáll, voru tekin jarðvegssýni til samanburðar við tilraunalandið. Í efstu 20 cm jarðvegs var nitur alls sem svarar um 770 kg N ha⁻¹ (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Samkvæmt alþjóðlegum rannsóknum er talið að það þurfi um 750 – 1000 kg N ha⁻¹ til að hringrás niturs í vistkerfinu verði virk (Whisenant 1999, Ólafur Arnalds o.fl. 2013). Í nánd við tilraunareitina á Geitasandi var nitur rétt við þetta mark eftir meira en 67 ár innan girðingar.

Niturnýtni

Í tilraunum með vaxandi skammta af plöntunæringarefni eins og nitri er þess vænst að uppskeran fylgi lögmálinu um minnkandi vaxtarauka (Friðrik Pálmason 2013). Þegar hámarki er náð getur þó komið fyrir að með meiri áburði dragi úr uppskeru. Auk beinna áburðaráhrifa geta atriði eins og sláttutími haft áhrif á þann uppskeruauka af nitri sem mælist í tilraunum. Beinni mælikvarði á áburðaráhrif en uppskera er upptaka niturs. Upptakan sem fall af ábornu nitri fylgir að jafnaði jöfnu beinnar línu frá reitum án N-áburðar að nokkuð miklum áburði (Hólmgeir Björnsson o.fl. 1975). Hallastuðull jöfnunnar er mat á upptöku niturs í hlutfalli af áburði og er hér nefnd **niturnýtni** (e. *Nitrogen Use Efficiency*, NUE, eða *Nitrogen Uptake Efficiency*) (van Keulen 2000). Aðeins er mælt í vexti ofanjarðar en ekki í rótum og því væri e.t.v. réttara að tala um sýndarnýtni. Skurðpunktur línunnar, sem að jafnaði hefur jákvætt gildi, er mælikvarði á upptöku án N-áburðar, en þó getur komið fyrir að ON-liður víki frá línunni.

Í níu erlendum heimildum, sem skoðaðar voru, var niturnýtnin 55% – 75%, og í íslenskum tilraunum 45% – 75% (Hólmgeir Björnsson o.fl. 1975). Miðað hefur verið við 67% (tvo þriðju) sem góða niturnýtni og hefur það gefist vel þó að meðalgildi hennar hafi ekki verið ákveðið (Hólmgeir Björnsson 2001). Gera má ráð fyrir að niturnýtni geti verið misjöfn, t.d. eftir tegundum eða vegna ræktunaraðferða, þó að ekki sé um að ræða tap á nitri eða léleg skilyrði að öðru leyti. Í íslenskum tilraunum hefur verið gerð grein fyrir lakari niturnýtni sem hefur komið fram við tvenns konar skilyrði. Annars vegar er það við lágt pH þegar sýrandi áburður var notaður á jarðveg með lítið viðnám gegn sýringu (Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson 1978, Hólmgeir Björnsson 1978), og hins vegar tapast nitur með útskolun eða sem lofttegundir í miklum rigningum eða þegar jarðvegur er blautur á vorin (Hólmgeir Björnsson 1980). Í tilraunum sem hafa staðið árum saman er niturnýting að jafnaði stöðug frá ári til árs. Þá fylgir upptaka á ON-reitum reitum með N-áburði nokkuð náíð ár frá ári. Niturnýtnin getur verið minni einstök ár. Er það skýrt sem niturtap og er oftast hlutfallslega jafnt af öllum liðum. Að niturnýtni fari að ráði umfram 67% er nánast óþekkt nema í tilraunum með N-áburð á mýrarjörð á Hvanneyri. Niðurstöður þessara tilrauna eru um margt sérstakar og að sumu leyti óreglulegar (Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson 1978, Hólmgeir Björnsson 1978). Þær eru þekktastar fyrir að þar komu skýrt fram sýrandi áhrif Kjarna (NH_4NO_3), en hann var þá nærri einráður sem N-áburður. Hvanneyrarmýrin hefur lítið viðnám gegn sýrandi áhrifum, og Kjarni, sem er sýrandi, nýttist mun ver, að heita má frá upphafi tilraunanna, en kalksaltpétur sem er kalkandi. Kjarninn hefur hins vegar nýst til jafns við kalksaltpétur í langtímatilraunum tilraunastöðvanna (tilraunir nr. 269-272, 280, 282, 283 í Guðmundur Jónsson (1998), Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003).

Niturnýtnin var frá upphafi góð á Hvanneyri, en á kalárunum minnkaði hún, og vorið 1970 hefur mikill hluti áburðar tapast vegna vætu, jafnvel meira en helmingur (Hólmgeir Björnsson 1980). Undir lok kaláranna var framræslan endurbætt og við það jókst losun niturs úr mýrinni mjög mikið. Þó var eins og töf yrði í upphafi á þessum áhrifum á ON-reitum. Lýsti það sér í hærra gildum á niturnýtni áburðar en annars staðar hafa fundist, nema reyndar fyrr í sömu tilraunum. Ýmis dæmi eru um að áburður hafi verið talinn nýttast illa í þurru, einkum ef saman fer frost, en oftast er við ummæli að styðjast fremur en mælingar. Þó er getið um það í tilraun á Korpu 1977 (Hólmgeir Björnsson 1980).

Nitur sem borið er á að vori nýttist að mestu samsumars, en borið á eftir 1. sl. eða að hausti nýttist það ekki til fulls til uppskeru fyrr en vorið eftir (Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987, Hólmgeir Björnsson 1979, 1998a). Því hefur þó nokkrum sinnum verið veitt athygli að það hefur áhrif á sprettu hvenær slætti lauk árið á undan. Þá varðveitist til næsta vors sú plöntunæring sem tekin er upp eftir slátt (Hólmgeir Björnsson 1979, 1998b). Þegar uppskera tilrauna á tilraunastöðvunum frá

1950-1954 til 1983 var notuð til að finna áhrif lofthita á grassprettu var m.a. reiknað aðhvarf að degi sláttar, oftast seinni sláttar árið á undan (Björnsson og Helgadóttir 1988). Eftirverkunar til næsta árs af áburði sem er borinn á að vori hefur einnig verið veitt athygli (Hólmgeir Björnsson 1980) og hún hefur verið mæld stöku sinnum þegar hinni eiginlegu áburðartilraun er lokið. Þá fá allir reitirnir eins meðferð og uppskeran er svo mæld. Niðurstöður þessara mælinga hafa ekki verið teknar saman, en geta skal eins dæmis. Árið 1964 voru gerðar þrjár hliðstæðar tilraunir á Sámsstöðum með 60, 120, 150, 180 og 240 kg N ha⁻¹. Ein þeirra, þar sem tilraunaáburðurinn var Kjarni, stóð til 2005 og hefur verið fjallað um ýmsar niðurstöður hennar (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2007). Hinar tvær stóðu til 1974 og var eftirverkun áburðar mæld 1975 (Jarðræktartilraunir 1975). Á aðra þeirra var borinn Kjarni, en árið 1964 var einnig borið á skeljakalk í hlutfalli við Kjarnann og var miðað við að það vægi á móti sýrandi áhrifum hans í 10 ár. Samkvæmt áður óbirtum niðurstöðum var niturnýtnin í eftirverkun að meðaltali 7% af áburði ársins á undan að 180N en 23% af áburði umfram það. Á þriðju tilraunina var borinn kalksaltprétur sem er kalkandi. Eftirverkunin fór vaxandi með magni og var 20% að 120N en að meðaltali 36% frá 60N að 240N. Í árlegum gildum á niturnýtni getur því falist eftirverkun frá fyrra ári og gæti hún aukið óreglu milli ára, en óvíst er að það raski meðaltölum.

Markmið rannsókna

Tilraun með nitur á Geitasandi hefur sérstöðu meðal tilrauna með N-áburð á tún hvað varðar jarðvegsskilyrði og niturnýtni. Uppskeran um það bil tvöfaldaðist þegar áburður var aukinn úr 50 í 100 kg N ha⁻¹ og voru áhrif áburðar á uppskeru óvenju mikil í samanburði við aðrar tilraunir (Hólmgeir Björnsson 1975). Einnig var sprettan mjög breytileg milli ára. Tilgátan, sem hér er tekin til rannsókna, er að þarna hafi gætt áhrifa ófullnægjandi niturs í jarðvegi. Að jarðvegslífið hafi að vissu marki haft betur í samkeppni við grasið og tekið til sín nitur úr áburði á kostnað þess. Önnur tilgáta, um að skortur á brennisteini hafi valdið því að uppskera var mjög lítil sum árin, er tekin til athugunar í annarri grein (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2018).

Í þessari grein er áherslan á uppskeru af heyi og nýtingu niturs, en í annarri grein er fjallað um áhrif langtímanotkunar áburðar á kolefni, nitur og auðleyst næringarefni í jarðvegi (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2018).

Efniviður og aðferðir

Tilraun nr. 19-58 með vaxandi skammta af nituráburði á Geitasandi

Tilraunaliðir voru fjórir og endurtekningar þrjár, reitir 5×10 m, raðað hlið við hlið og í stafrófsröð innan endurtekninga, þ.e. kerfisbundið. Í 1. töflu er magn N-áburðar á tilraunaliði. Nitur var borið á sem ammóníumnítrat (Kjarni). Grunnáburður var 100 kg K ha⁻¹, borið á sem KCl, og 53 kg P ha⁻¹, borið á sem þrífosfat. Í því er um 20% P, 12 – 14% Ca og um 1,5% S. Magn brennisteins var því um 4 kg S ha⁻¹. Stefnt var að því að grunnáburður af P og K væri nægur, en í ljós hefur komið að hann dugði ekki til að koma í veg fyrir skort á brennisteini, einkum í 2. sl. ef N-áburði var bætt við eftir 1. sl. (Hólmgeir Björnsson o.fl. 2018).

Tafla 1. Árlegur N-áburður á tilraunaliði í áburðartilraun með nitur nr. 19-58 á Geitasandi og skipting hans á vor- og sumardreifingu.

Table 1. Annual nitrogen fertilisation in an experiment at Geitasandur and its distribution on application in spring and after 1st cut.

		N kg/ha	
	Liðir	Að vori	Eftir 1. sl.
a	50N	50	
b	100N	100	
c	150N	100	50
d	200N	100	100

Grunnaburður á alla liði var 53P og 100K. Með P-áburði fylgdu 4 kg S ha⁻¹.
Basic fertilisation on all treatments was 53P and 100K. The P-fertiliser included 4 kg S ha⁻¹

Í upphafi tilraunarinnar árið 1958 var grasfræi sáð og borið á, en ekki er ljóst hve mikið. Borið var á árlega eftir það og uppskera mæld í 49 ár, 1959 – 2007. Borið var á 4. – 26.5. að vori, og áburður eftir slátt oft sama daginn og slegið var. Seinni sláttur var ekki sleginn árin 1963 og 1964 vegna sneggju. Seinna árið er þó beit gæsa kennt um. Í þessari grein er jafnan skrifað 1. sl. fyrir fyrri slátt og 2. sl. fyrir seinni slátt. Vegna mistaka var N borið á aukalega eftir 1. sl. 2007, 100 kg ha⁻¹ á a-lið og 50 kg ha⁻¹ á b-lið og er ekki fjallað um niðurstöður frá því ári í þessari gein. Uppspera þegar borið var á samkvæmt áætlun var því mæld í 1. sl. í 49 ár, en í 2. sl. í 46 ár og uppskera sumarsins í 48 ár.

Nokkur breyting varð á framkvæmd tilrauna við tilraunastjóranskipti 1967. Þá var farið að þurrka heysýni í rafmagnsöfn og var reiknað með að úr honum kæmu fullþurr sýni með 100% þurrefni. Áður voru sýni loftþurrkuð og reiknað með að þurrefni væri 85% þótt líklegt megi telja að þau hafi ekki alltaf náðst svo þurr. Einnig mun heyið stundum hafa verið látið liggja á reitum og þorna nokkuð áður en uppskera var vegin og sýni tekin. Árið 1972 var fenginn stór þurrkofn með blæstri og eftir það var þurrefni ákvarðað í sýnum af hverjum reit (Hólmgæir Björnsson 1976). Þurrkað var við 70-100°C. Þurrktími fór eftir hita, þurrkað þar til sýni voru hætt að léttast. Einnig varð sú breyting á meðferð tilrauna á Geitasandi að þær voru slegnar fyrr. Fram til 1983 var 1. sl. oftast á bilinu 4. – 20.7., en á bilinu 21.6. – 6.7. eftir það, og 2. sl. á bilinu 25.8. – 10.10. til 1978, en oftast í ágúst frá 8.8. eftir það. Vegna þeirra áhrifa sem sláttutími getur haft á uppskeru var athugað að skipta niðurstöðum á tvö tímabil, 1959 – 1983 og 1984 – 2007. Einnig var aðferðin við ákvörðun þurrefnis stöðug allt seinna tímabilið.

Forrítið Genstat (Payne o.fl. 2005), 18. útgáfa (*Release*) var notað við tölfræðilega greiningu á niðurstöðum og við gerð línurita.

Gróðurgreiningar og efnagreiningar á uppskerusýnum

Gróður var greindur með oddamælingu, 50 punktar í reit 13.6. 1969 og 30 punktar í reit á tímabilinu 22.6. – 10.7. 1975, sennilega undir lok þess. Tæki með 10 teinum hallað 45° og fyrsta snerting odds við gróður greind til tegundar og skráð. Á lokaári tilraunarinnar, 11.6. 2007, var þekja einstakra tegunda metin með sjónmati.

Efnin N, P, Ca, K og Na voru mæld í uppskerusýnum af öllum tilraunaliðum árin 1964 – 1972 og 1976, og árin 1985, 1995 og 2003 sömu efni að viðbættum brennisteini (S). Mælt var í sýnum úr báðum sláttum nema 1964 þegar 2. sl. var ekki sleginn. Auk þess var N og P mælt í 1. sl. 1960. Mælt var í einu

samsýni af hverjum tilraunalið. Efnagreiningarnar voru gerðar með mismunandi aðferðum (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2003). Nitur var greint með Kjeldahl-aðferð til 1976, en í sýnum frá 1985, 1995 og 2003 var það mælt í NIR-tæki.

Niðurstöður

Uppskera

Í 2. töflu eru meðaltöl uppskeru alls og í hvorum slætti um sig. Einnig er niðurstöðum skipt á tvö tímabil. Var tilraunin að jafnaði slegin mun fyrr á seinna tímabilinu í báðum sláttum og jókst hlutur 2. sl. í uppskerunni töluvert þegar fyrr var slegið. Uppskeran rúmlega tvöfaldaðist við aukningu áburðar úr 50N í 100N og var uppskeruaukinn um 35 kg þe. á kg N. Litlu munaði á tímabilum að meðaltali, en uppskeruauki úr 50N í 100N var meiri á seinna tímabilinu en því fyrra. Aukning áburðar úr 150N í 200N jók ekki uppskeru, heldur varð hún aðeins minni að meðaltali. Aukning uppskeru þegar bætt var við áburði eftir 1. sl. var að meðaltali meiri í fyrri en seinni slætti. Staðalskekkja meðaltalsins einstök ár var að jafnaði 1,77 hkg þe. ha⁻¹ og staðalskekkjan á mismun tveggja liða 2,50 hkg þe. ha⁻¹ (niðurstöður 1972 – 2007). Endurteknar mælingar á sama reit, þ.e. ár eftir ár, eru ekki óháðar. Þegar 14 ár seint á tilraunátímanum voru gerð upp saman var skekkjan á mismun meðaltala í 14 ár 1,26 hkg þe. ha⁻¹, næstum jafnt og skekkjan á meðaltali fjögurra óháðra mælinga.

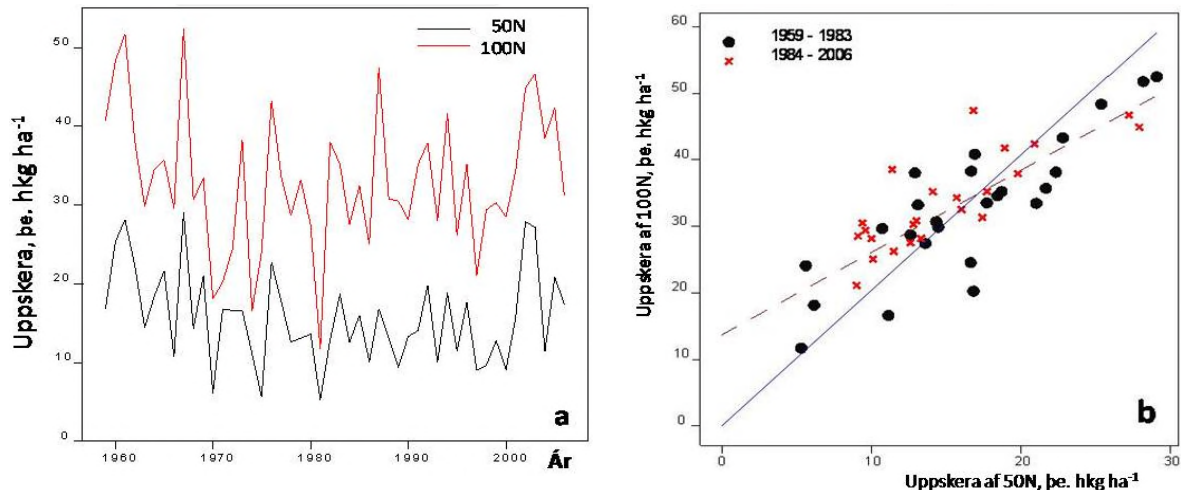
Spretta var mjög breytileg milli ára á tilraunátímanum, og áhrif áburðar á uppskeru voru breytilegri eftir því sem sprettan var meiri. Tilraunaliðirnir hafa þó fylgst vel að, sjá staðalfrávik uppskeru milli ára og fylgni milli liða í 3. töflu, sjá einnig 1. mynd. Mest er fylgnin milli 150N og 200N, borið á eftir 1. sl., þótt hærri áburðarskammturinn hafi ekki aukið uppskeru.

Tafla 2. Meðaltal uppskeru alls, og meðaltöl slátta skipt á tímabil, þe. hkg ha⁻¹.

Table 2. Average total yield and averages of first (1. sl.) and second cut (2. sl.) at different time periods, DM (dry matter) hkg ha⁻¹

		1959 – 2006		1959 – 1983		1984 – 2006		
		Alls	1. sl.	2. sl.	1. sl.	2. sl.	1. sl.	2. sl.
	Ár:	48	48	46	25	23	23	23
50N		15,8	10,9	5,1	13,2	3,5	8,4	6,6
100N		33,2	23,1	10,5	26,8	6,4	19,1	14,6
150N		43,4	29,9	14,2	33,0	11,2	26,5	17,1
200N		42,0	28,8	13,8	32,7	10,8	24,5	16,8

Á 1. mynd eru borin saman áhrif 50N og 100N að vori. Á mynd 1a. er uppskeran í tímaröð og á mynd 1b. uppskera af 100N sem fall af 50N. Á mynd 1b. er sýnd skipting ára á tímabil eins og í 2. töflu. Á mynd 1a. sést hvernig tilraunaliðirnir fylgjast að frá ári til árs. Þegar á fyrstu árum tilraunarinnar var spretta yfir meðallagi þess sem síðar varð og landið því orðið vel gróið. Sveiflur á sprettu milli ára urðu minni seinni hluta tímans og breytileiki áburðaráhrifa varð einnig minni (mynd 1b.).



Mynd 1. Uppskera af 50N og 100N.

a. Árleg uppskera.

b. 100N sem fall af 50N. Strikalínan er aðhvarfslína. Heildregin lína sýnir tvöföldun uppskeru við tvöföldun áburðar.

Figure 1. Hay yield of 50N and 100N.

a. Annual yields of 50N and 100N.

b. The yield of 100N vs 50N. The broken line shows the regression, and the whole line the doubling of yield for doubling of N.

Heildregin skálína á mynd 1b. sýnir tvöföldun uppskeru þegar áburður er tvöfaldaður úr 50N í 100N. Punktarnir ættu að jafnaði að liggja neðan þessarar línu ef áhrif áburðar fylgdu lögmálinu um minnkandi vaxtarauka. Þó eru 26 af 48 punktum ofan hennar, einkum á fyrri hluta tímans. Aðhvarf uppskeru af 100N að uppskeru af 50N (strikalína) er

$$U_{100} = 13,7_{\pm 2,1} + 1,23_{\pm 0,13}U_{50}, s_{y,x} = 5,2$$

þar sem U_{100} er uppskera af 100N, U_{50} er uppskera af 50N og staðalskekkja stuðlanna er í fótskrift þeirra. Staðalfrávik frá aðhvarfslínu, $s_{y,x}$, er 5,2 hkg þe. ha⁻¹, u.þ.b. tvöföld staðalskekkja árlegra gilda. Aðhvarfið skýrir 66% breytileikans. Stuðull aðhvarfs er vanmetinn því að óháða breytan, U_{50} , er metin með skekkju. Hann er þó nálægt því að vera marktækt stærri en 1,0, þ.e. aukning uppskeru af 100N er vaxandi eftir því sem U_{50} er meiri. Tilraun til að meta aðhvarfið án skekkju á U_{50} gaf 1,36 og skurðpunktinn 11,7 kg þe. ha⁻¹.

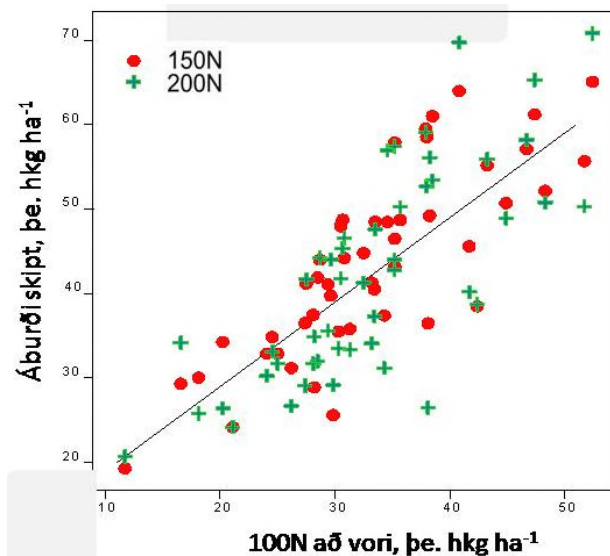
Uppskeruauki frá 50N að 100N dreifist nokkuð þétt um meðaltalið. Á mynd 1a sést að það er einkum á árabílinu 1970 – 1981 sem saman fór í nokkur ár lítil uppskera af 50N og lítil aukning uppskeru af 50N til viðbótar. Á mynd 1b. sést að þau ár sem mest spratt liggja punktar sem sýna uppskeru eftir 100N neðan heildreginnar línu. Því var, í samræmi við væntingar, uppskeruaukinn frá 50N að 100N minni en uppskeran af 50N. Þessi ár voru einkum á fyrsta og seinasta áratug tilraunarinnar.

Tafla 3. Meðaluppskera í 48 ár, þe. hkg ha⁻¹, staðalfrávik, frávikshlutfall og fylgni árlegra gilda.

Table 3. Average yield for 48 years DM (dry matter) hkg ha⁻¹, standard deviation, coefficient of variation and coefficient of correlation between yearly yields.

	Uppskeyra	Staðalfrávik	Frávikshlutfall	Fylgni			
				50N	100N	150N	200N
50N	15,8	5,9	37%	1,0			
100N	33,2	8,9	27%	0,82	1,0		
150N	43,4	11,0	25%	0,56	0,81	1,0	
200N	42,0	12,4	30%	0,55	0,76	0,93	1,0

Uppskeyra af 150N og 200N sem fall af 100N er sýnd á 2. mynd. Uppskeyruauki umfram 100N var að meðaltali 9,5 hkg/ha⁻¹. Til viðmiðunar er skálína sem sýnir uppskeyruna af 100N og meðalaukningunni 9,5 hkg/ha⁻¹ bætt við. Af samanburði við hana má greina að áhrif áburðar eftir slátt á uppskeyru voru meiri eftir því sem meira spratt. Sterk fylgni var á milli áhrifa af 150N og 200N (3. tafla), en áhrif aukningar úr 150N í 200N kg voru óveruleg, neikvæð það sem er. Tölfræðilega marktæk tilhneiging er til að 200N hafi gefið minni uppskeyru en 150N þegar uppskeyra þessara liða var undir meðallagi, en meiri þegar mest spratt. Ekki var gerð tilraun til að greina hvernig áhrif áburðar eftir slátt skiptust á uppskeyru samsamars eða árið eftir. Meðal hugmynda að slíku uppgjöri væri að leggja saman uppskeyru úr 2. sl. og 1. sl. árið eftir og taka m.a. sláttutíma með í reikninginn.



Mynd 2. Uppskeyra, þe. hkg ha⁻¹, af 150N og 200N móti 100N. Skálína sýnir uppskeyru af 100N að viðbættum meðaluppskeyruauka af N-áburði eftir 1. sl.

Figure 2. Yield of the 150N and 200N treatments vs the 100N treatment. The line shows yield of 100N plus the mean yield increase for fertilisation after 1st cut.

Gróðurgreiningar

Niðurstöður gróðurgreininga frá 1975 og 2007 hafa birst (Jarðræktartilraunir 1975, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011), en niðurstöður frá 1969 eru áður óbirtar. Þær aðferðir sem notaðar voru eru ólíkar og niðurstöður því ekki alveg sambærilegar. Að jafnaði fannst lítill munur á 50N og 100N, allur N-áburður að vori, annars vegar og 150N og 200N, þar sem N-áburði var bætt við eftir 1. sl., hins vegar. Því er látið nægja að birta meðaltal þessara liða í 4. töflu. Birtar eru sundurliðaðar niðurstöður um þær tvær grastegundir, sem algengastar voru, og fjórar tegundir aðrar. Af þeim gróðri, sem fellur undir *Annað* í 4. töflu, er helst frá því að segja að hundasúra var 10% í 150N og 200N 1975 en kom ekki fyrir í 50N og 100N, og árið 2007 var snarrótarpuntur 4,5% í 50N og 100N og 2,2% í 150N og 200N.

Tafla 4. Meðalþekja háplöntutegunda í áburðartilraun með nitur á Geitasandi.**Table 4.** Vascular plant composition in fertiliser experiment with nitrogen at Geitasandur.

	13. 6. 1969		júni/júlí 1975		11. 6. 2007	
	oddamæling		oddamæling		mat á þekju	
	50 points per plot		30 points per plot		estimate of cover	
	50&100N	150&200N	50&100N	150&200N	50&100N	150&200N
	voráb.	áb. skipt	voráb.	áb. skipt	voráb.	áb. skipt
	spring	split	spring	split	spring	split
Túnvingull (<i>Festuca richardsonii</i>)	26	29	21,5	19,5	47,0	21,0
Vallarsveifgras (<i>Poa pratensis</i>)	69	67	52,5	46	32,6	53,2
Língresi (<i>Agrostis sp.</i>)	4,5	0,5	21	18,5	2,3	15,0
Háliðagras (<i>Alopecurus pratensis</i>)			1		3,5	0,5
Blávingull (<i>Festuca vivipara</i>)					6,3	0,8
Vallhumall (<i>Achillea millefolium</i>)	0,5	2	1	4,5		4,0
Annað (<i>Other</i>)	0,5	1,5	3,5	11,5	8,4	4,5

Áhrif mismunandi áburðar á hlutdeild algengustu háplantna má telja óveruleg fram til 1975, nema hvað það ár voru tvær tegundir tvíkímblaða gróðurs algengari þar sem N-áburði var bætt við eftir 1. sl. Auk vallhumals var það hundasúra, en hún kom ekki fram í öðrum athugunum. Hefur hlutdeild þessara tegunda í 150N og 200N verið á kostnað algengustu grastegunda. Ef tekið er tillit til þess jafnast enn hlutdeild grastegunda það ár. Á lokaári tilraunarinnar hafði hins vegar vallarsveifgras, sem áður má telja að hafi verið ríkjandi gróður, og hálíngresi látið undan síga í 50N og 100N ef aðeins var borið á að vori, en þar var heildarmagn N-áburðar jafnframt minna. Í staðinn hefur einkum komið túnvingull. Nokkur munur var árið 2007 á þekju tveggja tegunda í 50N og 100N. Blávingull var 9,0 % í 50N og 3,6% í 100N, og háliðagras 0,4% í 50N og 6,6% í 100N.

N% í uppskeru og upptaka niturs

Í 5. töflu eru meðaltöl mælinga á nitri og upptaka niturs, kg ha⁻¹, reiknuð sem margfeldi uppskeru þurrefnis, hkg ha⁻¹, og N%. Lágur styrkur N í sýnum skýrist einkum af því að seint var slegið að jafnaði, og 50N er lítill áburður á snauðan jarðveg. Litlu munaði á N% í 1. sl. á liðum sem fengu 100 kg N ha⁻¹ um vorið. N% varð mun meiri í 2. sl ef borið var á eftir 1. sl. Áhrif áburðar eftir slátt komu einnig fram árið eftir og aukning N-upptöku var fullt eins mikil í 1. sl. og í 2. sl.

Til að finna meðaltal upptöku í 48 ár var fundið aðhvarf N% að sláttudegi þau ár sem nitur var mælt, en 1. sl. 1971 þó sleppt. Féll N% um 0,24%±0,029 á viku að 1. sl. og 0,26%±0,037 á viku að 2. sl. Voru þessir stuðlar notaðir til að reikna N% í hverjum lið þau ár sem ekki var mælt, að öðru leyti en því að í 1. sl. var notaður lægri stuðull við 150N og 200N og hærri við 50N og 100N. Reiknuð meðalupptaka allan tilraunátímann var færð í 5. töflu. Er hún nokkru lægri en áður birtist í skýrslu og grein, en þar voru meðaltöl uppskeru og N% margfölduð saman (Guðni Þorvaldsson o.fl. 2009, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Hún víkur hins vegar lítið frá meðaltali þeirra ára, sem mælt var, nema upptakan eftir 50N er minni þegar reiknað er í 48 ár og samsvarar það nokkurn veginn því sem munar á uppskeru.

Tafla 5. Nitur (N) í uppskerusýnum, % af þe., og N-upptaka, kg ha⁻¹, í áburðartilraun með nitur á Geitasandi, meðaltal ára sem mælt var (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Enn fremur reiknuð upptaka í 48 ár.

Table 5. Average nitrogen in forage samples, % of dry matter, and harvested N kg ha⁻¹ in fertiliser experiment with nitrogen at Geitasandur (Þorsteinn Guðmundsson et al. 2011), and estimated for 48 years. 1. sl. = first cut, 2. sl. = second cut.

	N%		N-upptaka, kg ha ⁻¹			Öll ár
	1. sl.	2. sl.	1. sl.	2. sl.	Alls	
Ár:	13/14	12	13/14	12	11/12	48
a 50N ¹	1,69	1,47	24,1	5,4	28,9	25,9
b 100N ¹	2,03	1,85	57,2	10,5	66,5	65,6
c 150N	2,07	2,64	73,4	24,2	96,3	96,0
d 200N	2,09	2,96	72,9	26,5	97,2	97,0

¹Árið 1971 er N% í **50N** og **100N** sleppt í 1. sl., og meðaltöl N% og N-upptöku í þessum áburðarliðum eru mt. 13 ára í 1. sl. og N-upptaka alls mt. 11 ára.

¹Results for **50N** and **100N** for 1971 are excluded. For these treatments the means for N% and N-uptake in 1st cut are calculated for 13 years, and for seasonal uptake they are means of 11 years.

Tilraunaskekkju á upptöku niturs er ekki hægt að meta þar sem óháðar endurtekningar vantar. Skekkju margfeldis, t.d. uppskeru og N%, má þó meta ef skekkja beggja mælinga er þekkt. Aðferðin er ekki sýnd í algengustu kennslubókum í tölfræði. Því er gerð grein fyrir henni sérstaklega í **ramma**. Hér á eftir eru notaðar niðurstöður sem eru birtar sem dæmi í rammanum þó að sumar forsendur séu veikar.

Staðalfrávik N% frá aðhvarfi að sláttudegi var 0,19% í báðum sláttum, en staðalfrávik mælinga um 0,10%, sjá **ramma**. Í 1. sl. skýrir aðhvarfið 78% af breytilegum áhrifum ára og víxlhrifum þeirra og áburðarliða. Það eykur á óvissu aðhvarfsins og reiknaðra gilda að ekki er um slembiúrtak að ræða. Enn fremur er meiri hluti mælinga frá samfelldum tíma á fyrri hluta tilraunaskeiðsins og því er hætta á að meðaltöl geigi frá því rétta.

Samkvæmt **ramma** er staðalskekkja árlegrar upptöku N þegar áburður var 50N 3,5 kg N ha⁻¹ að meðaltali þau ár sem mælt var. Staðalskekkja meðaltals 11 ára er þá 1,1 kg N ha⁻¹. Þegar upptaka var reiknuð í 48 ár voru notuð reiknuð gildi á N%. Þau eru með hærri skekkju, auk hættunnar á að þau víki að meðaltali frá réttu gildi. Því er óvissan á reiknaðri upptöku í 48 ár tölverð.

Á 3. mynd er upptaka niturs, þegar borið var á eftir 1. sl. og áburður aukinn úr 100N í 150N eða 200N, sýnd á móti upptöku eftir 100N sama ár. Árin 1960 og 1964 eru ekki með. Til viðmiðunar er lína sem sýnir aukningu upptöku frá 100N um 33 kg N ha⁻¹. Að meðaltali í 11 ár, án 1971, var aukning upptöku frá 100N að 150N 30,8 kg N ha⁻¹ eða 62%, og allan tilraunatímamann var hún metin 30,4 kg N ha⁻¹ eða 61%. Samanburður við viðmiðunarlínuna sýnir tilhneigingu til minni niturnýtni þegar upptakan af 100N er lítil. Upptakan var svipuð að meðaltali eftir 150N og 200N, en tilhneiging er þó til upptöku á 200N umfram 150N eftir því sem upptakan var meiri að meðaltali. Þegar einstök ár eru skoðuð þarf að hafa það í huga að áhrif áburðar sem er borinn á eftir 1. sl. skiptast á tvö ár. Í heild sýna niðurstöðurnar að áburður eftir 1. sl. hefur skilað sér betur þegar vel áraði og er það í samræmi við þá mynd sem uppskerumælingar gáfu.

Rammi

Tilraunaskekkja reiknaðrar upptöku niturs og niturnýtni

Upptaka niturs er margfeldi tveggja hendinga, uppskeru og N%, hér táknaðar X og Y, og má telja mælingar þeirra óháðar. Skekkja margfeldis fer eftir meðalgildi og staðalfrávikum beggja hendinganna. Ef báðar eru normaldreifðar gildir:

$$Var(xy) = \mu_y^2 \sigma_x^2 + \mu_x^2 \sigma_y^2 + [\sigma_x^2 \sigma_y^2] + 2\mu_x \mu_y Cov(x, y)$$

(Lynch og Walsh 1997, 817. – 818. bls.). Liðurinn í hornklofa, $[\sigma_x^2 \sigma_y^2]$, verður lítill og má sleppa ef $CV < 0,15$. Staðalskekkju upptöku má því meta ef tiltækt er mat á bæði meðaltali og staðalfrávikum uppskeru og N%. Staðalfrávik uppskeru í hvorum slætti um sig var reiknað árlega. Í kaflanum um niðurstöður kemur fram að staðalskekkjan á mismun tveggja liða var að jafnaði 2,50 árin 1972-2007 og staðalfrávik á reit var því 3,06. Staðalfrávikinu þarf að skipta á slættina tvo og eru notuð gildin 3,0 og 0,6 í 1. og 2. sl. Staðalfrávik N% í tilraun nr. 19-58 á Geitasandi fékkst með ferveikagreiningu á N-mælingum með liði og ár sem þætti. Breytileiki vegna víxlverkunar ára við áburði skipt/ekki skipt var dreginn frá. Mælingum frá 1971 var sleppt í 1. sl. Útkoman var næstum því hin sama í báðum sláttum og er $s_{N\%} = 0,10$ notað sem mat á staðalfrávikum. Mælingar á uppskeru og N% eru að mestu óháðar og fellur aftasti liður jöfnunnar því niður. Staðalfrávikðið, sem notað er, var þrisvar >15% af uppskeru af 50N í 1. sl. Það var alloft >15% af uppskeru í 2. sl., en vægi 2. sl. í útreikningi á skekkju er þó lítið. Þriðja lið jöfnunnar má því sleppa og nota tvo fyrstu liðina:

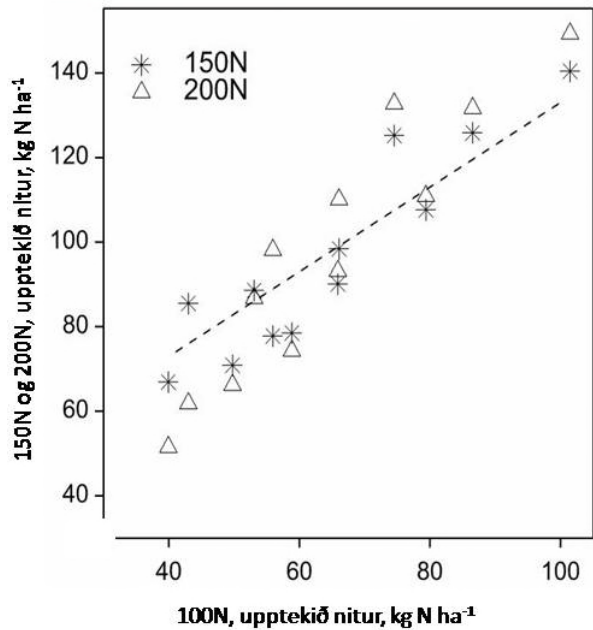
$$Var(xy) = \mu_y^2 \sigma_x^2 + \mu_x^2 \sigma_y^2.$$

Sem dæmi er sýndur útreikningur á skekkju N-upptöku eftir 100N árið 2003. Þá var 2,40% N og uppskeran 29,4 í 1. sl.:

$$(2,40^2 * 3,0^2) / 3 + 29,4^2 * 0,10^2 = 25,92 = 5,1^2,$$

í 2. sl. fæst $3,37 = 1,8^2$ og í báðum sláttum samanlagt $25,92 + 3,37 = 5,4^2$, þ.e. $s=5,4$. Á sama hátt er reiknuð staðalskekkja upptöku eftir 50N $16,73^{\frac{1}{2}} = 4,1$. Loks er skekkjan á aukinni upptöku frá 50N í 100N $16,83 + 25,92 = 45,72 = 6,8^2$. Umreiknuð í niturnýtni verður hún tvöföld eða 13,6%. Skekkja niturnýtninnar er á bilinu 9,6 – 13,6% einstök ár og 11,8% að meðaltali í 11 ár, þ.e. þegar slegnir eru tveir slættir en 1971 sleppt. Reiknuð skekkja á upptöku N eftir 50N er á bilinu 2,7 – 4,1 og 3,5 að meðaltali, og eftir 100N 4,0 – 5,7 og 4,7 að meðaltali. Hún hefur tilhneigingu til að vera meiri eftir því sem upptakan er meiri. Hlutföllin σ_x/μ_x og σ_y/μ_y má nota til að bera saman nákvæmni hendinganna og þau eru metin sem frávikshlutfall eða CV. Staðalfrávikðið er hærra hlutfall af uppskeru en N%, nema þegar uppskeran er mest, og er uppskera því oft ríkjandi í skekkju margfeldisins.

Það mat á skekkju niturupptöku, sem hér birtist, er ekki eins nákvæmt eða öruggt og það getur virst þar sem sumar forsendur eru nokkuð veikar. Þó er vonast til að hún sé gagnleg til viðmiðunar.



Mynd 3. Upptaka niturs þegar áburði var skipt, 150N og 200N, móti 100N, N kg ha⁻¹. Skálína sýnir upptöku við 100N að viðbættum 33 kg N ha⁻¹.

Figure 3. Nitrogen uptake for split application 150N and 200N, vs 100N, N kg ha⁻¹.

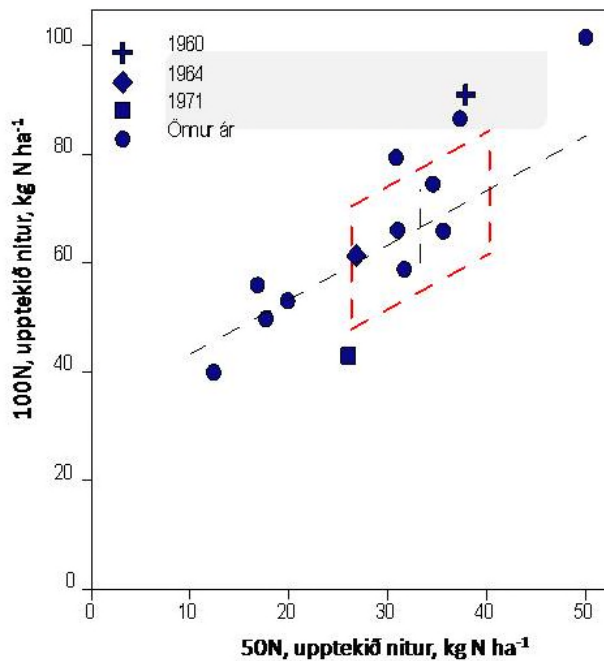
The line shows uptake for 100N with 33 kg N ha⁻¹ added.

Umræður

Niturnýtni

Jarðvegur gefur að jafnaði af sér töluvert nitur án áburðar, en svo hefur ekki verið í tilrauninni á Geitasandi. Reikna má með að sá N-áburður, sem var borinn á að vori, hafi nýst því sem næst að fullu samsumars þar sem um hóflegt magn áburðar er að ræða og seinni sláttur að jafnaði sleginn seint. Í inngangi var sett sem viðmiðun að líta mætti á 67% upptöku af ábornu sem góða niturnýtni. Samkvæmt því mátti vænta um 33 kg N ha⁻¹ í uppskerunni við 50N þótt jarðvegurinn gæfi ekkert, en í tilrauninni var upptakan 28,9 kg N ha⁻¹ eða 58% af ábornu að meðaltali í 11 ár, en 52% ef miðað er við reiknaða upptöku allan tímann (5. tafla). Í tilrauninni var enginn 0N reitur svo að ekki er um eiginlega mælingu á niturnýtni að ræða. Upptakan meira en tvöfaldaðist frá 50N til 100N og var aukningin 37,6 kg N ha⁻¹ eða 75% niturnýtni, en 79% miðað við reiknaða upptöku í 48 ár.

Upptaka niturs eftir 50N og 100N í 14 ár er sýnd á 4. mynd og eru tekin með þrjú ár þegar mælingar voru að einhverju leyti takmarkaðar. Dregnar eru slitnar línur sem sýna væntanlega upptöku miðað við 67% nýtni og frávik sem nema 2×staðalssekkju eins og hún er metin í **ramma**. Lóðréttar línur eiga við 50N og skálínur aukningu upptöku frá 50N til 100N. Til að sýna til fulls hvaða gildi eru innan vikmarka má framlengja línurnar eftir þörfum. Þó að mörkin um upptöku frá 50N til 100N séu víð, sýnir myndin nokkuð greinileg skil milli punkta sem eru innan og utan marka. Innan vikmarka eru 8 gildi á upptöku eftir 50N, 32,6±1,3 kg N ha⁻¹ að meðaltali, og 9 gildi á aukningu upptöku frá 50N til 100N eru innan vikmarka, 33,2±1,5 kg N ha⁻¹ að meðaltali. Bæði þessi meðaltöl eru nálægt 67% upptöku og dreifing gildanna er minni en vænta mætti m.t.t. skekkju. Bendir það til þess að upptakan hafi í flest þessara skipta í rauninni verið í samræmi við væntingar um niturnýtni.



Mynd 4. Upptaka niturs eftir 100N og 50N, N kg ha⁻¹. Lóðréttar línur sýna 67% upptöku af 50N ±2×staðalskekkja og skálínur sýna 67% niturnýtni 50N til 100N ±2×staðalskekkja.

Figure 4. Nitrogen uptake after 100N and 50N, N kg ha⁻¹. Vertical lines show 67% uptake of 50N ±2×SE and sloping lines show 67% uptake from 50N to 100N ±2×SE.

1960 Reiknuð N% í 2. sl. Estimated N% in 2nd cut.

1964 Einslegið. Single cut.

1971 Reiknuð N% í 1. sl. Estimated N% in 1st cut.

Vikmörkin á 4. mynd skipta niðurstöðum í þrjú nokkuð vel aðgreinda hópa. Neðan vikmarka eru fjögur ár með 12 – 20 kg N ha⁻¹ upptöku eftir 50N eða ≤40%. Upptaka 50N til 100N var aldrei undir væntingum þau ár sem nitur var mælt nema e.t.v. 1971, en nokkur óvissa er um það gildi. Í næsta flokki eru fimm ár þar sem upptaka var vel innan hvorra tveggja vikmarka, og loks eru fjögur ár þar sem upptaka 50N til 100N var yfir mörkum, nálægt 100%. Þótt þessi gildi séu ekki langt utan vikmarka, styðja þau hvert annað og þau verða ekki skýrð með því að upptaka eftir 50N hafi verið lítil.

Þau fjögur ár, sem nýting á 50N var lítil (1966, 1968, 1970, 1995), virðist hluti áburðarins hafa bundist í jarðvegi án þess að hann nýttist gróðri, en nýting á áburði umfram 50N var eðlileg. Niturnýtni frá 50N til 100N, sem mældist 97 – 103% (1976, 1985, 2003), en 106% árið 1960, sýnir aukið aðgengi á nitri við 100N umfram áhrif áburðar. Bendir það til losunar á nitri sem hafði safnast í jarðveg fyrri ár. Varð þess vart þegar á öðru ári tilraunarinnar, 1960. Það er hins vegar aðeins árið 2003 sem aukin upptaka eftir 50N fannst einnig. Erfitt er að skýra litla niturnýtni frá 50N til 100N árið 1971. Grunur er um misritun í gögnum á N% í 1. sl. og eru gildi við 50N og 100N í 1. sl. frá 1971 felld úr meðaltölum í 5. töflu. Á 4. mynd var notað gildi fyrir 1971 þar sem N% í 1. sl. var fundin með aðhvarfi að sláttudegi eins og áður var lýst. Þessi leiðréttu upptaka er enn undir væntingum þótt litlu muni.

Þau 14 ár, sem N var mælt í heysýnum, voru flokkuð m.t.t. vorkomu. Í fimm ár var jarðklaki mikill og snjór um veturinn. Önnur fimm voru mild og jörð klakalaus. Þá eru ótalin fjögur vor sem voru þar á milli (Jónatan Hermannsson, persónuleg heimild). Þessi flokkun fellur að verulegu leyti saman við mismunandi nýtingu niturs. Þau fjögur ár, sem nýting á 50N var lítil, eru meðal þeirra sem klaki var mikill og eru þrjú þeirra á kalárunum sem svo eru kölluð, og í þrjú ár af fjórum, þegar niturnýtni frá 50N til 100N var umfram væntingar, voru mild vor. Árið 2003, þegar losunar gætti við 50N, var hlýjasta árið á tilraunátímanum.

Almenn umræða

Í þessari grein er miðað við 67% sem væntanlega upptöku af N-áburði. Stundum var nýting minnsta N-áburðar marktækt undir þeim væntingum og virðist sem nitur úr áburði hafi þá bundist í jarðvegi á kostnað grassins. Rannsóknir á jarðvegi í tilrauninni benda til að nitur hafi safnast í jarðveg nokkuð til jafns við það sem vantaði á að gróðurinn nýtti 50N í áburði eftir væntingum. Þær sýndu einnig að meira kolefni og nitur safnaðist í jarðveg eftir því sem meira var borið á og nam söfnun niturs að jafnaði $14,5 \pm 2,02$ kg N á hver 100 kg N af áburði umfram 50 kg N ha^{-1} á ári (Þorsteinn Guðmundsson o. fl. 2018). Í nokkur ár, þegar vel voraði, var niturnýtni frá 50N til 100N umfram væntingar. Er það skýrt sem meiri losun á nitri úr jarðvegi við 100N en við 50N þessi ár, en aðeins í eitt ár benda niðurstöður til að losun N úr jarðvegi hafi haft áhrif umfram áburðaráhrifin þegar áburður var 50N.

N-áburður gaf uppskeruauka, og að meðaltali nokkuð góða niturnýtni að 150N. Þó lakari frá 100N að 150N, einkum þau árin sem minnst spratt. Verið getur að skortur á brennisteini hafi dregið úr upptöku niturs í 2. sl. ef borið var á eftir 1. sl., en hann mun hafa verið nægur við 50N, og niðurstöður benda ekki til að S-skortur hafi valdið þeim miklu sveiflum á grassprettu sem orðið hafa (Hólmgæir Björnsson o.fl. 2018). Þótt aukning áburðar í 200N hefði að meðaltali nær engin áhrif á grasvöxt og upptöku niturs skilaði hún sér sem aukið nitur í jarðvegi til jafns við annan áburð (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2018).

Gróðurfar var ekki skráð í upphafi tilraunar, en af gróðurgreiningum frá 1969 má ráða að mismunandi áburður hafði ekki haft greinanleg áhrif á gróðurfar. Sex árum síðar, árið 1975, var þekja tvíkímblaða gróðurs umtalsverð á reitum þar sem áburði var skipt. Þau áhrif áburðar, sem helst má vænta að hafi haft áhrif á þróun gróðurfars í tilrauninni, eru annars vegar magn niturs og hins vegar sýrandi áhrif N-áburðar (Kjarna) og útskolun katjóna úr jarðvegi, einkum kalsíums og magnesíums. Oft er vallarsveifgrass fremur ríkjandi ef frjósemi er mikil, en túnvingull ef hún er minni og var breytinga í þá átt farið að gæta við lok tilraunarinnar (Thorvaldsson o.fl. 2008). Við minnsta áburð, 50N, var þá einnig farið að gæta tegunda eins og blávinguls sem er í gróðurfari landsins í kring og má telja einkenni um litla frjósemi. Meiri þekju hálíngresis í 150N og 200N en í 50N og 100N má sennilega rekja til breytinga í jarðvegi (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2018), og einnig gætu þær átt þátt í háu hlutfalli vallarsveifgrass við lok tilraunar.

Á Geitasandi hefur lítil vatnsheldni jarðvegs og skortur á úrkomu að sumri verið nefnd sem líkleg ástæða þess að lítið spratt sum árin. Uppskeran var breytilegri á fyrri hluta tilraunatímans. Breytingar á meðferð tilraunanna, einkum sláttutíma, og söfnun lífræns efnis í jarðveg geta hafa aukið stöðugleikann. Í tilraunum hefur fundist allsterkt samband milli hita, einkum vetrarhita, og uppskeru (Björnsson og Helgadóttir 1988). Hefur það verið skýrt með áhrifum hitans á lengd sumars eða vaxtartíma og losun niturs úr jarðvegi (Björnsson 2004). Sú tilraun, sem hér var unnið með, var gerð á ólíkum jarðvegi þeim sem er á tilraunastöðvunum. Niðurstöður einnar tilraunar eru of litlar til sjálfstæðrar greiningar á tengslum við veðurfar. Ekki er augljóst hvaða mælingar á veðurfari ætti að nota né hvaða tímabil. Með grófri flokkun á vorkomu fannst þó samband við frávik í upptöku niturs, Nýttist lægsti skammtur niturs illa þegar vor voru köld. Oft hafa menn talið sig taka eftir að áburðurinn nýttist seint og illa eða tapist þegar borið er á þurra jörð og veður er áfram kalt og þurrt, en þetta eru einu tilraunaniðurstöðurnar sem við þekkjum um hugsanleg áhrif vorkulda á niturnýtni.

Þakkir

Framleiðnisjóður styrkti lokaátak við greiningu á sýnum á heyi og jarðvegi. Öllum þeim fjölmörgu sem komið hafa að þessu verkefni frá upphafi eru færðar bestu þakkir.

Heimildir

- Arnór Sigurjónsson 1958. Ágrip af gróðursögu Íslands til 1880. Í: Arnór Sigurjónsson (ritstj.) *Sandgræðslan. Minnt 50 ára starfs Sandgræðslu Íslands*. Búnaðarfélag Íslands og Sandgræðsla ríkisins: 5-40.
- Árni Jónsson 1951. Skýrslur tilraunastöðvanna 1947 – 1950. Rit landbúnaðardeildar, A-flokkur nr. 4.
- Áslaug Helgadóttir, Friðrik Pálmason og Hólmgeir Björnsson 1977. Áhrif brennisteinsáburðar á heyfeng og brennistein í grasi. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir*, 9,2: 3-21.
- Björnsson H. 2004. Mineralisation of nitrogen in relation to climatic variation and soil. Í *Controlling nitrogen flows and losses*, D.J. Hatch, D.R. Chadwick, S.J. Jarvis, R.A. Roker (ritstj.) Wageningen Academic Publishers, The Netherlands: 140–142.
- Björnsson H. og Á. 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.
- Friðrik Pálmason 2013. Plöntunæring og áburðarfræði. Landbúnaðarháskóli Íslands 1/1/2013. 240 bls.
- Guðmundur Jónsson 1998. *Skrá um rannsóknir í landbúnaði. Tilraunaniðurstöður 1965-1980*. Bændaskólinn á Hvanneyri.
- Guðni Þorvaldsson, Hólmgeir Björnsson og Þorsteinn Guðmundsson 2003. Langtímaáhrif mismunandi nituráburðar á uppskeru og jarðveg. Tilraun 19-54 á Skriðuklaustri. *Fjölrit Rala* nr. 212.
- Guðni Þorvaldsson, Þorsteinn Guðmundsson og Hólmgeir Björnsson 2009. Nitur, fosfór og kalí í áburðartilraunum á Geitasandi. *Fræðaging landbúnaðarins* 2009: 224-233 (leiðrétt á netinu).
- Hólmgeir Björnsson 1975. Köfnunarefni og grasspretta. *Freyr* 71: 330-337.
- Hólmgeir Björnsson 1976. Þurrefnisákvörðun í jarðræktartilraunum. *Jarðræktartilraunir, ársskýrsla* 1975. Rannsóknastofnun landbúnaðarins: 1-6.
- Hólmgeir Björnsson 1978. Niðurstöður tilrauna með kalksaltpétur og Kjarna. *Ráðunautafundur* 1978: 256-262.
- Hólmgeir Björnsson 1979. Gödselkvævets utnyttjande í ísländska gräsvallar. *Nordisk Jordbruksforskning* 61: 273-274. Aðalráðstefna NJF í Osló í júní 1979.
- Hólmgeir Björnsson 1980. Áburðartap. *Freyr* 76: 462-470 og 515.
- Hólmgeir Björnsson 1998a. Dreifing áburðar síðsumars og að hausti. *Ráðunautafundur* 1998: 141–154.
- Hólmgeir Björnsson 1998b. Dreifingartími áburðar. *Freyr*, 94(6): 18–22 og 25.
- Hólmgeir Björnsson 2001. Viðhald næringarefna í túnrækt. *Ráðunautafundur* 2001: 51–64.
- Hólmgeir Björnsson, Friðrik Pálmason og Jóhannes Sigvaldason 1975. Jord, gödsling och gräsproduktion. *Nordisk Jordbruksforskning*, 57, 169-174. Erindi á aðalráðstefnu NJF í Reykjavík í júní 1975.
- Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson 1987. Áburðartími, skipting áburðar og sláttutími. *Ráðunautafundur* 1987: 77-91.

- Hólmgeir Björnsson og Magnús Óskarsson 1978. Samanburður köfnunarefnisáburðartegunda á túnum. I. Uppskeyra og efnainnihald grasa í mýrartúni á Hvanneyri. *Íslenskar landbúnaðarránnsóknir* 10,1: 34-71.
- Hólmgeir Björnsson, Þorsteinn Guðmundsson og Guðni Þorvaldsson 2018. Brennisteinn í langtímatilraunum á Geitasandi með mismunandi grunnáburð. *Skrína* 4(3): 1-13 (www.skrina.is).
- Jarðræktartilraunir 1975. *Ársskýrsla Rala* 1975 I.
- Lynch, L. og B. Walsh 1997. *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts.
- Ólafur Arnalds, Jón Guðmundsson og Sigmundur Helgi Brink 2013. Nitur í úthagavistkerfum á Íslandi. Landsýn – vísindapening 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.
- Payne R.W., S.A. Harding, D.A. Murray, D.M. Soutar, D.B. Baird, S.J. Welham, A.F. Kane, A.R. Gilmour, R.Thompson, R. Webster, G. Tunnicliffe Wilson 2005. *The Guide to GenStat Release 8, Part 2: Statistics*. Oxford: VSN International 2005.
- Thorvaldsson, G., Th. Gudmundsson og H. Björnsson 2008. Long-term effects of fertiliser treatments on botanical composition on permanent grassland in Iceland. In: *Long-term field experiments - a unique research platform. Proceedings of NJF Seminar 407*. Bent T. Christensen, Jens Petersen & Margit Schact (eds.). Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences (DJF), Internal report no. 137: 48-51.
- 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, J.V. Waes, A.D. Vliegheer, L. Gevaert, K. Pithan (eds.): 18-19.
- Whisenant S.G. 1999. *Repairing Damaged Wildlands*. Cambridge University Press.
- Þorsteinn Guðmundsson, Hólmgeir Björnsson og Guðni Þorvaldsson 2007. Langtímatilraunir í jarðrækt, hlutverk og dæmi um áhrif N-áburðar á auðleyst næringarefni. *Fræðapening landbúnaðarins* 2007: 287-294.
- Þorsteinn Guðmundsson, Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 2011. Langtímaáhrif áburðar á jarðveg og uppskeru á Geitasandi. *Rit Lbhí* nr. 35.
- 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).