

Brennisteinn í langtímatilraunum á Geitasandi

Hólmgeir Björnsson*, Þorsteinn Guðmundsson og Guðni Þorvaldsson

Landbúnaðarháskóla Íslands

Ágrip

Langtímatilraunir á nýræktartúni á Geitasandi stóðu frá 1959 til 2007. Brennisteinn fylgdi með í fosfóraburðinum þrífosfati, en hóflegur skortur á brennisteini kom seinna í ljós. Frá 1973 voru tilraunaliðir með 0, 1, 2, 3, 4 og 6 kg S ha⁻¹ árlega. Brennisteinn var mældur í uppskerusýnum frá þremur árum, samsýnum innan ára. Tilraunaliðir voru 20, tveir slættir á ári. Þrjár áburðarmeðferðir voru endurteknaðar þar sem tveir til fjórir tilraunaliðir voru jafngildir, og ellefu mismunandi áburðarmeðferðir nýttust við mat á hversu vel brennisteinsþörf var fullnægt. N-áburður var 50 – 180 kg N ha⁻¹. Auknum N-áburði fylgdi aukin brennisteinsþörf. Aukning uppskeru var marktæk þegar brennisteinn var aukinn úr 3S í 6S og N-áburður var 120 kg N ha⁻¹. Hlutfallið N/S er gagnlegt til að meta hvort þörfinni fyrir brennistein er fullnægt. Í nýlegri aðferð er stuðst við markalínur fyrir gras þar sem S% í uppskerusýnum er beinnar línu fall af N%. Brennisteinn var örugglega fullnægjandi í fyrri slætti við 4S og 50N. Í öðrum áburðarliðum, nema 6S og 120N, og 4S og N ≤ 100 kg N ha⁻¹, var brennisteinn örugglega ófullnægjandi. Frávík frá markalínunum voru ekki mikið breytileg milli ára og slátta og röðun áburðarmeðferða var stöðug. Meðalupptaka af brennisteini í áburði umfram 1 kg S ha⁻¹ var 48%.

Efnisorð: Fullnægjandi S-gildi, ófullnægjandi S-gildi, hlutfallið N/S

Abstract

Sulphur in long-term experiments on Geitasandur sandy soil

Long-term fertilizer experiments on freshly sown grass were performed 1959-2007. Some sulphur was applied with the P-fertiliser, triple superphosphate, but a modest sulphur deficiency became apparent later. From 1973 there were treatments providing 0, 1, 2, 3, 4 and 6 kg S ha⁻¹ annually. Sulphur was analysed in forage samples, composite over replicates, from three years, 20 treatments with two cuts per year. Three fertiliser treatments were repeated two to four times because the experimental treatments were equivalent, and eleven different fertiliser treatments could be used for the evaluation of sulphur sufficiency. Applied nitrogen was in the range 50 – 180 kg N ha⁻¹. The demand for sulphur increased with nitrogen fertilisation. Yield increased significantly when fertiliser S increased from 3S to 6S and applied nitrogen was 120 kg N ha⁻¹. The ratio N/S can be used to evaluate the sulphur sufficiency. A recent method is based on critical lines for forage where S% is a straight line function of N%. In 1st cut sulphur was certainly deficient in 31 of 60 samples. Sulphur was certainly sufficient for 4S and 50N. For other treatments sulphur was certainly deficient except for 6S and 120N, and for 4S and N ≤ 100 kg N ha⁻¹. The indicator values of sulphur deficiency varied little between years and

*holmgeir@lbhi.is

harvests and the ordering of treatments was stable. The average uptake of sulphur applied in excess of 1 kg S ha⁻¹ was 48%.

Key words: Deficient sulphur, sufficient sulphur, the ratio N/S

Inngangur

Fram eftir 20. öld var súperfosfat algengasti fosfóráburðurinn. Það er brennisteinsríkt svo að ekki var hætt við brennisteinsskort. Einnig var ammóníumsúlfat, sem nefnt hefur verið stækja, algengur áburður þótt það hafi ekki gefist vel hér á landi. Með framförum í framleiðslu á áburði kom fram fosfóríkur áburður, þrífosfat, sem er ódýrara í notkun, en í því er lítið af brennisteini. Á sama tíma fór þó mengun frá iðnaði vaxandi og dró hún úr hættunni á brennisteinsskort um skeið. Á Íslandi gætti mengunar hins vegar lítið og á sjötta áratug 20. aldar mátti stundum sjá að áburður „nýttist illa“, það mátti jafnvel tala um uppskerubrest. Dæmi voru um skörp skil ef bændur urðu uppiskroppa með áburð í miðju stykki og héldu áfram með annan sambærilegan áburð. Þá gat sprottið vel eftir aðra tegundina en illa eftir hina, en töluverðan mun á áhrifum áburðar þarf til að skil sjáist greinilega. Ástæðuna þekktu menn ekki þá, en hún var sú að brennisteinsríkur áburður skiptist á við brennisteinssnaudan. Í tilraun kom brennisteinsskortur fyrst í ljós á Hólum í Hjaltadal 1959 – 60 (Árni Jónsson og Hólmgeir Björnsson 1964), en almennt varð hann ekki þekktur fyrr en með tilraunum Jóhannesar Sigvaldasonar (1966) á Norðurlandi. Eftir það voru tilraunir gerðar víða um land með brennistein í áburði. Í nær öllum tilraunum var einnig borið á þrífosfat og með því kom brennisteinn, oftast 1,5 – 3 kg S ha⁻¹ (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Vaxtarauki fannst ekki eftir meiri áburð en 5,8 kg S ha⁻¹ umfram þrífosfat. Nokkrum tilraunum var haldið áfram í 1 – 3 ár eftir 1976 og ein ný tilraun gerð á sama tíma. Á árunum 1981 – 1994 voru gerðar tvær tilraunir á vegum tilraunastöðvarinnar á Sámstöðum þar sem m.a. mátti mæla áhrif brennisteins. Þessar seinast nefndu tilraunir bættu ekki miklu við það sem áður var komið fram og er ekki tilefni til að ræða niðurstöður þeirra frekar[†].

Vaxtarauki af brennisteinsáburði fannst einkum á sendnum jarðvegi, meðal annars á Geitasandi (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Þar og víða annars staðar var hann lítill eða hóflegur, uppskeruauki af S 3 – 6 hkg þe. ha⁻¹. Á nokkrum stöðum á Vestfjörðum og Norðurlandi var hann mikill, mestur á Grænavatni í Mývatnssveit þar sem uppskeran jókst með S-áburði úr 15,7 í 51,4 hkg þe. ha⁻¹ að meðaltali í þrjú ár þótt 2,5 kg S ha⁻¹ kæmu úr þrífosfati (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Einnig kom fram brennisteinsþörf á Geitasandi í tilraun með alaskalúpínu (Hólmgeir Björnsson 2007). Frá því þörfin á brennisteini varð ljós hefur brennisteinn verið í flestum tegundum af fjölgildum áburði sem í boði hafa verið hér á landi.

Mælingar á brennisteini í úrkomu á Íslandi hófust 1958, en voru óreglulegar framan af (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Meðalákoman á Írafossi árin 1980 – 2004 nam 9,8 kg S ha⁻¹, þar af 1,4 kg S ha⁻¹ sumarmánuðina maí – júlí (Björnsson 2007, eftir Jóhanna Margrét Thorlacius 2007). Nokkur tilhneiging hefur verið til minni ákomu seinni hluta þessa árabils. Brennisteinn í úrkomu er bundinn sem súlfat og tapast mikill hluti þess með leysingarvatni og öðru afrennsli. Fer það meðal annars eftir því hvernig og hvenær úrkoman fellur og er ekki vitað hve mikill hluti verður aðgengilegur gróðri. Anjónabinding í jarðvegi verður meiri eftir því sem lífrænt efni og allófan er meira. Súlfatjónir geta þá bundist að einhverju leyti og orðið aðgengilegar rótum til upptöku í stað þess að skolast út. Í sendnum jarðvegi

[†] Niðurstöðurnar birtust jafnóðum í skýrslum um jarðræktartilraunir/jarðræktarrannsóknir árunum 1977 – 1979 og 1981 – 1994, Fjölrit Rala nr. 36, 45, 57, 85, 96, 104, 108, 117, 124, 132, 136, 145, 152, 154, 165, 175 og 181.

eins og á Geitasandi er anjónabinding væntanlega lítil. Ógæringur er að meta hve mikið af brennisteini úr ákomu verður aðgengilegt gróðri ár hvert.

Nitur og brennisteinn tengjast mjög náið í efnaskiptum plantna. Hlutföll þessara efna geta því gefið nokkuð góða vísbendingu um hvort aðgengi að brennisteini hafi verið nægilegt. Til bráðabirgða var miðað við að gildi á $N/S \leq 20$ séu til marks um að brennisteinn sé fullnægjandi en $N/S > 20$ til marks um skort. Tillífunarvefur plantna er ríkur af brennisteini og búast má við hækkingu hlutfalli N/S eftir því sem líður á sumarið (Mengel og Kirkby 2001).

Mathot o.fl. (2009) fundu markalínur örugglega fullnægjandi og örugglega ófullnægjandi gilda brennisteins í grasi. Þeir unnu úr umfangsmiklu safni mælinga á $S\%$ og $N\%$ í grassýnum úr tilraunum með S -áburð í nokkrum löndum Evrópu og Norður-Ameríku. Brennisteinn var talinn ófullnægjandi í tilraun ef meiri S -áburður gaf marktækan uppskeruauka, annars fullnægjandi. Hvert gildi á $S\%$ og $N\%$ var meðaltal fjögurra endurtekninga. Þeir fundu efri og neðri markalínur þannig að ofan efri marka væri S örugglega fullnægjandi og neðan neðri marka örugglega ófullnægjandi. Á bilinu milli þeirra eru vaxandi líkur á að brennisteinn sé ófullnægjandi eftir því sem nær dregur neðri mörkum. Á markalínunum er $S\%$ línulegt fall af $N\%$. Með aðskilnaðargreiningu (*discriminant analysis*) var fundin markalína eða miðlína þannig að neðan hennar eru meira en helmingslíkur á skorti, en minni ofan. Höfundar benda á að niðurstöður þeirra hafi ekki verið staðfestar með óháðum athugunum. Gagnasafnið var takmarkað við $N\%$ á bilinu 1,5 – 4,5% og uppskeru á bilinu 20 – 50 hkg þe. ha⁻¹, og hlutdeild belgjurta gat verið allt að 20%. Í safninu voru einnig niðurstöður úr pottatilraunum.

Á Geitasandi voru gerðar þrjár langtímatilraunir með áburð þar sem bornir voru saman vaxandi áburðarskammtar af helstu plöntunæringarefnum, fosfór, kalí og nitri hverju um sig, en hin efnin borin á sem grunnáburður í magni sem talið var fullnægjandi (P og K) eða hæfilegt (N) (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Brennisteinn var eingöngu borinn á í þrífosfati og fylgdust því S - og P -áburður alveg að, en samanburður mátti fá við mismunandi magn af N - og K -áburði. Í P -áburðartilraun, nr. 3-59, voru P -skammtar frá 0 – 39 kg P ha⁻¹. Árið 1973 var tilrauninni breytt, reitum skipt og á annan helminginn borinn tvöfaldur hæsti P -skammturinn, 78 kg P ha⁻¹, en K - og N -áburður óbreyttur, og var brennisteinn þá orðinn 6 kg S ha⁻¹. Tilraun með K -áburð, nr. 11-59, var einnig breytt 1973 þannig að P -áburður var tvöfaldaður á öðrum helmingi allra reita og N -áburður einnig aukinn, en K -áburður óbreyttur. Um N -tilraunina, nr. 19-58, er ítarlega fjallað í öðrum greinum (Hólmgæir Björnsson o.fl. 2018, Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2018). Þar var prófaður meiri N -áburður en í hinum tilraununum tveimur og til mótvægis var borið á meira þrífosfat sem grunnáburður.

Eftir þær breytingar sem gerðar voru 1973 var komin töluverð breidd í notkun þrífosfats í tilraununum og þar með því magni brennisteins sem borið var á. Jafnvel mátti vænta þess að brennisteinn gæti verið fullnægjandi í einstaka tilraunalið. Auk þess voru hugmyndir um að mismunandi ákoma brennisteins gæti valdið einhverju um að uppskera hefur verið mjög breytileg á Geitasandi.

Markmið þessarar rannsóknar var að meta áhrif lítills magns af brennisteini eins og var notaður í tilraunum á Geitasandi til að draga úr brennisteinsskorti eða hvort tekist hefði að bæta úr honum. Í því skyni var mældur brennisteinn í uppskerusýnum í þrjú ár á seinni hluta tilraunatímans til viðbótar mælingum á öðrum efnum sem áður voru gerðar.

Efni og aðferðir

Áburðarliðir í tilraunum á Geitasandi á Rangárvöllum 1958 – 2007 eru í 1. töflu (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011). Borið var á að vori, nema N-áburður umfram 100 kg N ha⁻¹ í tilraun nr. 19-58 var borinn á eftir 1. sl. (fyrri sláttur). Samreitir voru þrjár. Sama magn áburðar var borið á allan tilraunatímamann, nema í tveimur tilraunanna varð sú breyting vorið 1973 að öllum tilraunareitum var skipt að endilöngu, óbreytt magn áburðar borið á annan helminginn, nefndur I, en aukinn áburður á hinn, nefndur II. Dregið var um um hvor helmingurinn fengi þessa nýju meðferð. Röð reita var að öðru leyti kerfisbundin. Á reitum þessara nýju tilraunaliða gætti í upphafi eftirverkunar frá fyrri meðferð, en að fáum árum liðnum má telja að hennar hafi í flestum tilfellum hætt að gæta. Í vissum tilvikum má líta á 2 – 4 tilraunaliði sem endurtekningu á sömu áburðarmeðferð. Uppskeyra var fyrst mæld 1959. Tilraunareitir voru að jafnaði slegnir tvisvar, en þó var 2. sl. (seinni sláttur) ekki alltaf sleginn vegna þess hve lítið var sprottið.

Tafla 1. Áburður í þremur tilraunum á Geitasandi.

Table 1. Fertilisation of three experiments at Geitasandur.

Nr. tilraunar <i>Trial</i>	Tilraunaliður ¹ <i>Treatment¹</i>	Árabil <i>Years</i>	Áburðarefni/ <i>Fertiliser</i> , kg ha ⁻¹			
			N	K	P	S
3-59 I	a	1958-2007	120	80	0	0
	b		120	80	13	1
	c		120	80	26	2
	d		120	80	39	3
3-59 II	a-d	1973-2007	120	80	78	6
11-59 I	a	1958-2007	120	0	39	3
	b		120	33	39	3
	c		120	66	39	3
	d		120	100	39	3
11-59 II	a	1973-2007	180	0	78	6
	b		180	33	78	6
	c		180	66	78	6
	d		180	100	78	6
19-58	a	1958-2007	50	100	53	4
	b		100	100	53	4
	c		100+50 ²	100	53	4
	d		100+100 ²	100	53	4

¹Tilraunaliðir eru merktir bókstöfum eins og í heimildum. Í tveimur tilraunum voru tilraunareitir klonnir árið 1973 í I og II. Á I var áburður óbreyttur, en á II var áburður aukinn til loka tilraunar.

Experimental treatments are identified by lower case letters as in most sources. In two experiments the plots were split in 1973 and the halves denoted I and II. On part I the fertilisation remained the same. On part II the fertilisation was increased to the end of the experiments as shown.

²N-áburði skipt, áburður að vori + áburður eftir 1. sl.

Split application of N, application in spring + application after 1st cut.

Í þessari grein er reiknað með 1,5% S í þrífosfati eins og í fyrri heimild (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Áburðarframleiðendur hafa þó ekki ábyrgst magn brennisteins í þrífosfati og heimildum ber ekki saman. Því er ekki víst að styrkurinn hafi alltaf verið þessi eða magn S-áburðar eins og það birtist í 1. töflu.

Brennisteinn var mældur í uppskerusýnum frá 1985, 1995 og 2003, einu samsýni af hverjum tilraunalið í báðum sláttum, alls 120 sýnum. Hugmyndin var að eitt árið væri vel ofan meðallags í uppskeru, annað nálægt og hið þriðja neðan meðallags þótt það næðist ekki að fullu. Borið var á tilraun nr. 19-58 12.5., 17.5. og 13.5. vorin 1985, 1995 og 2003, 1. sl. sleginn 3.7., 17.7. og 25.6. og seinni áburðarskammturinn borinn á sama dag eða daginn eftir, og 2. sl. sleginn 27.8., 30.8. og 8.8. Slegið var á sama tíma í hinum tveimur tilraununum svo að mest munaði tveimur dögum, nema árið 1985 var 1. sl. sleginn 16.7. Tilraunirnar voru allar slegnar á sama degi 1984 og 2002, árin á undan því sem brennisteinn var mældur. Var 2. sl. 22.8. árið 1984 en 13.8. árið 2002. Árið 1994 var tilraun nr. 19-58 slegin 25.6. og 22.8., en tilraunir nr. 3-59 og 11-59 voru slegnar aðeins einu sinni, 26.7.

Nitur var mælt í NIR-tæki, en brennisteinn og önnur efni leyst í HNO_3 og mæld í ICP-tæki. Forritið Genstat (Payne o. fl. 2005), 18. útgáfa (*Release*), var notað við tölfræðilega greiningu á niðurstöðum og við gerð línurita. Niðurstöður eru einnig metnar með tilliti til markalína örugglega fullnægjandi og örugglega ófullnægjandi gilda (Mathot o.fl. 2009) sem gerð var grein fyrir í inngangi.

Niðurstöður

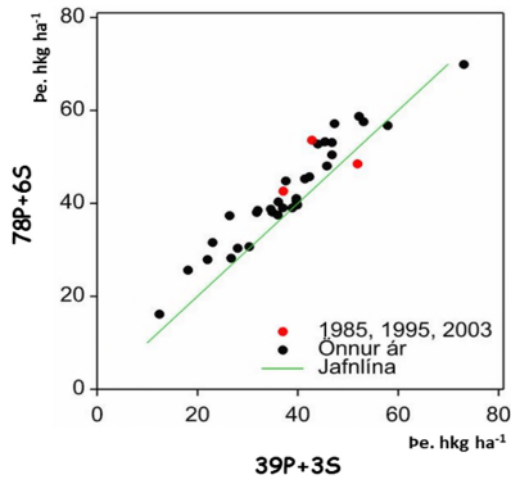
Í 2. töflu eru niðurstöður mælinga á brennisteini og hlutfallið N/S í uppskerusýnum, meðaltöl 3 ára. Enn fremur upptaka brennisteins samkvæmt efnagreiningum og mælingum á uppskeru. Til einföldunar er tekið meðaltal liða sem höfðu fengið jafnmikinn brennistein og jafnmikið nitur í áburði. Þó er haldið sér liðum án K-áburðar, þ.e. 0 kg K ha^{-1} . Tölurnar eru því ýmist meðaltal 3, 9 eða 12 mælinga.

Tafla 2. Brennisteinn (S) í uppskerusýnum á Geitasandi, % af þe., hlutfallið N/S, og S í uppskeru kg ha^{-1} , mt. 3 ára. Niðurstöður eru flokkaðar í fjóra flokka m.t.t. N/S.

Table 2. Sulphur in hay samples from Geitasandur in 1st and 2nd cut, S% of DM, the N/S ratio, and uptake S kg ha^{-1} , three year averages. The results are, for later reference, grouped in four classes (Flokkur), with regard to N/S.

Tilraun	Liður	Sýni	1. sl.		2. sl.		Upptekið S, kg ha^{-1}			Flokkur
			S%	N/S	S%	N/S	1. sl.	2. sl.	Alls	
3-59 I	a	3	0,119	19,6	0,122	18,0	0,6	0,6	1,2	IV
	b	3	0,105	20,9	0,112	22,3	2,6	0,9	3,5	III
	c	3	0,111	19,7	0,125	20,0	3,2	0,9	4,1	II
	d	3	0,112	19,9	0,126	19,6	4,0	1,0	5,0	II
3-59 II	a-d	12	0,128	16,2	0,147	15,2	4,9	1,3	6,2	I
11-59 I	a	3	0,155	19,2	0,141	19,7	3,4	1,4	4,8	IV
	b-d	9	0,112	19,4	0,127	19,1	3,8	1,2	4,9	II
11-59 II	a	3	0,184	18,4	0,170	18,9	4,1	2,0	6,1	IV
	b-d	9	0,124	20,1	0,142	20,1	5,3	1,4	6,6	II
19-58	a	3	0,147	12,8	0,139	11,3	1,8	0,8	2,7	I
	b	3	0,141	16,5	0,130	14,9	3,6	1,3	4,9	I
	c	3	0,131	17,7	0,127	21,9	4,4	1,3	5,8	III
	d	3	0,127	19,2	0,115	27,9	4,1	1,2	5,2	III

Í 2. töflu er sýnd skipting á tilraunaliðum í fjóra flokka, I – IV, sem vísað er til síðar. Í flokk I falla liðir með $N/S < 17$ í báðum sláttum. Í þeim var áburður 4 – 6 kg S ha^{-1} og 50 – 120 kg N ha^{-1} . Í flokki II var N/S á bilinu 19 – 21 í báðum sláttum. Þar var áburður 2 – 3 kg S ha^{-1} og 120 kg N ha^{-1} eða 6 kg S ha^{-1} og 180 kg N ha^{-1} . Í flokki III eru liðir með $N/S \geq 21,9$ í 2. sl. Eru það liðir með 1 kg S ha^{-1} og liðir þar sem N-áburði var bætt við eftir 1. sl. Í flokki IV eru tilraunaliðir án þrífosfats (P og S) eða K-áburðar. Nánast grasbrestur varð ef aldrei var borinn á fosfór og var uppskeran að meðaltali 8,6 hkg ha^{-1} árin 1973 – 2007. Sprettu var einnig lítil ef K-áburð skorti. Því er flokki IV víðast sleppt í umfjöllum hér á eftir, alls þremur tilraunaliðum.



Mynd 1. Uppskeyra, hkg þe. ha^{-1} , eftir 78P+6S (a-d II) og 39P+3S (d I) í tilraun 3-59 á Geitasandi 1974 – 2007, 120 kg N ha^{-1} . Árin sem brennisteinn var mældur eru sýnd með rauðum hring. Græn lína sýnir jafna uppskeru á báðum ásúsum.

Figure 1. Yield, DM hkg ha^{-1} , in treatments with 78P+6S (a-d II) and 39P+3S (d I) in the experiment 3-59 at Geitasandur 1974 – 2007, 120 kg N ha^{-1} . The years in which S was determined are marked with red circle. The green line indicates equal yield on both axes.

Í tveimur tilraunum var P-áburður aukinn í 78 kg P ha^{-1} árið 1973 og S í áburði þar með í 6 kg ha^{-1} . Í tilraun 3-59 var N-áburður óbreyttur, 120 kg N ha^{-1} . Áður birtar niðurstöður sýna að áhrif P-skorts á uppskeru hurfu þegar á öðru ári eftir að áburður var aukinn, og mælingar á P í uppskeru benda til þess að fosfór hafi verið fullnægjandi við 39P (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011), enda munu varla þess dæmi úr öðrum tilraunum að $P > 39$ kg ha^{-1} gefi aukna uppskeru svo nokkru nemi. Með fyrirvara er því litið á fjóra liði, a II til d II, sem eina meðferð, og á áhrifin af aukningu áburðar úr 39P og 3S í 78P og 6S á uppskeru sem hrein S-áhrif. Á 1. mynd er árleg uppskeyra frá 1974 til loka tilraunar af hæsta skammti af þrífosfati, 78P og 6S, sýnd sem fall af næsthæsta skammti, 39P og 3S. Árin sem efnagreint var eru merkt sérstaklega. Á myndinni sést hinn mikli munur á sprettu milli ára, og uppskeruaukinn frá 3S í 6S er að sjá óháður því hvort sprettan var meiri eða minni.

Þegar P-áburður fór úr 26 í 39 kg P ha^{-1} var aukning uppskeru $3,3 \pm 0,50$ hkg þe. ha^{-1} , og $4,7 \pm 0,76$ hkg þe. ha^{-1} við aukningu úr 13 í 26 kg P ha^{-1} . P% í uppskeru lækkaði verulega eftir því sem P-áburður var minni (Þorsteinn Guðmundsson o.fl. 2011), en áhrifin á S% eða N/S í uppskeru voru lítil, a.m.k. á bilinu 26P og 2S til 39P og 3S (2. tafla). Telja má að áhrif þrífosfats á uppskeru að 39P hafi einkum verið vegna áhrifa fosfórs.

Í 3. töflu eru árleg meðaltöl N/S í flokkum I – III (2. tafla). Athygli vekja háar tölur í flokki II árið 1985, báðum sláttum, þótt spretta væri allgóð, en slegið var heldur seinna. Hæstu gildin eru í 2. sl. í flokki III, en í tveimur tilraunaliðum af þremur var nitur borið á eftir 1. sl. Lægst eru gildin frá 2003 þegar mest spratt og snemma var slegið. Hærra staðalfrávik í flokkum II og III en flokki I er vísbending um víxlhrif ára og liða. Munur á sláttutíma hefur haft áhrif á uppskeru tilrauna árið 1985, og aðeins ein tilraunanna var tvíslegin árið 1994 og hefur það haft áhrif 1995. Slík frávik hafa einnig áhrif á styrk efna og geta valdið víxlhrifum við ár.

Tafla 3. Árleg meðaltöl N/S í þrem flokkum (2. tafla) tilraunaliða á Geitasandi og staðalfrávik, reiknuð á víxlhrifum (liðirxár).

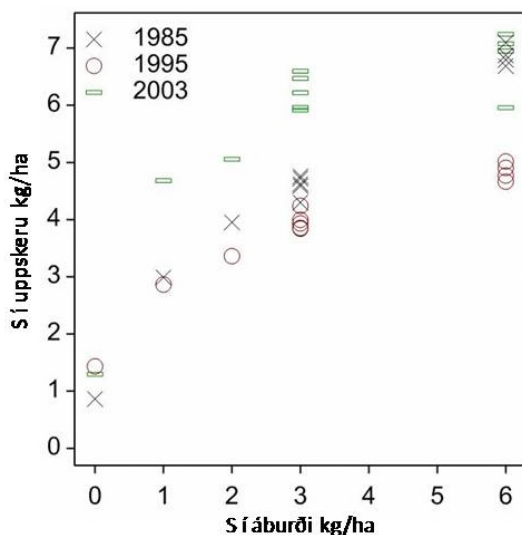
Table 3. Average N/S in three treatment groups (Table 2) at Geitasandur for each year and standard deviation, evaluated on the interaction effects (treatments×years).

Flokkur	N/S í 1. sl.			N/S í 2. sl.		
	I	II	III	I	II	III
Fjöldi liða	6	8	3	6	8	3
1985	15,5	21,0	19,6	15,4	21,9	26,6
1995	16,1	19,8	19,4	14,5	19,8	23,4
2003	15,6	18,4	18,9	13,7	17,4	22,0
Meðaltal	15,7	19,7	19,3	14,5	19,7	24,0
Staðalfrávik	0,80	1,2	1,4	0,60	1,3	1,7

Uptaka brennisteins við mismunandi S-áburð er sýnd á 2. og 3. mynd, liðum án K-áburðar sleppt. Tilraunaliðir, sem voru teknir saman í eitt meðaltal í 2. töflu, eru sýndir hver fyrir sig. Á 2. mynd er árleg upptaka þegar áburður var 120 kg N ha⁻¹, og á 3. mynd meðaltal þriggja ára við mismunandi N-áburð. Einfalt aðhvarf meðalupptöku í þrjú ár að S í áburði, takmarkað við S > 0, K > 0 og N = 120 kg ha⁻¹, gefur

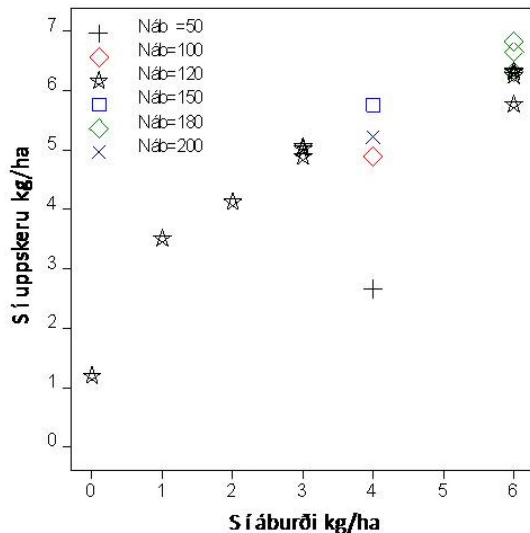
$$\text{Supptekið} = 3,3 + 0,48 \times S_{\text{áborið}},$$

þ.e. að 48% brennisteins í þrífosfati umfram 13P hafi komið fram sem aukin upptaka. Skurðpunkturinn svarar til aðgengis að 7 kg S ha⁻¹ umfram áburð miðað við sömu nýtingu, en upptakan var þó misjöfn eftir árum (2. mynd). Upptakan var mest árið 2003, en það er eina árið af þeim 14, sem N var mælt í heysýnum, að magn niturs í uppskeru sýndi upptöku úr jarðvegi umfram það sem mátti reikna með að kæmi úr áburði (Hólmgæir Björnsson o.fl. 2018). Þegar N-áburður var aukinn jókst uppskera og styrkur niturs í uppskeru, en brennisteinn jókst ekki að sama skapi svo að N/S hækkaði. Uptaka á brennisteini jókst lítið við N > 120 kg N ha⁻¹.



Mynd 2. Árleg upptaka á brennisteini á Geitasandi, N-áburður 120 kg N ha⁻¹. Tilraunalið án kalís sleppt. Sýnd eru einstök gildi þar sem meðaltöl voru látin nægja í 2. töflu.

Figure 2. Annual S uptake at Geitasandur when fertilised with 120N. A treatment without K excluded. Single values shown for treatments that were averaged in Table 2.



Mynd 3. Uptaka á brennisteini á Geitasandi við mismunandi N- og S-áburð, meðaltöl þriggja ára. Tilraunaliðum án kalís sleppt. Einstök gildi sýnd í stað meðaltals sambærilegra liða í 2. töflu.

Figure 3. S-uptake at Geitasandur for different N and S application, averages over three years. Treatments without K excluded. Single values shown for treatments that were averaged in Table 2.

Markalínur fullnægjandi og ófullnægjandi styrks brennisteins

Markalínur örugglega fullnægjandi og örugglega ófullnægjandi brennisteins í uppskeru sem getið var í inngangi (Mathot o.fl. 2009) voru notaðar til að meta niðurstöður. Uppskeyra í 1. sl. var að mestu leyti innan þess bils sem höfundar takmörkuðu gagnasafn sitt við. Undantekningar eru að uppskeyra var <20 hkg ha⁻¹ á lið án P-áburðar og lið með 50N öll árin. Enn fremur á lið með S1 og lið án K-áburðar, eitt ár hvor. Í 2. sl. var uppskeyran hins vegar alltaf neðan þessa bils og því verður að taka þeim niðurstöðum með fyrirvara. Lágmark niturs var N = 1,5% í rannsókn Mathot o.fl. (2009) og á Geitasandi var lágmarkið 1,48.

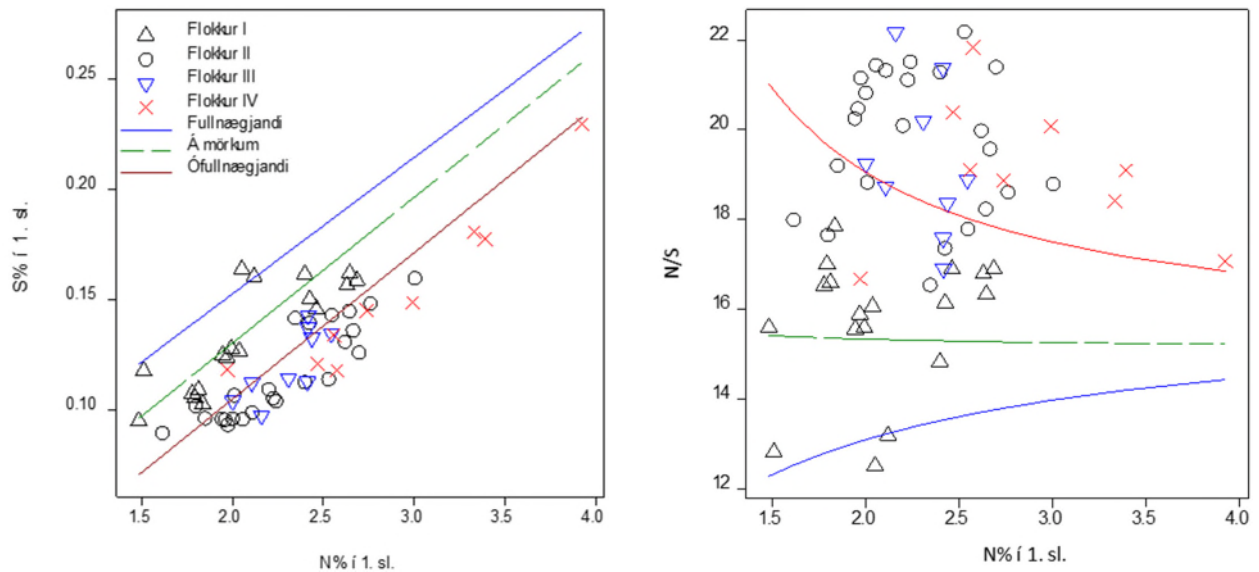
Jöfnur markalína, ásamt miðlínu sem sýnir helmingslíkur, eru[‡]

Örugglega fullnægjandi	$S_f = 0,0619 \times N\% + 0,02894$
Miðlína	$S_m = 0,0662 \times N\% - 0,00198$
Örugglega ófullnægjandi	$S_o = 0,0665 \times N\% - 0,02805$

Bilið frá örugglega ófullnægjandi til örugglega fullnægjandi gilda þrengist úr 0,0501% S í 0,0363% S þegar nitur fer úr 1,5% N í 4,5% N. Að mati höfunda er þetta fremur þröngt bil. Innan þess má grípa til annarra upplýsinga eins og um jarðveg, loftslag, ákomu S úr lofti (Mathot o.fl. 2009).

Á 4. mynd t.v. er S% og N% í 1. sl. í tilraunum á Geitasandi og markalínur dregnar. Á 4. mynd t.h. eru gildin umreiknuð í N/S eins og í 2. og 3. töflu. Þá snýst röðin við og gildi sem sýna skort verða efst en fullnægjandi gildi neðst. Hlutfallið milli tveggja breytna sem fylgja beinni línu ($y=a+bx$) er breiðbogi (*parabola*, $y/x=a/x+b$) og verður sveigjan því meiri sem tölugildi skurðpunktsins (a) er hærra. Sértilfelli er bein lína þegar línan gengur í gegnum núllpunktinn. Miðlínan fer nálægt því og hlutfallið N/S verður næstum óháð N%. Ef brennisteinn er fullnægjandi lækkar N/S þegar N% fer lækkandi með þroska grassins, en hækkar með þroskanum ef brennisteinn er ófullnægjandi.

[‡] Mathot o.fl. (2009) reiknuðu með styrk efna í þúsundustu hlutum, en hér er reiknað í prósentum. Því eru gildin á skurðpunktum líkinganna tíu sinnum lægri en í heimildinni.



Mynd 4. T.v. S% í þurrefni í 1. sl. í tilraunum á Geitasandi flokkað með tilliti til N% (Mathot o.fl. 2009), en t.h. umreiknað í N/S. Á mynd t.v. er S örugglega fullnægjandi ofan blárrar línu en örugglega ófullnægjandi neðan rauðrar línu. Græn miðlína sýnir helmingslíkur á ófullnægjandi S. Á mynd t.h. snýst röðin við, ófullnægjandi gildi verða efst en fullnægjandi neðst.

Figure 4. Grouping of S% in DM in 1st cut at different N% in experiments at Geitasandur according to Mathot et al. (2009). To the left S is certainly sufficient above the blue line but certainly deficient below the red line. The green line indicates 50% probability of deficiency. To the right the values are transformed into the N/S ratio and the values and limits appear in reverse order.

Af 60 gildum á S% í 1. sl. er 31 gildi neðan neðri marka, þ.e. örugglega ófullnægjandi skv. 4. mynd. Eina meðferðin, sem er örugglega fullnægjandi að meðaltali í þrjú ár, er minnsti áburður í 19-58, þ.e. 4S og 50N. Önnur sýni úr flokki I (2. tafla), þ.e. tilraunaliður með 4S og 100N og 4 tilraunaliðir með 6S og 120N, eru ofan neðri marka en neðan miðlínu nema eitt. Á tilraunalið með 4S og 150N var S% einnig ofan neðri marka, en þar var áburður 100N að vori og 50N bætt við eftir 1. sl. Við það jókst þörfin fyrir brennistein og skortur varð áberandi í 2. sl., sjá einnig N/S í 2. töflu. Brennisteinn var því einnig örugglega ófullnægjandi við 150N. Í öðrum tilraunaliðum en þeim sem fyrr voru taldir var brennisteinn að meðaltali örugglega ófullnægjandi þótt einstök sýni væru ekki neðan þeirra marka.

Í tilraunum nr. 3-59 og 11-59 fylgdist áburðardreifing og sláttur að öllum árin. Í þeim eru tilraunaliðir þar sem mismunandi áburður hafði ekki marktæk áhrif og má því telja jafngilda, og þar með endurtekningar á sömu áburðarmeðferð með tilliti til brennisteins, sjá 2. töflu. Þó er vikið frá 2. töflu hvað varðar liði b-d í tilraun 11-58. Í b-lið var áburður $K = 33 \text{ K ha}^{-1}$ og uppskera minni en við meiri áburð. Við það röskuðust hlutföll efna í uppskerunni lítillega. N/S hærra varð hærra bæði í I og II en ef meira var borið á og því er 33K ekki jafngilt 66K og 100K með tilliti til brennisteins. Endurtekningar meðferðir eru því A: 3S og 120N í tilraunaliðum d í 3-59 og c-d I í 11-59, endurtekningar þrjár; B: 6S og 120N í tilraunaliðum a-d II í 3-59, endurtekningar fjórar; C: 6S og 180N í tilraunaliðum c-d II í 11-59, endurtekningar tvær. Samtals eru þetta 9 tilraunaliðir af 16 í þessum tveimur tilraunum.

Styrkur brennisteins dreifðist einkum um markalínu örugglega ófullnægjandi gilda, sjá 4. mynd. Frávik S% í sýni frá þessari línu er hentugt til frekari útreikninga og er hér nefnt **vísigildi**. Ef nitur er 2,5% og S% fellur á miðlínuna er vísigildið +0,0254% S. Meðaltöl vísigildis í 1. sl. eru í áburðarmeðferð A = -0,004% S, B = 0,018% S, C = -0,008% S. Í tveggja þátta ferveikagreiningu á áburðarmeðferð \times ár,

takmarkað við endurteknar áburðarmeðferðir, var staðalfrávik vísigildis í 1. sl. $s_{v1} = 0,0071\%$ S, frítölur 18. Mismunur áburðarmeðferða var marktækur, en ekki áhrif ára eða víxlhrif þeirra við áburðarmeðferð. Árið 2003 var uppskera í 2. sl. á bilinu 11 – 19 hkg ha⁻¹ nema við 0N. Ef allt nitur var borið á að vori hækkuðu öll vísigildi frá 1. sl. og urðu flest jákvæð. Að meðaltali var hækkinun 0,015% S, óháð meðferð. Vísigildi áburðarmeðferðar B var 0,033% S, sem er ofan miðlínu, og liður með 100N fór einnig upp fyrir miðlínu. Árin 1985 og 1995 var 2. sl. ekki sleginn fyrr en undir lok ágúst og uppskeran var oftast á bilinu 3 – 8 hkg ha⁻¹. Vísigildin lækkuðu að meðaltali frá 1. sl. um 0,012% S 1985 og 0,002% S 1995 ef ekki var borið á eftir 1.sl. Í áburðarmeðferð B var vísigildi í 2. sl. 0,022% S eða líkt og í 1. sl., en -0,019% og -0,035% S í A og C að meðaltali þessi tvö ár. Við 100N var gildið rétt undir miðlínu bæði árin. Staðalfrávik vísigilda í 2. sl. var $s_{v2} = 0,0074\%$ S eða álíka og í 1. sl.

Staðalfrávik S% var, samkvæmt fervikagreiningu sem takmarkaðist við endurteknar áburðarmeðferðir, $s_{s1}=0,0055\%$ S í 1. sl. og $s_{s2}=0,0049\%$ S í 2. sl., og frávikshlutföllin (CV%) 4,6% og 3,5%. Staðalfrávik N% voru $s_{N1}=0,140\%$ N og $s_{N2}=0,100\%$ N, frávikshlutföll 6,5% og 4,1%. Á markalínu er N% umreiknað á sama skala og S% með því að margfalda með hallastuðli. Staðalfrávik gilda á línunni fæst með því að margfalda staðalfrávik N% með sama stuðli og eru þau 0,0093% S í 1. sl og 0,0067% S í 2. sl. Vísigildin eru mismunur tveggja breytna. Staðalfrávik þeirra eru lægri en ef um óháðar breytur væri að ræða. Fylgni N% og S% var því jákvæð, +0,65 í 1. sl. og +0,14 í 2. sl.

Umræða

Skortur á brennisteini var óþekktur á Íslandi þegar áburðartilraunir hófust á Geitasandi árið 1958. Hann var því aðeins borinn á sem aukaefni sem fylgdi fosfóráburðinum þrífosfati, og ekki var hægt að greina að áhrif þessara efna á uppskeru af grasi. Það breyttist þó þegar þrífosfat var aukið á helmingi hvers reits og N-áburður hélst óbreyttur í tilraun nr. 3-59. Með fyrirvara er litið á mismun uppskeru af 78P og 6S, meðaltal fjögurra tilraunaliða, og uppskeru af 39P og 3S í sömu tilraun sem mælingu á áhrifum brennisteins (1. mynd). Uppskeruaukinn var að meðaltali $4,2\pm 0,62$ hkg þe. ha⁻¹, en staðalfrávik uppskeruaukans milli ára var 3,68 hkg þe. ha⁻¹. Er niðurstaðan nánast jöfn því sem fékkst í tilraun á Geitasandi 1967 – 69 þegar S í kalísúlfati, 6 – 23 kg S ha⁻¹, var borið á í viðbót við 3S í þrífosfati. Aukning uppskeru var $3,9\pm 1,50$ hkg þe. ha⁻¹ (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Samkvæmt tilraunaskekku í sambærilegri tilraun á Geitasandi væri árleg skekkja uppskeruaukans af brennisteini 2,50 hkg þe. ha⁻¹ (Hólmgæir Björnsson o. fl. 2018), en það er töluvert lægra en staðalfrávik milli ára, 3,68 hkg þe. ha⁻¹. Bendir það til þess að uppskeruaukinn hafi í rauninni verið breytilegur. Þó geta einnig valdið ástæður sem eru óháðar áhrifum áburðar, t.d. breytilegur sláttutími. Sér fylgni (eiginfylgni, *autocorrelation*) milli nærliggjandi ára var 0,28, sem er fremur lágt gildi, og eru þau því lítið háð hvert öðru.

Meðal hugmynda um ástæður þess, að uppskera á Geitasandi var mjög breytileg og stundum mjög lítil, er að mismunandi mikill brennisteinsskortur hafi valdið. Á 1. mynd sést að brennisteinn hefur ekki haft meiri áhrif á uppskeru þegar spretta var lítil en þegar hún var mikil. Má líta á það sem sönnun þess að ástæður grasbrests hafi fyrst og fremst verið aðrar en skortur á brennisteini.

Brennisteinn og nitur tengjast mjög náið í plöntum. Styrk brennisteins í uppskeru má nota til að finna hvort um skort geti verið að ræða, en þá þarf jafnframt að taka tillit til niturs. Oftast hefur verið notað hlutfall þessara efna, N/S, sem getur þó breyst þegar liður á sumarið. Erfitt hefur reynst að reynst að fá öruggar mælingar á brennisteini. Mælingar á nitri og brennisteini í fjórum ólíkum sýnum af gróðri voru bornar saman á tíu rannsóknastofum í Bretlandi, fjórar til fimm mælingar á hverju sýni (Crosland

o. fl. 2001). Mælingum á nitri bar að mestu leyti vel saman, en allmikið bar á milli mælinga á brennisteini, alveg eins þótt aðferð til að mæla brennistein væri sú sama. Er munurinn álitinn vera vegna aðferða við að leysa upp sýni. Frávikshlutfall milli rannsóknastofa á N í sýni af grasi var 2,7% en 13,1% á S. Í sýni af grasi var C/N á sex stofum að meðaltali 9,9, en á fjórum stofum, þar sem S mældist lágt borið saman við staðalsýni, var það 12,4. Þetta er munur sem getur skipt máli við mat á brennisteinsskort.

Í fyrri rannsókn á sýnum úr íslenskum tilraunum var notuð aðferð sem gaf of lág gildi og gildin á N/S urðu því of há (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Snemma vaknaði grunur um að aðferðin væri ekki svo örugg sem skyldi. Skömmu seinna var þetta tekið til nánari athugunar og önnur aðferð tekin í notkun (Kesara A. Jónsson, óbirtar niðurstöður frá 1980, aðferðin þróuð í samvinnu við Derek Mundell). Til samanburðar voru 5 sýni send á aðrar rannsóknarstofur og gáfu þau viðunandi niðurstöðu. Endurmæld voru 17 sýni sem voru með á bilinu 0,02 – 0,17% S samkvæmt fyrri mælingu. Að meðaltali hækkuðu gildin um 0,06. Mismunurinn var óháður styrk brennisteins í sýni, en nokkuð breytilegur. Þetta ber að hafa í huga ef áður birt gildi eru skoðuð. Umfjöllun um brennistein og flestar ályktanir halda þó gildi sínu. Óbirtar eru mælingar á brennisteini í nærri hundrað sýnum úr tilraunum með brennistein.

Í þessari grein voru staðalfrávik fengin með ferveikagreiningu á hluta gagnanna. Má líta á þau sem staðalfrávik endurtekinna og óháðra sýna. Frávikshlutfall í 1. sl. var 6,5% á N% og 4,6% á S%, og í 2. sl. 4,1% og 3,5%. Nákvæmni mælinga á brennisteini hefur því verið síst lakari en á nitri og má teljast góð. Sýni hafa reglulega verið send á milli rannsóknastofa á Norðurlöndum til að fá staðfestingu á að mælingar séu í lagi. Líkur benda því til að hittni mælinga á N og S, þ.e. hversu nærri þær fara réttu, hafi verið fullnægjandi.

Tilraunirnar sýna áhrif annars vegar niturs og hins vegar brennisteins á upptekið magn af brennisteini og styrk hans í grasi borið saman við markalínur (Mathot o.fl. 2009). Í tilraun nr. 19-58 með N-áburð var áburið magn 4 kg S ha⁻¹. Við 50N í áburði var upptaka brennisteins 2,7 kg S ha⁻¹ en 4,9 kg S ha⁻¹ við 100N. Uppskeran meira en tvöfaldaðist við þennan áburð og þar með upptekið nitur. Til að halda óbreyttu hlutfalli N/S hefði upptakan þurft að vera 6,3 kg S ha⁻¹, eða 1,4 kg S ha⁻¹ umfram það sem mældist. Samanburður við markalínur sýndi örugglega fullnægjandi S við 50N en minna en helmingslíkur við 100N. Þegar bætt var við 50N milli slátta varð brennisteinn örugglega ófullnægjandi. Upptakan jókst um 0,9 kg S ha⁻¹, en samanburðurinn er ekki gildur því að áhrif áburðar eftir slátt mælast ekki nema að hluta samsumars.

P- og K-áburður voru viðfangsefnið í tilraunum nr. 3-59 og 11-59. Brennisteinn í grasi jókst að jafnaði um 0,48 kg S á hvert kg S í áburði (2. mynd). Á bilinu 1 – 3 kg S ha⁻¹ er óvíst nema aukin upptaka sé að hluta vegna áhrifa fosfórs í áburði á uppskeru. Er þá hugmyndin að grasið geti tekið upp meiri brennistein umfram áhrifin af S í áburði ef meira sprettur, t.d. vegna meiri P-áburðar. Skýrastar niðurstöður fengust við samanburð á áburðarmeðferðunum 3S og 120N, 6S og 120N, 6S og 180N (auðkenndar A, B og C). Þær voru endurteknar sem mismunandi tilraunaliðir, 3, 4 og 2 sinnum, þar sem sá áburður, sem var ólíkur á þeim, hafði ekki áhrif. Þegar S í áburði fór úr 3S í 6S og nitur var 120N fór S% vel yfir mörk örugglega ófullnægjandi gilda, en þau áhrif voru étin upp og meira til ef nitur var jafnframt aukið í 180N. Niðurstöðum bar vel saman í 1. sl. þau þrjú ár sem mælt var. Í 2. sl. voru niðurstöður breytilegri, enda var munur á grassprettu og sláttutíma milli ára. Uppspera í 2. sl. var alltaf minni en í þeim tilraunum sem voru notaðar til að finna markalínur brennisteins. Niðurstöður úr 2. sl. má þó telja sambærilegar og þær fylla myndina. Vísigildin, þ.e. S% að frádregnu gildi á línu örugglega ófullnægjandi gilda, voru hæst í B. Hæsta gildið var 0,035% S í 2. sl. 2003, en meðaltal fimm annarra

gilda í 1. og 2. sl. var 0,019% S, og spönnin var 0,020% S. Hana má bera saman við bilið frá örugglega ófullnægjandi til örugglega fullnægjandi gilda sem er 0,0479% S við $N = 2,5\%$. Í áburðarmeðferðum A og C, þar sem örugglega var brennisteinsskortur, voru vísigildin breytilegri en í B. A lá alltaf ofar en C og að meðaltali voru vísigildin $-0,005\%$ S í A og $-0,020\%$ í C. Aukning N-áburðar úr 120N í 180N hefur vegið þyngra en hækkun S-áburðar úr 3S í 6S.

Í 3. töflu var hlutfallið N/S tekið til greiningar og tilraunaliðum skipt í flokka. Í flokki I eru þeir tilraunaliðir sem féllu ofan markalínu örugglega ófullnægjandi gilda, þ.e. 50N og 100N og áburðarmeðferð B. Í flokki II eru áburðarmeðferð A og C og enn fremur tilraunaliðir með 3S og 33K. Í flokki I var $N/S = 12,0$ að meðaltali við 50N, en í öðrum fimm liðum á bilinu 16,1 – 16,6, hæst 17,8. Í flokki II var munur á árum, og samanburður við markalínur gaf stöðugri niðurstöður en hlutfallið N/S. Viðmiðun ef nota á N/S til að meta skort á brennisteini má fá með umreikningi á markalínum (Mathot o.fl. 2009), sjá 4. mynd t.h.

Almennt mun gert ráð fyrir lítilli eftirverkun af brennisteinsáburði. Í eldri tilraunum eru dæmi þess að áhrif brennisteins hafi verið mæld í nokkur ár. Í sumum virtust áhrifin breytileg (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Þörf væri á mælingum frá upphafi tilrauna í nokkur ár til að finna hvort full áhrif brennisteinsáburðar fást strax eða hvort þau breytast með tímanum.

Samkvæmt Barker og Pilbeam (2007) getur þurft allt að 40 kg S ha^{-1} í áburði á ári til að ná hámarksuppskeru af grasi, en hún er eflaust mun meiri en vænta má á Íslandi og upptaka brennisteins að sama skapi meiri. Ýmsar tvíkímblaða tegundir þurfa mikið meiri brennistein og er repja meðal þeirra þurftarfrekustu. Í blönduðum áburði, sem er ætlaður á tún hér á landi, er 2% S. Miðað við $20 - 22\%$ N í áburði og að borin séu á 120 kg N ha^{-1} gefur hann $10 - 12 \text{ kg S ha}^{-1}$. Grétar Hrafn Harðarson o.fl. (2006) birtu meðaltal, miðgildi, hæsta og lægsta gildi á prótein% og S% í 200 heysýnum úr 1. sl. 2003. Reiknað á meðaltali var N/S 11,4 og á miðgildi 11,6. Sundurliðað á 9 landshluta var N/S frá 10,2 – 12,4. Við hæstu gildin á N/S var $N > 2,5\%$ að meðaltali. Borið saman við 4. mynd t.h. má sjá að í öllum landshlutum hefur N/S verið vel innan marka þess að vera örugglega fullnægjandi. Litlu munar á miðgildi og meðaltali og er dreifing gilda því samhverf. Einnig er hlutfallslegur breytileiki beggja efnanna svipaður. Ófullnægjandi gildi hljóta því að vera fá. Þörfinni fyrir brennistein hefur almennt verið fullnægt í 1. sl. með þeim blandaða áburði sem var á markaði. Sambærilegar niðurstöður vantar úr 2. sl., en e.t.v. má vænta hærri gilda á N/S ef áburði án brennisteins er dreift eftir 1. sl. Gróft áætlað verður upptaka brennisteins a.m.k. 10 kg S ha^{-1} ef uppskera af heyi er $>5 \text{ t þe. ha}^{-1}$.

Eins og fram kemur í inngangi var skortur á brennisteini sums staðar svo mikill á Íslandi að tala má um uppskerubrest, bæði á tünnum bænda og í tilraunum (Áslaug Helgadóttir o.fl. 1977). Á Geitasandi var skorturinn ekki eins mikill þótt spretta hafi stundum verið mjög lítil. Í umræðu um áhrif aukins brennisteins úr 3 kg í 6 kg S ha^{-1} á uppskeru kom fram að þau hafi verið óháð sprettu. Því hafi það varla verið brennisteinsskortur að kenna að spretta var mjög lítil sum árin. Hins vegar hefur komið fram að veðurfarsþættir, sem hafa áhrif á vorkomu, hafi e.t.v. valdið misjafni sprettu á Geitasandi (Hólmgæir Björnsson o.fl. 2018).

Brennisteinn hefur áhrif á upptöku og nýtingu fjölmargra efna, m.a. nauðsynlegra snefilefna og málma sem geta verið skaðlegir (Barker og Pilbeam 2007). Í jarðrækt á Íslandi gætu snefilefnin selen, bór og molybden einkum skipt máli. Áhrif brennisteins á þau mætti kanna án nýrra tilrauna því að sýni úr tilraunum með brennistein munu enn vera til. Eins og fram kemur í þessari grein er nú völ á aðferð til að meta áhrif brennisteins sem er óháð ýmsum öðrum þáttum eins og t.d. sláttutíma. Áhugavert viðfangsefni væri að gera á ný tilraunir á stöðum þar sem gera má ráð fyrir að brennisteinn hafi áhrif og láta þær standa í nokkur ár til að sjá hvort áhrifin breytast með tíma. Ekki er líklegt að rannsóknir á

brennisteini muni hafa forgang á næstunni. Gera má þó ráð fyrir að í framtíðinni verði stefnt að nákvæmari notkun áburðar og að magn efna eins og brennisteins í áburði verði ákveðin nákvæmar með tilliti til þarfa.

Heimildir

Árni Jónsson og Hólmgeir Björnsson 1964. Skýrslur tilraunastöðvanna 1959-1960. *Rit landbúnaðardeildar Atvinnudeildar Háskólans*, A-flokkur nr. 16: 108 bls.

Áslaug Helgadóttir, Friðrik Pálmason og Hólmgeir Björnsson 1977. Áhrif brennisteinsáburðar á hefyng og brennistein í grasi. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* 9,2: 3-21.

Barker A.B. og D.J. Pilbeam 2007. *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, Fl.

Björnsson H. 2007. Fertilization of Nootka lupin (*Lupinus nootkatensis*) for biomass production and carbon sequestration. *Icelandic Agricultural Sciences* 20: 81-92.

Crosland A.R., F.J. Zhao, S.P. McGrath 2001. Inter-laboratory comparison of sulphur and nitrogen analysis in plants and soils. *Communication in Soils Science and Plants Analysis* 32: 685-695.

Grétar Hrafn Harðarson, Arngrímur Thorlacius, Bragi Líndal Ólafsson, Hólmgeir Björnsson, Tryggvi Eiríksson 2006. Styrkur snefilefna í heyi. *Fræðaping landbúnaðarins* 2006: 179-189.

Hólmgeir Björnsson, Þorsteinn Guðmundsson og Guðni Þorvaldsson 2018. Áhrif nituráburðar á uppskeru af grasi og nýting hans í langtímatilraun á snauðri sandjörð. *Skrína* 4(1): 1-16 (www.skrina.is).

Hólmgeir Björnsson 2007. Áhrif brennisteins- og fosfóráburðar á vöxt alaskalúpínu og bindingu kolefnis í jarðvegi. *Fræðaping landbúnaðarins* 2007: 384-391.

Jóhanna Margrét Thorlacius 2007. *Veðurstofa Íslands*, óbirtar niðurstöður.

Jóhannes Sigvaldason 1966. Rannsóknir á brennisteinsskorti í íslenskum túnum. I. Tilraunir með brennisteinsáburð á tún sumarið 1966. *Ársrit Ræktunarfélags Norðurlands* 63: 49-64.

Mathot M., L. Thélér-Huché, R. Lambert 2009. Sulphur and nitrogen content as sulphur deficiency indicator for grasses. *European Journal of Agronomy* 30: 172-176.

Mengel K. & E.A. Kirkby 2001. *Principles of plant nutrition*, 5th ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

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.

Þorsteinn Guðmundsson, Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 2011. Langtímaáhrif áburðar á jarðveg og uppskeru á Geitasandi. *Rit Lbhí* nr. 35. 79 bls.

Þorsteinn Guðmundsson, Guðni Þorvaldsson og Hólmgeir Björnsson 2018. Langtímaáhrif nituráburðar á kolefni, nitur og auðleyt næringarefni í snauðri sandjörð. *Skrína* 4(2): 1-11 (www.skrina.is).