

Lokaskýrsla til Nýsköpunarsjóðs námsmanna & Þróunnarsjóð
nautgriparæktarinnar

Sýrland – hækkun sýrustigs ræktunarlands

Gunnhildur Gísladóttir



Efnisyfirlit

Samantekt.....	3
Inngangur	4
Landbúnaður og matvælaöryggi	4
Áburður	4
Íslenskur jarðvegur.....	6
Hækkun sýrustigs jarðvegs	7
Markmið.....	9
Efni og aðferðir	10
Tilraunaskipulag	11
Bergefni.....	12
Frágangur	13
Mælingar	13
Úrvinnsla gagna	14
Niðurstöður	15
Jarðvegssýni	15
Grænkustuðull og skortseinkenni	15
Uppskera	17
Umræður	19
Heimildir	21

Efnisorð: Jarðvegur, áburðarnýting, sýrustig, kalk, bergefni

Samantekt

Verkefnið snýr að því að bæta frjósemi íslensks ræktunarjarðvegs með því að hækka sýrustig hans með innlendum bergefnum. Íslenskur ræktunarjarðvegur er oft of súr fyrir hentugar nytjajurtir sem leiðir til verri áburðarnýtingar.

Lögð var út tilraun með mismunandi bergefnum til að auka frjósemi, bæta áburðarnýtingu og sýrustig ræktunarlands. Markmið tilraunar var að finna hagkvæma lausn fyrir bændur til þess að bæta ræktunarjarðveg með innlendum bergefnum. Meðferðarliðir voru áburðarkalk, dólómít kalk, skeljasandur, svartur námusandur, fjörusandur, svartur sandur + áburðarkalk, svartur sandur + dólómít kalk og skeljasandur + áburðarkalk í mismunandi skömmtum. Sáð var byggi ásamt grasfræblöndu með vallarfoxgrasi, rýgresi og rauðsmára. Tekin voru jarðvegssýni og mælt sýrustig úr hverjum reit fyrir dreifingu efnanna. Mældur var grænkustuðull og gerðar uppskerumælingar. Niðurstöður sýndu engan marktækan mun á milli skammta en mismunandi bergefni höfðu áhrif á grænku nytjaplantanna og uppskeru. Blanda af skeljasandi og áburðarkalki sýndi tölfræðilega marktæka hæstu uppskeru en blanda af svörtum sandi og áburðarkalki hæsta grænkustuðulinn við uppskeru. Möguleiki er á að nýta innlend bergefni til hækunar sýrustigs ræktunarlands og að blanda saman mismunandi tegundum bergefna.

Inngangur

Landbúnaður og matvælaöryggi

Landbúnaður er ein aðal undirstaða fæðuöryggis í heiminum en megnið af þeim matvælum sem manneskjan neytir kemur úr landbúnaði. Samkvæmt skýrslu FAO, IFAD, UNICEF, WFP og WHO (2022) um stöðu matvælaöryggis og næringar í heiminum eru 9,8% af íbúum heimsins sem lifa við vannæringu og um 702 – 828 milljónir sem upplifðu hungur á árinu 2021. Spár gera ráð fyrir því að um 670 milljón manns muni þjást af hungri árið 2030 eða um 8% íbúa heimsins. Síðustu ár hafa heimsfaraldur, stríð og auknar öfgar í veðri sökum gróðurhúsaáhrifa haft mikil áhrif á landbúnað. Samgöngur og flutningsleiðir búvara hafa truflast og jafnvel lokast og kom þar í ljós mikilvægi fæðuöryggis og sjálfbærni hvernar þjóðar (FAO, IFAD, UNICEF, WFP og WHO, 2022).

Áburður

Manneskjan er háð því að rækta plöntur til matar- og lyfjaframleiðslu og með aukinni fólksfjölgun í gegnum tíðina hefur álag á land til ræktunar aukist sem hefur leitt til þurrðar í næringarefnaframboði jarðvegsins. Tilbúinn áburður hefur spilað lykilhlutverk í því að mögulegt sé að framleiða allan þann mat sem þarf til þess að halda í við fólksfjölgun en talið er að tilbúinn áburður hafi aukið matvælaframleiðslu heims um 800% á árunum 1961 – 2019. Áburðurinn færir plöntum nauðsynleg næringarefni sem þarf til viðhalds og vaxtar. Það hefur þó komið í ljós að ofnotkun á tilbúnum áburði getur haft slæm áhrif á jarðveg og umhverfi. Ofnotkun leiðir til útskolunar næringarefna sem veldur ofgnótt þeirra í vistkerfum og raskar jafnvægi þeirra (Yahaya, Mahmud, Abdullahi og Haruna, 2022; Bhattacharya, 2019).

Fyrir utan súrefni (O), kolefni (C) og vetni (H) eru nauðsynleg næringarefni sem plöntur þurfa nítur (N), fosfór (P) og kalí (K) en einnig þurfa plöntur kalsíum (Ca), magnesíum (Mg) og brennistein (S) ásamt snefilefnunum klór (Cl), mangan (Mn), járn (Fe), kopar (Cu), bór (B), mólýbden (Mo) og nikkell (Ni). Þessi efni eru oftast til staðar í jarðveginum í nægu magni fyrir plöntur að undanskyldum N, P og K sem gerir það af verkum að það verður að bera á áburð sem inniheldur þessi efni til þess að uppfylla þarfir plantnanna að auki inniheldur tilbúinn áburður gjarnan S, Mg, og Ca. Ef það vantar áburðarefni í jarðveginn kemur fram skortur í plöntunum og uppskera verður lélegri að gæðum og minni (Yahaya o.fl., 2022). Í gegn um tíðina hefur notkun á tilbúnum áburði aukist en uppskerumagn hefur ekki aukist eins mikið samhliða sem gefur til

kynna að upptaka plantna á næringarefnum er skert. Léleg nýting á næringarefnum er ekki bara kostnaðarsöm heldur mengar það líka umhverfið meira (Bhattacharya, 2019).

Útskolun áburðarefna eru ekki einu neikvæðu umhverfisáhrif áburðarnotkunnar heldur skilur framleiðsla áburðar eftir sig stórt kolefnisspor. Flestar áburðartegundir eru tæmandi auðlindir og yfirvofandi áburðarskortur er mikið áhyggjuefni svo það er nauðsynlegt að finna leiðir til þess að nýta hann betur. Skortur á áburðarefnum hefur einnig í för með sér ört hækkandi verðlagningu (Alewell, Ringeval, Ballabio, Robinson, Panagos og Borrelli, 2020). Rússland er einn stærsti framleiðandi og útflytjandi í heimi á N, P og K áburði og þar sem Rússland ásamt Úkraínu er stór framleiðandi og útflutningsaðili á korni og áburði hefur orðið skortur á þessum vörum vegna stríðsins sem þar geysar og heimsmarkaðsverð hækkað enn meira. Einnig hefur hækkandi verð á orku á borð við gas samleggjandi áhrif á áburðarverð þar sem N framleiðsla er gríðarlega orkukrefjandi ferli (FAO o.fl., 2022).

Plöntur þurfa á áburði að halda til þess að viðhalda vexti og þroska. Nitur (N) er nauðsynlegt til uppbyggingar á amínósýrum, próteinum, frumveggjum, frumuhimnum og kjarnsýrum. Ef skortur er á N hefur það áhrif á þroska og vöxt, dregur úr laufþekju og þar af leiðandi ljóstillífun, hraðar öldrun og dregur úr framleiðni plöntunnar (Mu og Chen, 2021).

Fosfór (P) er mikilvægt á öllum þroskastigum plöntunnar. Það hjálpar til í frumskiptingu, virkjun/óvirkjun ensíma og efnaskiptum kolvetna. Það örvar spírun fræja, þroska róta, styrkir stöngul, sprota, blóm og fræ. Einnig spilar fosfór lykilhlutverk uppbyggingu himna, tillífun lífsameinda, myndun orkuríkra sameinda og er byggingarefni DNA. Skortur á fosfór leiðir til hægari vaxtar, minni, dekkri og vanþroskaðri laufblaða í upphafi en þegar líður á sprettutímam kemur fjólublár blær á blöðin og þau fara að krullast. Brúnir blettir geta myndast inn í rótarhniði við P skort (Malhotra, Vandana, Sharma og Pandey, 2018).

Kalí (K) spilar mikilvægt hlutverk í ljóstillífun, osmósutemprun, virkjun ensíma, myndun próteina, samvægi jóna og viðhaldi á jónajafnvægi plantna. Skortur á K hefur áhrif á virkni ljóstillífunar, útgufun og stjórnun loftmunna. Einnig getur skortur á K minnkað upptöku á N og flæði vatns í gegn um himnur (Hafsi, Dedz og Abdelly, 2014).

Áburður skaffar plöntum oftast ekki beint þau nauðsynlegu næringarefni sem þær þurfa. Áburði er dreift á jarðveg sem sameindir sem innihalda nauðsynleg næringarefni. Jarðvegurinn miðlar

svo næringarefnum til gróðurs og jarðvegslífs. Upptaka næringarefnanna fer þannig eftir því hvernig jarðvegurinn er (Yahaya o.fl., 2022; Þorsteinn Guðmundsson, 2018).

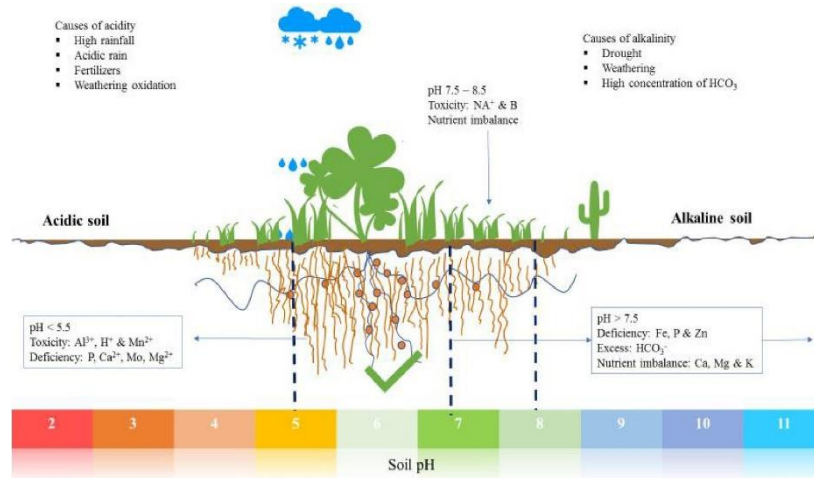
Íslenskur jarðvegur

Íslenskur jarðvegur er frábrugðinn jarðvegi flestra annara svæða heims vegna þess að hann er að lang mestu leiti eldfjallajarðvegur (Andosol) sem einkennist aðallega af þremur leirstendum, allófan, ímógólít og ferrihýdrít. Þessar leirsteindir myndast við það að gjóska eldfjallajarðvegsins veðrast í röku umhverfi og við það losna jónir s.s. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} og Si^{4+} . Þessar tvær síðastnefndu falla út með súrefni og hýdroxíði og mynda við það leirsteindirnar allófan og ímógólít (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009). Járnið fellur einnig út og myndar við það ferrihýdrít (Ólafur Arnalds, Bergrún Arna Ólafsdóttir og Rannveig Guicharnaud, 2005). Hinar katjónirnar skolast út en hafa þó mikil áhrif á sýrustigið í jarðveginum. Leirsteindirnar sem einkenna eldfjallajarðveg eru frábrugðnar öðrum leirsteindum að því leiti að þær eru kúlu- og nárlaga en ekki blaðlaga eins og flestar aðrar leirsteindir. Þetta gerir það af verkum að jarðvegurinn loðir ekki eins vel saman og sá sem er með blaðlaga leirsteindir (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009). En þetta leiðir einnig til þess að jarðvegurinn hefur mikið holurými og þar af leiðandi litla rúmþyngd. Vatnsrýmd er mikil sem þýðir að jarðvegurinn getur bundið mikið vatn og vatnsleiðni góð. Jarðvegurinn inniheldur almennt mikið af lífrænum kolefnum (C) sem og N og getur bundið mikið af P (Helgadóttir, Eythórsdóttir og Jóhannesson, 2013).

Eiginleiki jarðvegs til þess að miðla næringarefnum myndast vegna rotnunar á lífrænum efnum og efnaveðrun á bergefnum en aðallega er hann til staðar vegna þess að svifagnir jarðvegsins (oxíð, hýdroxýð, leiragnir og lífrænar svifagnir) eru mjög virkar í efnahvörfum vegna smæðar en hlutfallslega mikils yfirborðs. Næringarefni sem og önnur mögulega skaðleg efni lausbindast svifögnum jarðvegsins sem gerir miðlun þeirra auðveld. Hleðsla agna í íslenskum jarðvegi er breytileg, hún fer eftir sýrustigi og saltstyrk í jarðvegslausninni. Við lágt sýrustig bindast agnirnar OH^- og verða þá ekki lengur aðgengilegar en við hærri sýrustig verður hleðsla á ögnunum neikvæð og geta þær þá bundið katjónir (Þorsteinn Guðmundsson, 2018).

Sýrustig er mælt á pH skala frá 0 – 14 þar sem 7 er hlutlaust, allt yfir það er basískt og það sem er undir 7 telst súrt. Algengt er að sýrustig í jarvegi sé frá 3 upp í 10 en íslenskur jarðvegur er

yfirleitt með pH um 4,5 – 7,0 en getur þó farið hærra eða lægra (Þorsteinn Guðmundsson, 2018). Á mynd 1 má sjá pH skalann og við hvaða sýrustig plöntur vaxa best.



Mynd 1 Aðgengi plantna að næringarefnum og ójafnvægi í næringarefnaframboði tengt sýrustigi jarðvegs (Msimbira og Smith, 2020)

Hækkun sýrustigs jarðvegs

Algengustu katjónir sem hækka pH eru Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ og Na^+ en þær mynda sölt við hýdroxíð (OH^-) og virka því basískt. Algengustu jónir sem mynda síru og lækka þar með pH jarðvegs eru vetni (H^+) og ál (Al^{3+}) (Þorsteinn Guðmundsson, 2018). Lágt sýrustig ræktunarjarðvegs getur haft mikil áhrif á magn og gæði uppskeru þar sem súr jarðvegur dregur úr aðgengi plantna að nauðsynlegum næringarefnum og eykur hlutdeild eitraðra jóna á borð við járn (Fe^{2+}) og Al^{3+} (Li, Cui, Chang og Zhang, 2018).

Kölkun er algengasta aðferð sem notuð er til þess að hækka eða viðhalda sýrustigi ræktunarjarðvegs (Holland, White, Glendining, Goulding og McGrath, 2019). Með því að bæta kalkefnum í jarðveginn er hægt að hlutleysa H^+ jónir jarðvegsins og hækka þannig sýrustig hans. Með því er dregið úr magni eitraðra jóna og aukið aðgengi nauðsynlegra næringarefna, P, K og S. Þá hefur kölkun einnig þann kost að bæta mikilvægum jónum í jarðveginn en flest efni sem notuð eru til þess að kalka jarðveg innihalda Ca^{2+} og/eða Mg^{2+} (Li o.fl., 2018).

Bygging jarðvegs verður almennt stöðugri við hærra sýrustig og jarðvegslíf verður virkara ef sýrustig er ekki of lágt. Flestar jarðvegsörverur dafna best við veiksúrt eða hlutlaust sýrustig líkt

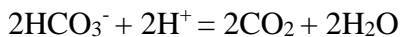
og plöntur þannig með því að kalka jarðveg verður örverulíf öflugra og þar með umsetning á lífrænum efnum og miðlun áburðarefna. Minna magn Al^{3+} í jarðveginum og aukið aðgengi að P eykur rótárvöxt plantna en þar sem plöntur taka upp næringarefni í gegn um rætur í jarðveginum er mikilvægt að ræturnar geti vaxið og dafnað í jarðveginum. Sum næringarefni eru hreyfanleg og færast að rótunum en önnur eru ekki mjög hreyfanleg og verða rætur því að getað hreyft sig í átt að þeim. Með því að kalka jarðveginn er bygging hans bætt og loftun aukin sem gerir rötum auðveldar að komast um jarðveginn sem hefur jákvæð áhrif á upptöku næringarefna. (Holland o.fl., 2018; Þorsteinn Guðmundsson, 2018).

Landbúnaður er í sífelldri þróun og eru markmið landbúnaðarframleiðslu ekki einungis að framleiða nóg af matvælum heldur gera það með umhverfisvænum hætti. Kölkun jarðvegs gerir það að verkum að plöntur nýta betur þau næringarefni sem eru í boði, það dregur úr útskolun næringarefna og bætir áburðarnýtingu sem leiðir til minni áburðarnotkunar.

Algengustu efni sem notuð hafa verið til kölkunar eru skeljasandur, áburðarkalk og dólómít kalk. Ferlið sem á sér stað þegar kalkað er með áburðarkalki er:

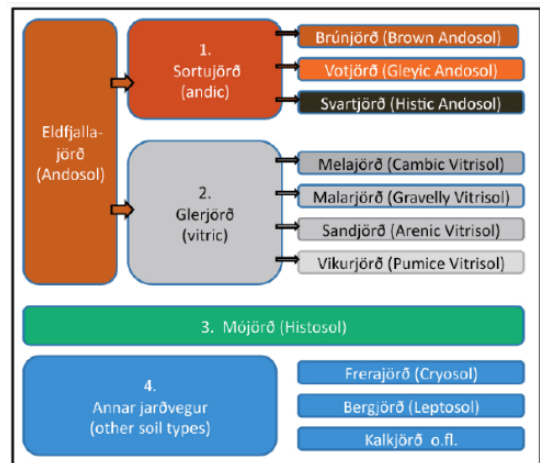


Ferlið fyrir dólómít kalk er:



Þetta ferli sýnir að með því að kalka með dólómítkalki eða áburðarkalki losnar CO_2 út í andrúmsloftið og eykur þannig gróðurhúsaáhrif (Holland o.fl., 2018).

Rannsókn Dietzen, Harrisona og Michelsen-Correa (2018) sýndi fram á það að með því að líkja eftir náttúrulegri veðrun á bergi og nota basísk bergefni til hækkunar sýrustigs í jarðvegi væri möguleiki á að draga úr losun á CO₂ við kölkun í stað þess að auka hana. Bergefnið þyrfti að einkennast af veikri glerkenndri uppbyggingu sem væri auðvelt að brjóta niður. Jarðvegur á Íslandi er flokkaður sem *Andosol* eða eldfjallajarðvegur en annar tveggja undirflokka *Andosol* er einmitt glerjörð (*vitrisol*) eins og sjá má á Mynd 2 (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009).



Mynd 2 Flokkun á íslenskum jarðvegi (Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson, 2009)

Markmið

Markmið verkefnisins var að finna hagkvæma lausn fyrir bændur til þess að bæta ræktunarjarðveg með innlendum bergefnum sem og að bera þau saman við þau efni sem hafa verið notuð í gegn um tíðina.

Rannsóknaspurningar eru: Er hægt að nota innlent bergefni til þess að hækka sýrustig jarðvegs? Hækkar dólómít kalk sýrustig ræktunar jarðvegs til jafns við hefbundinn skeljasand?

Efni og aðferðir

Lögð var út tilraun á Hvanneyri vorið 2022 til þess að kanna áhrif mismunandi bergefna til kölkunar ræktunarjarðvegs. Tilraunin var lögð út í spildu sem kölluð er Biafra, en þar eru áður staðsettar tvær langtímatilraunir. Jarðvegurinn í spildunni einkennist af mýrarjarðvegi með lágt sýrustig sem hefur ekki verið plægður eða unninn upp síðan 1970. Tilbúinn áburður hefur ekki verið borinn á spilduna í þónokkur ár en þar hefur verið dreift búfjáráburði og gras slegið og hirt.

Í fyrstu voru tekin fimm jarðvegssýni úr spildunni sem sýndi að sýrustig jarðvegsins var nokkuð breytilegt en meðaltal var pH 5,38 eins og sjá má í Töflu 1. Þar sem pH er á log skala var meðaltal reiknað með formúlunni $-\log_{10}[(\Sigma C_i)/(n)]$, þar sem C er styrkur H⁺ jóna (pH) og n er fjöldi mælinga.

Tafla 1 Sýrustigsmælingar og meðaltal þeirra

Sýni	1	2	3	4	5	Meðaltal
pH	5,39	5,44	5,17	5,50	5,48	5,38

Þann 25. maí var plægt upp u.þ.b. 1 hektara úr spildunni þar sem plægingardýpt var 20 cm og að því loknu var tætt yfir með pinnatætara. Þá var mælt út og settar stikur til að merkja hvern og einn reit.



Mynd 3 Jarðvegssýni tekin úr hverjum og einum reit

Jarðvegssýni voru tekin úr öllum reitum til sýrustigsmælinga eftir plæginu.

Tilraunaskipulag

Tilraunin er sett upp í hefðbundnu blokkarskipulagi þar sem hver meðferðkemur fram í þremur endurtekningum (e. randomized complete block design). Meðferðarliðir eru settir upp handahófskennt innan hvernar blokkar fyrir sig. Meðferðarliðir eru 11 talsins og er tilraunin því 99 reitir í heildina.

4	3	17	33	2	30	12	21	15	20	29
16	14	13	27	22	18	7	10	23	5	26
9	32	11	1	19	31	28	6	8	25	24
32	33	18	1	9	16	21	10	30	17	5
20	7	2	28	23	3	15	8	19	29	27
25	12	13	6	4	24	26	22	11	31	14
33	24	31	21	2	19	23	10	6	18	16
7	28	22	4	25	27	14	3	11	9	20
12	5	30	8	17	32	13	26	15	1	29

Mynd 4 Tilraunaskipulag

Meðferðarliður	Skammtur 1 Kg/ha	Skammtur 2 Kg/ha	Skammtur 3 Kg/ha
Dólómít kalk I	3000	5000	10000
Dólómít kalk II	3000	5000	10000
Áburðarkalk I	300	600	1000
Áburðarkalk II	300	600	1000
Mix I (Svartur sandur + áburðarkalk)	10000 + 150	10000 + 300	10000 + 500
Mix II (Svartur sandur + dólómít kalk)	10000 + 1500	10000 + 2500	10000 + 5000
Mix III (Skeljasandur + áburðarkalk)	10000 + 150	10000 + 300	10000 + 500
Skeljasandur	5000	10000	15000
Fjörusandur	5000	10000	15000
Svartur Sandur	5000	10000	15000
Viðmið	0	0	0

Mynd 5 Meðferðarliðir og skammtastærðir

Bergefni

Þann 1. – 3. júní var öllum kalk -og bergefnum dreift á tilraunina. Efni sem notuð voru í tilrauninni voru svartur námusandur úr námu á Hvanneyri, fjörusandur úr fjörunni við Ós í Hvalfjarðarsveit, skeljasandur frá Björgum í Faxaflóa, dólómít kalk frá Sláturfélagi Suðurlands og áburðarkalk frá Líflandi.



Mynd 6 Efni sem notuð voru til kölkunar ásamt áburði og sáðfræjum

Svarti sandurinn var fenginn úr lítilli námu á Hvanneyri. Sandinum var dreift í 3 skammtastærðum, 5, 10 og 15 tonnnum á hektara (t/ha), ásamt því að vera í blöndu við dólómítkalk og áburðarkalk. Í blöndunum var sett 10 tonn/ha af sandi og svo 3 skammtastærðir af kalki, í annari blöndunni var þá 10 tonn af sandi ásamt 1,5, 2,5 og 5 tonn/ha af dólómít kalki og í hinni blöndunni var 10 tonn af sandi ásamt 150, 300 og 500 kg/ha af áburðarkalki.

Fjöru sandurinn kom úr fjörunni við Ós í Hvalfjarðarsveit. Sandurinn er fíngerður svartur sandur blandaður við skeljasand. Fjörusandinum var dreift í 3 skammtastærðum, 5, 10 og 15 tonn/ha.

Skeljasandurinn kom úr Faxaflóa, frá Björgum og var efnainnihald $53,5\% \text{ CaCO}_3$.

Skeljasandurinn var borinn á í 3 skömmtum líkt og hinar sand tegundirnar, 5, 10 og 15 tonn/ha. Einnig var skeljasandurinn borinn á í blöndu með áburðarkalki þar sem borið var á 10 tonn af skeljasandi ásamt 150, 300 og 500 kg/ha af áburðarkalki.

Dólómít kalk ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) fengum við frá Sláturfélagi Suðurlands, efnainnihald þess er $23,2\%$ kalsíum (Ca) og $12,0\%$ magnesíum (Mg). Kalkið var borið á í 3 skammtastærðum 3, 5 og 10 t/ha ásamt því að vera í blöndu með svörtum sandi eins og komið hefur fram.

Áburðarkalkið sem notað var kom frá Líflandi og var efnainnihald þess 37,9 % Ca.

Áburðarkalkið var borið á í 3 skammtastærðum 300, 600 og 1000 kg/ha ásamt því að vera í blöndu með svörtum sandi og skeljasandi.

Skeljasandi, fjörusandi, svörtum sandi og tveimur stærstu skömmtunum af dólómítalki var dreift með Topdresser 2500 en skammtar sem voru undir 5 tonnum á hektara var dreift með höndum.



Mynd 7 Kalkefni komin á tilraunareiti

Frágangur

Þegar búið var að dreifa öllum berg -og kalkefnum í tilraunina var rakað yfir hvern og einn reit með hrifu til þess að blanda efnunum við efstu 5 cm jarðvegsins og líkja þannig eftir fínvinnslu. Þá var allt klárt til sáningar og var sáð í tilraunina þann 4. júní með tilraunasáningarvél af gerðinni Haldrup SB25. Sáð var 100 kg/ha af byggrykinu Kríu ásamt 20 kg/ha af grasfræblöndu með vallarfoxgrasi (Tukka, Rubina, Hertta og snorra), vallarrýgresi (Riikka) og rauðsmára (Peggy og Yngve). Dreift var því sem samsvarar 400 kg/ha af Yara áburði 15 – 7 – 12 (60 kg N/ha, 28 kg P/ha og 48 kg K/ha), um leið og það var sáð. Að lokum var valtað yfir með hálffullum tunnvalta sem er 1350 kg og gerir það um 565 kg/m.

Mælingar

Frá og með 23. júní til 15. ágúst var grænkustuðull (NDVI) mældur vikulega með Trimble GreenSeeker tæki.

Sýrustig jarðvegssýna var mælt með Benchtop pH/mV mæli. Sett var 10g af jarðvegssýni í bikar og 20 ml af afjónuðu vatni, þessu var hrært vel saman og svo látið standa í 1 klukkustund. Þá var

hrært aftur upp í blöndunni, sýrustigsmælirinn setur ofaní og látinn standa í 1:30 mínútu áður en lesið var af mæli.

Uppskorið var þann 16. ágúst með Haldrup F-55 reitasláttuvél þar sem vigtuð var heildaruppskera af hverjum reit ásamt því að taka sýni til þurrkunar. Sýnin voru þurrkuð við 60°C í tæpa fimm sólahringa og vigt svo tekin af þurrum sýnunum. Þá var reiknað út heildaruppskera í tonnum þurrefnis á hektara.

Úrvinnsla gagna

Notast var við Microsoft Excel ásamt tölfræðiforritinu *RStudio* við úrvinnslu gagna.

Niðurstöður

Jarðvegssýni

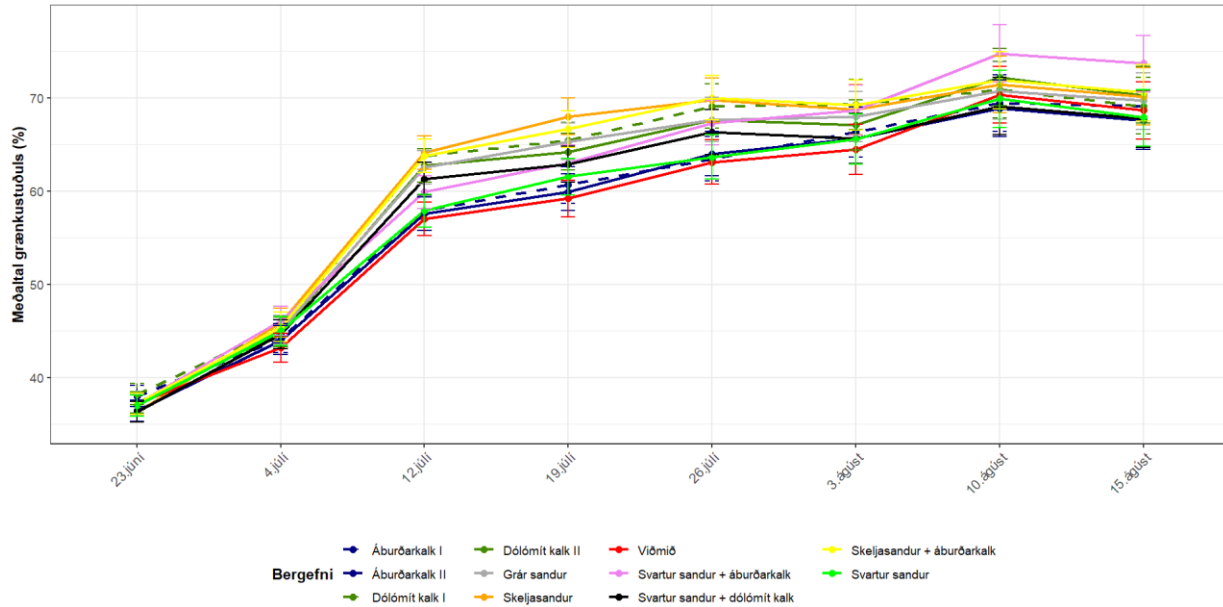
Niðurstöður jarðvegssýnatöku að vori sýna að breytileiki var í sýrustigi á milli reita og mældist frá pH 4,53 – 5,21.

Tafla 2 Sýrustigsmælingar allra reita vor 2022

Reitur	pH vor 2022	Reitur	pH vor 2022	Reitur	pH vor 2022
101	5,08	201	5,14	301	4,94
102	5,00	202	5,09	302	4,90
103	5,10	203	4,93	303	5,01
104	5,12	204	4,93	304	4,90
105	5,01	205	5,03	305	5,00
106	5,09	206	5,05	306	5,17
107	4,92	207	4,89	307	5,05
108	4,83	208	4,87	308	4,80
109	4,91	209	4,91	309	4,81
110	5,05	210	5,17	310	4,72
111	4,88	211	4,77	311	5,03
112	4,91	212	5,00	312	5,11
113	4,99	213	5,08	313	5,21
114	5,06	214	5,16	314	4,82
115	5,11	215	5,10	315	5,08
116	5,06	216	5,08	316	4,84
117	5,16	217	5,10	317	5,06
118	5,04	218	4,91	318	5,16
119	4,88	219	4,93	319	4,82
120	4,80	220	4,79	320	5,10
121	4,96	221	4,68	321	4,53
122	4,84	222	4,79	322	4,89
123	4,95	223	4,97	323	5,14
124	4,97	224	5,08	324	5,12
125	4,97	225	5,19	325	5,01
126	4,91	226	5,12	326	4,97
127	4,95	227	5,03	327	5,11
128	4,92	228	5,18	328	4,90
129	5,01	229	5,01	329	4,97
130	4,92	230	4,93	330	4,81
131	4,97	231	4,92	331	4,71
132	4,70	232	4,90	332	4,89
133	4,68	233	5,04	333	4,79

Grænkustuðull og skortseinkenni

Niðurstöður á mælingu grænkustuðuls sýna að við fyrstu mælingu 23. júní var munur á milli reita á bilinu 36,3 – 38,2 % en þegar leið á vaxtartímann fór munurinn að aukast og við þriðju mælingu þann 12. júlí var meðferðarleiðurinn orðinn marktækur fyrir grænkustuðul ($p < 0,05$). Þegar mest var þann 19. júlí var grænkustuðullinn á bilinu 59,2 – 68,0 % þar sem viðmið var lægst og skeljasandur hæstur. Viðmiðunarreitir sem fengu enga meðferð sýndu oftast lægstan grænkustuðul en daginn fyrir uppskeru þann 15. ágúst var áburðarkalk II orðið lægst með grænkustuðul upp á 67,6 % og Svartur sandur + áburðarkalk hæst 73,7 %.



Mynd 8 Áhrif mismunandi bergefna á grænkustuðul

Þegar meðferðaliðurinn er marktækur frá 12. júlí – 26. júlí voru þeir reitir sem fengu skeljasand, blöndu af skeljasandi + áburðarkalki, dólómít kalk (I&II) og gráan sand alltaf í efstu 5 sætunum. Þar fyrir neðan komu blöndurnar svartur sandur + áburðarkalk og svartur sandur + dólómítkalk en neðst voru viðmið, svartur sandur og áburðarkalk (I&II). Blanda af svörtum sandi og áburðarkalki sýndu hæsta grænkustuðulinn við uppskeru.

Þann 12. júlí voru farin að sjást skortseinkenni á plöntum eins og sjá má á Mynd 9 og 10.



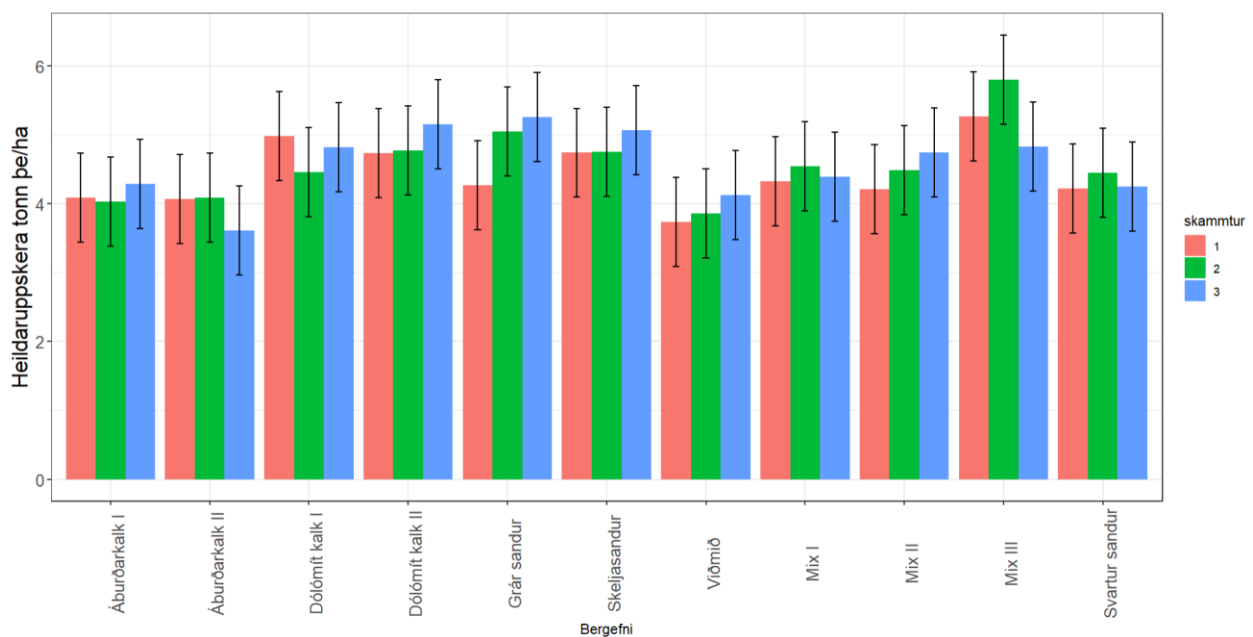
Mynd 10 Skortseinkenni séð frá hlið



Mynd 9 Skortseinkenni séð að ofan

Uppskera

Niðurstöður uppskerumælinga sýndu að ekki er marktækur munur ($p > 0,05$) á milli skammtastærða í neinum meðferðarliðum (Mynd 11). Hins vegar er marktækur munur ($p < 0,05$) á milli nokkura meðferðarliða eins og sjá má í Töflu 3. Uppskera úr viðmiðunarreitum sem fengu enga meðferð (3,91 t/ha) og reitir sem fengu áburðarkalk II (3,92 t/ha) voru marktækt frábrugðin reitum sem fengu dólómít kalk II (4,88 t/ha), skeljasand (4,85 t/ha), gráan sand (4,86 t/ha) og mix III skeljasand + áburðarkalk (5,30 t/ha). Þá eru mix I svartur sandur + áburðarkalk (4,42 t/ha), svartur sandur (4,30 t/ha) og áburðarkalk I (4,13 t/ha) einnig marktækt frábrugðin mix III.



Mynd 11 Áhrif mismunandi bergfna og skammtastærða á heildaruppskeru þar sem mix I er svartur sandur + áburðarkalk, mix II er svartur sandur + dólómít kalk og mix III er skeljasandur + áburðarkalk

Tafla 3 Meðaluppskera (t/ha) þvert á meðferðarliði þar ssem marktæknihópar eru merktir með a, b, c og d

Bergefni	Meðaluppskera t/ha
Mix III (skeljasandur + áburðarkalk)	5,30 a
Dólómít kalk II	4,88 ab
Grár sandur	4,86 ab
Skeljasandur	4,85 ab
Dólómít kalk I	4,75 abc
Mix II (svartur sandur + dólómít kalk)	4,48 abcd
Mix I (svartur sandur + áburðarkalk)	4,42 bcd
Svartur sandur	4,3 bcd
Áburðarkalk I	4,13 bcd
Áburðarkalk II	3,92 cd
Viðmið	3,91 d

Hæðarmæling var tekin á reitum fyrir slátt sem og á endurvexti 5 vikum eftir slátt en ekki var marktækur munur á milli meðferðarliða.

Umræður

Niðurstöður þessa verkefnis byggja eingöngu á mælingu grænkustuðuls og uppskeru. Aukin uppskera er álitin hér sem vísir að bættri nýtingu næringarefna, þar sem uppskera eykst við vaxandi áburðarskammta (t.d. Þóroddur Sveinsson, 2010). Grænkustuðullinn getur verið vísir fyrir tvöna eiginleika í túnrækt, annars vegar þéttleika plantna þar sem óþéttar plöntur skila lægri stuðli og hinsvegar ættu plöntur sem þjást af áburðarskortri (eins og sést á Mynd 9 og 10) skila minni grænkustuðli. Þegar komið er í sjöttu mælingu, þann 3. ágúst, dregur úr mun á grænkustuðli og ekki er lengur marktækur munur á milli meðferðarliða. Byggið var allt skriðið 1. ágúst og gæti það haft áhrif á grænkumælingu.

Niðurstöður þessa verkefnis sýndu að það er munur á uppskeru eftir meðferðarliðum og mælingar grænkustuðuls studdu þær niðurstöður. Meðferðarliðir sem skiluðu mestri uppskeru (Mynd 11) og hæsta grænkustuðlinum 68,0%, 66,7%, 65,4% og 65,3% (Mynd 8) voru skeljasandur, skeljasandur + áburðarkalk, dólómít kalk og grár sandur.

Það gæti verið útaf því að þessar tegundir innihalda meira Ca en svartur sandur.

Niðurstöður fyrir uppskeru með áburðarkalk sýndu sambærilegt gildi og viðmiðið sem er í takt við niðurstöður Þórodds Sveinssonar (2018). Einnig kemur í ljós að þó svo að svartur sandur eða áburðarkalk sýndu ómarktækan mun á grænku og uppskeru samanborið við viðmið þá er möguleiki á að nota það í blöndur. Þannig er hægt að nota minni skammt af dólómítalki, skeljasandi eða áburðarkalki og bæta við svörtum sandi og auka uppskeru. Blöndur þar sem svartur sandur er settur með áburðarkalki annars vegar og dólómítalki hins vegar sýndu hærri grænkustuðul en áburðarkalk og svartur sandur eitt og sér. Það gæti þýtt að samlegðaráhrif séu af nýtingu sands og kalks en ekki af kalki eða sandi eingöngu (Mynd 8). Þessar niðurstöður endurspegluðust ekki í uppskerutölum (Mynd 9). Hinsvegar, þá skilaði áburðarkalk jafnmikilli uppskeru og viðmið en skeljasandur og áburðarkalk meiri uppskeru en bara skeljasandur (Tafla 3). Sem styður þá tilgátu samlegðaráhrifa kalks og sands en ekki kalks eingöngu eða sands eingöngu. Með því að dreifa svörtum sandi er verið að líkja eftir náttúrulegri veðrun á bergi sem eykur jónrýmd jarðvegs og þar með eiginleika jarðvegs til þess að binda katjónir (Þorsteinn Guðmundsson, 2018) gætu því samlegðaráhrif skýrst af bættri jónrýmd frekar en auknu aðgengi að Ca eða hækkandi sýrustigi. Þessar niðurstöður gáfu í ljós að skeljasandur og dólómít kalk skilar hærri grænkustuðli og aukinni uppskeru á sáðári samanborið við viðmið og það er möguleiki á að nýta innlend bergefni önnur en skeljasand af hafsbotni til að bæta

jarðvegsskilyrði og ná fram svipaðri svörun í uppskeru og að nota skeljasand eða dólómít kalk. Dietzen o.fl. (2018) sýndu einnig fram á að mögulegt sé að bæta jarðvegsskilyrði með því að nota basísk bergefni þó niðurstöður gefi ekki jafn sterka svörun og kalk.

Ekki náðist að sýrustigsmæla þau jarðvegssýni sem tekin voru að hausti áður en þessi skýrsla er skrifuð. Kölkun jarðvegs hefur langvarandi áhrif og eru efni mis lengi að leysast upp í jarðvegi og virkni þeirra endist mis lengi. Því er mikilvægt að fylgja þessu verkefni eftir í nokkur ár og gera frekari mælingar á uppskeru á sýrustigi jarðvegs. Þar sem ekki var marktækur munur á milli skammta er ekki þar með sagt að hægt sé breyta ráðlögðum skömmtum til hækkunar sýrustigs ræktunarlands því það getur verið að áhrif skammtastærða séu lengur að koma í ljós. Einnig væri áhugavert að gera efnagreiningar á uppskeru til að leggja mat á nýtingu næringarefna.

Heimildir

- Alewell, C., Ringeval, B., Ballabio, C., Robinson, D. A., Panagos, P. og Borrelli, P. (2020). Global phosphorus shortage will be aggravated by soil erosion. *Nature Communications* 11, 4546. doi.org/10.1038/s41467-020-18326-7
- Bhattacharya, A. (2019). Global Climate Change and Its Impact on Agriculture. *Changing Climate and Resource Use Efficiency in Plants*. Elsevier Inc. doi.org/10.1016/B978-0-12-816209-5.00001-5
- Dietzen, C., Harrisona, R. og Michelsen-Correa, S. (2018). Effectiveness of enhanced mineral weathering as a carbon sequestration tool and alternative to agricultural lime: An incubation experiment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 74, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.007>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2022). The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. *Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable*. Rome, FAO. doi.org/10.4060/cc0639en
- Hafsi, C. Debez, A. og Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36, 1055 – 1070. doi 10.1007/s11738-014-1491-2
- Helgadóttir, Á., Eythórsdóttir, E., Jóhannesson, T. (2013). Agriculture in Iceland – A grassland based production. Í Áslaug Helgadóttir og Alan Hopkins (ritstjórar), *The Role of Grasslands in a Green Future: Threats and Perspectives in Less Favoured Areas* (bls. 30-43). Sótt af https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2013.pdf
- Holland, J. E., Bennett, A. E., Newton, A. C., White, P. J., McKenzie, B. M., George, T. S., ... Hayes, R. C. (2018). Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. *Science of the Total Environment* 610–611, 316–332. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.020
- Holland, J. E., White, P. J., Glendining, M. J., Goulding, K. W. T. og McGrath, S. P. (2019). Yield responses of arable crops to liming – An evaluation of relationships between yields

- and soil pH from a long-term liming experiment. *European Journal of Agronomy*, 105, 176-188. doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.016.
- Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2018). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393 – 1406. doi:10.1007/s11368-018-2120-2
- Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., og Pandey, R. (2018). Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, 171–190. doi:10.1007/978-981-10-9044-8_7
- Msimbira, L. A. og Smith, D. L. (2020). The Roles og Plant Growth Promoting Microbes in Enhancing Plant Tolerance to Acidity and Alkalinity Stresses. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. doi.org/10.3389/fsufs.2020.00106
- Mu, X. og Chen, Y. (2021). The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 76-82. doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019.
- Ólafur Arnalds og Hlynur Óskarsson. (2009). Íslenskt jarðvegskort. *Náttúrufræðingurinn* 78(3 - 4), 107-121. Sótt af <https://timarit.is/page/6468334?iabr=on#page/n21/mode/2up>.
- Ólafur Arnalds, Bergrún Arna Ólafsdóttir og Rannveig Guicharnaud. (2005). Aðferðir við að lýsa jarðvegssniðum. *Rit LbhÍ nr. 5*. Sótt af http://www.lbhi.is/sites/lbhi.is/files/gogn/vidhengi/rit_lbhi_nr5.pdf.
- Yahaya, S. M., Mahmud, A. A., Abdullahi, M., Haruna, A. 2022. Recent advances in the chemistry of N, P, K as fertilizer in soil – A review. *Pedosphere*, 32.
- Þorsteinn Guðmundsson. (2018). *Jarðvegur: Myndun, vist og nýting*. Reykjavík: Háskólaútgáfa
- Þóroddur Sveinsson. (2010). Áburðarsvörun í túnum með mislanga ræktunarsögu. *Rit Fræðapings landbúnaðarins* 7(1), 197-206.
- Þóroddur Sveinsson. (2018). Áburðarsvörun grænfóðurs á framræstum mómyrum. *Rit LbhÍ nr. 104*.

