

Áhrif uppgræðsluaðgerða á gróðurframvindu

Ása L. Aradóttir¹ og Kristín Svavarsdóttir²
¹Landbúnaðarháskóla Íslands, ²Landgræðslu ríkisins

Inngangur

Endurheimt vistkerfa á röskuðum svæðum, vistheimt, er ferli sem fylgir lögmálum framvindu. Skilningur á framvinduferlum eru því ein meginforsendan fyrir þróun árangursríkra vistheimtaraðferða. Slíkar aðferðir byggja á því að finna hvaða þættir takmarka gróðurframvindu og beita aðeins þeim inngripum sem þarf hverju sinni til að yfirvinna þá (Hobbs et al. 2007).

Gróðureyðing og jarðvegsrof hafa haft alvarlegar afleiðingar fyrir íslensk vistkerfi. Talsvert, mikið eða mjög mikið rof er á um 40% landsins og auðnir þekja um 20% lands undir 400 m hæð yfir sjávarmáli (Ólafur Arnalds o.fl. 1997). Á rofnu landi er yfirleitt takmörkuð líffræðileg fjölbreytni og geta vistkerfa til að veita margvíslega þjónustu er verulega skert. Jarðvegsyfirborðið er oftast óstöðugt, frosthreyfingar tíðar, auk þess sem frjósemi og vatnsheldni eru takmörkuð (Arnalds & Kimble 2001), allt þættir sem geta hamlað gróðurframvindu.

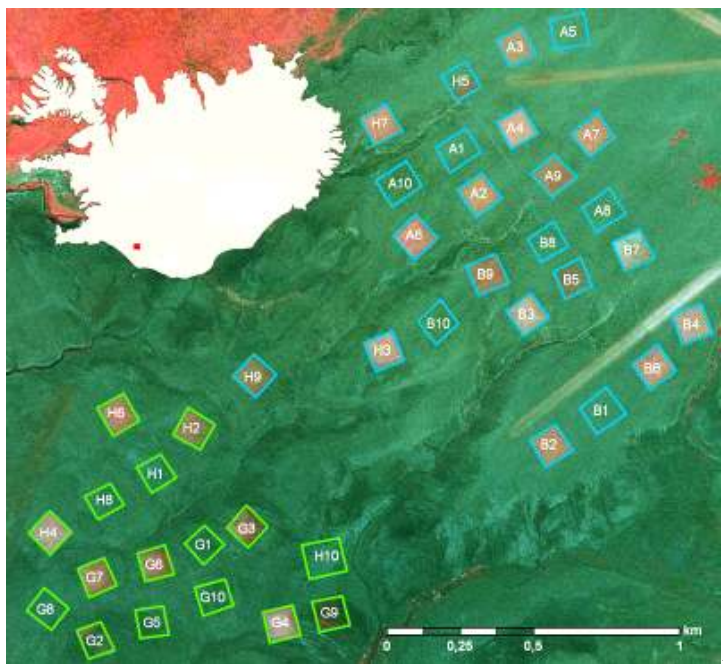
Uppgræðsla er oft fyrsta skrefið í vistheimt. Ýmsum aðferðum hefur verið beitt við uppgræðslu örfoka lands hér á landi en árangur þeirra er misjafn (Grétarsdóttir o.fl. 2004). Langtímarannsóknir á vistkerfum eftir mismunandi uppgræðsluaðferðir veita innsýn í gróðurframvinduna og þá ferla sem liggja að baki hennar (t.d. Rebele & Lehmann 2002) og af þeim má draga nokkurn lærdóm um það hvernig hægt sé að örva og stýra framvindu.

Árið 1999 hófst tilraun á stórum skala á Geitasandi á Rangárvöllum, Landbót, til þess að skoða langtímaáhrif mismunandi lausna við uppbyggingu vistkerfa á röskuðum svæðum. Frá upphafi var fylgst með gróðurframvindu og jarðvegi í tilraunareitunum (sjá t.d. Ása L. Aradóttir og Guðmundur Halldórsson 2004, Ása L. Aradóttir o.fl. 2005). Með verkefninu VISTLAND, sem hófst 2005, var farið út í ítarlegri rannsóknir á þróun jarðvegs- og gróðurfarsþátta í tilrauninni og kannað samhengi á milli þessarar þróunar og virkni ferla í vistkerfinu. Einn liður í því verkefni var ítarleg úttekt á gróðurfari allra tilraunareitanna. Hér er gerð grein fyrir helstu niðurstöðum hennar og þær tengdar niðurstöðum fyrri úttekta árin 2000-2004.

Aðferðir

Tilraunin fylgir hefðbundnu tilraunaskipulagi með tíu mismunandi meðferðum, sem hver er endurtekin fjórum sinnum (Ása L. Aradóttir og Guðmundur Halldórsson 2004). Sérstaða tilraunarinnar felst í stærð hennar en hver reitur var 100 x 100 m til að líkja eftir raunverulegum aðstæðum á uppgræðslusvæðum (1. mynd). Þar að auki var í flestum tilfellum langt á milli reita til að draga úr jaðaráhrifum, þannig að tilraunasvæðið allt náði yfir 270 ha. Yfirborðsgerð tilraunasvæðisins var sandmelur með rofeinkunn 3-4. Móhella var undir öllu svæðinu og var dýpið ofan á hana 0-90 cm (Sölvi Þór Bergsveinsson 2000). Tilraunamedferðir voru eftirfarandi:

- 1: Viðmiðun (ómeðhöndlaður sandmelur).
- 2: Uppgræðsla með áburðargjöf.



1.mynd. Innrauð SPOT mynd af Landbótarsvæðinu á Geitasandi. Einstakir reitir eru merktir með bókstöfum fyrir endurtekningar (A, B, G eða H) og tölustöfum fyrir meðferðir (1-10, sjá nánari skýringar í texta) (SHB/LbhÍ, 2008).

- 3: Grassáning (*Festuca rubra* [Fylking] og *Poa pratensis* [Leik]) og áburðargjöf.
- 4: Sáning melgresis (*Leymus arenarius*) og áburðargjöf.
- 5: Sáning lúpínu (*Lupinus nootkatensis*).
- 6: Grassáning (*F. rubra* [Reptans], *P. pratensis* [Newport], og *Lolium multiflora* [Andy]), auk þess sem gróðursettar voru í reitinn fjórar þyrpingar af birki (*Betula pubescens*) og tvær af víði (*Salix phylicifolia* and *S. lanata*).
- 7: Grassáning (sama og 3), auk birki- og víðiþyrpinga eins og í 6.
- 8: Innlendar belgjurtir gróðursettar í þyrpingar með birki og víði (eins og í 6 og 7 nema án áburðar og grassána). Belgjurtategundirnar voru smári (*Trifolium repens*), baunagras (*Lathyrus japonicus*), fuglaertur (*L. pratensis*) og umfedmingur (*Vicia cracca*).
- 9: Grassáning (sama og 3), birki og sitkagreni (*Picea sitchensis*) gróðursett í plógrásir.
- 10: Lúpínusáning (sama og 5), birki og sitkagreni gróðursett í plógrásir.

Lokið var við að sá í reitina veturinn 1999-2000. Borið var á þá um leið og sáð var og síðan aftur 2001, 2003 og 2005; um það bil 50 kg ha⁻¹ N og 27 kg P₂O₅ ha⁻¹ í hvert skipti. Tré og runnar voru gróðursett 2001-2003 og var borið á hverja plöntu við gróðursetningu.

Gróðurfur var mælt í fimm 10 x 10 m mælireitum sem voru dreifðir tilviljanakennt innan hvers 1 ha stórreits, þó ekki nær jaðri hans en 5 m. Innan hvers mælireits voru sex tilviljanadreifðir 0,5 x 0,5 m smáreitir, sem merktir voru með hælum á tveimur hornum, þannig að alltaf var mælt á sömu stöðum. Gróðurmælingar voru gerðar á tímabilinu frá miðjum ágúst og fram í byrjun september en ekki voru allar meðferðir mældar öll árin. Í smáreitunum var metin þekja mismunandi yfirborðsgerða að næstu 5%, auk þekju mosa og lífrænnar jarðvegsskánar. Þekja einstakra háplöntutegunda var metin samkvæmt eftirfarandi skala, 1: <1%; 2: 1-5%, 3: 6-10%; 4: 11-15%; 5: 16-

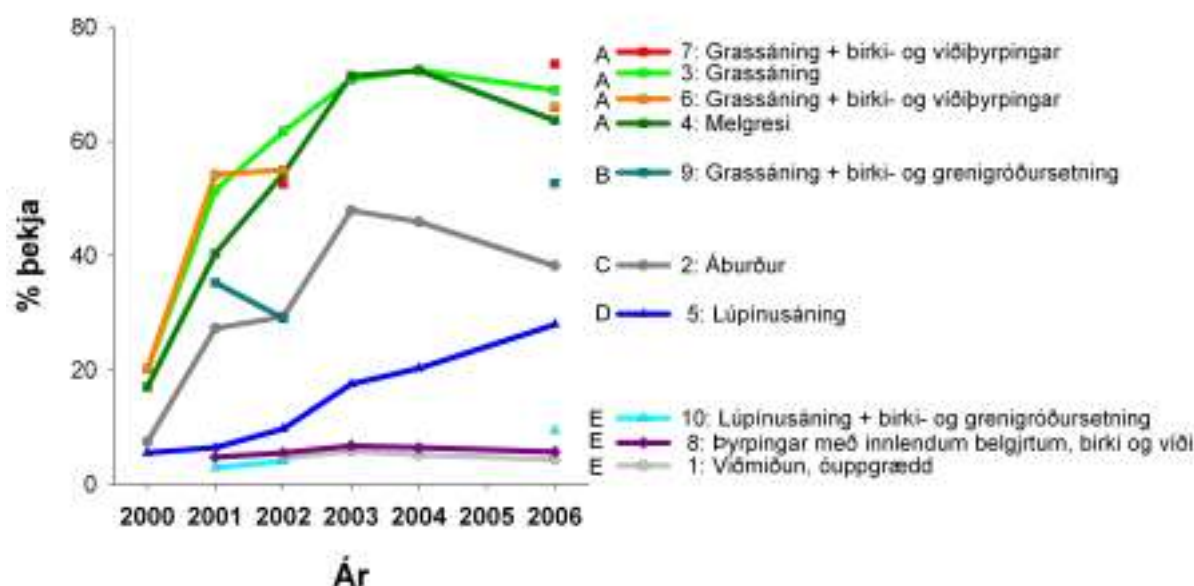
25%; 6: 26-50%; 7: 51-75% og 8: 76-100%. Að auki voru allar háplöntutegundir sem ekki komu fyrir í smáreitunum skráðar fyrir hvern mæltreit (100 m²) og stórreit (1 ha).

Jarðvegssýnum var safnað í öllum reitunum haustið 2007 og mælt í þeim heildarmagn lífræns kolefnis og niturs, auk pH-gildis í vatni (sjá Aradóttir o.fl. 2008).

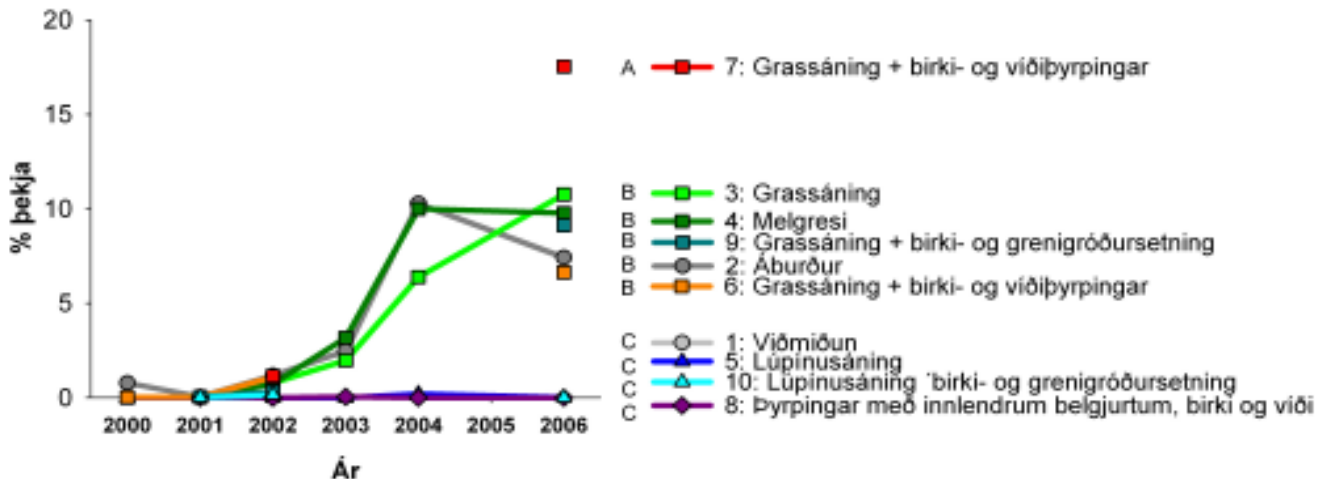
Við úrvinnslu á þekjumælingum var miðað við miðgildi hvers þekjuflokks og notað meðaltal ramma í hverjum stórreit. Fervikagreining var notuð til að meta áhrif meðferða á heildarþekju gróðurs, þekju einstakra tegunda eða hópa og fjölda háplöntutegunda. Einstök meðaltöl voru borin saman með Tukey's HSD ($\alpha=0,05$). Pearson's fylgni var reiknuð fyrir samband á milli þekju lífrænnar jarðvegsskánar og fjölda tegunda og fyrir sambandið á milli gróðurþekju og jarðvegsþátta. Meðalþekja háplöntutegunda í stórreitum var hnitunargreind (DCA, Detrended Correspondance Analysis) til að greina mynstur í tegundasamsetningu stórreitanna. Fylgni hnitunarása við umhverfisbreytur var reiknuð. SAS (útgáfa 9,1) var notað við tölfræðigreiningar aðrar en hnitunargreininguna en við hana var notað Canoco (útgáfa 4,5) (Ter Braak & Šmilauer 2002).

Niðurstöður

Heildarþekja gróðurs í viðmiðunareitum var lág, um 5%, og var svipuð frá ári til árs (2. mynd). Svipaða sögu er að segja um reiti með þyrpingum innlendra belgjurta, birki og víði (meðferð 8) og lúpinureiti með birki og greni (meðferð 10). Á hinn bóginn jókst heildarþekja allra meðferða sem fengu áburð (meðferðir 2, 3, 4, 6, 7 og 9) fyrstu árin og var í sumum tilfellum komin yfir 70% strax árið 2003 (2. mynd). Í áburðarmeðferðunum var þekja lífrænnar jarðvegsskánar komin í 6-17% árið 2006 á meðan hún fannst varla í öðrum meðferðum (3. mynd).



2.mynd. Heildarþekja gróðurs í tilraunareitum á Geitasandi 2000-2006. Ekki var marktækur munur árið 2006 á meðalþekju meðferða sem merktar eru með sama bókstaf (Tukey's HSD, $\alpha=0,05$).



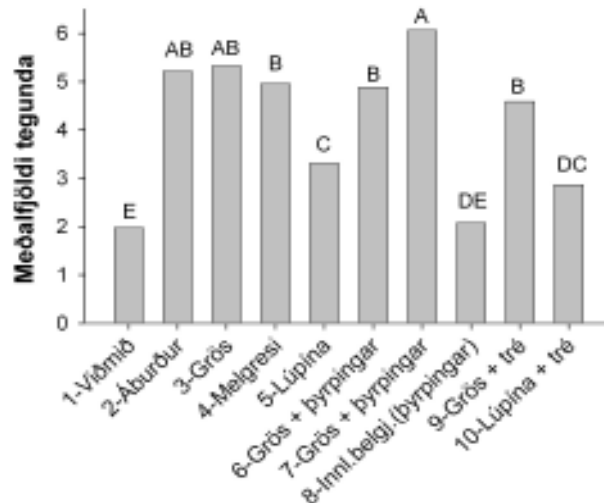
3.mynd. Meðalþekja lífrænnar jarðvegsskánar í tilraunareitum á Geitasandi 2000-2006. Ekki var marktækur munur árið 2006 á meðalþekju meðferða sem merktar eru með sama bókstaf (Tukey's HSD, $\alpha=0,05$).

Martæk fylgni var á milli heildarþekju gróðurs 2006 og lífræns kolefnis í efstu 5 cm jarðvegsins 2007 (Pearson's $r=0,78$; $p<0,001$). Sömuleiðis var marktæk fylgni á milli heildargróðurþekju og annarra eiginleika efstu 5 cm jarðvegsins (Pearson's $r=0,72$ og $-0,76$ fyrir %N og sýrustig; $p<0,001$). Ekki var marktæk fylgni milli gróðurþekju og eiginleika jarðvegs á 5-10 cm dýpi ($p>0,05$).

Í heildina fundust rúmlega fimmtíu tegundir í tilraunareitunum, fæstar í viðmiðunareitum (14) og lúpínureitum (17) en flestar í meðferð 7, grassáningum með birki- og víðiþyrpingum (36). Ef sáðtegundum og gróðursettum tegundum er sleppt voru þó jafnmargar staðartegundir í meðferð 2, þar sem aðeins var dreift áburði, og í meðferð 7, eða 32 tegundir. Þær tegundir sem komu bæði fyrir í viðmiðunareitunum og öllum meðferðunum voru skriðlíngresi (*Agrostis stolonifera*), túnvingull (*Festuca richardsonii*), axhæra (*Luzula spicata*) og tvíkímblaða blómjurtirnar skeggsandi (*Arenaria norvegica*), geldingahnappur (*Armeria maritima*), melablóm (*Cardaminopsis petraea*), túnsúra (*Rumex acetosa*), hundasúra (*R. acetosella*), lambgras (*Silene uniflora*), holurt (*S. uniflora*) og blóðberg (*Thymus praecox*). Í flestum áburðarmeðferðunum voru að auki ilmreyr (*Anthoxanthum odoratum*), krækilyng (*Empetrum nigrum*), augnfró (*Euphrasia frigida*), hvítmaðra (*Galium normanii*), gulmaðra (*G. verum*), vallhæra (*L. multiflora*), vallarsveifgras (*Poa pratensis*), gulvíðir (*Salix phylicifolia*), loðvíðir (*Salix lanata*) og lógresi (*Trisetum spicatum*).

Meðalfjöldi tegunda í $0,25m^2$ smáreitum árið 2006 var marktækt meiri en í viðmiðunareitunum í öllum meðferðum nema innlendu belgjurtareitunum (4. mynd). Marktæk fylgni var á milli þekju lífrænnar jarðvegsskánar og heildarfjölda tegunda í stórreit árið 2006 (annarra en sáðtegunda eða gróðursettra tegunda) (Pearson's $r=0,81$; $p<0,001$).

Nokkuð mikill breytileiki var í tegundasamsetningu stórreitanna og flokkuðust meðferðareitir saman í hnitunarrýminu. Lúpínumeðferðir (meðferðir 5 og 10) voru nálægt hvor annarri, grassáningarreitir (meðferðir 3, 6, 7 og 9) mynduðu hóp og víðmið, belgjurtareitir (meðferð 8) og áburðareitir voru nálægt hver öðrum. Fyrsti hnitunarássinn skýrði stærstan hluta breytileikans (eigingildi 1. áss 0,62 og 2. áss 0,16).



4. mynd. Meðalfjöldi staðartegunda í smáreitum (0,25m²) árið 2006. Ekki var marktækur munur á meðalfjölda í meðferðum sem merktar eru með sama bókstaf (Tukey's HSD, $\alpha=0,05$).

Lífrænt kolefni í jarðvegi og nitur auk C:N hlutfalls höfðu neikvæða fylgni við fyrsta ásinn en lífræðilegir þættir, s.s. heildarþekja gróðurs, þekja mosa og flétta ásamt fjölda háplöntutegunda og lífrænnar jarðvegsskánar höfðu jákvæða fylgni við 2. ásinn. Lúpínu- og grassáningarreitirnir röðuðust með lægstu gildin á 1. ási og belgjurta- og melgresisreitirnir voru með hæstu gildin. Á 2. ási voru lúpínureitirnir (meðferðir 5 og 10) og viðmiðunarreitirnir með lægstu gildin en grassáningarreitirnir (meðferðir 9, 7, 3 og 6) með hæstu gildin. Grassáningarreitirnir voru því með hlutfallslega mesta þekju, flestar háplöntutegundir, mesta lífræna jarðvegsskán, hæst C, N og C:N hlutfall en hlutfallslega lægsta pH.

Umræður og ályktanir

Hér eru settar fram niðurstöður mælinga á gróðurfari í sjö sumur frá því að uppgræðsluaðgerðir hófust. Þær sýna mjög skýrt að uppgræðsluaðgerðir geti skipt sköpun, ekki aðeins fyrir myndun gróðurþekju, heldur einnig fyrir landnám staðartegunda og þar af leiðandi gróðurframvindu. Gróðurfar viðmiðunarreitanna einkenndist af bersvæðategundum og héldust þeir lítt grónir og tegundafáir allan tímann (2. mynd). Ekki var hægt að merkja neinar stefnubundnar breytingar á gróðurfari þeirra yfir rannsóknartímann, sem gætu gefið til kynna náttúrulega gróðurframvindu. Tiltölulega lítil inngríp eins og áburðargjöf virtist hins vegar nægja til að auka gróðurþekju og örva landnám margra háplöntutegunda. Grassáning til viðbótar við áburðargjöfina jók þekju enn meir en hafði lítil áhrif á fjölda háplöntutegunda. Á hinn bóginn bættust fáar tegundir við í lúpínureitunum.

Þekja í reitum með belgjurta-, birki- og víðiþyrpingum var lítið hærri en þekja viðmiðunarreita (2. mynd) og meðalþéttleiki tegunda í þeim var svipaður (4. mynd) þó að heildarfjöldi tegunda væri mun hærri. Hinn mikli heildarfjöldi tegunda í þessum reitum skýrist af því að allmargar tegundir slæddust með er belgjurtirnar voru fluttar á svæðið, en það var gert með því að flytja litlar torfur af svæðum með mikinn þéttleika viðkomandi belgjurtategunda. Belgjurtabyrpingarnar náðu yfir um það bil einn tíunda hluta þessara reita og voru gróðursettar beint í sandinn. Mikil afföll hafa orðið af

belgjurtunum og hvorki þær né birki- og víðiplönturnar sem gróðursettar voru í þyrpingarnar hafa dreifst af neinu marki.

Vart varð við lífræna jarðvegsskán í tilraunareitum strax árið 2000 en þekja hennar jókst einkum 2003 og 2004 (3. mynd). Þetta gerðist þó aðeins í meðferðum sem fengu áburðargjöf en hvorki í viðmiðun eða lúpínureitunum. Sterk jákvæð fylgni milli þekju skánarinnar og fjölda tegunda er í samræmi við rannsóknir sem hafa sýnt að lífræn jarðvegsskán sem myndast á uppgræðslusvæðum skapi kjöraðstæður fyrir landnám margra tegunda (t.d. Elmarsdóttir o.fl. 2003, Ása L. Aradóttir o.fl. 2006). Margar af þeim tegundum sem voru komnar inn í ábornu reitunum eru einmitt mikilvægar tegundir í lyngmóa eða kjarlendi við svipaðar aðstæður, eins og t.d., krækilyng, gulmaðra og hvítmaðra, vallhæra, gulvíðir og loðvíðir. Niðurstöður okkar styðja því tilgátur um að lífræn jarðvegsskán geti gengt mikilvægu hlutverki í gróðurframvindu (sjá t.d. Bowker 2007).

Mælanlegar breytingar á jarðvegspáttunum komu fram eftir ótrúlega stuttan tíma í efstu 5 cm jarðvegs, þó þeirra sé minna farið að gæta neðar í jarðveginum (Aradóttir o.fl. 2008, Ólafur Arnalds o.fl. 2009). Marktæk fylgni á milli gróðurþekju og jarðvegspáttu í efstu 5 cm jarðvegs sýnir glögglega hvernig frumframleiðendurnir í gróðrinum er drifkraftur jarðvegsmýndunar og kolefnisbindingar á svæðinu.

Náttúruleg gróðurframvinda á Geitasandi er afar hæg. Einfaldar uppgræðsluáðgerðir, eins og áburðargjöf með eða án grassáninga, örva hins vegar gróðurframvindu, sem virðist geta stefnt í átt að mólendi eða kjarlendi á svipaðan hátt og má sjá á eldri uppgræðslusvæðum í nágrenninu (Grétarsdóttir o.fl. 2004). Myndun lífrænnar jarðvegsskánar á uppgræðslusvæðunum virðist gegna lykilhlutverki í þessu sambandi, líklega vegna jákvæðra áhrifa á landnám plantna. Gróðurframvinda í reitum sem lúpínu var sáð í var mun hægari en í áburðarreitunum og virtist jafnvel stefna í aðra átt. Fáar nýjar tegundir námu þar land, hugsanlega vegna þess að þar hafði ekki myndast lífræn jarðvegsskán og mikill hluti jarðvegssýfirborðsins var ógróinn.

Gróðursetning þyrpinga af innlendum belgjurtategundum, birki og víði í óuppgrætt land virtist ekki heldur ná að örva gróðurframvindu á þeim tíma sem rannsóknin náði yfir. Birki og víðir voru ekki farin að sá sé út í þessari meðferð sumarið 2006, þó að landnám þeirra væri hafið í sambærilegum uppgræddum reitum (meðferðir 6 og 7) (Aradóttir o.fl. 2008). Þetta bendir til þess að yfirborðsgerð og aðstæður fyrir landnám séu meira takmarkandi við þessar aðstæður en framboð á lykiltegundum. Þeir þættir sem gætu takmarkað landnámið á Geitasandi eru meðal annars takmarkað framboð á vatni (Jón Guðmundsson 2003) og næringarefnum, frostlyfting (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006) eða mikið áfok sem er á svæðinu (Ólafur Arnalds o.fl. 2009). Greining á niðurstöðum hinna margvíslegu mælinga sem gerðar hafa verið á Landbótarsvæðinu munu skýra það betur.

Landbótartilraunin á Geitasandi veitir einstakt tækifæri til að rannsaka grunnferla við endurheimt vistkerfa á mikið röskuðu landi og skilja áhrif mismunandi inngripa á þá. Niðurstöðurnar nýtast við skipulagningu og stjórnun landgræðsluverkefna og þróun viðmiða fyrir mat á árangri vistheimtar.

Þakkir

Við þökkum starfsfólki Landgræðslu ríkisins og Landbúnaðarháskóla Íslands sem tekið hefur þátt í gróðurmælingum og stutt við rannsóknirnar á annan hátt. VISTLAND verkefnið var styrkt af Rannsóknasjóði Rannís 2005-2007,

verkefnisstyrkur númer 050207021. Landbótartilraunin var sett upp og fyrstu mælingarnar gerðar með styrk frá Markáætlun Rannís um upplýsingatækni og umhverfismál (styrkur númer 996100099).

Heimildir

Aradóttir, A.L., Orradóttir, B., Arnalds, O. & Svavarsdóttir, K. 2008. Ecological succession after reclamation treatments on an eroded area in Iceland. Í: *Towards a sustainable future for European ecosystems – Providing restoration guidelines for Natura 2000 habitats and species*. Proceedings, 6th European Conference on Ecological Restoration Ghent, Belgium, 8-12/09/2008 (Útgáfa á CD).

Arnalds, Ó. & Kimble, J. 2001. Andisols of Deserts in Iceland. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1778-1786.

Ása L. Aradóttir, Guðmundur Halldórsson og Ólafur Arnalds 2005. Landbót. Tilraunastofan á sandinum. *Fræðaping landbúnaðarins 2005*: 279-285.

Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir & Sigurður H. Magnússon 2006. Landnám víðis og árangur víðisáninga. Í: *Innlendar víðitegundir: líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu* (ritstj. Kristín Svavarsdóttir). Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls. 59-72.

Ása L. Aradóttir og Guðmundur Halldórsson 2004. Uppbygging vistkerfa á röskuðum svæðum. *Fræðaping landbúnaðarins 2004*: 86-94.

Bowker, M.A. 2007. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity. *Restoration Ecology* 15: 13-23.

Elmarsdóttir, A., Aradóttir, Á.L. & Trlica, M.J. 2003. Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites. *Journal of Applied Ecology* 40: 815-823.

Grétarsdóttir, J., Aradóttir, A.L., Vandvik, V., Heegaard, E. & Birks, H.J.B. 2004. Long-term effects of reclamation treatments on plant succession in Iceland. *Restoration Ecology* 12: 268-278.

Hobbs, R.J., Walker, L.R. & Walker, J. 2007. Integrating Restoration and Succession. Í: *Linking Restoration and Ecological Succession* (ritstj. Walker, L.R., Walker, J. & Hobbs, R.J.) Springer, bls. 168-179.

Jón Guðmundsson 2006. Er vatn takmarkandi þáttur í landgræðslu? *Fræðaping landbúnaðarins* 3, 359-361.

Kristín Svavarsdóttir, Ása L. Aradóttir & Úlfur Óskarsson 2006. Þróun aðferða við ræktun gulvíðis og loðvíðis. Í: *Innlendar víðitegundir: líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu* (ritstj. Kristín Svavarsdóttir). Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls.73-89.

Ólafur Arnalds, Berglind Orradóttir og Brita Berglund 2009. Þróun jarðvegsþátta við uppgræðslu á Geitasandi. *Fræðaping landbúnaðarins* 6 (þetta rit).

Ólafur Arnalds, Elín F. Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson & Arnór Árnason. 1997. *Jarðvegsrof á Íslandi*. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins.

Rebele, F. & Lehmann, C. 2002. Restoration of a landfill site in Berlin, Germany by spontaneous and directed succession. *Restoration Ecology* 10: 340-347.

Sölvi Þór Bergsveinsson. 2000. *Hönnun hæðarlikans fyrir landgræðslutilraunir á Geitasandi á Rangárvöllum*. B.S. ritgerð, Háskóli Íslands, Reykjavík.

Ter Braak, C.J.F. & Šmilauer, P., 2002. *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.