

ISSN 1608-3687

Rit Mógilsár Rannsóknastöðvar Skógræktar
Nr. 23
Desember 2004

**Samanburður á kvæmum og systkinahópum
sitkagrenis, hvítgrenis og sitkabastarðs, með
tilliti til frostþols að vori og hausti**

Brynjar Skúlason
Aðalsteinn Sigurgeirsson
Bjarni E. Guðleifsson
Öyvind Meland Edvardsen

1 SAMANTEKT

Brynjar Skúlason, Aðalsteinn Sigurgeirsson, Bjarni E. Guðleifsson og Öyvind M. Edvardsen 2001. Samanburður á kvæmum og systkinahópum sitkagrenis, hvítgrenis og sitkabastarðs, með tilliti til frostþols að vori og hausti. Rit Mógilsár Rannsóknastöðvar Skógræktar nr. 23/2004. 91 bls.

Sitkagreni (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) er sú trjátegund sem binda má mestar vonir við til nytjaskógræktar í vetrarmildum, úrkomusömum héruðum sunnan- og vestanlands á Íslandi. Reynslan sýnir þó að í þessum sömu héruðum getur tegundinni verið hætta búin af haust- og vorfrostum í óvenjulegu árferði. Til að draga úr þessari hættu var talið mikilvægt að afla upplýsinga um erfðabreytileika í vaxtarferli og frostþoli, jafnt innan og meðal þeirra kvæma sitkagrenis sem koma til greina í íslenskri skógrækt. Þetta var gert með frystingu við stýrðar aðstæður og frostþol metið að vori og hausti hjá alls 8000 plöntum af 10 fjölskyldum 20 kvæma. Það reyndist vera marktækur munur í frostþoli fjölskyldna innan flestra kvæmanna og á milli kvæma bæði vor og haust. Kvæmi hvítgrenis og sitkabastarðs voru viðkvæmari fyrir vorfrostum en sitkagrenið en þessu var öfugt farið gagnvart frostþoli að hausti. Engin marktæk fylgni var á milli frostþols og breiddargráðu, lengdargráðu, hæðar yfir sjávarmáli og hæðar plantna fyrir frystingu. Marktæk fylgni fékkst hins vegar á milli frostskemda sem urðu í gróðrarstöð á þessum sama efnivið og skemda í frostþolsprófun að hausti sem bendir til þess að prófunin henti sem skammval fyrir harðgerðum fjölskyldum og kvæmum til ræktunar og draga þannig úr hættu á frostskemdum bæði í uppeldi og síðar úti á mörkinni.

Lykilorð: Frostþol, snemmvál, stýrðar frostþolsprófanir, trjátegundir, kvæmi, fjölskyldur, sitkagreni, sitkabastarður, hvítgreni, Ísland, Alaska, haustfrost, vorfrost, frostskemdir, kal.

2 SUMMARY

Skúlason, B., Sigurgeirsson, A., Guðleifsson, B.E. and Edvardsen, Ö.M. 2001. Frost tolerance among provenances and families from the Picea complex originating in Alaska. IFRS report, 23/2004, 91 pp.

Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) is the most promising tree species for production forestry in the cool, oceanic regions of southern and western Iceland. Experience suggests, however, that the species may be susceptible to frost damage during late spring and early autumn. To reduce this risk it was necessary to examine the genetic variation in growth rhythm and frost hardiness in spring and autumn among those provenances of Sitka spruce that can be successfully cultivated under Icelandic conditions.

Freeze testing under controlled conditions was applied on 8000 Sitka spruce and Lutz spruce (*Picea x lützii*) seedlings, from among 10 families from each of 20 provenances. Differences in frost tolerance during spring and autumn were significant among provenances and among families within provenances. Provenances of white spruce (*Picea glauca* ((Moench) Voss) and Lutz spruce were more susceptible to damage from spring frosts than those of Sitka spruce. The converse was however true for autumn frost damage, where damage was greatest in Sitka spruce. Correlation between frost tolerance and latitude, longitude and elevation at origin, as well as seedling height were not significant. There was however a strong and significant relationship between damage observed among provenances and families in the nursery one year earlier, attributed to autumn frosts, and damages observed after controlled freezing conditions in the following autumn. These results suggest the opportunity for using freeze testing for early selection for frost hardiness in the nursery and in the field.

Key words: Frost hardiness, freezing tolerance, early tests, controlled freezing tests, tree species, provenances, families, sitka spruce, lutz spruce, white spruce, Iceland, Alaska, autumn frost, spring frost, frost damage.

EFNISYFIRLIT

1	SAMANTEKT	2
2	SUMMARY	3
3	INNGANGUR	7
4	EFNI OG AÐFERÐIR	11
4.1	Efniviður	11
4.2	Sprotar-klipping	14
4.3	Tilraunaliðir	14
4.4	Búnaður	14
4.5	Mat á skemmdum og aðrar mælingar	15
4.6	Framkvæmd tilraunarinnar	17
4.7	Tölfræðileg úrvinnsla gagna	18
5	NIÐURSTÖÐUR	21
5.1	Vorfrostþol kvæma og tegunda	21
5.2	Vorfrostþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma	25
5.3	Úrval á einstökum fjölskyldum eftir vorfrostþoli	26
5.4	Samband vorfrostskemmda við ytri útlitþætti	27
5.5	Haufrostþol kvæma og tegunda	31
5.6	Haufrostþol meðal kvæma og fjölskyldna innan kvæma	35
5.7	Úrval á einstökum fjölskyldum eftir haufrostþoli	36
5.8	Samband vorfrostþols við breiddargráðu, lengdargráðu, hæð yfir sjávarmáli og hæð plantna	39
5.9	Samband haufrostþols við breiddargráðu, lengdargráðu, hæð yfir sjávarmáli og hæð plantna	39
5.10	Samband frostþols og meðferða að vori og hausti	43
5.11	Samband milli skemmda í gróðrarstöð haustið 1994 og skemmda í frystitilraunum 1996	44
6	UMRÆÐUR	48
6.1	Aðferðir	48
6.2	Vorfrostþol kvæma og tegunda	50
6.3	Vorfrostþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma	51
6.4	Úrval á einstökum fjölskyldum eftir frostþoli að vori	52
6.5	Samband vorfrostskemmda og ytri útlitþátta	52
6.6	Haufrostþol kvæma og tegunda	53
6.7	Haufrostþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma	54
6.8	Samband frostþols við hnattstöðu, hæð yfir sjávarmáli og stærð plantna	55

6.9	Samband frostþols við mismunandi meðferðir að vori og hausti.....	56
6.10	Samband á milli skemmda í gróðrarstöð haustið 1994 og í frystitilraunum 1996.....	57
7	ÁLYKTANIR.....	58
8	ÞAKKARORÐ.....	59
9	HEIMILDIR.....	60
10	VIÐAUKI.....	64
10.1	20 frostþolnustu fjölskyldurnar að vori við hverja meðferð. Innan sviga er röðun fjölskyldna miðað við meðalskemmdir úr öllum meðferðunum 4 að vori, þær sem eru meðal 20 bestu í heildina eru feitletraðar.	64
10.2	20 frostþolnustu fjölskyldurnar að hausti fyrir hverja meðferð. Innan sviga er röðun fjölskyldna miðað við meðalskemmdir úr öllum meðferðunum 4 að hausti, þær sem eru meðal 10 bestu í heildina eru feitletraðar.	66
10.3	20 frostþolnustu sitkagreni-fjölskyldurnar að hausti fyrir hverja meðferð.	68
10.4	Vorfrysting – Samanburður á fjölskyldum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls	70
10.5	Haustfrysting – samanburður á fjölskyldum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls	80
10.6	Vorfrysting – samanburður á kvæmum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls	88
10.7	Haustfrysting – samanburður á kvæmum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls	89
10.8	Kort sem sýnir söfnunarstaði efniviðarins	90

3 INNGANGUR

Vaxtartaktur (e. growth rhythm) og frostþol eru sennilega þeir valþættir sem mestu máli skipta fyrir lífslíkur, vöxt og viðgang trjáa á norðurslóðum, enda hefur erfðafræðilegur breytileiki í frostþoli verið ítarlega rannsakaður og það staðfest að hann sé mikill hjá norðlægum barrtrjategundum, jafnt meðal kvæma (s.k. staðbrigða) (Rehfeldt 1983; Jonsson m.fl. 1981; Nilsson & Eriksson 1986; Skøppa & Dietrichson 1986; Brynjar Skúlason 1996) sem innan kvæma (Rehfeldt 1977; Eiga & Sakai 1984; Jonsson m.fl. 1986; Norell m.fl. 1986; Brynjar Skúlason 1996; Balduman *et.al.* 1999).

Upphaf og lok vaxtar hjá trjám, svonefndur vaxtartaktur, stýrist að mestu af hitastigi og ljóslotu (e. photoperiod). Hvernig tré bregðast við hitafari og daglengd er misjafnt milli tegunda, kvæma (s.k. staðbrigða) og einstaklinga innan kvæma. Vaxtartaktur og viðbrögð trjáa við breytingum í hitastigi og ljóslotu hafa mótast af því umhverfi sem viðkomandi tegund eða kvæmi hefur aðlagast með náttúruvali frá því hún tók sér bólfestu á tilteknu landssvæði (Dietrichson 1964; Cambell & Sugano 1975; Cannell & Smith 1983; Hänninnen 1990; Repo *et.al.* 1991).

Við flutning trjategunda til nýrra heimkynna, svo sem við flutning grenitegunda frá Alaska til Íslands, getur orðið umtalsverð röskun á aðlögun trjategundarinnar að sértækum umhverfisskilyrðum, sem þróast hefur um árþúsundir.

Ísland er jaðarsvæði með tilliti til skógræktar, því sumarhiti á Íslandi er lágur miðað við kjörhita flestra trjategunda. Auk þess að vera svalt, er íslenskt veðurfar duttlungafullt, og hitastig á öllum árstímum er mjög breytilegt. Hörð frost geta komið í kjölfar langra hlýindakafla á flestum árstímum, þar með talið á vaxtartímanum, þegar tré eru sérstaklega viðkvæm fyrir frosti. Mest hætta er trjám þó búin á vorin og haustin. Veðurfar Íslands er að ýmsu leyti frábrugðið því sem er að

finna á upprunasvæðum flestra þeirra trjátegunda sem fluttar hafa verið inn og notaðar til skógræktar. Þessi munur kemur einkum fram í því að sumur eru hér svalari og vetur mildari. Vegna hinna mildu vetra er oft hættá á að mörg trjáanna lifni og missi frostþol áður en hættan af vorfrostum er liðin hjá. Einnig er hnattstaða Íslands norðlægari en t.d. upprunasvæði trjátegunda í Alaska, svo sem sitkagrenis, stafafuru og alaskaaspar, og vegna aðlögunar að suðlægari ljóslotu fara þessar tegundir síðar í dvala á haustin í ræktun hérlendis en í sínum heimkynnum.

Sitkagreni (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) frá Alaska er sú trjátegund sem binda má mestar vonir við til nytjaskógræktar í vetrarmildum, úrkomusömum héruðum sunnan- og vestanlands, og e.t.v. víðar á landinu. Annars staðar á landinu, þar sem sumur eru styttri og þurrari eru meiri vonir bundnar við hvítgreni (*P. glauca* (Moench) Voss) og sitkabastarð (*P. x lutzii* Little)¹. Reynslan sýnir þó að víða um land getur þessum tegundum verið hættá búið af haust- og vorfrostum í óvenjulegu árferði. Umfang og eðli skemmdanna virðist þó fara nokkuð eftir því hvaða tegund á í hlut og hvaða landshluta um er að ræða. Haustkal hjá sitkagreni er verulegt vandamál, og sums staðar næsta árvisst uppákoma, einkum á unglöntustiginu, meðan plöntur eru að vaxa í hitaskiptalaginu næst jörðu. Fullyrða má að í gróðrarstöðvum landsins nemi árlegt tjón af völdum haustfrostskemda á sitkagreni milljónum króna árlega, bæði með því að unglöntur drepast eða verða ósöluhæfar og ónothæfar til skógræktar. Í hörðu frosti í byrjun septembermánaðar árið 1994 skemmdist eða dó mestallt það sitkagreni sem var í ræktun í gróðrarstöðvum á Norðurlandi og Fljótisdalshéraði, og flestar nýgróðursettar plöntur þessarar tegundar dóu í sama frosti á þessum slóðum en skemmdir á hvítgreni og sitkabastarði (a.m.k. sumum kvæmum) urðu óverulegar. Skemmdir af völdum vorfrostu eru

¹ Sitkabastarður (einnig nefndur hvítisitkagreni eða sitkagrenibróðir) er náttúrlegur tegundablendingur hvítgrenis og sitkagrenis, og er útbreiðslusvæði hans að finna á nokkrum svæðum í Alaska þar sem útbreiðslusvæði foreldrategundanna skarast.

sjaldgæfari, en geta þó valdið meiri usla þegar það gerist. Þann 9. apríl 1963 varð eitt mesta áfall sem orðið hefur í íslenskri skógræktarsögu. Eftir tveggja mánaða hlýviðriskafla gerði snöggt frost, sem olli verulegum skemmdum og afföllum á sitkagreni og fleiri trjátegunum frá Norður-Ameríku. Tjón af völdum þessa hrets varð mest á vetrarmildum svæðum meðfram suðurströndinni. Í þessu hreti virðast skemmdir hafa dreifst misjafnlega á fyrrnefndar grenitegundir. Þannig þurrkaðist hvítgreni, blágreni og sitkabastarður að mestu út meðfram suðurströndinni, og sitkagreni skemmdist víða, þótt skemmdir og afföll væru víðast hvar minni en hjá hinum tegundunum (Haukur Ragnarsson 1964).

Ein helsta forsenda fyrir heilbrigðum og öruggum vexti grenitrjáa á Íslandi er að vaxtartaktur þeirra sé í samræmi við veðurfar og ljóslotu hérlendis. Svo sem fyrr var nefnt, er jafnan til staðar mikill erfðabreytileiki í því, hvenær tré losna úr dvala á vorin við tiltekið hitafar, og hvenær þau ljúka vexti og verða frostþolin á haustin, við tiltekið hitafar og birtutíma. Þessir eiginleikar hafa fremur hátt arfgengi hjá trjátegunum (Kozłowski m.fl. 1991). Það að arfgengi frostþols að vori og hausti skuli vera hátt, býður upp á möguleika á því að beita úrvali meðal trjátegunda, kvæma og einstaklinga, sem aftur skapar forsendu fyrir því að hægt sé að kynbæta gagnvart frostþoli. Til þess að geta beitt frostþolprófunum við úrval og kynbætur trjáa, verður að vera fyrir hendi aðferð sem mælir frostþol við stýrðar aðstæður. Jafnframt er það skilyrði að frostþol sem mælt er við stýrðar aðstæður endurspegli vel þol trjáa við raun-aðstæður og að hægt sé að spá fyrir um frostþol þeirra á fullorðinsaldri út frá frostþoli á æskuskeiði (t.d. við 1-3 ára aldur).

Sú rannsókn sem hér verður greint frá miðar að því að leggja grunn að bættu frostþoli sitkagrenis í skógrækt á Íslandi. Í því augnamiði var borið saman fjölbreytt safn erfðahópa (kvæma og afkvæmahópa) sitkagrenis, sitkabastarðs, hvítgrenis og fleiri grenitegunda með tilliti til frostþols að vori og hausti. Helstu markmið rannsóknarinnar voru:

1. að kanna breytileika meðal fjölskyldna (afkvæma einstakra móðurtrjáa) innan kvæma með tilliti til frostþols að vori og hausti, og komast því hve mikill hluti breytileika dylst innan kvæma.
2. að kanna breytileika meðal kvæma með tilliti til frostþols að vori og hausti.
3. að kanna hvaða áhrif erfðasamruni (*introgression*) sitkagrenis og hvítgrenis hefur á losun dvala á vorin og herðingu að hausti.
4. að kanna hvort hægt sé að beita snemmvali (*early selection*) við úrval á frostþolnum kvæmum, fjölskyldum og arfgerðum sitkagrenis.

4 EFNI OG AÐFERÐIR

Við undirbúning og framkvæmd tilraunarinnar var stuðst við þá reynslu sem fékkst í forkönnun sem hafði að markmiði að þróa aðferðir og samstarf í frostþolsprófun birkis og sitkagrenis og prófa þann búnað sem var tiltækur (Brynjar Skúlason m.fl. 2001). Þar er nánar fjallað um þá aðferð við frystingu og greiningu skemmda sem hér var notuð.

4.1 Efniviður

Á árunum 1987-1988 fór fram umfangsmikil fræsöfnun í Alaska sem kostuð var af Samvinnunefnd um Norrænar Skógarannsóknir (SNS), í samvinnu við Dr. John Alden, skógerfðafræðing í Fairbanks í Alaska. Af hverju kvæmi var fræi haldið aðskildu eftir móðurtrjám til þess að auðvelda markvissar rannsóknir á erfðafræði þessara tegunda. Þessi efniviður hefur nú verið gróðursettur vítt og breitt um Noreg, Svíþjóð, Finnland og Ísland. Hluti þessa efniviðar var frostþolsprófaður í þeirri tilraun sem hér er lýst, alls 35 kvæmi sem samanstóðu af 126 fjölskyldum og 15 kvæmum þar sem fjölskyldum var ekki haldið aðskilið, (sjá töflu 1 og viðauka 10.8).

Sáð var til plantnanna vorið 1994. Plönturnar voru í fjölpottabökkum, ýmist 100 cm³ eða 150 cm³. Plönturnar höfðu vaxið tvö sumur um vorið 1996 en þrjú sumur um haustið 1996 þegar frysting fór fram.

Tafla 1. Efniviður (tegundir, kvæmi og afkvæmahópar) sem borinn var saman í tilrauninni. Skýringar: V.nr. = vinnunúmer (auðkenning kvæmis í tilraunum). „Tegund“: tegundarheiti skv. útliti (SG = sitkagreni; SB = sitkabastarður; HG = hvítgreni; BG = blágreni; SvG = svartgreni). „Teg./cpDNA“: tegund, skv. greiningu grænu DNAi (Sigurgeirsson 1992). Dálkurinn „Fölisk.“: sýnir þau tilvik þar sem athuguð voru fjölskyldur innan kvæma, og fjölda fjölskyldna.

V.nr.	Kvæmi	Teg.	Teg./cpDNA	Breiddargr. (°N)	Lengdargr. (°V)	H.y.s. (m)	Fjölsk.
1	Chiniak	SG	SG	57°36' - 37'	152°10' - 18'	10-30	6
2	Duck Mountain	SG	SG	58°12'	152°31'	50-80	7
3	Iniskin Bay	SG/SB	SG/SB	59°41'	153°23'	8-100	9
4	Chinitna Bay	SG	SG/SB	59°49'	153°02' - 05'	5-20	9
5	Port Chatham	SG	SG	59°11'	151°43'	30	6
6	Homer	SG	SG	59°38'	151°28' - 34'	5-30	10
7	Ninilchik	SB/HG	SB/HG	59°58' - 59'	151°33' - 35'	91-122	10
8	Kenai City	HG	HG	60°35' - 40'	151°17' - 20'	20-30	6
9	Resurrection River	SG	SG	60°09' - 11'	149°27' - 32'	15-61	4
10	Nash Road	SG	SG	60°05'-08'	149°20'-24'	3-61	7
11	Kenai Lake	SB	HG	60°29'	149°45'-47'	152	4
12	Cooper Lake	SG	SB/SG	60°21'	149°41' - 44'	396	5
13	Moose Pass	SG	SB/SG	60°15'-24'	149°21' - 22'	145 - 213	2
15	Hope Road	SB					4
17	Portage to Girdwood	SG	SG	60°47' - 51'	149°44' - 55'	23-76	5

V.nr.	Kvæmi	Teg.	Teg./cpDNA	Breiddargr. (°N)	Lengdargr. (°V)	H.y.s. (m)	Fjölsk.
18	Girdwood	SG	SG	61	149°30'		6
19	Valdez	SG	SG	61°04'	146°11'	31	10
20	Cordova	SG	SG	60°32'	145°45'	?	10
21	Icy Bay	SG	SG	60°03'	142°13'	8	3
26	Haines Highway	SG		59°40'	130°30'	758	3
28	Dyea, Skagway	SG		59°27'	135°19'	6	
29	Yakutat	SG		59°31'	139°40'	8,5	
30	Cordova	SG		60°32'	145°45'	8	
31	Tatiklek	SG		61°00'	146°40'	óþekkt	
32	Taraldsøy	SG		Frægarður; samsettur af trjám af ýmsum uppruna			
33	Sitka	SG		57°00'	135°30'		
34	Ártúnsbrekka	SG		Íslenskt kvæmi; tré af ýmsum uppruna			
35	Tumastaðir	SG		Íslenskt kvæmi; tré af ýmsum uppruna			
36	Stálpastaðir	SG		Íslenskt kvæmi; uppruni: Cordova			
46	Queen Charlotte	SG		53°21'	132°15'	167	
47	Porcher Island	SG		54°03'	130°20'	427	
48	Rennell Sound	SG		53°20'	132°18'	475	
57	Rio Grande, Colorado	BG		38°	105°		
58	Bluejoint Mtn.	BG		51°	116°		
60	Soldotna	SvG		60°30'	151°00'	25	

4.2 Sprotar-klipping

Plöntur voru ekki frystar í heilu lagi heldur voru teknir sprotar af þeim til frystingar. Haft var fyrir aðalreglu að klippa og nota einungis toppsprota. Nokkur hluti plantnanna hafði áður orðið fyrir skemmdum á toppi og í slíkum tilfellum var brugðið á það ráð að taka hliðarsprota í staðinn. Sprotarnir voru hafðir 7-10 cm að lengd. Eftir klippingu voru sprotarnir settir í plastpoka og geymdir í kæli við 5 °C í nokkrar klukkustundir fram að frystingu.

4.3 Tilraunaliðir

Fryst var fjórum sinnum á árinu 1996. Að vorinu var fryst 18. apríl og 1. maí og að haustinu fór frystingin fram 5. september og 23. september. Frostalagið var -12 og -18 °C í bæði skiptin. Alls voru prófaðar 126 fjölskyldur auk 15 blandaðra kvæma með 8 endurtekningum. Flestar þessara fjölskyldna voru frystar í öll skiptin.

Tilraunaliðir voru því eftirfarandi: 4 (dagsetningar) x 2 (frostalag) x 141 (fjölskyldur + blönduð kvæmi) x 8 (endurtekningar) = 8960 sprotar. Auk þessara sprota var tekinn sproti aukalega af flestum fjölskyldum sem viðmiðun hverju sinni.

4.4 Búnaður

Við frystinguna voru notaðar frystikistur með tölvustýrðu hitastigi. Hitastiginu var stýrt þannig að hitinn lækkaði um 2 °C á klukkustund frá 0 °C niður í -12 og -18 °C. Þegar -12 °C var náð var helmingur efniviðarins tekinn út og settur í -2 °C. Hinn hlutinn var frystur niður í -18 °C og þá tekinn út og einnig látinn standa við -2 °C í nokkrar klukkustundir. Sprotarnir voru síðan þýddir við 5 °C. Viðmiðunarsprotar voru geymdir í kæli við 5 °C meðan á frystingu stóð.

Að lokinni frystingu var öllum sprotunum stungið í fjölpottabakka og þeir látnir standa í þokuúðun í u.þ.b. tvær vikur. Hér er átt við hlýjan stað með háu rakastigi. Þessi aðstaða var útbúin með því að setja plasttjald yfir beð með undirhita inni í litlu gróðurhúsi. Undir plasttjaldinu var

vökvunarbúnaður sem vökvaði með fínum úða og stjórnaðist af nema sem tók mið af rakastiginu undir plastinu. Hitastigið undir tjaldinu var ekki mælt, en telja má víst að á sólríkum dögum hafi verið umtalsverður hitamunur dags og nætur. Hlyustu dagana var gróðurhúsið haft opið til að draga úr hitanum. Ekki var notað annað ljós en dagsbirtan.

4.5 Mat á skemmdum og aðrar mælingar

Strax haustið 1994 þegar plönturnar höfðu vaxið í eitt sumar urðu talsverðar skemmdir á þeim af völdum haustfrosts sem varð í gróðrarstöðinni á Mógilsá. Þessar skemmdir voru metnar sem hlutfallsleg afföll og toppkal hjá hverri fjölskyldu.

Tvenns konar mælingar voru gerðar 1996. Annars vegar mælingar og mat á pottaplöntunum fyrir klippingu sprota, þ.e. fyrir frystingu, og hins vegar mat á skemmdum á sprotum eftir frystingu.

Vorið 1996 var meðalhæð hverrar fjölskyldu mæld og auk þess var reynt að meta brumprútnun eða sjáanlega lifnun á plöntunum sömu daga og vorfrystingin var gerð. Gefnar voru einkunnir frá 0 og uppí 3 (sjá töflu 2).

Tafla 2. Einkunnagjöf vegna brumprútnunar vorið 1996 (sömu daga og vorfrysting fór fram).

Einkunn	Brumprútnun
0	Engin brumprútnun
1	Lítill brumprútnun
2	Nokkur brumprútnun
3	Brum opið

Um haustið var metið hvort fjölskyldurnar hefðu sett haustsprota eða ekki.

Aðalmatið á frostpoli fór fram á sprotunum þegar þeir höfðu staðið u.þ.b. tvær vikur í þokuúðun eftir frystingu. Sprotarnir voru ristir eftir endilöngu og skemmdir metnar á vef og á brumum. Einungis 5 efstu sentimetrarnir voru metnir. Sá hluti

sprotans sem hafði sýnilegar skemmdir var metinn á skala frá 0 og uppí 9. Skemmd uppá 0 er algjörlega grænn og frískur vefur en 9 er svartur sundurlaus vefur (sjá töflu 3).

Tafla 3. Einkunnagjöf sem notuð var við mat á skemmdum á sprota eftir frystingu (svonefnd „Skemmdaeinkunn“). Eftir frystingu var sprotum gefin einkunn á bilinu 0 (óskeimmd) til 10 (dauð), og sú einkunn notuð, ásamt mati á því hve mikill hluti sprota sem var skemmdur, til þess að reikna út „Skemmdaeinkunn“, sem notuð var við úrvinnslu gagna.

Skemmdaeinkunn	Sýnilegar skemmdir í vef
Lengd 5 cm, gráða 9 einkunn $5 \times 9 = 45$	Allir 5 cm sprotans eru skemmdir, vottar fyrir grænum blæ í vef, mest efst
Lengd 5 cm, gráða 8 einkunn $5 \times 8 = 40$	Allir 5 cm sprotans eru skemmdir, greinilegur grænn blær í vef niðurúr
Lengd 5 cm, gráða 5 einkunn $5 \times 5 = 25$	Allir 5 cm sprotans eru skemmdir, u.þ.b. helmingur vefsins brúnleitur
Lengd 5 cm, gráða 2 einkunn $5 \times 2 = 10$	Allir 5 cm sprotans eru skemmdir, vottar fyrir brúnum flekkjum
Lengd 5 cm, gráða 1 einkunn $5 \times 1 = 5$	Allir 5 cm sprotans eru skemmdir, vefurinn er grænn en vantar frískari grænan blæ
Lengd 2,5, gráða 10 einkunn $2,5 \times 10 = 25$	2,5 cm sprotans algjörlega svartur sundurlaus vefur en hinir 2,5 cm er grænn og frískur vefur

Eftir frystingu um vorið var reynt að meta hvort brum væru heil eða ekki eftir frystingu. Gefnar voru einkunnir frá 0 og uppí 2 (sjá töflu 4).

Tafla 4. Einkunnagjöf vegna skemmda á brumum eftir vorfrystingu.

Einkunn	Skemmd á brumum
0	Öll brum heil
1	Einhver brum skemmd
2	Öll brum skemmd

Við mat á sprotum eftir síðustu frystingu var til viðbótar reynt að meta skemmdirnar á sprotum út frá ytra útliti þeirra. Matið

tók fyrst og fremst mið af lit og frískleika nála. Þetta var gert til að fá hugmynd um samræmi sýnilegra ytri skemmda á sprotum og skemmda á vef og brumum.

4.6 Framkvæmd tilraunarinnar

Í töflu 5 má sjá hvernig vinnan við undirbúning og framkvæmd tilraunarinnar fór fram.

Tafla 5. Framkvæmd tilraunar.

Dagsetning	Framkvæmdir
Vorið 1994	Sáð til plantnanna úr Alaskasöfnuninni frá árunum 1987-1988
Vorið 1995	Gerð athugun á fjölda plantna, afföllum og toppkals vegna haustkals í gróðrarstöð haustið 1994
16.04.96	Plöntur til vorfrystingar fluttar frá Mógilsá til Möðruvalla
17.04.96	Meðalhæð hveggjar fjölskyldu metinn Brumþrútnun hveggjar fjölskyldu metinn Klipptir sprotar til frystingar
18.04.96	1. frysting
30.04.96	Klipptir sprotar til frystingar
01.05.96	2. frysting
02.05.96 - 03.05.96	Mat á skemmdum eftir 1. frystingu
15.05.96 - 17.05.96	Mat á skemmdum eftir 2. frystingu
03.09.96	Plöntur til haustfrystingar fluttar frá Mógilsá til Möðruvalla
04.09.96	Klipptir sprotar til frystingar
05.09.96	3. frysting
20.09.96	Mat á skemmdum eftir 3. frystingu
22.09.96	Klipptir sprotar til frystingar
23.09.96	4. frysting
14.10.96- 15.10.96	Mat á skemmdum eftir 4. frystingu

4.7 Tölfræðileg úrvinnsla gagna

Öll tölfræðileg úrvinnsla gagna var unnin með hjálp tölfræðiforritanna SPSS (v. 6.1.3; SPSS Inc.) og SigmaPlot (v.4; SPSS Inc.).

Fervikagreiningu var beitt við úrvinnslu á frostskeppmdaeinkunnum frá vorinu og haustinu 1996. Við mat á því hvort einstakir meðferðarþættir (dagsetning við frystingu, lágmarkshiti við frystingu, kvæmi og fjölskylda) yllu mun í frostskeppmdum, var eftirfarandi líkan notað:

Líking:

$$Y_{ijklm} = \mu + Kv_j + D_k + Fr_l + KvD_{jk} + KvFr_{kl} + DFr_{jl} + DFrKv_{jkl} + kv(fjölksk)_m + b_l + e_{ijkl}$$

Y_{ijklm} = mæld frostskeppmdaeinkunn við j. stig af breytunni „kvæmi“, k. stig af breytunni „dagsetning frystingar“, l. stig af breytunni „hitastig við frystingu“ og m. stig af breytunni „fjölskylda innan kvæmis“

μ = almennt meðaltal

Kv_j = meðaláhrif j. stigs af breytunni „kvæmi“

D_k = meðaláhrif k. stigs af breytunni „dagsetning frystingar“ (sem er 18. apríl og 1. maí að vorlagi, en 5. september og 23. september að haustlagi).

Fr_l = meðaláhrif l. stigs af breytunni „hitastig við frystingu“ (-12°C og -18°C)

KvD_{jk} = víxlhrif (víxlverkun) meðaláhrifa j. stigs af breytunni „kvæmi“ og meðaláhrifa k. stigs af breytunni „dagsetning frystingar“.

$KvFr_{kl}$ = víxlhrif meðaláhrifa j. stigs af breytunni „kvæmi“ og meðaláhrifa l. stigs af breytunni „hitastig við frystingu“.

DFr_{jl} = víxlhrif meðaláhrifa k. stigs af breytunni „dagsetning frystingar“ og meðaláhrifa l. stigs af breytunni „hitastig við frystingu“.

$DFrKv_{jkl}$ = þríhliða víxlhrif meðaláhrifa k. stigs af breytunni „dagsetning frystingar“, meðaláhrifa l. stigs af breytunni „hitastig við frystingu“ og meðaláhrifa j. stigs af breytunni „kvæmi“.

$kv(fjölsk)_m$ = meðaláhrif m. stigs af breytunni „fjölskylda innan kvæmis“

bl_i = meðaláhrif blokkar (endurtekningar), í þessu tilviki áhrif trés innan fjölskyldu

e_{ijkl} = hendingarskekkja

j = kvæmi nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 26 (skv. töflu 1) - fyrir frystingu að vori

j = kvæmi nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21 (skv. töflu 1) - fyrir frystingu að hausti

k = 1, 2 (1 = 18. apríl; 2 = 1. maí fyrir vorfrystingu, en 1 = 5. sept., 2 = 23. sept. fyrir haustfrystingu)

l = 1, 2 (1 = -12°C; 2 = -18°C)

m = 3 til 10 (breytilegt eftir kvæmum)

Fervikagreiningu var einnig beitt á stærra safn kvæma, þar sem ekki voru til staðar fjölskyldur innan kvæma. Í þeim tilvikum var sömu líkingu beitt og að ofan, nema hvað þátturinn „ $kv(fjölsk)_m$ “ (fjölskylda innan kvæmis) var fjarlægður úr líkingunni.

Eftirfarandi núlltilgátur voru prófaðar:

$$Kv_1 = Kv_{26} = 0$$

$$D_1 = D_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
Fr_1 &= Fr_2 = 0 \\
KvD_{11} &= KvD_{262} = 0 \\
KvFr_{11} &= KvFr_{262} = 0 \\
DFr_{11} &= DFr_{22} = 0 \\
DFrKv_{111} &= DFrKv_{2226} = 0 \\
kv(fjölisk)_1 &= kv(fjölisk)_{26} = 0
\end{aligned}$$

Frostskemmdaeinkunnir eru ekki normaldreifðar meðal fjölskyldna og (eða) kvæma. Þvert á móti skiptir mjög í tvö horn: fjölskyldur og kvæmi eru annaðhvort lítið skemmdar eða mikið skemmdar við tiltekna meðferð (dagsetningu og hitastig við frystingu). Því reyndist nauðsynlegt að umbreyta gildum fyrir skemmdaeinkunnir í arcsin af kvaðratrót einkunnar („angular transformation“: $Y' = \arcsin(Y^{-1/2})$) til þess að breytileiki mælinga verði óháður mæligildum (Sokal & Rohlf 1981). Sams konar umbreytt gildi voru notuð við mat á hlutfallstölum fyrir skemmdir í gróðurhúsi á Mógilsá frá haustinu 1994. Þegar ferveikagreining sýnir marktæk áhrif þáttar eða þátta eru þessi áhrif metin með því að áætla 95% öryggismörk mismuna á jaðarmeðaltölum. Þegar metinn var munur milli fjölskylda innan kvæma var notuð aðferð Student-Newman-Keuls til þess að skipta fjölskyldum í tölfræðilega marktækt mismunandi hópa.

5 NIÐURSTÖÐUR

Óverulegar skemmdir greindust á viðmiðunarsprotum. Því er gengið útfra að þær skemmdir sem greindust á frystu efni séu fyrst og fremst kalskemmdir vegna frystingarinnar. Viðmiðunarplöntum er þess vegna sleppt í tölfræðiuppgjörinu.

5.1 Vorfrostþol kvæma og tegunda

Niðurstöður fervikagreiningar á meðalskemmdaeinkunn kvæma við frystingu að vori eru sýndar í töflu 6. Fram koma marktæk áhrif af öllum meðferðarpáttum (kvæmi, dagsetningu við frystingu, hitastigi við frystingu) og öllum víxlverkunum milli þessara þátta.

Tafla 6. Fervikagreining skemmdareinkunnar eftir frystingu að vori hjá 34 kvæmum (án fjölskyldna).

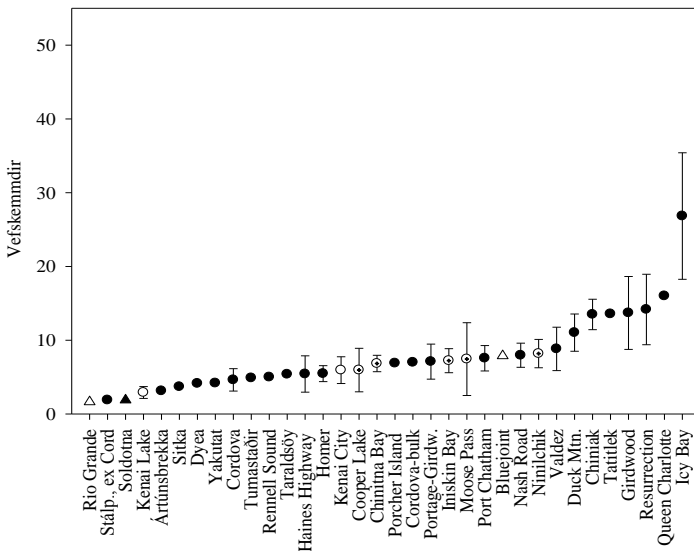
Þættir	Fritölur	Meðalfervik	F	P
Kvæmi (Kv)	33	0,03	8,90	0,000
Dagsetning frystingar (D)	1	0,23	7,18	0,007
Hitastig við frystingu (Fr)	1	0,56	17,10	0,000
D * Fr	33	0,12	3,78	0,000
Fr * Kv	33	0,12	3,69	0,000
D * Fr	1	0,26	8,03	0,005
D * Fr * Kv	32	0,16	5,02	0,000
Óvissa	4193			0,03

$R^2 = 0,619$, aðfellt $R^2 = 0,606$

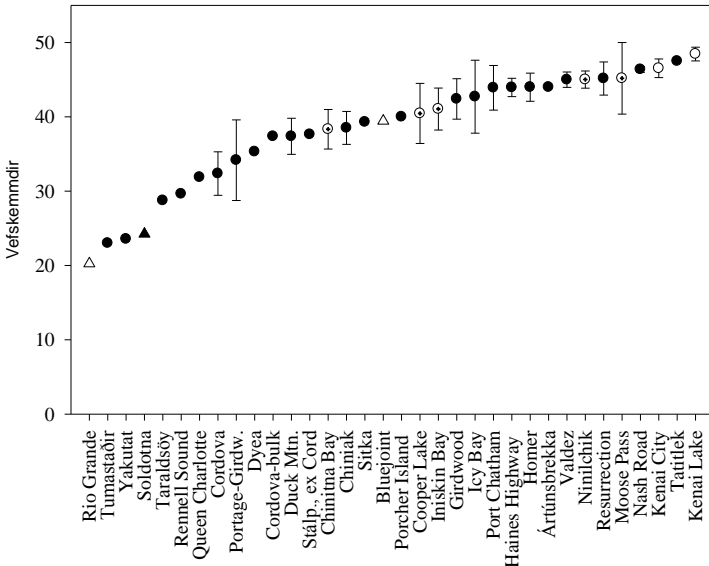
Af 1. mynd a má sjá að frysting við -12°C þann 18. apríl veldur fremur vægum skemmdum hjá flestum kvæmum, þótt greinilega sé tölverður breytileiki innan sumra kvæma (meðal fjölskyldna innan kvæma). Breytileiki milli tegunda og kvæma verður á hinn bóginn umtalsverð þegar fryst er við -18°C sama dag (1. mynd b). Þar má greina skýra tilhneigingu í þá átt að hvítgreni og sitkabastarður verði fyrir mun alvarlegri

skemmdum en sitkagreni, þótt breytileiki innan og milli sitkagrenikvæma sé vissulega fyrir hendi í ríkum mæli. Minnstar skemmdir verða hjá blágreni (Rio Grande), svartgreni (Soldotna) og nokkrum þeirra sitkagrenikvæma sem notuð voru til viðmiðunar, svo sem Tumastaðir, Yakutat, Taraldsøy, Rennell Sound og Queen Charlotte.

a) Frysting 18. apríl við -12°C



b) Frysting 18. apríl við -18°C

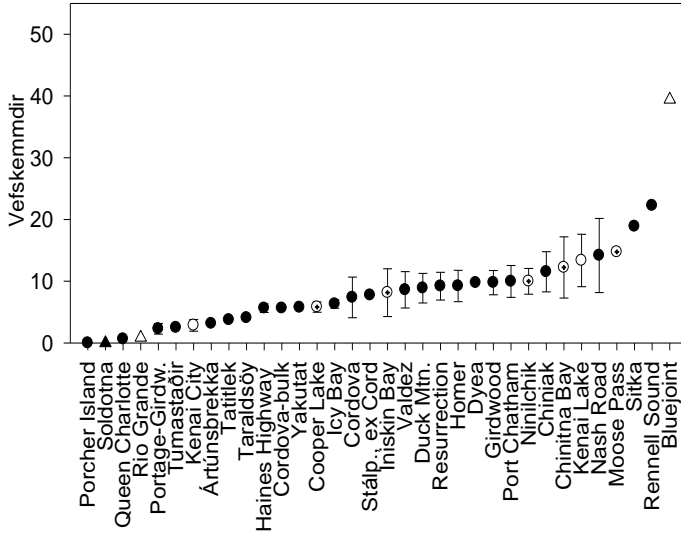


1. mynd. Skemmdaeinkunn (\pm staðalskekking) eftir frystingu 18. apríl (fyrri vorfrysting) hjá 34 kvæmum fimm grenitegunda. Svartir hringir tákna sitkagreni, gráir hringir sitkabastarð og hvítir hringir hvítgreni. „Rio Grande“ og „Bluejoint“ eru kvæmi blágrenis, hið fyrra suðlægt en hið síðara norðlægt. „Soldotna“ er svartgreni. Staðalskekking er reiknuð út frá staðalfrávikum meðaltala einstakra fjölskylda. Því vantar staðalskekkingutákn hjá kvæmum þar sem ekki eru til staðar fjölskyldur innan kvæma, og þar með engar endurtekningar á meðaltölum innan hópa.

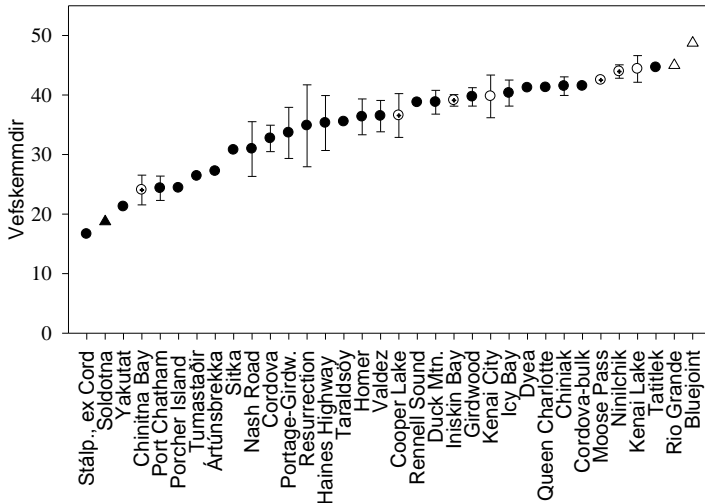
2. mynd a sýnir fremur vægar skemmdir hjá flestum kvæmum eftir frystingu við -12°C þann 1. maí. Fæst kvæmanna hafa tapað þoli gagnvart -12°C frá því 2 vikum áður, nema helst blágreni (Bluejoint). Við frystingu við -18°C, þann 1. maí (2. mynd b), kemur fram sams konar mynstur og við sama hitastig frystingar tveim vikum áður að hvítgreni og sitkabastarður skemmist meira en flest sitkagrenikvæmi, einkum sum hinna

„Íslensku“ kvæma (t.d. Stálpastaðir, Tumastaðir og Ártúnsbrekka).

a) Frysting 1. maí við -12°C



b) Frysting 1. maí við -18 °C



2. mynd. Skemmdaeinkunn (\pm staðalskekking) eftir frystingu 1. maí (síðari vorfrysting) hjá 34 kvæmum fimm greinategunda. Af myndinni má ráða skýrari tilhneigingu í þá átt að sitkagreni skemmist minna við -18°C en hvítgreni og sitkagreni

Í viðauka 10.6 er kvæmunum ráðað upp eftir skemmdum úr öllum frystingum og aðgreind með aðferð Student Newman-Keuls.

5.2 Vorfröstþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma

Niðurstöður ferkvæmagreiningar á skemmdareinkunn 19 kvæma sem höfðu að geyma „fjölskyldur innan kvæma“ við frystingu að vori eru sýndar í töflu 7. Sem fyrr koma fram mjög marktæk áhrif af öllum meðferðarþáttum (kvæmi, dagsetning við frystingu, hitastig við frystingu) og öllum víxlverkunum milli þessara þátta ef undan er skilið samspil dagsetningar og

frystingar. Áhrif af fjölskyldu innan kvæmis eru einnig mjög marktæk.

Tafla 7. Fervikagreining skemmareinkunnar eftir frystingu að vori hjá 19 kvæmum, með fjölskyldum innan kvæma.

Þættir	Fritölur	Meðalfervik	F	P
Kvæmi (Kv)	18	0,24	7,69	0,000
Dags. frystingar (D)	1	0,70	22,72	0,000
Hitastig við frystingu (Fr)	1	133,63	4344,58	0,000
D * Kv	18	0,12	3,83	0,000
Fr * Kv	18	0,18	5,71	0,000
D * Fr	1	1,05	34,04	0,198
D * Fr * Kv	18	0,20	6,41	0,000
Fjölskylda innan kvæmis	102	0,12	3,91	0,000
Óvissa	3670			0,03

$R^2 = 0,647$, aðfellt $R^2 = 0,630$

Við fervikagreiningu kemur fram að „fjölskylda“ hefur marktæk áhrif hjá 14 af 18 kvæmum (við $p = 0,05$). Aðeins kvæmin Chiniak, Duck Mountain, Icy Bay og Haines Highway sýna ekki marktækan mun milli fjölskyldna innan kvæma. Best aðgreining (resolution) fjölskyldna (með aðferð Student-Newman-Keuls, viðauki 10.4) kemur fram við -18°C þ. 18. apríl, en við þau skilyrði næst að skýra mun milli fjölskyldna hjá 10 kvæmum af 18. Við $-12^\circ\text{C}/18$. apríl og $-12^\circ\text{C}/1$. maí kemur munur fram hjá 9 kvæmum af 18, en við $-18^\circ\text{C}/1$. maí kemur aðeins fram munur hjá 7 kvæmum af 10.

5.3 Úrval á einstökum fjölskyldum eftir vorfrostþoli

Í viðauka 10.1 eru sýndar „bestu“ (frostþolnustu) 20 fjölskyldur meðal þeirra 103 fjölskyldna sem komu fyrir í öllum frystimeðferðum að vori og hausti, þ.e. þær sem röðuðu sér í

20 efstu sæti m.t.t. frostþols við einhverja hinna fjögurra tilraunameðferða að vori.

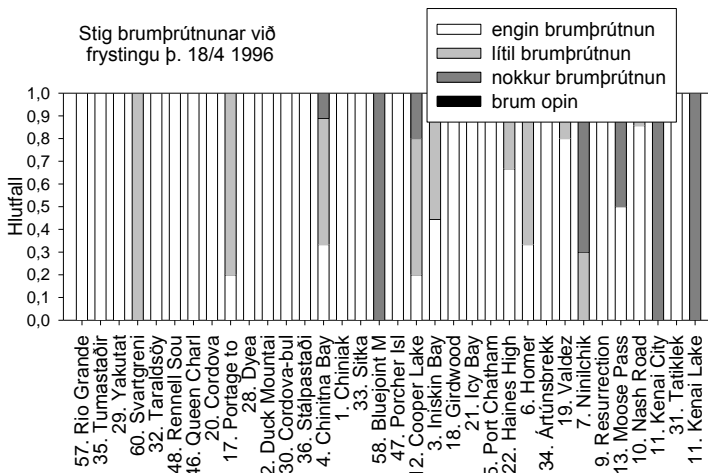
Í töflu 8 eru sýndar þær fjölskyldur sem lentu í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum. Af hinum síðarnefndu eru 9 sitkagreni (frá Cordova, Duck Mountain, Port Chatham, Portage-Girdwood og Valdez), 7 sitkabastarðar (frá Chinitna Bay, Cooper Lake og Iniskin Bay) og eitt hvítgreni (frá Kenai City).

Tafla 8. Fjölskyldur sem lentu í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum, „R” = Röðun, „S” = Skemmd.

	18.apríl -12°C		18.apríl -18°C		1. maí -12°C		1. maí -18°C	
	R	S	R	S	R	S	R	S
Fjölskylda								
Chinitna Bay-1			6	26,6	10	1,1	4	18,8
Chinitna Bay-2	19	2,4	13	29,5				
Chinitna Bay-5			12	29,1			10	21,5
Chinitna Bay-8					2	0,0	7	21,0
Chinitna Bay-10	2	0,0					4	18,8
Cooper Lake-7			5	26,5			13	23,9
Cordova-2	3	0,4	3	20,8	18	1,8		
Cordova-6	7	0,8	7	27,6				
Cordova-8	9	0,9	14	29,7			19	27,4
Cordova-9	8	0,8	2	20,6				
Duck Mtn-5			17	32,4			20	28,0
Duck Mtn-7			18	33,0	5	0,6		
Iniskin Bay-9	10	1,0			13	1,5		
Kenai City-8					3	0,0	14	24,4
Port Chatham-8	12	1,3	10	29,0			5	18,9
Portage to Girdwood-1					1	0,0	3	18,0
Valdez-7					4	0,3	11	22,5

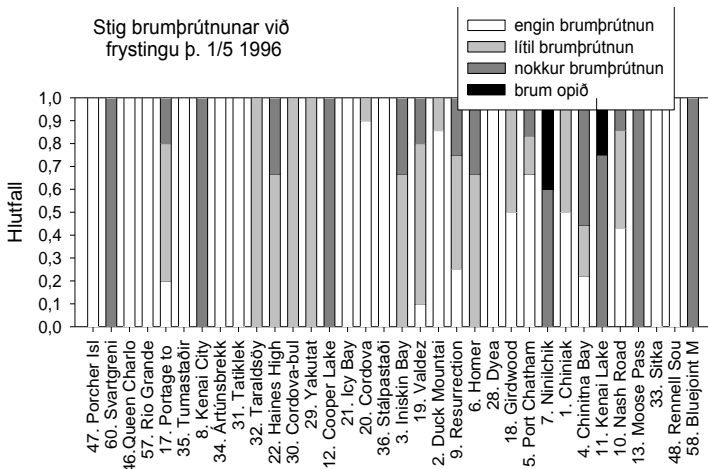
5.4 Samband vorfrostsKemmda við ytri útlitþætti

Á 3. mynd er sýnt stig brumþrútnunar við frystingu þ. 18. apríl hjá 34 kvæmum.



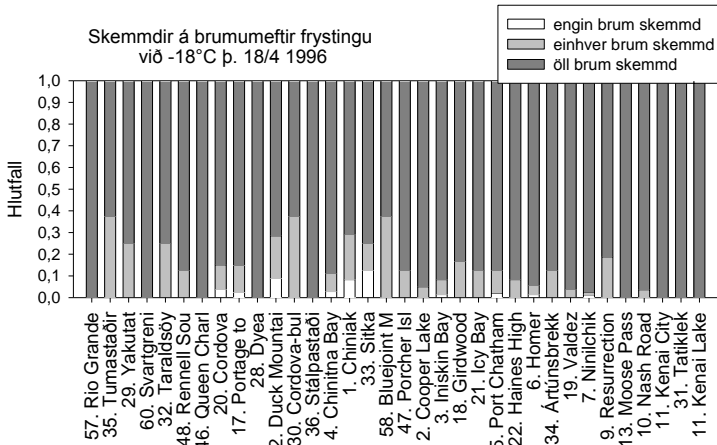
3. mynd. Stig brumþrútnunar 18. apríl raðað eftir vefskemmdum eftir frystingu við -18°C sama dag. Minnstar skemmdir lengst til vinstri en mestar lengst til hægri.

Þegar 3. mynd er borin saman við skemmdir eftir frystingu við -18°C á 1. mynd b má glöggjt ráða að samhengi þessara þátta er afar veikt. Sitkagreni virðist áberandi seinna á ferðinni með brumþrútnun en hvítgreni, svartgreni og blágreni en þetta endurspeglast ekki alltaf í frostþoli. Sams konar mynd fékkst þegar brumþrútnun þann 1. maí var borin saman við skemmdir eftir frystingu við -12°C (sjá 4. og 2. mynd a).

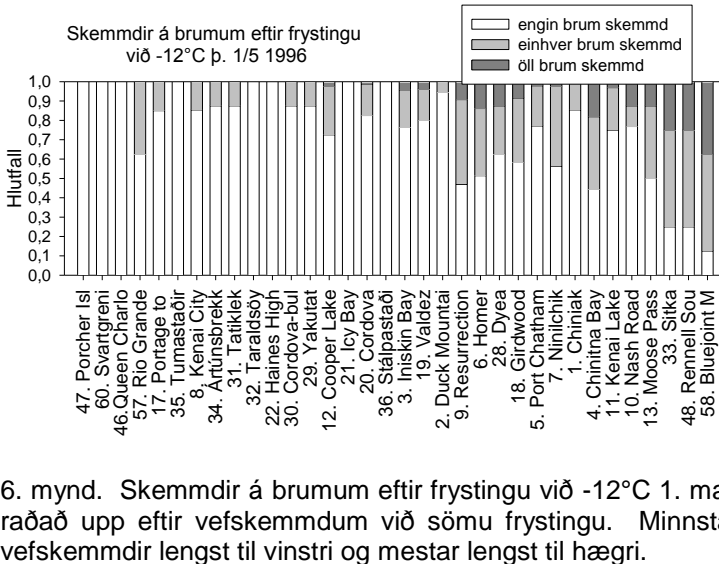


4. mynd. Stig brumþrútnunar 1. maí raðað upp eftir vefskemmdum eftir frystingu við -12°C sama dag. Minnstar skemmdir lengst til vinstri en mestar lengst til hægri.

Öllu betra samband sést þegar bornar eru saman skemmdir á brumum eftir frystingu (5. og 6. mynd) og skemmdareinkunn á sprotum eftir frystingu (1. mynd b og 2. mynd b).



5. mynd. Skemmdir á brumum eftir frystingu við -18°C 18. apríl, raðað upp eftir vefskemmdum við sömu frystingu. Minnstar vefskemmdir lengst til vinstri og mestar lengst til hægri.



6. mynd. Skemmdir á brumum eftir frystingu við -12°C 1. maí, raðað upp eftir vefskemmdum við sömu frystingu. Minnstar vefskemmdir lengst til vinstri og mestar lengst til hægri.

5.5 Haustfrostþol kvæma og tegunda

Niðurstöður fervikagreiningar á skemmdareinkunn kvæma við frystingu að hausti eru sýndar í töflu 9. Fram koma marktæk áhrif af meðferðarpáttunum kvæmi og dagsetningu við frystingu en ekki hitastigi við frystingu. Víxlverkanir milli þessara þátta eru þó í öllum tilvikum marktækar (við $p = 0.05$).

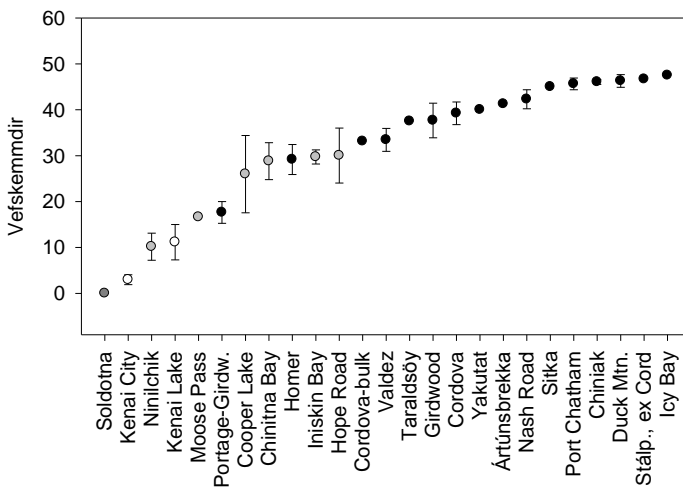
Á 7. mynd a kemur fram að við -12°C þann 5. september verða mjög miklar skemmdir hjá flestum sitkagrenikvæmum, miðað við kvæmi sitkabastarðs, hvítgrenis og svartgrenis. Minnstar skemmdir verða hjá hvítgreni og svartgreni. Frostþol sitkabastarðskvæma virðist afar breytilegt, sem sést af hárrí staðalskekku innan kvæma. Þessi tegundamunur kemur einnig skýrt fram við -18°C þann 5. september (7. mynd b). Öll kvæmi sitkagrenis eru við hámarksskemmd en svartgreni (Soldotna) og hvítgreni (Kenai City) skemmist óverulega. Tvö sitkabastarðskvæmi (Ninilchik og Kenai Lake) virðast frostþolnari en önnur kvæmi sömu tegundar.

Tafla 9. Fervikagreining skemmdareinkunnar eftir frystingu að hausti hjá 26 kvæmum (án fjölskyldna)

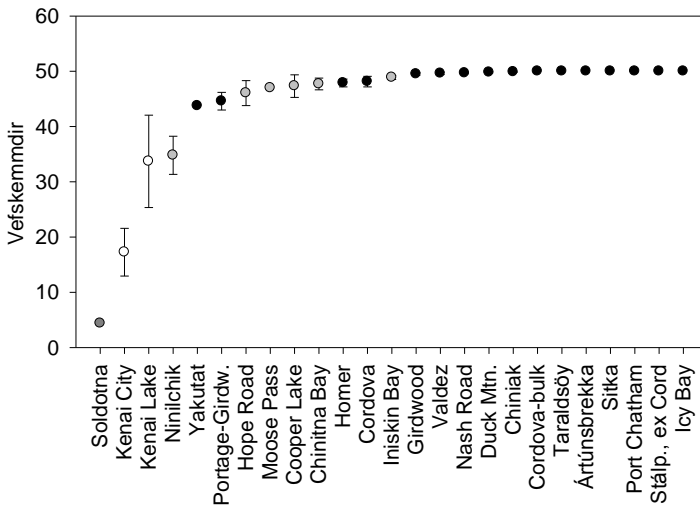
Þættir	Fritölur	Meðalfervik	F	P
Kvæmi (Kv)	25	2,75	89,87	0,000
Dags. frystingar (D)	1	0,81	26,47	0,000
Hitastig v. frystingu (Fr)	1	0,04	1,21	0,271
D * Fr	24	0,20	6,56	0,000
Fr * Kv	25	0,09	2,86	0,000
D * Fr	1	0,20	6,38	0,012
D * Fr * Kv	24	0,26	8,40	0,000
Óvissa	3609			0,03

$R^2 = 0,599$, aðfellt $R^2 = 0,587$

a) Frysting 5. sept. við -12°C



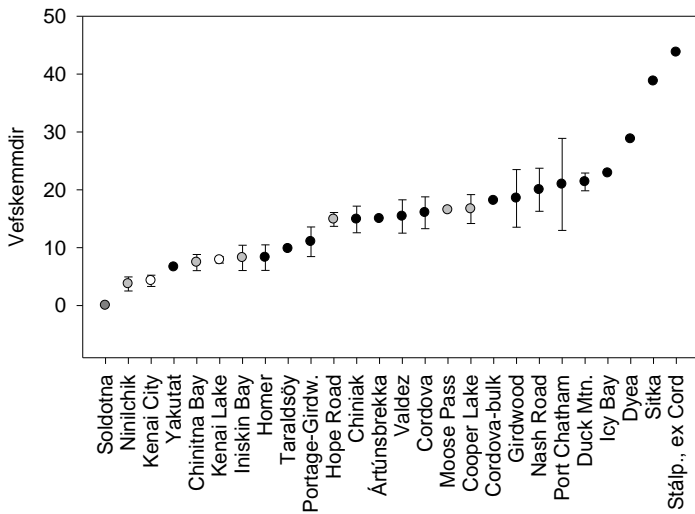
b) Frysting 5. sept. við -18°C



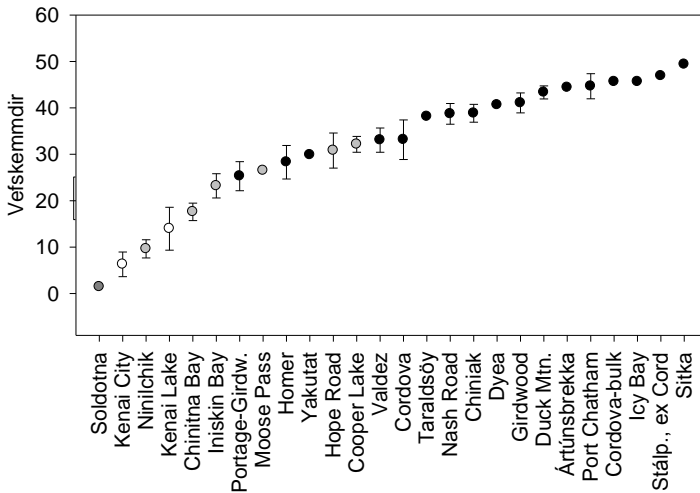
7. mynd. Skemmdaeinkunn (\pm staðalskekking) eftir frystingu 5. september (fyrra haustfrysting) hjá 25 kvæmum fjögurra greinategunda. Svartir hringir tákna sitkagreni, gráir hringir sitkabastarð og hvítir hringir hvítgreni. „Rio Grande“ og „Bluejoint“ eru kvæmi blágreinis, hið fyrra suðlægt en hið síðara norðlægt. „Soldotna“ er svartgreni. Staðalskekkingja er reiknuð út frá staðalfrávikni meðaltala einstakra fjölskylda. Því vantar staðalskekkingjutákn hjá kvæmum þar sem ekki eru til staðar fjölskyldur innan kvæma, og þar með engar endurtekningar á meðaltölum innan hópa.

Á 8. mynd má sjá sömu tilhneigingu við -12° og -18°C þann 23. september og áður kom fram hvað snerti mun milli tegunda. Munur milli sitkagrenikvæma er skýrari en áður, og sum sitkagrenikvæmi nálgast það að hafa svipað frostþol gagnvart -12°C og hvítgreni og frostþolnustu sitkabastarðskvæmi. Meðal slíkra sitkagrenikvæma eru Yakutat, Homer, Taraldsøy og Portage-Girdwood.

a) Frysting 23. sept. við -12°C



b) Frysting 23. sept. við -18°C



8. mynd. Skemmdaeinkunn (\pm staðalskekkja) eftir frystingu 23. september (síðari haustfrysting) hjá 26 kvæmum fjögurra grenitegunda.

5.6 *Haustfrostþol meðal kvæma og fjölskyldna innan kvæma*

Niðurstöður ferveikagreiningar á meðalskemmdareinkunn kvæma (með fjölskyldum innbyrðis) við frystingu að hausti eru sýndar í töflu 10. Fram koma marktæk áhrif af öllum meðferðarliðum (kvæmi, dagsetningu við frystingu og hitastigi við frystingu). Víxlverkanir milli þessara þátta eru í öllum tilvikum marktækar (við $p = 0.05$), nema víxlverkun milli dagsetningar og hitastigs við frystingu ($D * Fr$).

Tafla 10. Fervikagreining skemmdareinkunnar eftir frystingu að hausti hjá 17 kvæmum, með fjölskyldum innan kvæma.

Þættir	Fritölur	Meðalfervik	F	P
Kvæmi (Kv)	16	1,59	57,58	0,000
Dags. frystingar (D)	1	25,02	908,79	0,000
Hitastig v. frystingu (Fr)	1	26,25	953,48	0,000
D * Kv	16	0,24	8,56	0,000
Fr * Kv	16	0,09	3,25	0,000
D * Fr	1	0,05	1,65	0,198
D * Fr * Kv	16	0,35	12,76	0,000
Fjölskylda innan kvæmis	92	0,17	6,21	0,000
Övissa	3284			0,03

$R^2 = 0,644$, aðfellt $R^2 = 0,627$

Við fervikagreiningu kemur fram að „fjölskylda“ hefur marktæk áhrif hjá 11 kvæmum af 15. Kvæmin Chiniak, Duck Mountain, Iniskin Bay og Nash Road sýna ekki marktækan mun milli fjölskyldna. Best aðgreining fjölskyldna kemur fram við -18°C þ. 23.september, en við þau skilyrði næst að greina marktækan mun milli fjölskyldna hjá 9 kvæmum af 15. Minnstur fjölskyldumunur greinist við -18°C þ. 5. sept. (munur meðal 3 fjölskyldna). Við -12°C þ. 5 sept. greinist munur meðal 7 fjölskyldna, en við -12°C þ. 23. sept. greinist hann meðal 8 fjölskyldna.

5.7 Úrval á einstökum fjölskyldum eftir haustfrostþoli

Í viðauka 10.2 eru sýndar „bestu“ (frostþolnustu) 20 fjölskyldur meðal þeirra 103 fjölskyldna sem komu fyrir í öllum frystimeðferðum að vori og hausti, þ.e. þær sem röðuðu sér í 20 efstu sæti m.t.t. frostþols við einhverja hinna fjögurra tilraunameðferða að hausti.

Í töflu 11 eru sýndar þær fjölskyldur sem komu fyrir í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum. Athyglisvert er, að af hinum síðarnefndu eru 8 fjölskyldur hvítgreni (af kvæminu Kenai City og Kenai Lake), 11 sitkabastarður (af kvæmunum Chinitna Bay, Iniskin Bay og Ninilchik) og aðeins 3 sitkagreni (af kvæmunum Cordova, Homer, Portage-Girdwood).

Tafla 11. Fjölskyldur sem lentu í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum, „R” = Röðun, „S” = Skemmd.

	5. sept. -12°C		5. sept. -18°C		20. sept. -12°C		20. sept. -18°C	
	R	S	R	S	R	S	R	S
Fjölskylda	R	S	R	S	R	S	R	S
Chinitna Bay-8	18	10,8	16	41,3	14	2,9		
Cordova-2					6	1,6	8	5,6
Homer-9					15	3,0	14	11,3
Iniskin Bay-6					5	1,6	16	11,9
Kenai City-3	1	0,0	2	10,0				
Kenai City-4	5	2,0	4	14,1	18	3,8	20	14,5
Kenai City-5	8	4,4	1	7,4	19	3,9	4	1,6
Kenai City-6	6	3,8	3	13,4	4	1,3	6	3,2
Kenai City-7	12	7,1	12	36,0				
Kenai City-8	4	0,6	8	22,8	16	3,0	1	1,0
Kenai Lake-7	13	7,3	5	15,4			11	7,3
Kenai Lake-9	11	5,3	9	23,8			10	6,3
Ninilchik-1	7	4,0	6	16,9			3	1,3
Ninilchik-2			17	41,3	12	2,6		
Ninilchik-3	10	4,6	18	41,9	13	2,9	13	9,4
Ninilchik-4	14	8,5	15	41,3			2	1,3
Ninilchik-5	3	0,5	10	25,0	1	1,3	9	6,3
Ninilchik-6	2	0,4	14	39,6	11	2,5	15	11,5
Ninilchik-7	9	4,5	19	42,5	2	1,3	17	12,3
Ninilchik-8	19	11,0	7	19,8	7	2,0	7	4,5
Ninilchik-9			11	31,0	3	1,3		
Portage to Girdwood-2	20	11,3	13	39,4				

Einnig var kannað sérstaklega hvaða fjölskyldur sitkagrenis væru frostþolnust að hausti.

Tafla 12. Fjölskyldur sitkagrenis sem lentu í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum, „R” = Röðun, „S” = Skemmd.

	5. sept. -12°C		5. sept. -18°C		20. sept. -12°C		20. sept. -18°C	
	R	S	R	S	R	S	R	S
Fjölskylda								
Cordova-2	19	32,1	3	43,1	1	1,6	1	5,6
Cordova-3	10	23,9	4	43,8			3	13,4
Homer-2	3	16,8	19	49,4				
Homer-3	7	23,0	6	45,6			13	30,6
Homer-6	20	33,1	7	45,6	3	4,1		
Homer-8	12	25,4	20	49,4	4	4,3	12	30,1
Homer-9	16	28,5	10	46,9	2	3,0	2	11,3
Homer-10	6	22,8			14	8,0	14	30,6
Portage to Girdwood-1	2	12,8	2	42,9	13	7,8	6	21,3
Portage to Girdwood-2	1	11,3	1	39,4			4	17,1
Portage to Girdwood-3	5	20,8	8	45,6	11	7,2	9	27,5
Portage to Girdwood-4	8	23,1	9	46,3				
Portage to Girdwood-5	4	20,3	13	48,8	9	6,4	8	25,0
Valdez-1	18	31,9					15	30,6
Valdez-2			11	48,1	16	8,8		
Valdez-3	9	23,2	15	48,8	6	5,5	5	18,8
Valdez-9	14	26,3			18	9,0	11	29,4
Valdez-10	13	26,0			5	4,4	10	28,8

Í viðauka 10.3 eru sýndar 20 „bestu“ (frostþolnustu) fjölskyldur sitkagrenis í hverri meðferð að hausti en tafla 12 sýnir þær sitkagrenifjölskyldur sem komu fyrir í efstu 20 sætum í tveimur eða fleiri meðferðum. Tvær fjölskyldur tilheyra kvæminu Cordova, sex tilheyra kvæminu Homer, fimm tilheyra kvæminu Portage-Girdwood, og fimm tilheyra kvæminu Valdez. Fjölskyldan Cordova-2 virðist hafa afburða frostþol að hausti; við tvær meðferðir kemur hún fyrir í fyrsta sæti (við -

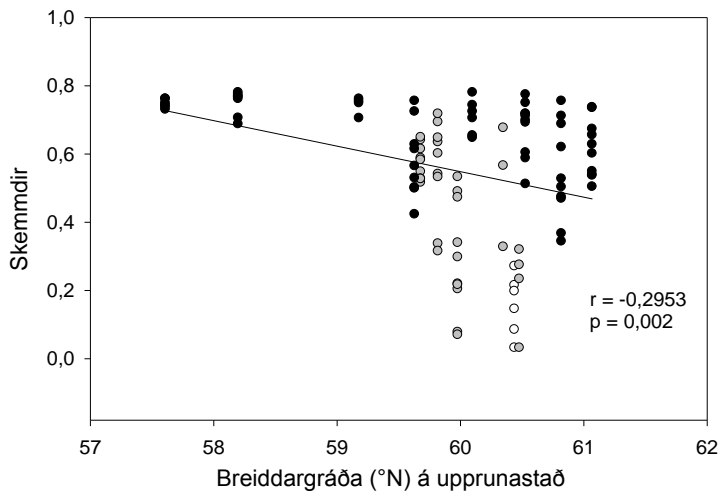
12°C og -18°C þ. 23. September), í einni meðferð (við -18°C þ. 5. sept.) er hún í þriðja sæti, en í nítjándra sæti við -12°C þ. 5. sept.

5.8 Samband vorfrostþols við breiddargráðu, lengdargráðu, hæð yfir sjávarmáli og hæð plantna

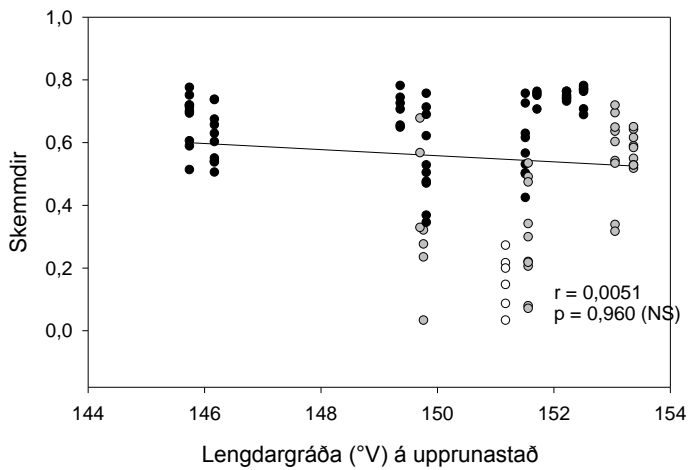
Kannað var línulegt samhengi á milli vorfrostþols einstakra fjölskyldna að vori við þætti svo sem breiddargráðu, lengdargráðu og hæð yfir sjávarmáli á upprunastað. Einnig var kannað samhengi á milli meðalhæðar og vefskemmda. Öllum skemmdaeinkunnum var umbreytt í arcsin af kvaðratrót einkunnar („angular transformation“: $Y' = \arcsin(Y^{-1/2})$) til þess að breytileiki mælinga væri óháður mæligildum (Sokal & Rohlf 1981). Hvergi kom fram marktæk fylgni.

5.9 Samband haustfrostþols við breiddargráðu, lengdargráðu, hæð yfir sjávarmáli og hæð plantna

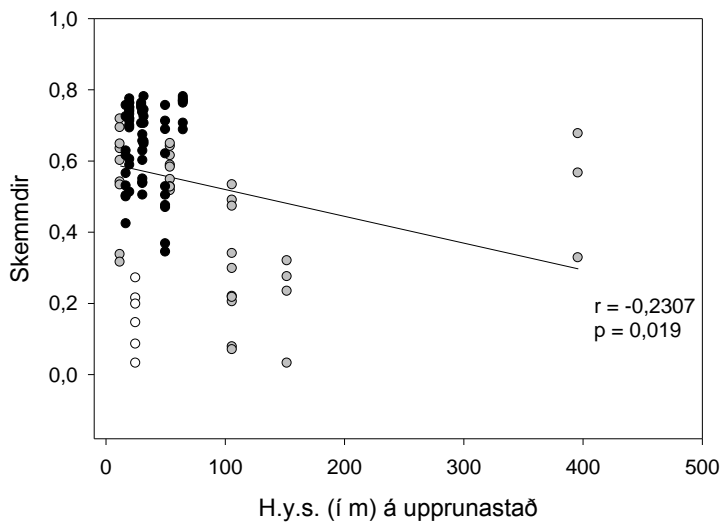
Kannað var línulegt samhengi á milli frostþols einstakra fjölskyldna að hausti við breiddargráðu, lengdargráðu og hæð yfir sjávarmáli á upprunastað. Einnig var kannað samhengi á milli meðalhæðar og vefskemmda. 9.-12. mynd sýna dæmi um samhengi þessara þátta við -12°C þann 5. sept. Öllum skemmdaeinkunnum var umbreytt í arcsin af kvaðratrót einkunnar („angular transformation“: $Y' = \arcsin(Y^{-1/2})$) til þess að breytileiki mælinga væri óháður mæligildum (Sokal & Rohlf 1981). Aðeins í undantekningartilvikum sást marktækt samband milli frostþols (þ.e. vefskemmda) og fyrrnefndra þátta. Hins vegar má af myndunum sjá afar skýra skiptingu tegundanna sitkagrenis, hvítgrenis og sitkabastarðs í mismunandi skemmdaflokka.



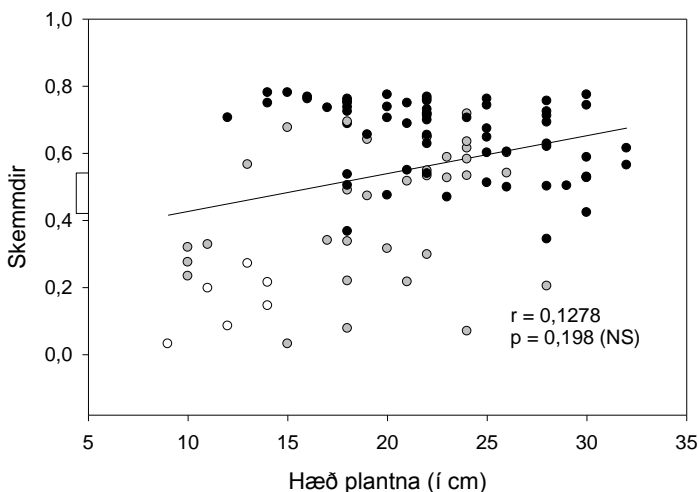
9. mynd. Skemmdir eftir frystingu 5. sept. við -12°C vs. breiddargráða á upprunastað.



10. mynd. Skemmdir eftir frystingu 5. sept. við -12°C vs. lengdargráða á upprunastað.



11. mynd. Skemmdir eftir frystingu 5. sept. við -12°C vs. hæð yfir sjávarmáli á upprunastað.



12. mynd. Skemmdir eftir frystingu 5. sept. við -12°C vs. hæð plantna.

5.10 Samband frostþols og meðferða að vori og hausti

Könnuð var fylgni á milli frostskegmda að vori og hausti milli 103 fjölskyldna (sjá töflu 13). Fram kom sterkt og marktækt línulegt samband á milli skegmda eftir mismunandi tilraunabáttum (dagsetningu og hitastigi við frystingu) að haustlagi (Spearman $r = 0,54^{***}$ til $r = 0,80^{***}$). Hins vegar var samband fremur veikt milli skegmda og tilraunameðferða að vori (Spearman $r = -0,15^{(NS)}$ til $r = 0,26^{**}$). Í ljós kom veikt, en marktækt samband á milli frostskegmda að vori og hausti (Spearman $r = -0,2513^{**}$ til $r = 0,2425^{**}$).

Tafla 13. Spearman fylgnistuðlar sem sýna samband milli meðferða að vori og hausti. Skyggðir reitir sýna hvar er marktækt samband ($p < 0,05$)

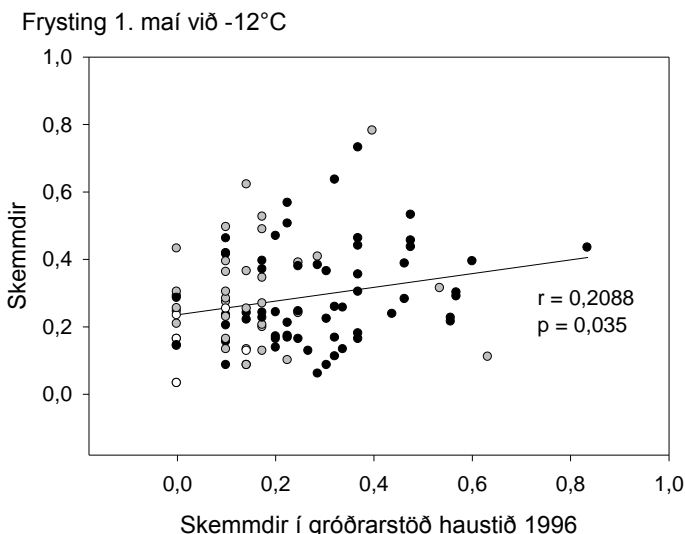
5. sept. -18 °C	r=0,7820 p=0,000						
23. sept. -12 °C	r=0,5698 p=0,000	r=0,5399 p=0,000					
23. sept. -18 °C	r=0,7981 p=0,000	r=0,7077 p=0,000	r=0,7421 p=0,000				
18. apríl -12 °C	r=0,1977 p=0,048	r=0,2425 p=0,015	r=0,1387 p=0,169	r=0,2289 p=0,023			
18. apríl -18 °C	r=-0,1921 p=0,053	r=-0,1269 p=0,204	r=-0,0966 p=0,336	r=-0,1489 p=0,139	r=0,1424 p=0,153		
1. maí -12 °C	r=0,2726 p=0,006	r=0,2169 p=0,029	r=0,2133 p=0,032	r=0,2022 p=0,044	r=0,1106 p=0,263	r=0,1217 p=0,221	
1. maí -18 °C	r=-0,1652 p=0,097	r=-0,2513 p=0,011	r=-0,1361 p=0,175	r=-0,1470 p=0,144	r=0,1741 p=0,080	r=0,2629 p=0,007	r=0,1627 p=0,101
	5. sept. -12 °C	5. sept. -18 °C	23. sept. -12 °C	23. sept. -18 °C	18. apríl -12 °C	18. apríl -18 °C	1. maí -12 °C

Í sumum tilvikum var jákvætt samband á milli frostskemda að vori og hausti sem túlka má á þann hátt að við val á fjölskyldu sem er frostþolin að vorlagi eru líkur á að hún sé einnig frostþolin að haustlagi.

5.11 Samband milli skemmda í gróðrarstöð haustið 1994 og skemmda í frystitilraunum 1996

Strax haustið 1994 þegar plönturnar höfðu vaxið í eitt sumar urðu talsverðar skemmdir á þeim af völdum haustfrosts sem varð í gróðrarstöð Rannsóknastöðvar Skógræktar ríkisins. Þessar skemmdir voru metnar sem hlutfallsleg afföll og toppkal hjá hverri fjölskyldu. Öllum skemmdaeinkunnum var umbreytt í arcsin af kvaðratrót einkunnar. Kannað var samband milli affalla 1994 og frostskemda, vor og haust, þessara sömu fjölskyldna. Aðeins reyndist vera veikt, neikvætt samband milli affalla og frostskemda við -18°C þann 23. september ($r = -0,21^{**}$). Kannað var línulegt og

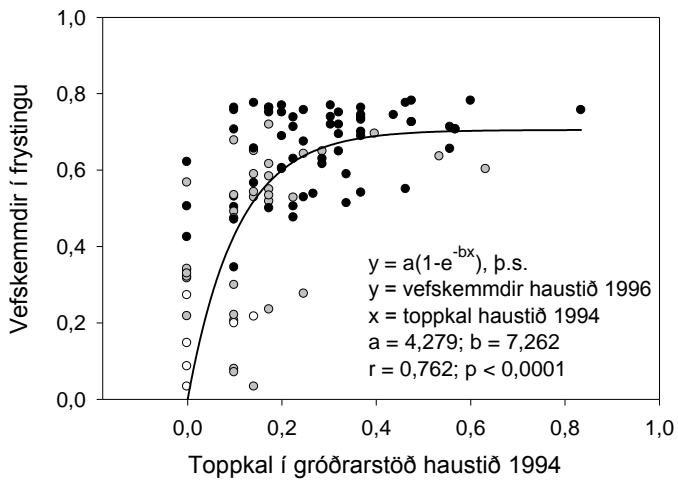
ólínulegt samband toppkals hjá fjölskyldum haustið 1994 og skemmda við mismunandi tilraunameðferðir að vori og hausti í þessari tilraun. Dæmi um samband milli skemmda frá 1994 og vorfrostskemmda er á 13. mynd en aðeins fékkst marktækt samband við vorfyrstingu þann 1. maí við -12°C ($r = 0,21^{**}$).



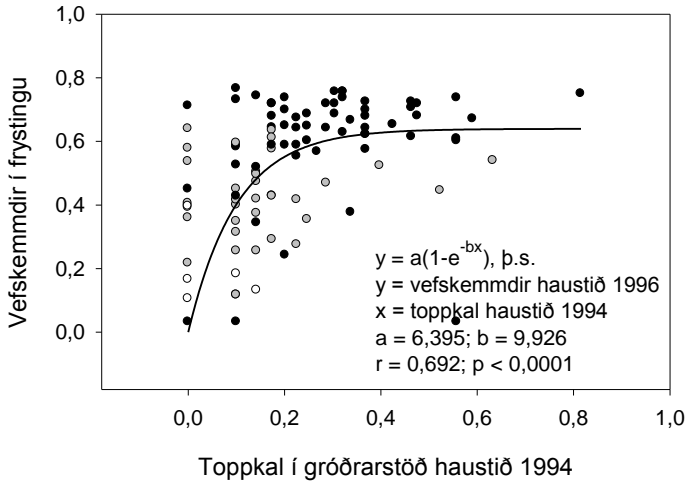
13. mynd. Samhengi milli frostsKemmda hjá fjölskyldum í gróðrarstöð haustið 1994 og frostsKemmda hjá sömu fjölskyldum (erfðahópum) í frostþolsprófun vorið 1996. Svartir hringir tákna sitkagreni, gráir hringir sitkabastarð og hvítir hringir hvítgreni. X-ás er hlutfall toppakalinna trjáa haustið 1994, umreiknað í arc sin $(x)^{1/2}$ gildi. Y-ás er vefskemmdir, vorið 1996 umreiknað í arc sin $(y)^{1/2}$ gildi.

Á hinn bóginn reyndist vera sterkt samhengi milli toppkals frá haustinu 1994 og skemmda í öllum tilraunameðferðum að hausti. Fylgnin var á bilinu 0,649 til 0,762^{***}. Sterkasta sambandið greindist þegar athuguð voru áhrif vægs frosts snemma hausts (þ.e. -12°C þann 5. september). 14. mynd sýnir þetta samhengi þegar fryst var 5. sept við -12°C og 23. sept. við -18°C .

a) Frysting 5. sept. við -12°C



b) Frysting 23. sept. við -18°C



14. mynd. Samhengi milli frostskemda hjá fjölskyldum í gróðrarstöð haustið 1994 og frostskemda hjá sömu fjölskyldum (erfðahópum) í frostþolsprófun vorið 1996. Svartir hringir tákna sitkagreni, gráir hringir sitkabastarð og hvítir hringir hvítgreni. X-ás er hlutfall toppakalinnna trjáa haustið 1994, umreiknað í $\arcsin(x)^{1/2}$ gildi. Y-ás er vefskemmdir, vorið 1996 umreiknað í $\arcsin(y)^{1/2}$ gildi.

6 UMRÆÐUR

6.1 Aðferðir

Gagnsemi þessarar tilraunar felst ekki síst í því að efniviðurinn var mjög fjölbreyttur og gefur möguleika á samanburði mjög margra kvæma frá stóru svæði í Norður- Ameríku. Allur tiltækur efniviður var hafður með í tilrauninni. Fjölbreytni efniviðarins krafðist þess að öll tilhögun við tilraunina væri vönduð og miðaði að því að góð aðgreining arfgerða fengist fyrir allan efniviðinn.

Til stóð að nota einungis toppsprota til frystingar en vegna hins mikla breytileika í herðingu að hausti höfðu sum kvæmi og fjölskyldur orðið fyrir skemmdum á toppi haustið 1994 þannig að nauðsynlegt í reyndist í nokkrum tilvikum að nota hliðarsprota í staðinn. Ekki er hægt að útiloka að frostþol hliðarsprota og toppsprota sé mismunandi. Hins vegar var ekkert í þessari tilraun sem benti til þess að svo væri.

Til að fá fram sem besta aðgreiningu kvæma og fjölskyldna var fryst tvisvar að vori og tvisvar að hausti. Tímasetning vorfrystingar tók mið af sýnilegri lífnun plantnanna og þeim hlýindum sem höfðu verið um vorið. Vegna hlýinda í apríl var fyrsta frysting mun fyrr en gera hefði mátt ráð fyrir í meðalári enda ræður hitafarið mestu um lífnun trjáplantna að vori. Tímasetning haustfrystingar var hins vegar fyrirfram ákveðin og byggðist fyrst og fremst á reynslu sem fékkst í forkönnun haustið 1995 (Brynjar Skúlason o.fl. 2001). Á haustin er það ljósloftan sem ræður mestu um hvenær herðing hefst hjá sitkagreni og frostþol því minna háð hitafari að hausti en að vori (Cannell & Sheppard 1982) Fryst var bæði við -12 og -18 °C til þess að auka líkurnar á góðri aðgreiningu arfgerða á annars mjög fjölbreyttum efnivið. Til að umfang tilraunarinnar yrði ekki of mikið var ákveðið að láta 8 endurtekningar nægja. Af sömu ástæðu var látið nægja að nota einungis einn sprota til viðmiðunar frá hverri fjölskyldu þegar fryst var. Fleiri

endurtekningar og viðmiðunarplöntur hefðu vafalaust gefið öruggari niðurstöður en á móti hefði þurft að fækka í öðrum tilraunaliðum sem þá hefði dregið úr upplýsingagildi tilraunarinnar.

Til að líkja eftir náttúrulegum aðstæðum var hitinn lækkaður um 2°C / klst. þar til -12 og -18 °C var náð. Þiðnun fór fram við lágt hitastig (-2 og +5 °C) svo að ekki yrðu skemmdir í sprotunum vegna of hraðrar þiðunar.

Áður en sprotunum var stungið í fjölpottabakka eftir frystingu var skorið neðan af þeim um það bil 1 cm til að tryggja góða vatnsleiðni upp í sprotann. Með því að hafa tjald yfir sprotunum og vatnsúðun var tryggt að sprotarnir yrðu ekki fyrir þurrkskemmdum. Til að halda góðu hitastigi í beðinu var hafður undirhiti. Í hlýu og röku umhverfi dökknar dauði hluti vefjar í sprotanum og skilin milli lifandi og dauðs vefs verða skörp og greinileg. Eftir nokkurn tíma er auðvelt að sjá og meta umfang skemmdanna á sprotanum. Helsti veikleiki aðstöðunnar var að ekki var hægt að halda hitastiginu stöðugu í þokuúðuninni. Talsverður hitamunur hefur því verið milli dags og nætur auk þess sem hitastigið var mjög mismunandi á milli tímabila. Þess vegna voru sprotarnir mislengi í þokuúðun eftir hverja frystingu, og fór það eftir hitastigi á tímabilinu.

Við matið á sprotunum var byggt á reynslu sem fékkst í forkönnun 1995 (Brynjar Skúlason o.fl. 2001). Til að ekki yrði ólíkt mat á mislögum sprotum var ákveðið að meta aðeins 5 efstu cm. Skemmdir voru metnar annars vegar á brumum og hins vegar á sprotum til að auka upplýsingagildi niðurstaðnanna. Auðvelt var að meta mest skemmdu og minnst skemmdu sprotana en öllu erfiðara þegar skemmdirnar voru þar á milli. Sami einstaklingur framkvæmdi matið í allri tilrauninni til að það yrði sem líkast frá einum tíma til annars.

Ýmis konar mat og mælingar voru gerðar á plöntunum fyrir klippingu og frystingu sprota. Þetta var gert til að kanna hugsanlegt samræmi á milli frostþols sprota og sýnilegs ástand plantnanna hverju sinni. Mat á eldri frostskemmdum

var einfalt þar sem metin voru afföll og toppkal. Hæð fjölskyldnanna í bökkunum var mæld því samræmi getur verið á milli lengd vaxtartíma og hæðar. Reynt var að flokka brumþrútnun í fjóra flokka. Slík flokkun er ekki auðveld því brumin geta verið misstór milli fjölskyldna og kvæma. Það er hins vegar mun auðveldara að sjá hvort plönturnar hafi myndað haustsprota eða ekki.

6.2 Vorfrostþol kvæma og tegunda

Mikill og marktækur munur kom fram meðal kvæma í skemmdum við mismunandi dagsetningar (18. apríl og 1. maí) og hitastig (-12 og -18°C, sjá 1. og 2. mynd). Skemmdir komu einkum fram í kvæmum sitkabastarðs og hvítgrenis en voru mismiklar hjá kvæmum sitkagrenis. Þetta samræmist vel þeim upplýsingum sem Haukur Ragnarsson (1964) tók saman um afleiðingar vorhretsins 1963. Jafnframt fundu Junttila og Skaret (1990) að hvítgreni var fljótara en sitkagreni og sitkabastarður að lifna og missa frostþol á vorin og töldu það ekki henta til ræktunar á norð-vesturströnd Noregs. Dietrichson (1993) skoðaði frostþol á vaxtartíma hjá nokkrum kvæmum sitkagrenis, sitkabastarðs og hvítgrenis og fann umtalsverðan mun á kvæmum, jafnvel þótt landfræðilegar vegalengdir væru litlar. Hann taldi vaxandi hlutdeild hvítgrenis í erfðaefninu vera skýringu á skyndilegri aukningu í frostþoli í viðkomandi rannsókn.

Í nokkrum tilvikum virtust „Íslensk“ kvæmi (svo sem Taraldsøy, Tumastaðir, Stálpastaðir og Ártúnsbrekka) skemmast minna en flest hinna sitkagrenikvæmanna. Það er athyglisvert að öll móðurtré þau sem íslenskt fræ var safnað af lifðu af skemmdir í hretinu 9. apríl 1963. Flest trén sem valin voru í frægarð Íslendinga í Taraldsøy í Noregi voru valin sérstaklega með tilliti til þess hvernig þau fóru út úr hretinu, og fræsöfnunarreiturnar á Tumastöðum á sér svipaða forsögu. Þetta gæti bent til að úrval hafi þegar orðið í fyrstu kynslóð íslenskra sitkagrenitryja, og að eftir töluverðu sé að slægjast í frekari úrvali og kynbótum gagnvart frostþoli að vori.

Frostþol svartgrenis (Soldotna) er athyglisvert og tegundin er reyndar vel þekkt fyrir mikið frostþol á vaxtartímanum. Í austurhluta Kanada er tegundin tekin fram yfir hvítgreni í skógrækt á stöðum sem hætt er við frosti yfir vaxtartímann, t.d. næturfrostum (O'Reilly & Parker 1982).

Frysting við -18°C gaf mun betri aðgreiningu en frysting við -12°C bæði skiptin sem fryst var að vori. Þegar skoðaðar eru skemmdir kvæmanna úr öllum frystingum að vori samkvæmt aðgreiningu Student Newman Keuls (viðauki 10.6) sést að erfitt er að fullyrða um mun á kvæmum ef undan eru skilin allra bestu og lökustu kvæmin þar sem munur á meðalskemmdum kvæmanna um miðhluta töflunnar er afar lítil.

6.3 Vorfrostþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma

Hjá þeim kvæmum þar sem fjölskyldur voru til staðar (hópur afkvæma stakra móðurtrjáa) innan kvæma voru áhrif fjölskyldna innan kvæma mjög marktæk. Þetta rennir frekari stöðum undir þá skoðun, að erfðafræðilegur breytileiki sé umtalsverður innan kvæma (Aldhous 1962; Birot & Le Couvier 1980; Cannell & Smith 1983; Kranenborg & Krick 1980; Lines & Mitchell 1966; Lines 1987) og því sé úrval gagnvart vorfrosti fýsilegur kostur við kynbætur sitkagrenis við íslenskar aðstæður. Svo virðist sem hart frost snemma vors (s.s. -18°C þ. 18. apríl) eða vægara frost síðar um vorið (s.s. -12°C þ. 1. maí) séu hentugustu aðstæður til þess að „greina hafrana frá sauðunum“.

Tvö þeirra fjögurra kvæma (Chiniak og Duck Mountain) sem ekki sýndu mun milli fjölskyldna innan kvæma (viðauki 10.4 og 10.5) eru frá einangruðum úthafseyjum við vesturjaðar útbreiðslusvæðis sitkagrenis. Rannsóknir á stofngerð kvæma á þessum eyjum með samsætuensimum hafa bent til að þar sé til staðar afar þröngur erfðagrunnur vegna innræktunar (John Alden, munnleg heimild), og má túlka þann óverulega breytileika sem kemur fram í þessari rannsókn á sama veg.

6.4 Úrval á einstökum fjölskyldum eftir frostþoli að vori

Þótt sitkagrenikvæmin virðist að öllu jöfnu frostþolnari en kvæmi hinna tegundanna að vorlagi, er mjög mikinn breytileika einkum að finna meðal sitkabastarðskvæma. Það veldur því að sitkabastarðskvæmi eru mörg meðal þeirra 20 fjölskyldna sem eru frostþolnust að vorlagi. Má þar nefna 5 fjölskyldur af kvæminu Chinitna Bay og sína hvora fjölskylduna af kvæmunum Inskin Bay og Cooper Lake. Mikill breytileiki þarf ekki að koma á óvart hjá þessari tegund þar sem umhverfisaðstæður á kjörsvæði sitkagrenis og hvítgrenis eru mjög ólíkar hvað varðar t.d. hitafar, en tegundirnar eiga hins vegar auðvelt með að víxlast í öllum mögulegum hlutföllum (Sigurgeirsson e.a. 1990) auk þess sem skörunarsvæði tegundanna nær yfir mjög margar breiddargráður eða frá 39°N í suðri til 61°N í norðri. Dietrichson (1993) fann marktækan mun á fjölskyldum margra kvæma er hann prófaði frostþol í júlí, ekki síst meðal sitkabastarðskvæmanna. Af þessu má vera ljóst að miklir möguleikar eru á úrvali fyrir vorfrostþoli með vali á einstökum fjölskyldum innan kvæma, sérstaklega meðal sitkabastarðskvæmanna. Hins vegar er erfitt að fullyrða hvernig afkomendum einstaklingar sitkabastarðs muni skila í næstu kynslóð hvort sem um væri að ræða sjálfsáningu í skógi þar sem náttúran velur sjálf eða í frægarði (Dietrichson 1993). Val á frostþolnum fjölskyldum hjá tiltölulega hreinum sitkagrenikvæmum (lítið um erfðasamruna við hvítgreni) mundi samkvæmt þessu trúlega skila jafnari afkomendum. Í þessari prófun voru 4 kvæmi þar sem ekki var marktækur munur á fjölskyldum og þá jafnframt lítill erfðabreytileiki með tilliti til frostþols að vori en slík kvæmi ætti að sjálfsögðu ekki að nota þegar leitað er að úrvalsfjölskyldum til trjákyrbóta.

6.5 Samband vorfrostskemmda og ytri útlitsþátta

Ekki var látið reyna tölfræðilega á samhengi milli brumprútnunar (laufgunarstigs) og frostskemmda að vori en það samt skoðað myndrænt (sjá 3. og 4. mynd bornar saman við 1. og 2. mynd). Lítið samband virðist vera á milli þess, á hvaða stigi tré eru stödd í laufgun (brumprútnun) að vorlagi og

Þessi niðurstaða er staðfesting á niðurstöðum frá Skotlandi. Cahalan (1981) fann afar lítið sambandi á milli laufgunarstigs sitkagrenitrjáa og skemmda sem komu fram eftir síðbúið vorfrost. Í sömu rannsókn reyndust skemmdir af völdum frostsins hafa hátt arfgengi (81%) en laufgunarstig óverulegt (4%). Cannell & Sheppard (1982) skoðuðu frostþol fjögurra kvæma sitkagrenis (Cordova og Sitka, Alaska og Queen Charlotte Island, Oregon og Danmörk, upphaf í Oregon). Alaskakvæmin misstu frostþol hægar en Oregonkvæmin um vorið en laufgun virtist vera svipuð. Það má ráða af þessum niðurstöðum að varlegt er að nota stig laufgunar að vorlagi sem mælikvarða á hvernig tiltekið tré þolir frost. Hins vegar má vafalítið bæta þetta sambandi umtalsvert með þróun aðferða við mat á þróun bruma og öðru slíku. Einnig má benda á að hvítgreni og sitkabastarður virðast hafa töluvert meira frostþol en sitkagreni miðað við sama laufgunarstig. Hugsanlega yrði sambandið betra ef í prófun væru hreinar tegundir.

6.6 Haustfrostþol kvæma og tegunda

Við ferveikagreiningu komu fram mikil og marktæk áhrif af kvæmum, dagsetningu frystingar og hitastigi við frystingu að haustlagi. Mest áhrif komu þó fram af áhrifum kvæmis, og virtust áhrifin mun skýrari fyrir haustfrostskemdir en fyrir vorfrostskemdir, enda fékkst afar góð aðgreining í frystingunni 5. sept. við -12°C og aftur 23. september við -18°C . Í áðurnefndri athugun hjá Cannell & Sheppard (1982) á fjórum kvæmum sitkagrenis kom fram að mestur munur á frostþoli kvæmanna var um haustið. Alaskakvæmin byggðu upp frostþol í september og virtust vera að bregðast við styttri ljóslotu en Oregonkvæmin þurftu frost til að hefja myndun frostþols.

Íslenska kvæmið Stálpastaðir er lakasta kvæmið og Ártúnsbrekka í hópi þeirra lökustu (viðauki 10.7). Taraldsöy kemur talsvert betur út, sérstaklega í samanburði við sitkagrenikvæmin eingöngu. Kvæmið Portage to Girdwood skemmist lítið og er í sérflokki í hópi sitkagrenikvæmanna. Í

frostþolsprófun sem Dietrichson (1993) gerði að sumri til reyndist þetta kvæmi lakast í samanburði við 4 önnur á svæðinu Kenai Peninsula. Þar taldi hann að innblöndun hvítgrenis hefði mest að segja. Kvæmin Homer og Yakutat komu einnig vel út í haustfrystingunni. Það er athyglisvert að Yakutat reyndist þolnast á eftir Soldotna (svartgreni) hvað varðar frostþol að vori (viðauki 10.6) en Homer var í slöku meðallagi. Þá má einnig benda á að Taraldsøy og Portage to Girdwood komu nokkuð vel út um vorið. Af þessu má ráða að talsverðir möguleikar eru á vali kvæma með tilliti til haustfrostþols og jafnvel með tilliti til frostþols bæði vor og haust.

Tegundamunur var mun greinilegri hvað snertir haustfrostskemmdir en áður hafði komið fram fyrir vorfrostskemmdir. Sitkagreni virðist almennt mun viðkvæmara fyrir haustfrostum en hvítgreni. Þessir yfirburðir hvítgrenis og sitkabastarðs virðast sérstaklega miklir í frystingunni 5. sept. Sitkabastarður er mjög breytilegur innbyrðis (meðal fjölskyldna innan kvæma) og meðal kvæma. Þau sitkabastarðskvæmi sem best þöldu -18°C frost þ. 5. september (Ninilchik og Kenai Lake) eru einnig þau sem eru útlitslega séð og skv. DNA-greiningu mun nær því að vera hvítgreni en sitkagreni. Junntila og Skaret (1990) komust að sömu niðurstöðu í skoðun sinni á fjölmörgum kvæmum frá Alaska. Þar fóru hvítgrenikvæmin í dvala fyrr en sitkagrenikvæmin þrátt fyrir að öll kvæmin væru sótt til svipaðara breiddargráða í Alaska. Þetta er jafnframt rökrétt útfrá útbreiðslu og náttúrulegu umhverfi þessara tegunda.

Svartgreni (Soldotna) tók öllu öðru fram hvað snerti frostþol við -18°C þ. 5. sept. Þetta er í samræmi við það frostþol sem fyrr var nefnt.

6.7 *Haustfrostþol kvæma og fjölskyldna innan kvæma*

Fervikagreining sýndi marktæk áhrif „fjölskyldu innan kvæmis“ á haustfrostskemmdir, auk þess sem allir aðrir tilraunapættir voru marktækir við $p = 0,005$. Einu kvæmin sem ekki sýndu mun milli fjölskyldna voru Chiniak og Duck Mountain en þau

eru jafnframt 2 af 4 kvæmum sem sýndu ekki marktækan mun á fjölskyldum um vorið. Þessi kvæmi komu nokkuð áþekkt út hvað varðar meðalfrostþol bæði vor og haust. Þetta staðfestir að sú prófun sem hér um ræðir endurspeglar erfðabreytileika efniviðarins og ekki síst breytileika meðal kvæma.

Frostþolnustu fjölskyldurnar var einkum að finna meðal kvæma hvítgrenis og sitkabastarðs, og aðeins í undantekningartilvikum meðal kvæma sitkagrenis. Þannig voru allar fjölskyldur Kenai City meðal þeirra 20 bestu í tveimur eða fleiri meðferðum, 9 af 10 fjölskyldum Ninilchik og 2 fjölskyldur af 4 hjá Kenai Lake. Einungis 3 sitkagrenifjölskyldur (af kvæmunum Cordova, Homer og Portage to Girdwood) voru meðal þeirra 20 bestu. Hægt var þó að finna fjölskyldur sitkagrenis með hátt frostþol við flest skilyrði. Þegar skoðaðar voru 20 bestu fjölskyldur sitkagrenis eingöngu í tveimur eða fleiri meðferðum að hausti kom í ljós að þau voru eingöngu meðal 4 kvæma af 11 mögulegum. Þessi kvæmi voru Cordova, Homer, Portage to Girdwood og Valdez. Það er því ljóst að gifurlegir möguleikar eru á vali á bæði kvæmum og fjölskyldum m.t.t. frostþols að hausti. Benda má á að fjölskyldurnar Cordova-2 og Kenai City-8 eru meðal 20 bestu fjölskyldna í tveimur eða fleiri meðferðum bæði um vorið og haustið. Fjölskyldan Portage to Girdwood-1 fylgir þeim fast á eftir. Þetta bendir til velja megi fjölskyldur sem eru verulega frostþolnar bæði vor og haust.

6.8 Samband frostþols við hnattstöðu, hæð yfir sjávarmáli og stærð plantna

Það að hvergi skyldi finnast marktæk fylgni milli breiddargráðu, lengdargráðu, hæðar yfir sjávarmáli og hæðar plantna fyrir vorfrostskemmdir endurspeglar það að stóran hluta erfðabreytileika sé að finna annars vegar meðal tegunda og hins vegar innan kvæma. Ekkert samband milli breiddargráðu á upprunastað kvæmis og vorfrostskemmda kvæmis bendir til að ekki sé von á að bæta megi verulega vorfrostþol með „réttu“ kvæma vali. Það er m.ö.o. ekki hægt að sýna fram á að suðlægari kvæmi sitkagrenis losni síðar úr dvala en norðlæg kvæmi sitkagrenis. Þess ber þó að minnast að Haukur

Ragnarsson (1964) og Hákon Bjarnason (1965) töldu að kvæmi sitkagrenis sem ættuð voru sunnarlega í Alaska hefðu orðið fyrir óverulegum skemmdum í áhlaupinu 1963 á meðan kvæmin frá Kenaiskaga og Prince William Flóa hefðu orðið fyrir verulegum skemmdum. Hugsanlega hefði mátt finna breiddargráðumun ef efniviðnum hefði verið skipt upp í slíka hópa og skoðað fyrir sitkagreni eingöngu. Ekki var að sjá að fjölskyldur eða kvæmi sem gefa af sér stórar plöntur sé hættara við frostskemmdum að vorlagi.

Sama er að segja um samband fyrrgreindra þátta og haustfrostþols. Þetta kemur á óvart þar sem þess er víða getið í öðrum rannsóknarniðurstöðum að því norðlægara sem kvæmið er, því fyrr hefst dvalinn (Aldenhous 1962; Cannell & Sheppard 1982; Cannell et al. 1985; Delaporte 1983; Kleinschmit & Sauer 1976; Kraus & Lines 1976). Á myndunum má þó greinilega sjá að tegundirnar sitkagreni, sitkabastarður og hvitgreni raðast í mismunandi hópa eftir frostskeppdaekinn.

6.9 Samband frostþols við mismunandi meðferðir að vori og hausti

Ekki verður ráðið af gögnum okkar, að fjölskyldur, sem eru frostþolnar að vorlagi séu líklegri til þess að vera viðkvæmar gagnvart frosti að haustlagi þrátt fyrir að þessi tilhneiging komi skýrt fram hjá kvæmunum. Þvert á móti virðist frostþol við -12°C að vori standa í jákvæðu sambandi við frostþol við aðrar dagsetningar að hausti og hitastig við frystingu en í fæstum tilvikum var um marktækt samhengi að ræða. Anekonda o.fl (2000) báru saman frostþol alsystkina doglasgrenis vor og haust og ályktuðu útfrá því að frostþol haust og vor væru tiltölulega óháðir eiginleikar og stýrðust af ólíkum genum. Í sömu tilraun reyndist gott samræmi á milli frostþols ólíkra vefja plöntunnar (stöngull, brum, nálar) á hverjum tíma og því líkur á að frostþolið stjórnaðist af sömu genum. Ýmsar heimildir staðfesta að eiginleikar kvæma endurspeglast ekki jafn sterkt í fjölskyldum þeirra (Johnsen & Apeland 1988; Nilsson & Andersson 1987; Nilson o.fl 1991; Skrøppa 1991). Þetta þýðir

að einstaklingsmunur er oft mikill innan kvæma t.d. hvað varðar frostþol vor og haust. Ef þessir eiginleikar eru tiltölulega óháðir skapast möguleiki á að velja kynbótaeinstaklinga sem hafa frostþol bæði vor og haust en niðurstöður þessarar rannsóknar benda einmitt til þess.

Af Spearman fylgistuðlum í töflu 13 má sjá að sterkt marktækt línulegt samband er milli skemmda eftir einstökum tilraunapáttum að hausti á meðan þetta samband er veikt og ekki alltaf marktækt að vori. Þetta gæti skýrst af því að áhrif umhverfis við losun dvala og tap frostþols að vori sé flóknara en herðing og uppbygging frostþols af hausti. Anekonda o.fl. (2000) fundu hins vegar að frostþol að vori hafði umtalsvert hærra arfgengi en frostþol að hausti hjá öllum gerðum vefja (stöngull, brum, nálar) hjá doglasgreni. Það kemur því nokkuð á óvart að samband milli meðferða á vori skuli ekki vera sterkara en raun ber vitni. Hugsanlega hefðu fleiri frýstingar, aðrar tímasetningar og fjölbreyttara frostálag gefið meiri aðgreiningu í efniviðnum og sterkara samband milli meðferða að vori.

6.10 Samband á milli skemmda í gróðrarstöð haustið 1994 og í frystitilraunum 1996

Gott samband sem reyndist milli óháðra mælikvarða á frostþol einstakra fjölskyldna (toppkal 1994 og frostskemmdir 1996) benda til þess að sú aðferð sem reynd hefur verið í þessari rannsókn sé afar vænleg til skammvals (early selection) á frostþolnum fjölskyldum og einstaklingum sitkagrenis og hinna grenitegundanna. Besta fylgnin milli þessara óháðu breyta kom fram við frýstingu við -12°C þ. 5. september. Samkvæmt því er þetta sú meðferð sem beita skal við skammval á ungum greniplöntum.

Hins vegar þarf að endurtaka frostþolsprófun á sömu fjölskyldum eftir nokkur ár til þess að fá staðfestingu á því að samhengi það sem virðist vera fyrir hendi „eldist“ ekki af trjánum. Þetta samhengi hefur t.d. verið skoðað í rauðgreni og staðfest að frostþolnar smáplöntur verða síður fyrir kali síðar á æviskeiðinu (Ununger o.fl. 1988).

7 ÁLYKTANIR

Kvæmi hvítgrenis og sitkabastarðs voru viðkvæmari en sitkagreni fyrir vorfrosti en voru hins vegar mun frostþolnari að hausti. Marktækur munur var milli einstakra kvæma. Munurinn var greinilegri um haustið en vorið og hlutdeild hvítgrenis virtist skipta mestu máli um frostþol viðkomandi kvæmis. Marktækur munur var á frostþoli fjölskyldna innan flestra þeirra kvæma sem höfðu aðgreindar fjölskyldur. Mestur virtist breytileikinn vera innan sitkabastarðskvæmanna. Á grundvelli þessa má álykta að við val á frostþolnum efnivið til kynbóta beri að leggja áherslu á tegundaval og val á einstökum frostþolnum fjölskyldum meðal kvæma sem ekki hafa of þröngt erfðamengi eins og t.d. á einangruðum úthafseyjum. Svo virðis sem velja megi einstakar fjölskyldur sem bæði eru frostþolnar vor og haust. Gott samræmi er á milli frostþolsprófunar að hausti og toppkals sem oft verður í gróðrastöð í fyrstu haustfrostum. Með úrvali á grundvelli frostþolsprófunar mætti því draga verulega úr hættu og umfangi kals í uppeldi og fyrstu árin eftir gróðursetningu.

8 ÞAKKARORÐ

Rannsóknin var unnin að hluta með styrk úr Tæknisjóði Rannsóknaráðs Íslands. Hólmgeir Björnsson veitti ómetanlega hjálp við tölfraðilega úrvinnslu gagna. Ólafur Eggertsson, Haukur Ragnarsson og Hreinn Óskarsson lásu yfir handrit og færðu margt til betri vegar. Höfundar kunna þessum aðilum bestu þakkir fyrir.

9 HEIMILDIR

- Aldhous, J.R. 1962. Provenances of Sitka spruce; an account of the nursery stage of experiments sown in 1958. Í: Report on Forest Research for the Year Ended March 1961, Great Britain Forestry Commission, bls. 147-154.
- Anekonda, T.S., Adams, W.T., Aitken, S.N., Neale, D.B., Jermstad, K.D. & Wheeler N.C. 2000. Genetics of cold hardiness in a cloned full-sib family of coastal Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 30: 837-840.
- Balduman, L.M., Aitken, S.N., Harmon, M. & Adams W.T. 1999. Tenetic variation in cold hardiness of Douglasfir in relation to parent tree environment. *Can. J. For. Res.* 29: 62-72
- Biro, Y. & Le Couvier, J. 1980. IUFRO Sitka spruce international 10 provenance experiment nursery stage results (4 years). Í: Proc. IUFRO Joint Meeting of Working Parties. S2-02-12 Sitka Spruce Provenances. Vol II. Vancouver, Canada. 1978. Ministry of Forests, Victoria, B.C., Canada, bls. 258-271.
- Brynjar Skúlason. 1994. Hvílebryting, frostherdighet og vðrfrostskader hos lerk. Hovedopgave ved Norges Landbrukshøgskole, Institutt for Skogfag. 57 bls. + viðaukar.
- Brynjar Skúlason 1996. Frostþol og vaxtartaktur. *Skógræktarritið* 1996: 137-142.
- Brynjar Skúlason, Bjarni E. Guðleifsson & Aðalsteinn Sigurgeirsson 2001. Þróun aðferða við frostþolsprófanir á birki og sitkagreni, forkönnun. Rit Mógilsár Rannsóknastöðvar Skógræktar nr. 3/2001. 20 bls.
- Cambell, R.K. & Sugano, A.I. 1975. Phenology of budburst in Douglas fir related to provenance, photoperiod, chilling and flushing temperature. *Bot. Gaz.* 136: 290-298.
- Cannell, M.G.R. & L.J. Sheppard. 1982. Seasonal changes in the frost hardiness of provenances of *Picea sitchensis* in Scotland. *Forestry* 55: 137-153.

- Cannell, M.G.R. & Smith, R.I. 1983. Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Appl. Ecol.*, 20: 177-191.
- Dietrichson, J. 1964. Proveniensproblemet belyst ved studier av vekstrytme og klima. *Meddr. norsk. SkogforsVes.* 19: 507-656.
- Dietrichson, J. 1993. Genetic variation in early frost tolerance of spruce from northwestern North America. Í: *Forest Development in Cold Climates.* Ritstjóri J. Alden *et.al.* Plenum press, New York, bls. 383-391.
- Eiga, S. & Sakai, A. 1984. Altitudinal variation in freezing resistance og Saghalian fir (*Abies sachalinensis*). *Can. J. Bot.* 62: 156-160.
- Haukur Ragnarsson 1964. Trjáskemmdir vorið 1963. *Ársrit Skógræktarfélagis Íslands* 1964: 25-27.
- Hákon Bjarnason 1965. Um gróðurskilyrði og skógrækt. *Ársrit Skógræktarfélagis Íslands* 1965: 5-12.
- Hänninnen, H. 1990. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta For. Fenn.* 213: 43 bls.
- Johnsen, Ø. & Apeland, I. 1988. Screening early autumn frost hardiness among progenies from Norway spruce seed orchards. *Silva Fennica* 22: 203-212.
- Junttila, O. & Skaret, G. 1990. Growth and survival of seedlings of various *Picea* species under northern climatic conditions: Results from phytotron and field experiments. *Scand. J. For. Res.* 5: 69-81.
- Jonsson, A., Eriksson, G., Dormling, I. & Ifver, J. 1981. Studies on frost hardiness of *Pinus contorta* Dougl. Seedlings grown in climate chambers. *Studia For. Suec.* 157: 1-47.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J. & Pallardy, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, New York, 657 bls.
- Kranenborg, K.G. & Kriek, W. 1980. Sitka spruce provenances in the Netherlands; early results. Í: *Proc. IUFRO Joint Meeting of Working Parties. S2-02-12 Sitka Spruce Provenances.* Vol. II, Vancouver, Canada 1978. Ministry of Forests, Victoria, B.C., Canada, bls. 193-209.

- Lines, R. 1987. Seed origin variation in Sitka spruce. Proc. Royal Soc. Edinburgh 93B: 25-39.
- Lines, R. & Mitchell, A.F. 1966. Differences in phenology of Sitka spruce provenances. I: Report on Forest Research for the Year Ended March 1965. Great Britain Forestry Commission, bls. 173-184.
- Nilsson, J.-E. & Eriksson, G. 1986. Freeze testing and field mortality of *Pinus sylvestris* (L.) seedlings in northern Sweden. Scand. J. For. Res. 1: 205-218.
- Nilsson, J.-E. & Andersson, B. 1987. Performance in freezing tests and field experiments of full-sib families of *Pinus sylvestris* (L.). Can. J. For. Res. 17: 1340-1347.
- Nilsson, J.-E., Andersson, B. & Walfridsson, E. A. 1991. Progeny freeze testing, progeny field testing and parental phenology of *Pinus sylvestris* (L.) clones in northern Sweden. Scand. J. For. Res. 6: 177-195.
- Norell, L., Eriksson, G. Ekberg, I. & Dormling, I. 1986. Inheritance of autumn frost hardiness in *Pinus sylvestris* (L.) seedlings. Theor. Appl. Genet. 72: 440-448.
- O'Reilly, C. & Parker, W.H. 1982. Vegetative phenology in a clonal seed orchard of *Picea glauca* and *Picea mariana* in north western Ontario. Can. J. For. Res. 12: 408-413.
- Rehfeldt, G.E. 1977. Growth and cold hardiness of intervarietal hybrids of Douglas-fir. Theor. Appl. Genet. 50: 3-15.
- Rehfeldt, G.E. 1983. Ecological adaptations in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) populations. Can. J. For. Res. 13: 626-632.
- Repo, T., Hänninen, H. & Pelkonen, P. 1991. Frost hardiness of forest trees: A project summary. University of Joensuu Publications in Sciences. 19: 1-73.
- Sigurgeirsson, A., Szmidi, A.E. & Karpinska, B. 1990. Alaskan *Picea sitchensis* populations infiltrated with *Picea glauca* genes: a study using DNA markers. I: Biochemical markers in the population genetics of forest trees. S. Fineschi; M.E. Malvolti; F. Cannata and H.H. Hattemer, Eds. SPB Academic Publishing bv, The Hague, Netherlands, bls. 197-207.

- Skrøppa, T. & Dietrichson, J. 1986. Winter damage in the IUFRO 1964/68 provenance experiment with Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) Medd. Nor. Inst. Skogforsk. 39: 161-183.
- Skrøppa, T. 1991. Within-population variation in autumn frost hardiness and its relationship to bud-set and height growth in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 6: 353-369.
- Ununger, J., Ekberg, I. & Kang, H. 1988. Genetic control and age-related changes of juvenile growth characters in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 3: 55-66.

10 VIÐAUKI

10.1 20 frostþolnustu fjölskyldurnar að vori við hverja meðferð. Innan sviga er röðun fjölskyldna miðað við meðalskemmdir úr öllum meðferðunum 4 að vori, þær sem eru meðal 20 bestu í heildina eru feitletraðar.

18. apríl -12°C			18. apríl -18°C			1. maí -12°C			1. maí -18°C		
Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd
1	(43) Duck Mtn-9	0,0	1	(11) Portage to Girdwood-3	13,4	1	(2) Portage to Girdwood-1	0,0	1	(87) Nash Road-10	11,5
2	(4) Chinitna Bay-10	0,0	2	(9) Cordova-9	20,6	2	(13) Chinitna Bay-8	0,0	2	(16) Chinitna Bay-9	11,7
3	(3) Cordova-2	0,4	3	(3) Cordova-2	20,8	3	(19) Kenai City-8	0,0	3	(12) Resurrection River-6	15,8
4	(8) Homer-2	0,5	4	(14) Iniskin Bay-2	22,0	4	(17) Valdez-7	0,3	4	(2) Portage to Girdwood-1	18,0
5	(67) Kenai Lake-3	0,6	5	(6) Cooper Lake-7	26,5	5	(23) Duck Mtn-7	0,6	5	(4) Chinitna Bay-10	18,8
6	(83) Niniichik-7	0,8	6	(7) Chinitna Bay-1	26,6	6	(18) Cordova-10	0,6	6	(1) Port Chatham-8	18,9
7	(62) Cordova-6	0,8	7	(62) Cordova-6	27,6	7	(37) Portage to Girdwood-5	0,6	7	(26) Chinitna Bay-3	20,4

8	(9)	Cordova-9	0,8	8	(15)	Cordova-7	27,9	8	(39)	Iniskin Bay-4	0,6	8	(13)	Chinitna Bay-8	21,0
9	(5)	Cordova-8	0,9	9	(61)	Chiniak-10	28,7	9	(35)	Iniskin Bay-8	0,9	9	(15)	Cordova-7	21,1
10	(25)	Iniskin Bay-9	1,0	10	(1)	Port Chatham-8	29,0	10	(7)	Chinitna Bay-1	1,1	10	(36)	Nash Road-5	21,3
11	(18)	Cordova-10	1,1	11	(27)	Cordova-4	29,0	11	(72)	Nash Road-2	1,1	11	(10)	Chinitna Bay-5	21,5
12	(1)	Port Chatham-8	1,3	12	(10)	Chinitna Bay-5	29,1	12	(32)	Valdez-10	1,5	12	(17)	Valdez-7	22,5
13	(34)	Cooper Lake-3	1,4	13	(24)	Chinitna Bay-2	29,5	13	(25)	Iniskin Bay-9	1,5	13	(33)	Cordova-5	23,0
14	(10)	Chinitna Bay-5	1,5	14	(5)	Cordova-8	29,7	14	(71)	Kenai City-5	1,5	14	(6)	Cooper Lake-7	23,9
15	(53)	Homer-3	1,5	15	(46)	Girdwood-6	30,5	15	(51)	Iniskin Bay-10	1,6	15	(19)	Kenai City-8	24,4
16	(29)	Nash Road-6	1,5	16	(43)	Duck Mtn-9	30,9	16	(63)	Ninilchik-1	1,6	16	(109)	Chinitna Bay-7	24,9
17	(97)	Ninilchik-5	1,9	17	(48)	Duck Mtn-5	32,4	17	(33)	Cordova-5	1,6	17	(28)	Port Chatham-5	25,3
18	(12)	Resurrection River-6	2,0	18	(23)	Duck Mtn-7	33,0	18	(3)	Cordova-2	1,8	18	(20)	Homer-10	25,6
19	(31)	Valdez-2	2,3	19	(100)	Icy Bay-8	33,1	19	(49)	Kenai City-3	1,9	19	(8)	Homer-2	26,2
20	(24)	Chinitna Bay-2	2,4	20	(85)	Iniskin Bay-3	33,5	20	(78)	Valdez-3	1,9	20	(5)	Cordova-8	27,4

10.2 20 frostþolnustu fjölskyldurnar að hausti fyrir hverja meðferð. Innan sviga er röðun fjölskyldna miðað við meðalskemmdir úr öllum meðferðunum 4 að hausti, þær sem eru meðal 10 bestu í heildina eru feitletraðar.

5. september -12°C			5. september -18°C			23. september -12°C			23. september -18°C		
Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjöldkylda	Skemmd	Röðun	Fjöldkylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd
1	(2) Kenai City-3	0,0	1	(1) Kenai City-5	7,4	1	(6) Ninilchik-5	1,3	1	(5) Kenai City-8	1,0
2	(11) Ninilchik-6	0,4	2	(2) Kenai City-3	10,0	2	(14) Ninilchik-7	1,3	2	(12) Ninilchik-4	1,3
3	(6) Ninilchik-5	0,5	3	(3) Kenai City-6	13,4	3	(17) Ninilchik-9	1,3	3	(4) Ninilchik-1	1,3
4	(5) Kenai City-8	0,6	4	(7) Kenai City-4	14,1	4	(3) Kenai City-6	1,3	4	(1) Kenai City-5	1,6
5	(7) Kenai City-4	2,0	5	(8) Kenai Lake-7	15,4	5	(31) Iniskin Bay-6	1,6	5	(2) Kenai City-3	2,6
6	(3) Kenai City-6	3,8	6	(4) Ninilchik-1	16,9	6	(19) Cordova-2	1,6	6	(3) Kenai City-6	3,2
7	(4) Ninilchik-1	4,0	7	(9) Ninilchik-8	19,8	7	(9) Ninilchik-8	2,0	7	(9) Ninilchik-8	4,5
8	(1) Kenai City-5	4,4	8	(5) Kenai City-8	22,8	8	(34) Iniskin Bay-9	2,3	8	(19) Cordova-2	5,6

9	(14)	Ninilchik-7	4,5	9	(10)	Kenai Lake-9	23,8	9	(26)	Chinitna Bay-6	2,3	9	(6)	Ninilchik-5	6,3
10	(13)	Ninilchik-3	4,6	10	(6)	Ninilchik-5	25,0	10	(45)	Iniskin Bay-7	2,5	10	(10)	Kenai Lake-9	6,3
11	(10)	Kenai Lake-9	5,3	11	(17)	Ninilchik-9	31,0	11	(11)	Ninilchik-6	2,5	11	(8)	Kenai Lake-7	7,3
12	(15)	Kenai City-7	7,1	12	(15)	Kenai City-7	36,0	12	(20)	Ninilchik-2	2,6	12	(39)	Chinitna Bay-9	8,1
13	(8)	Kenai Lake-7	7,3	13	(22)	Portage to Girdwood-2	39,4	13	(13)	Ninilchik-3	2,9	13	(13)	Ninilchik-3	9,4
14	(12)	Ninilchik-4	8,5	14	(11)	Ninilchik-6	39,6	14	(16)	Chinitna Bay-8	2,9	14	(23)	Homer-9	11,3
15	(18)	Chinitna Bay-10	9,5	15	(12)	Ninilchik-4	41,3	15	(23)	Homer-9	3,0	15	(11)	Ninilchik-6	11,5
16	(24)	Kenai Lake-2	9,8	16	(16)	Chinitna Bay-8	41,3	16	(5)	Kenai City-8	3,0	16	(31)	Iniskin Bay-6	11,9
17	(29)	Cooper Lake-7	10,3	17	(20)	Ninilchik-2	41,3	17	(37)	Chinitna Bay-3	3,8	17	(14)	Ninilchik-7	12,3
18	(16)	Chinitna Bay-8	10,8	18	(13)	Ninilchik-3	41,9	18	(7)	Kenai City-4	3,8	18	(27)	Chinitna Bay-2	13,2
19	(9)	Ninilchik-8	11,0	19	(14)	Ninilchik-7	42,5	19	(1)	Kenai City-5	3,9	19	(30)	Cordova-3	13,4
20	(22)	Portage to Girdwood-2	11,3	20	(21)	Portage to Girdwood-1	42,9	20	(25)	Iniskin Bay-8	3,9	20	(7)	Kenai City-4	14,5

10.3 20 frostþolnustu sitkagreni-fjölskyldurnar að hausti fyrir hverja meðferð.

5.sept. við -12°C			5.sept. við -18°C			23.sept. við -12°C			23.sept. við -18°C		
Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd	Röðun	Fjölskylda	Skemmd
1	Portage to Girdwood-2	11,3	1	Portage to Girdwood-2	39,4	1	Cordova-2	1,6	1	Cordova-2	5,6
2	Portage to Girdwood-1	12,8	2	Portage to Girdwood-1	42,9	2	Homer-9	3,0	2	Homer-9	11,3
3	Homer-2	16,8	3	Cordova-2	43,1	3	Homer-6	4,1	3	Cordova-3	13,4
4	Portage to Girdwood-5	20,3	4	Cordova-3	43,8	4	Homer-8	4,3	4	Portage to Girdwood-2	17,1
5	Portage to Girdwood-3	20,8	5	Cordova-9	44,4	5	Valdez-10	4,4	5	Valdez-3	18,8
6	Homer-10	22,8	6	Homer-3	45,6	6	Valdez-3	5,5	6	Portage to Girdwood-1	21,3
7	Homer-3	23,0	7	Homer-6	45,6	7	Port Chatham-8	6,4	7	Valdez-5	24,4
8	Portage to Girdwood-4	23,1	8	Portage to Girdwood-3	45,6	8	Homer-5	6,4	8	Portage to Girdwood-5	25,0
9	Valdez-3	23,2	9	Portage to Girdwood-4	46,3	9	Portage to Girdwood-5	6,4	9	Portage to Girdwood-3	27,5
10	Cordova-3	23,9	10	Homer-9	46,9	10	Chiniak-9	6,9	10	Valdez-10	28,8

11	Girdwood-1	25,2	11	Valdez-2	48,1	11	Portage to Girdwood-3	7,2	11	Valdez-9	29,4
12	Homer-8	25,4	12	Homer-7	48,8	12	Nash Road-10	7,6	12	Homer-8	30,1
13	Valdez-10	26,0	13	Portage to Girdwood-5	48,8	13	Portage to Girdwood-1	7,8	13	Homer-3	30,6
14	Valdez-9	26,3	14	Girdwood-5	48,8	14	Homer-10	8,0	14	Homer-10	30,6
15	Valdez-8	27,1	15	Valdez-3	48,8	15	Girdwood-2	8,1	15	Valdez-1	30,6
16	Homer-9	28,5	16	Chiniak-6	49,4	16	Valdez-2	8,8	16	Cordova-1	30,6
17	Cordova-5	30,6	17	Duck Mtn-4	49,4	17	Chiniak-5	8,9	17	Homer-5	31,9
18	Valdez-1	31,9	18	Duck Mtn-6	49,4	18	Valdez-9	9,0	18	Nash Road-6	31,9
19	Cordova-2	32,1	19	Homer-2	49,4	19	Homer-1	9,4	19	Nash Road-3	32,5
20	Homer-6	33,1	20	Homer-8	49,4	20	Girdwood-6	9,9	20	Valdez-8	33,1

10.4 Vorfrysting – Samanburður á fjölskyldum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls

Chiniak							
Fjölsk.	18. apríl				1. maí		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C
4	6,25	(a)	38,25	(a)	19,69	b	38,81 (a)
5	13,75	(a)	37,38	(a)	3,06	a	40,62 (a)
6	17,75	(a)	44,00	(a)	4,75	a	40,87 (a)
7	16,94	(a)	42,75	(a)	20,25	b	47,50 (a)
9	8,38	(a)	40,00	(a)	5,38	a	44,25 (a)
10	17,88	(a)	28,69	(a)	16,06	ab	36,88 (a)

p-gildi 0,4925 0,2575 0,001 0,4835

Duck Mountain							
Fjölsk.	18. apríl				1. maí		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C
4	14,38	(a)	45,62	(a)	5,62	(a)	36,94 (a)
5	18,50	(a)	32,44	(a)	14,62	(a)	28,00 (a)
6	10,25	(a)	34,00	(a)	2,50	(a)	40,00 (a)
7	6,50	(a)	33,00	(a)	0,62	(a)	38,75 (a)
8	18,38	(a)	39,38	(a)	12,50	(a)	43,88 (a)
9	0,00	(a)	30,94	(a)	17,62	(a)	42,62 (a)
10	9,12	(a)	46,31	(a)	8,62	(a)	41,25 (a)

p-gildi 0,1170 0,1574 0,0496 0,2370

Iniskin Bay								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	4,38	a	45,62	bc	21,81	b	42,00	(a)
2	9,88	ab	22,00	a	3,75	a	35,62	(a)
3	5,01	a	33,50	bc	33,69	c	40,12	(a)
4	6,75	ab	44,38	bc	0,62	a	35,56	(a)
6	18,56	b	46,31	bc	5,50	a	40,88	(a)
7	6,94	ab	49,38	c	4,00	a	42,50	(a)
8	6,19	ab	43,44	bc	0,88	a	35,12	(a)
9	1,00	a	39,56	bc	1,50	a	38,81	(a)
10	6,25	ab	45,25	bc	1,62	a	41,25	(a)

p-gildi **0,0180** **0,0000** **0,0000** **0,9031**

Chinitna Bay								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	8,31	(a)	26,62	(a)	1,09	a	28,94	(a)
2	2,38	(a)	29,50	(a)	12,50	a	35,63	(a)
3	7,06	(a)	44,38	(a)	9,38	a	20,38	(a)
5	1,50	(a)	29,12	(a)	15,50	a	21,50	(a)
6	7,81	(a)	43,75	(a)	11,25	a	33,06	(a)
7		(a)	44,00	(a)	49,38	b	24,94	(a)
8	5,00	(a)	44,38	(a)	0,00	a	21,00	(a)
9	6,62	(a)	46,88	(a)	6,88	a	11,69	(a)
10	0,00	(a)	36,38	(a)	4,12	a	18,75	(a)

p-gildi **0,1504** **0,0310** **0,0000** **0,1586**

Port Chatham								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
3	9,38	(a)	47,50	b	7,12	(a)	21,19	(a)
4	7,88	(a)	46,50	b	5,50	(a)	20,50	(a)
5	5,56	(a)	46,25	b	6,38	(a)	25,25	(a)
8	1,25	(a)	29,00	a	4,88	(a)	18,88	(a)
9	7,25	(a)	48,19	b	19,62	(a)	28,75	(a)
10	14,00	(a)	46,25	b	16,25	(a)	31,50	(a)

p-gildi **0,1782** **0,0000** **0,0852** **0,6291**

Homer								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	6,62	(a)	49,38	b	23,25	c	28,75	ab
2	0,50	(a)	36,88	ab	2,50	a	26,19	a
3	1,50	(a)	46,88	b	2,25	a	44,44	ab
5	5,75	(a)	46,25	b	5,75	ab	44,38	ab
6	9,50	(a)	49,78	b	13,75	abc	48,12	b
7	9,25	(a)	45,81	b	19,12	bc	39,44	ab
8	2,81	(a)	47,50	b	5,25	ab	28,12	ab
9	7,75	(a)	33,62	a	5,50	ab	41,88	ab
10	5,50	(a)	40,25	ab	5,56	ab	25,62	a

p-gildi **0,4047** **0,0015** **0,0002** **0,0015**

Ninilchik						
Fjölsk.	18. apríl				1. maí	
nr.	-12°C		-18°C		-12°C	-18°C
1	8,56	(a)	45,62	(a)	1,62	a 44,62 (a)
2	6,12	(a)	48,12	(a)	14,50	abc 43,81 (a)
3	2,50	(a)	35,88	(a)	7,12	ab 44,38 (a)
4	3,31	(a)	46,31	(a)	7,62	ab 39,12 (a)
5	1,94	(a)	45,00	(a)	22,38	c 45,62 (a)
6	12,75	(a)	48,75	(a)	8,75	ab 43,75 (a)
7	0,75	(a)	44,38	(a)	17,31	bc 46,88 (a)
8	16,75	(a)	47,50	(a)	5,75	ab 48,75 (a)
9	15,88	(a)	45,69	(a)	2,50	ab 36,69 (a)
10	13,19	(a)	43,00	(a)	12,38	abc 45,75 (a)

p-gildi **0,0170** **0,1206** **0,0007** **0,1491**

Kenai City						
Fjölsk.	18. apríl				1. maí	
nr.	-12°C		-18°C		-12°C	-18°C
3	6,06	a	48,12	(a)	1,88	(a) 37,50 b
4	2,50	a	41,94	(a)	2,50	(a) 45,00 b
5	14,62	b	49,38	(a)	1,50	(a) 37,38 b
6	5,25	a	47,50	(a)	6,12	(a) 46,88 b
7	4,25	a	43,50	(a)	5,19	(a) 47,50 b
8	2,94	a	48,75	(a)	0,00	(a) 24,38 a

p-gildi **0,0004** **0,2556** **0,0492** **0,0001**

Resurrection River								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	25,25	b	38,75	a	8,25	(a)	35,50	b
2	13,62	ab	48,75	b	12,38	(a)	40,00	b
4	15,75	ab	45,62	b	12,94	(a)	48,12	b
6	2,00	a	47,50	b	3,25	(a)	15,75	a

p-gildi **0,0052** **0,0028** **0,0643** **0,0010**

Nash Road								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
2	11,25	(a)	45,62	(a)	1,12	a	45,00	c
3	12,00	(a)	45,69	(a)	8,00	a	37,50	bc
4	6,12	(a)	48,12	(a)	1,25	a	26,06	abc
5	3,12	(a)	47,56	(a)	14,56	a	21,25	ab
6	1,50	(a)	45,69	(a)	4,38	a	32,06	bc
9	10,44	(a)	46,25	(a)	25,50	b	43,12	c
10	11,25	(a)	45,62	(a)	44,38	c	11,50	a

p-gildi **0,0845** **0,8575** **0,0000** **0,0000**

Kenai Lake						
Fjölsk.	18. apríl				1. maí	
nr.	-12°C		-18°C		-12°C	-18°C
2	3,12	(a)	46,31	(a)	8,06 _a	38,12 (a)
3	0,62	(a)	50,00	(a)	6,12 _a	45,62 (a)
7	3,50	(a)	50,00	(a)	14,25 _a	48,75 (a)
9	4,38	(a)	47,50	(a)	25,00 _b	45,00 (a)

p-gildi **0,4750** **0,0342** **0,0018** **0,0871**

Cooper Lake						
Fjölsk.	18. apríl				1. maí	
nr.	-12°C		-18°C		-12°C	-18°C
3	1,38	_a	46,50	_b	5,00 (a)	32,56 _{ab}
7	6,88	_a	26,50	_a	6,19 (a)	23,94 _{ab}
8	3,38	_a	36,25	_{ab}	3,75 (a)	41,44 _b
9	1,12	_a	44,94	_b	5,38 (a)	41,50 _b
10	17,00	_b	48,12	_b	8,75 (a)	43,38 _b

p-gildi **0,0151** **0,0015** **0,6546** **0,0062**

Portage to Girdwood								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	3,25	a	34,19	b	0,00	(a)	18,00	a
2	12,00	ab	42,50	b	3,94	(a)	40,62	b
3	13,75	b	13,38	a	2,62	(a)	38,31	b
4	3,50	a	38,31	b	4,25	(a)	30,88	ab
5	3,00	a	42,50	b	0,62	(a)	40,38	b

p-gildi **0,0041**

Girdwood								
Fjölsk.	18. apríl				1. maí			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	37,38	b	49,38	b	13,50	(a)	45,00	(a)
2	11,00	a	44,44	b	4,88	(a)	37,50	(a)
3	5,81	a	46,25	b	17,50	(a)	43,75	(a)
4	8,00	a	39,31	ab	6,25	(a)	37,50	(a)
5	5,38	a	44,56	b	7,75	(a)	35,62	(a)
6	14,62	a	30,50	a	8,75	(a)	38,75	(a)

p-gildi **0,0000** **0,0051** **0,2340** **0,6126**

Valdez						
Fjölsk.	18. apríl			1. maí		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C	
1	6,25	ab	48,12	b	2,75	a
2	2,25	a	46,88	ab	2,50	a
3	9,88	ab	48,12	b	1,94	a
4	3,44	a	46,25	ab	28,62	c
5	2,50	a	44,38	ab	4,62	a
6	32,25	c	48,12	b	17,94	b
7	5,00	ab	45,06	ab	0,25	a
8	2,62	a	43,12	ab	14,06	ab
9	7,75	ab	41,94	ab	11,88	ab
10	16,31	b	38,00	a	1,50	a
	0,0000		0,0220		0,0000	
					0,0029	

Cordova					
Fjölsk.	18. apríl			1. maí	
nr.	-12°C		-18°C	-12°C	
1	7,38	ab	45,62	2,81	a 37,88 (a)
2	0,38	a	20,75	1,75	a 34,44 (a)
3	3,00	ab	38,12	6,25	ab 30,00 (a)
4	8,56	ab	29,00	7,56	ab 38,12 (a)
5	13,75	b	46,25	1,62	a 23,00 (a)
6	0,75	a	27,62	35,06	c 36,88 (a)
7	9,62	ab	27,88	12,88	b 21,12 (a)
8	0,88	a	29,69	2,62	a 27,44 (a)
9	0,75	a	20,62	2,50	a 42,69 (a)
10	1,12	a	38,12	0,62	a 35,50 (a)
p-gildi	0,0053		0,0006	0,0000	0,0649

Icy Bay					
Fjölsk.	18. apríl			1. maí	
nr.	-12°C		-18°C	-12°C	
8	43,75	b	33,12	5,62	36,25 (a)
9	15,88	a	49,38	7,00	41,00 (a)
10	20,88	a	45,62		43,75 (a)
p-gildi	0,0024		0,0059	0,7630	0,5548

Haines Highway					
Fjölsk.	18. apríl			1. maí	
nr.	-12°C		-18°C	-12°C	
	-18°C			-18°C	
4	7,62(a)	43,12(a)	4,25(a)	44,38(a)	
5	8,12(a)	46,38(a)	6,31(a)	32,12(a)	
6	0,50(a)	42,38(a)	6,31(a)	29,38(a)	
p-gildi	0,3422	0,4443	0,7302	0,0880	

10.5 Haustfrysting – samanburður á fjölskyldum með tilliti til frostskemda – aðferð Student Newman-Keuls

Chiniak						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
4	44,38	(a)	50,00	(a)	20,75	(a)
5	47,50	(a)	50,00	(a)	8,94	(a)
6	45,12	(a)	49,37	(a)	17,69	(a)
7	46,25	(a)	50,00	(a)	18,75	(a)
9	45,62	(a)	50,00	(a)	6,88	(a)
10	47,50	(a)	50,00	(a)	16,25	(a)

p-gildi 0,6776 0,4296 0,2164 0,2038

Duck Mountain						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
4	40,12	a	49,38	(a)	20,12	(a)
5	47,50	b	50,00	(a)	28,75	(a)
6	48,12	b	49,38	(a)	21,25	(a)
7	48,75	b	50,00	(a)	15,38	(a)
8	48,12	b	50,00	(a)	19,38	(a)
9	49,38	b	50,00	(a)	21,50	(a)
10	41,94	a	50,00	(a)	23,12	(a)

p-gildi 0,0000 0,5501 0,6934 0,0717

Iniskin Bay								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	27,00	(a)	48,12	(a)	15,75	bc	35,00	b
2	24,25	(a)	48,12	(a)	19,50	c	29,50	ab
3	30,62	(a)	48,12	(a)	6,00	ab	23,12	ab
4	25,19	(a)	50,00	(a)	9,81	abc	20,62	ab
6	35,62	(a)	50,00	(a)	1,62	a	11,88	a
7	30,12	(a)	49,38	(a)	2,50	a	32,75	ab
8	25,12	(a)	46,88	(a)	3,94	a	16,25	ab
9	33,12	(a)	48,75	(a)	2,25	a	17,12	ab
10	36,38	(a)	50,00	(a)	12,88	abc	22,50	ab

p-gildi

0,6779

0,4549

0,0001

0,0157

Chinitna Bay								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	31,88	b	49,38	(a)	6,75	(a)	26,25	(a)
2	26,38	ab	48,75	(a)	6,88	(a)	13,19	(a)
3	35,00	b	50,00	(a)	3,75	(a)	18,38	(a)
5	36,25	b	48,75	(a)	10,25	(a)	20,25	(a)
6	25,62	ab	48,75	(a)	2,25	(a)	17,06	(a)
7	40,75	b	50,00	(a)	14,38	(a)	24,81	(a)
8	10,81	a	41,25	(a)	2,88	(a)	15,00	(a)
9	43,12	b	49,38	(a)	7,75	(a)	8,12	(a)
10	9,50	a	43,12	(a)	12,12	(a)	15,38	(a)

p-gildi 0,0000 0,0243 0,0245 0,1576

Port Chatham								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
5	46,25	(a)	50,00	(a)	33,75	b	46,88	b
8	47,50	(a)	50,00	(a)	6,38	a	39,29	a
9	46,88	(a)	50,00	(a)	22,69	b	47,87	b
10	41,88	(a)	50,00	(a)				

p-gildi 0,2594 n/a 0,0077 0,0197

Homer								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	34,37	abc	50,00	(a)	9,37	ab	36,38	b
2	16,75	a	49,38	(a)				
3	23,00	a	45,62	(a)	18,75	b	30,62	b
4	17,12	a	43,75	(a)	1,25	a	8,75	a
5	46,88	c	50,00	(a)	6,38	ab	31,88	b
6	33,12	abc	45,62	(a)	4,12	ab	35,62	b
7	43,75	bc	48,75	(a)	19,50	b	39,38	b
8	25,38	ab	49,38	(a)	4,25	ab	30,12	b
9	28,50	abc	46,88	(a)	3,00	a	11,25	a
10	22,75	a	49,38	(a)	8,00	ab	30,62	b

p-gildi 0,0000 0,1443 0,0025 0,0000

Ninilchik						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
1	4,00	ab	16,88	a	4,88	a
2	25,69	d	41,25	bc	2,62	a
3	4,62	ab	41,88	bc	2,86	a
4	8,50	abc	41,25	bc	4,50	a
5	0,50	a	25,00	ab	1,25	a
6	0,38	a	39,62	bc	2,50	a
7	4,50	ab	42,50	bc	1,25	a
8	11,00	abcd	19,75	a	2,00	a
9	22,00	cd	31,00	abc	1,25	a
10	20,62	bcd	48,75	c	14,06	b

p-gildi 0,0000 0,0001 0,0025 0,0071

Kenai City						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
3	0,00	(a)	10,00	a	5,62	(a)
4	2,00	(a)	14,06	a	3,75	(a)
5	4,44	(a)	7,38	a	3,88	(a)
6	3,75	(a)	13,38	a	1,25	(a)
7	7,06	(a)	36,00	b	8,19	(a)
8	0,62	(a)	22,75	ab	3,00	(a)

p-gildi 0,0664 0,0070 0,4305 0,0011

Nash Road								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
2	36,25	(a)	49,38	(a)	33,19	c	45,00	(a)
3	41,88	(a)	50,00	(a)	20,94	abc	32,50	(a)
5	49,38	(a)	50,00	(a)	26,81	bc	38,50	(a)
6	36,88	(a)	49,38	(a)	17,19	ab	31,88	(a)
9	43,75	(a)	50,00	(a)	14,25	ab	43,12	(a)
10	45,62	(a)	49,38	(a)	7,62	a	41,25	(a)

p-gildi **0,0697** **0,7001** **0,0014** **0,0270**

Kenai Lake								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
2	9,75	(a)	45,62	b	8,75	(a)	26,00	b
3					8,75	(a)	16,38	ab
7	7,25	(a)	15,44	a	6,50	(a)	7,25	a
9	5,25	(a)	23,75	a	7,50	(a)	6,25	a
10	22,38	(a)	50,00	b				

p-gildi

Cooper Lake							
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C
3	39,06		49,38		13,88		31,25
7	10,25		43,25		14,50		29,75
10	28,63		49,38		21,63		35,44
p-gildi	0,0000		0,0717		0,8893		0,7751

Hope Road							
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C
6	27,50	a	48,75	(a)	12,25	(a)	37,88(a)
8	47,50	b	50,00	(a)	17,88	(a)	39,38(a)
9	24,50	a	45,62	(a)	15,50	(a)	23,62(a)
10	20,62	a	13,88	(a)	13,88	(a)	25,38(a)
p-gildi	0,0012		0,1391		0,8398		0,0322

Portage to Girdwood							
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C
1	12,75	(a)	42,94	(a)	7,75	(a)	21,25ab
2	11,25	(a)	39,38	(a)	19,62	(a)	17,06a
3	20,75	(a)	45,62	(a)	7,19	(a)	27,50ab
4	23,12	(a)	46,25	(a)	14,19	(a)	35,62b
5	20,31	(a)	48,75	(a)	6,38	(a)	25,00ab
p-gildi	0,4454		0,4594		0,0304		0,0277

Girdwood						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
1	25,19	a	50,00(a)	22,88	a	36,25(a)
2	42,50	b	49,38(a)	8,12	a	
3	46,88	b	49,38(a)	35,50	b	46,25(a)
5	33,62	ab	48,75(a)	16,25	a	42,50(a)
6	40,19	b	50,00(a)	9,88	a	39,29(a)

p-gildi **0,0014** **0,6767** **0,0002** **0,1185**

Valdez						
Fjölsk.	5. sept.			23. sept.		
nr.	-12°C		-18°C	-12°C		-18°C
1	31,88	(a)	50,00(a)	29,75	c	30,62abc
2	38,75	(a)	48,12(a)	8,75	ab	40,00bc
3	23,19	(a)	48,75(a)	5,50	a	18,75a
4	45,00	(a)	50,00(a)	21,38	bc	38,75bc
5	37,00	(a)	49,38(a)	13,75	ab	24,38ab
6	44,88	(a)	50,00(a)	21,75	bc	43,75c
7	34,38	(a)	50,00(a)	27,50	c	43,12c
8	27,12	(a)	50,00(a)	12,12	ab	33,12abc
9	26,25	(a)	50,00(a)	9,00	ab	29,38abc
10	26,00	(a)	50,00(a)	4,38	a	28,75abc

p-gildi **0,0290** **0,1270** **0,0000** **0,0003**

Cordova								
Fjölsk.	5. sept.				23. sept.			
nr.	-12°C		-18°C		-12°C		-18°C	
1	42,50	ab	50,00	(a)	11,75	ab	30,62	b
2	32,12	ab	43,12	(a)	1,62	a	5,62	a
3	23,88	a	43,75	(a)	17,12	abc	13,38	a
4	48,75	b	50,00	(a)	11,94	ab	43,75	b
5	30,62	ab	50,00	(a)	12,88	ab	38,00	b
6	40,62	ab	50,00	(a)	17,62	abc	34,38	b
7	46,31	ab	50,00	(a)	32,75	c	43,12	b
8	43,12	ab	50,00	(a)	26,62	bc	46,88	b
9	41,25	ab	44,38	(a)	17,38	abc	35,62	b
10	43,12	ab	50,00	(a)	10,75	ab	40,00	b
p-gildi	0,0269		0,5787		0,0008		0,0000	

10.6 Vorfrysting – samanburður á kvæmum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls

Kvæmi	Fjöldi	Meðaltal	Student-Newman-Keuls
60: Svartgreni (SvG)	32	11,219	A
29: Yakutat (SG)	32	13,687	AB
35: Tumastaðir (SG)	32	14,187	AB
36: Stálpastaðir (SG)	32	15,969	ABC
57: Rio Grande (BG)	32	16,937	ABCD
47: Porcher Island (SG)	32	17,812	ABCD
32: Taraldsøy (SG)	32	18,422	BCDE
20: Cordova (SG)	320	19,266	BCDEF
17: Portage to Girdwood (SG)	160	19,300	BCDEF
34: Ártúnsbrekka (SG)	32	19,359	BCDEF
4: Chinitna Bay (SG/SB)	288	20,364	BCDEF
5: Port Chatham (SG)	192	21,440	CDEF
12: Cooper Lake (SB/SG)	160	22,197	CDEF
46: Queen Charlotte (SG)	32	22,437	CDEF
26: Haines Highway (SG)	96	22,573	CDEF
28: Dyea (SG)	32	22,594	CDEF
30: Cordova-bulk (SG)	32	22,875	CDEF
33: Sitka (SG)	32	23,156	CDEF
6: Homer (SG)	288	23,750	CDEFG
8: Kenai City (HG)	192	23,776	CDEFG
3: Iniskin Bay (SG/SB)	288	23,879	CDEFG
48: Rennell Sound (SG)	32	23,906	CDEFG
2: Duck Mountain (SG)	224	24,013	CDEFG
19: Valdez (SG)	320	24,722	DEFG
10: Nash Road	224	24,855	DEFG
9: Resurrection River (SG)	128	25,840	EFG
1: Chiniak (SG)	192	26,255	EFG
18: Girdwood (SG)	192	26,391	EFG
7: Niniichik (SB/HG)	320	26,783	FG
11: Kenai Lake (SB/HG)	128	27,273	FG
31: Tatiklek (SG)	32	27,359	FG
13: Moose Pass (SB/SG)	48	27,469	FG
21: Icy Bay (SG)	88	29,047	GH
58: Bluejoint Mtn. (BG)	32	33,875	H

Miðast við 5% vikmörk

10.7 Haustfrysting – samanburður á kvæmum með tilliti til frostsKemmda – aðferð Student Newman-Keuls

Kvæmi	Fjöldi	Meðaltal	Student-Newman-Keuls
60: Svartgreni (SvG)	31	1,451	A
8: Kenai City (HG)	192	7,701	B
7: Ninilchik (SB/HG)	319	14,587	C
11: Kenai Lake (SB/HG)	128	16,676	C
17: Portage to Girdwood (SG)	160	24,634	D
4: Chinitna Bay (SG/SB)	288	25,392	D
13: Moose Pass (SB/SG)	32	26,656	DE
3: Iniskin Bay (SG/SB)	288	27,512	DEF
6: Homer (SG)	304	28,405	DEFG
29: Yakutat (SG)	32	30,063	DEFGH
15: Hope Road (SB)	128	30,445	DEFGH
12: Cooper Lake (SB/SG)	96	30,531	DEFGH
19: Valdez (SG)	320	32,880	EFGHI
32: Taraldsöy (SG)	32	33,859	FGHIJ
20: Cordova (SG)	320	34,134	GHIJ
18: Girdwood (SG)	151	36,707	HIJK
30: Cordova-bulk (SG)	32	36,719	HIJK
1: Chiniak (SG)	192	37,417	IJK
34: Ártúnsbrekka (SG)	32	37,656	IJK
10: Nash Road	192	37,672	IJK
2: Duck Mountain (SG)	224	40,196	JK
5: Port Chatham (SG)	110	40,334	KL
21: Icy Bay (SG)	32	41,500	KL
33: Sitka (SG)	32	45,781	L
36: Stálpastaðir (SG)	28	46,823	L

Miðast við 5 % vikmörk

10.8 Kort sem sýnir söfnunarstaði efniviðarins





Map Source (v. 3.02; Garmin Corporation 1999)