



Fjölbreytileiki hornsíla (*Gasterosteus aculeatus*) frá mismunandi búsvæðum innan Mývatns.

Ragna Guðrún Snorradóttir



**Líf- og umhverfisvísindadeild
Háskóli Íslands
2020**

Fjölbreytileiki hornsíla (*Gasterosteus aculeatus*) frá mismunandi búsvæðum innan Mývatns.

Ragna Guðrún Snorradóttir

15 eininga ritgerð sem er hluti af
Baccalaureus Scientiarum gráðu í líffræði

Leiðbeinendur

Zophonías Oddur Jónsson (umsjónarmaður)

Bjarni Kristófer Kristjánsson (leiðbeinandi)

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, desember 2020

Fjölbreytileiki hornsíla (*Gasterosteus aculeatus*) frá mismunandi búsvæðum innan Mývatns.

Fjölbreytileiki hornsíla frá mismunandi búsvæðum.

15 eininga ritgerð sem er hluti af *Baccalaureus Scientiarum* gráðu í líffræði

Höfundarréttur © 2020 Ragna Guðrún Snorradóttir

Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Sturlugata 7
102 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:

Ragna Guðrún Snorradóttir, 2020, Fjölbreytileiki hornsíla (*Gasterosteus aculeatus*) frá mismunandi búsvæðum innan Mývatns, BS ritgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 32 bls.

Prentun: XX

Reykjavík, desember 2020

Útdráttur

Mikinn fjölbreytileika er að finna í búsvæðum vatna á Íslandi. Með þessum breytileika í búsvæðum geta þróast fjölbreyttir stofnar innan tegunda. Dæmi um slíkt hér á landi má sjá hjá hornsílum (*Gasterosteus aculeatus*), t.d. þeim sem finnast í Mývatni. Það sem eykur fjölbreytileikann þar eru þau mismunandi búsvæði sem finnast í vatninu. Til þess að kanna þennan breytileika var tálknabygging og magainnihald hornsíla kannað. Með því að bera saman niðurstöður tálknabyggingar, magainnihalds og búsvæða má sjá tengingu þar á milli. Í þeim búsvæðum þar sem mikið fæðuframboð er til staðar og skjól, var minni breytileiki í útliti hornsíla. Þegar skoðuð eru búsvæði með minni fæðu var bilið á milli tálknatinda tvö og þrjú minna hjá þeim sílum sem þar finnast, það auðveldar þeim að éta sviflæga fæðu og þannig sía út alla þá fæðu sem er í boði. Á búsvæði með litilli fæðu og köldu innstreymi voru hornsíli með lengri tálknatinda. Út frá þessum niðurstöðum má áætla að hornsílin sýni ákveðnar aðlaganir að þeim búsvæðum sem þau finnast í og þeirri fæðu sem er í boði.

Abstract

Great diversity can be found in lake habitats in Iceland. With this diversity in habitats, diverse population can evolve within species. Examples of this in Iceland are three spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*), for example those in Lake Mývatn. What increases the observed diversity are the different habitats found in the lake. To examine this variability, the gill raker structure and the stomach contents of stickleback were examined. The results show a clear relationship between gill raker structure, stomach contents and habitats. The habitats that have more diverse selection of prey and shelter have less variability in appearance between areas. Poor habitats as judged by stomach contents, can be seen that the gap between gills rakers two and three is smaller for the stickleback inhabiting those, they are likely better at filtering out all the food that is available. But in habitats with little diversity in prey in stomach and cold inflow of water, the stickleback have longer gill rakers. Based on these results, it can be estimated that stickleback may be adapting to difficult habitats and to the food that is available.

Efnisyfirlit

Myndir	vi
Töflur	viii
Þakkir	ix
1 Inngangur	1
2 Aðferðir	5
3 Niðurstöður	7
3.1 Mælingar á fiskum	8
3.2 Mælingar á magainnihaldi	14
3.3 Tengslin á milli mælinga og magainnihalds	15
4 Umræður	16
4.1 Líkamsbygging hornsíla	16
4.2 Magainnihald	17
4.3 Tengslin á milli líkamsbyggingar og magainnihalds	18
Heimildir	19

Myndir

- Mynd 2.1: Skýringarmynd af tálknaboga í hornsíli sem sýnir 1. annar tálknatind, 2. þriðji tálknatind, 3. bilið á milli annars og þriðja tálknatinds, 4. styttri tálknaboginn og 5. lengri tálknaboginn (Peichel o.fl., 2001).....5
- Mynd 3.1: Dreifing þyngdar hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Sílin í námu búsvæðinu voru að meðaltali þyngri en síli frá öðrum stöðvum.....8
- Mynd 3.2: Dreifing lengdar á milli tálknatinda tvö og þrjú hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Meðallengd tálknatindanna var meiri hjá sílum úr námu búsvæðinu.8
- Mynd 3.3: Dreifing lengdar hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Mest var meðallengdin hjá sílum á námu búsvæðinu.9
- Mynd 3.4: Heildarlengd og þyngd hornsíla í Mývatni. Litað eftir kyni, rautt (kvenkyn) og blátt (karlkyn). Línulegt samband var á milli lengdar og þyngdar hjá hrygnum en ekki hængum ($F_{1,105}=282,3$, $P=0,000$)9
- Mynd 3.5: log tekið af lengd (mm) og þyngd (g) hornsíla í Mývatni. Sambandið er línulegt. Eitt frávik var greinilegt og var því það síli fjarlæggt.10
- Mynd 3.6: Annar tálknatindur hornsíla í Mývatni borið saman við lengd þeirra. Samband er á milli lengds annars tálknatinds og heildarlengd fisksins, $F_{1,105} = 29,3$, $P=0,000$ 10
- Mynd 3.7: Þriðji tálknatindur hornsíla í Mývatni borið saman við lengd þeirra. Samband er á milli lengds þriðja tálknatinds og heildarlengd fisksins, $F_{1,105} = 42,9$, $P=0,000$11
- Mynd 3.8: Lengd á milli tálknatinda tvo og þrjú á móti heildarlengd hornsíla í Mývatni. Greinilegt samband er á milli lengds á milli tálknatinda og heildarlengd sílanna, $F_{1,105}= 30,6$, $P=0,000$11
- Mynd 3.9: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd tálknatinds tvö, skipt upp eftir búsvæðum. Mesta meðallengd annars tálknatinds var í kalda búsvæðinu. Samband var á milli tálknatinds tvo og búsvæða, $F_{4,105}=11,9$, $P=0,000$. Ekki var samband á milli tindsins og kynja, $F_{1,105}=1.2$, $P=0.284$12
- Mynd 3.10: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd tálknatinds þrjú, skipt upp eftir búsvæðum. Mesta meðallengd þriðja tálknatinds var í kalda búsvæðinu. Samband var á milli tálknatinds þrjú og búsvæða, $F_{4,105}=16,3$, $P=0,000$. Ekki var samband á milli tindsins og kynja, $F_{1,105}=2.8$, $P= 0.098$12
- Mynd 3.11: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd bilsins á milli tálknatinds tvö og þrjú, skipt upp eftir búsvæðum. Minnsta bilið var hjá fiskum á heita búsvæðinu og mesta var hjá fiskum í

kúluskíts búsvæðinu. Samband var á milli búsvæða, $F_{4,105} = 14,5$, $P = 0,000$. Ekki var samband á milli kynja, $F_{1,105} = 0.3$, $P = 0.583$	13
Mynd 3.12: Heildarmagn hvers hóps í magainnihaldi í hornsílum, skipt upp eftir búsvæðum í Mývatni og litað eftir hvorum hóp fyrir sig.....	14
Mynd 3.13: Hlutfall hóps eftir innihaldi hvers maga hornsíla, skipt upp eftir búsvæðum í Mývatni og litað eftir hverjum hóp fyrir sig.	14
Mynd 3.14: Samband milli búsvæða og magainnihalds hjá hornsílum í Mývatni. Merkingar: 1. Kúluskíts búsvæðið (K), 2. Námu búsvæðið (Na), 3. Nykru búsvæðið (Ny), 4. Heita búsvæðið (H), 5. Kalda búsvæðið (Ka) Orthocladinae (Ortho), Chironomini (Chiro), Fluga/púpa (Fluga), Cladocera (Clado), Hornsílaegg (Egg) og Copepod (Cope).....	15
Mynd 3.15: Samband milli búsvæða, magainnihalds og líkamsbyggingu hornsíla í Mývatni. Merkingar: 1. Kúluskíts búsvæðið (K), 2. Námu búsvæðið (Na), 3. Nykru búsvæðið (Ny), 4. Heita búsvæðið (H), 5. Kalda búsvæðið (Ka), Orthocladinae (Ortho), Chironomini (Chiro), Fluga/púpa (Fluga), Cladocera (Clado), Hornsílaegg (Egg), Copepod (Cope), tálknatindur tvo (T2), tálknatindur þrjú (T3).....	15

Töflur

Tafla 3.1: Fjöldi veiddra hornsíla í Mývatni eftir stöð og búsvæði og einnig hlutfall milli karlkyns og kvenkyns fiska.	7
--	---

Þakkir

Ég vil þakka Kasha Strickland og Joseph Phillips, sem eru nýdóttarar hjá Háskólanum á Hólum, fyrir ómetanlega hjálp við verkefnið.

1 Inngangur

Ísland er vatnsríkt land, bæði af yfirborðs- og grunnvatni. Vötn og tjarnir stærri en 30 m² eru talin vera 66.300 talsins. Tjarnir og smávötn (minni en 0,1 km²) mynda langstærsta hóp stöðuvatna, 97% af heildarfjölda (Jón Gunnar Ottósson o.fl., 2016). Þrátt fyrir mikinn fjölda vatna, tjarna og áa eru einungis fimm tegundir ferskvatnsfiska sem finnast hér á landi. Það er lax (*Salmo salar*), urriði (*Salmo trutta*), bleikja (*Salvelinus alpinus*), Evrópuáll (*Anguilla anguilla*) og hornsíli (*Gasterosteus aculeatus*). Hins vegar hefur komið í ljós að 15% af heildarfjölda ála eru blendingar af Evrópska álnum (*Anguilla anguilla*) og Ameríska álnum (*Anguilla rostrata*) (Árni Kristmundsson og Sigurður Helgason, 2007). Það að svona fáar tegundir sem finnast hér á landi má rekja til þess að erfitt er að nema land frá meginlandi. En þrátt fyrir fáar tegundir er búsvæði þeirra gífurlega fjölbreytt og þar hefur jarðfræðileg sérstaða landsins stórt hlutverk (Eik Elfarsdóttir og Bjarni Jónsson, 2007; Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson, 1996). Þar sem búsvæðin eru fjölbreytt getur myndast breytileiki í útliti og vistfræði innan tegunda, en það tengist fjölbreytileika visfræðilegra þátta, erfðafræðilegum og útlitsfræðilegum fjölbreytileika, sem tilkominn getur verið vegna staðbundinna aðlagana og/eða sveigjanleika í svipfari (phenotypic plasticity) (Skúlason o.fl., 2019).

Eitt af þekktustu og mest rannsökuðu vötnum Íslands er Mývatn. Vitað er að fyrir um 2.300 árum rann Laxárhraunið yngra yfir Laxár- og Aðaldal. Þetta hraun myndaði að stórum hluta Mývatn og því er hægt að segja að það sé 2.300 ára gamalt. Fyrir var stöðuvatn sem endurmótaðist í það Mývatn sem við þekkjum í dag. Mývatn er langstærsta lindasvæði á Norðurlandi. Þar streyma um það bil 32 rúmmetrar af vatni fram á hverri sekúndu úr ótal lindum samkvæmt rannsókn sem Árni . Þar sem lítið sem ekkert ofanjarðarrennsli er að finna á þessu svæði er vatnsrennslið mjög jafnt (Árni Einarsson o.fl., 2016).

Mývatn er 37 km² að stærð og er skipt í tvo aðal flóa. Ytri flóa (8,5 km²) og Syðri flóa (28,2 km²). Einnig hefur verið skilgreint svæði austast í vatninu, með nokkra sérstöðu vegna jarðfræði og vistfræði í botni (Árni Einarsson o.fl., 2004). Ytri flói er dýpri (dýpst 5,5 metrar) en Syðri flói (4 metrar), en það er út af námugreftri á svæðinu frá 1967 til 2004. Að austanverðu Mývatni streymir lindarvatn inn, heitt vatn (allt að 30°C) nyrst en fer svo kólnandi og syðst koma fram lindir í kringum 5°C. Einnig er mismunur á milli flóanna þegar horft er til lífrænna þátta, eins og gerðar gróðurs, plöntusvifs, dýrasvifs og þéttleika rykmýs, hornsíla og fugla (Millet o.fl., 2013).

Enn fremur er hægt er að skipta Mývatni upp í fimm búsvæði þegar horft er til gróðurfars/botngerðar vatnsins, fjölda vatnaflóa (*Cladocera*) og hitastigs. Heita búsvæðið er í Ytri flóa og einkennist af innstreymi heits vatns, hrauns og kísilleðju með nykru (*Potamogeton filiformis*) á víð og dreif. Þar er hitastigið í kringum 20-23°C en á öðrum búsvæðum er meðalhitinn á sumrinn 11-13°C, en kaldara á veturna. Í Ytri flóa er einnig það svæði þar sem námagröftur dýpkaði vatnið, þar er vatnið dýpst, mikil leðja, engin gróður og að hluta til loftfirrt búsvæði. Nykru búsvæðið er á grunnnum svæðum (mest í Ytri flóa og í norður hluta Syðri flóa) þar sem nykra er megin botngróðurinn. Kúluskíts (*Cladophora aegagrophila*) búsvæðið er stórt svæði í Syðri flóa þar sem mikið er af leðju en einnig eru blettir af grænþörungum (Millet o.fl., 2013). Þetta búsvæði hefur hinsvegar verið að minnka

mikið á síðustu árum (Árni Einarsson óbirtar niðurstöður). Fjöru/Kalda búsvæðið er allt í kringum vatnið, utan heitu svæðanna og nær þar grjótbótin niður á um eins meters dýpi, þar sem tekur við gróður (Millet o.fl., 2013).

Ein af mest rannsókuðustu lífverum Mývatns eru hornsíli (*Gasterosteus aculeatus*) (Gísli Már Gíslason o.fl., 1998). Þau finnast á öllu noðurhveli jarðar og hafa þau sennilega komið til landsins fyrir 10.000 árum. Hornsíli eru dæmi um tegund sem nýtir sér þau fjölbreyttu búsvæði sem finnast hér á landi. Þau finnast í fersku vatni, köldu sem heitu, í vötnum, pollum, ám og lækjum, jökulvatni og jafnt þar sem gróður er lítill eða mikill. Þar sem þau hafa fjölbreytt búsvæði hafa myndast mismunandi stofnar sem hafa sín sérkenni, í útliti, lífsögu, atferli o.fl. (Eik Elfarsdóttir og Bjarni Jónsson, 2007).

Samkvæmt rannsókn Gísla Márs Gíslason o.fl. (1998) var heildarfjöldi hornsíla um 1.4 milljarðar í Mývatni. Sem þýðir að hornsíli eru stærsti fiskistofn í Mývatni, stærri en stofnar bleikju (*Salvelinus alpinus*) og urriða (*Salmo trutta*) í bæði fjölda og í lífmassa (Gísli Már Gíslason o.fl., 1998). Lífsferill hornsíla er tvö ár, flestir tveggja ára fiskar hrygna í júlí og deyja síðan (Árni Einarsson o.fl., 2004).

Þegar mismunandi búsvæði er að finna í sama vatni getur mikill breytileiki komið fram innan og milli stofna hornsíla, svo sem breytingar í fæðu, útliti og á varnarbrynju (Peichel et al., 2001). Oft er hægt er að skipta hornsílum í tvo megin hópa, botnlæg og sviflæg hornsíli, en þessi hópar finnast þó ekki hér á landi. Þessi skipting byggist m.a. á mismun í fjölda og lengd tálknatinda og fjölda plantna í varnarbrynjunni (Hatfield, 1996). Botnlæg hornsíli, sem halda sér nálægt botninum, nærast á hyggleysingjum oft nálægt ströndum og hafa færri bein í varnarbrynju og einnig færri tálknatinda, til að síða betur út leðju sem kemur með fæðunni. Sviflæg hornsíli líkjast forfeðrunum sjávarhornsílum, hafa stærri varnarbrynju, lengri og grennri líkama og fleiri tálknatinda. Fæða botnlægra hornsíla eru smáir hryggleysingar sem finnast við og í kringum stendur en fæða sviflægu hornsíla er dýrasvif í opnu vatninu. Að vera með fleiri og stærri tálknatinda er aðlögun að því að nærast á dýrasvifi, en að vera með færri og smærri er aðlögun að áti á botndýrum (Peichel et al., 2001; Glazer et al., 2014). Megin fæða hornsíla er rykmýslirfu, vatnaflær, flugur/púpur og skelkrabbi (Millet o.fl., 2013).

Hornsíli eru góð módel tegund fyrir skilning á þróunarvístfræði. Gott getur verið að skilja betur þróunarfræðilega ferla með því að rannsaka þá í einföldum búsvæðum þar sem fáar tegundir eru, og jafnframt að saga búsvæðisins og tegundarinnar sé vel þekkt. Í þróunarvístfræði er verið að skoða samband svipgerðar (phenotype), umhverfis og hæfni (fitness) til að skilja fjölbreytileika svipgerða innan og milli stofna og tegunda. Með því að beita líkani um tengsl vist (eco) og þróunarfræði (evo) og hvernig samverkun (dynamics) þeirra er háttað má sjá hvernig þróun mótar svipgerðina og hvernig svipgerðin getur mótað vistfræðilega þætti. Sést hefur að miklar breytingar í svipgerð geta átt sér stað á aðeins fáum kynslóðum. Því má segja að þróun og vistfræðilegir þættir vinni sterkt saman á svipuðum tímaskala (Skúlason o.fl., 2019). Þessar svipgerðarbreytingar sjást innan og milli stofna tegundar og geta verið fyrstu skref tegundamyndunar (Snorrason og Skúlason, 2004). Eins og sagt er að ofan geta hornsíli verið fjölbreytt innan sama svæðis, t.d. í British Columbia, Kanada finnast nokkur vötn með lítið innstreymi og útstreymi. Þar er hægt að finna bæði botnlæg og sviflæg hornsíli innan vatnanna. Mikið hefur verið rannsakað aðgreiningu á milli þeirra og sést hefur að aðgreiningin er sterkari þegar samanborið er botnlæg og sviflæg hornsíli heldur en þegar horft er til aðgreiningu gagnvart búsvæðum og fæðu, sem eru oft árstíðabundin. Þessi mismunur hefur sterk tengst við erfðir hornsíla en umhverfið eykur

undir útlitsbreytileika sem ýtir undir aðskilnað. Einnig hefur sést að hornsíli makast við önnur sem eru lík þeim (jákvætt makaval) og því lítið af blendingum, sem enn eykur aðskilnað hornsílagarðanna. Valið er gegn blendingum þar sem svipfar tengist fæðuvali og hornsíli dafna betur á þeim búsvæðum sem hentar þeim og því er ekki er gott að vera blendingu með svipgerð sem hentar engum búsvæðum (Smith og Skúlason, 1996). Hér á Íslandi er oftast horft til breytileika hjá botnlægum hornsílum, oft tengt hraun- eða mjúkum botni (Kristjánsson o.fl., 2002).

Með því að rannsaka útlit hornsíla og bera það saman við búsvæðin sem þau veiddust á má leggja mat á hvort að líklegt megi telja að hornsílastofnar Mývatns séu að bregðast við umhverfisbreytileika, sem gæti gerst með vali á búsvæðum tengdu útlit, þróunarfræðilegri aðlögun eða sveigjanlegu svipfari. Í þessari rannsókn mun vera skoðaður mismunur í útliti hjá bæði hængum og hrygnum. Sérstaklega verður skoðaður munur á útliti tálknatinda hornsíla frá ólíkum búsvæðum í Mývatni og hvort sá breytileiki sem sést tengist fæðuvali þeirra. Hægt er að setja fram þær tilgátur að (1) hornsíli sem nærast á sviflægum (pelagic) og botsviflægum (epibenthic) krabbadýrum hafa minna bil á milli tálknatinda, en þau sem nærast á botnlægum smádýrum (krabbadýr og skordýr) og (2) að hornsíli af hverju búsvæði nærast á svipaðri fæðu og hafi því svipaða byggingu tálknatinda, sem endurspeglar aðlögun þeirra að þeim búsvæðum.

2 Aðferðir

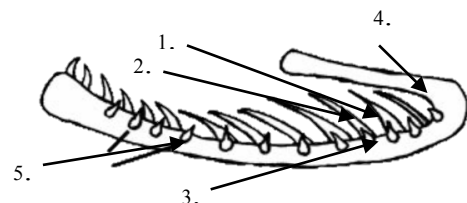
Fiskarnir sem notaðir voru í rannsókninni voru veiddir árið 2011 í Mývatni, við hefðbundna vöktun hornsílastofna vatnsins, þar sem sílin eru veidd á sex stöðvum innan vatnsins og tveimur stöðvum við strönd þess. Fiskarnir voru veiddir í hornsílagildrur (Minnow traps), fimm gildrur á hverri stöð. Veitt var að degi (12 tíma) og yfir nótt (12 tímar). Fiskarnir voru frystir eins fljótt og auðið var eftir að þeir höfðu verið veiddir, en voru þýddir fyrir lengdar og þyngdarmælingar og varðveittir í 5% hlutleystu formalíni. Allir fiskar sem skoðaðir voru í þessu verkefni voru stærri en 35 mm, fyrir utan að einn fiskur var 30 mm. Teknir voru fiskar frá helstu stöðvum í Mývatni. Nokkuð ólíkur fjöldi fiska veiddist á mismunandi stöðvum. Aðeins hrygnur veiddust á stöðvum 124 og 128, samtals 16. Ekki veiddist mikið á stöðvum 135, DN, 23 og 44, samtals 13 hængar og 17 hrygnur. Í stöðvum CS og HS2 var mest veitt af hængum, í heildina veiddir 54 hængar og 9 hrygnur. Heildarfjöldi hornsíla í þessari rannsókn er því 67 hængar og 45 hrygnur. (Tafla 3.1).

Á rannsóknarstofu voru fiskarnir ljósmyndaðir (Canon EOS 250D). Þeir voru settir á petri disk með vaxi þannig að hægt væri að staðsetja fiskinn betur og opna ugga og gadda. Á disknum var mælistika og einstaklingsmerking. Vinstri hlið fiskanna var ljósmynduð og pinnar settir í hvern ugga og sporðinn til þess að þeir héldust beinir. Eftir að myndirnar voru teknar af öllum fiskunum voru þeir krufðir.

Krufning hornsíla hófst á vigtun (í grömmum $\pm 0,01$), lengdar mælingu (í millimetrum ± 0) og ljósmyndun (Canon EOS 250D). Þau voru lögð með kviðinn upp og klippt var frá Anus og til kjálka, maginn og görn fjarlægð og lengdar mæld (í millimetrum með ± 0). Ef egg eða/og snýkjudyúr voru til staðar voru þau einnig fjarlægð. Að lokun var fiskurinn vigtaður aftur. Fiskurinn, maginn, egginn og snýkjudyúrin voru merkt og varðveitt í 95% alkohóli.

Næst voru fiskarnir beinlitaðir til að draga fram útlit þeirra. Byrjað er á að aflita þá með lausn sem innihélt 60% kalíumhýdroxíð (1% KOH) og 40% vetnisperoxíð (3% H₂O₂). Þegar fiskarnir voru orðnir hvítir og með brún augu voru þeir skolaðir með 1% KOH og litnum (alizarin rauður í 1% KOH) bætt í. Þegar liturinn hafði verið á fiskunum í kringum 1-2 klst (fer eftir styrk litarlausnar) var hann fjarlægður og 1% KOH lausn bætt út í til að losa alla litarlausn úr fiskunum. Vatn var síðan látið renna á þá yfir nótt. Eftir litun voru fiskarnir ljósmyndaðir aftur.

Fyrsti tálknaboginn var síðan fjarlægður af vinstri hlið undir víðsjá, með því að lyfta upp tálknlokinu (*operculum*). Byrjað var á því að losa um styttri tálknabogann (*ventral*) og síðan lengri (*dorsal*), þá var tálknaboginn laus. Tálknaboginn var merktur og varðveittur í 95% alkohóli. Litunin tókst ekki nógu vel í upphafi og því þurfti að lita hvern tálknaboga fyrir sig aftur með sömu aðferð og fyrir heilu fiskana nema hvert skref var styttra, fyrri litun tók um það bil einn klukkutíma en sú seinni tók



Mynd 2.1: Skýringarmynd af tálknaboga í hornsíli sem sýnir 1. annar tálknatind, 2. þriðji tálknatind, 3. bilið á milli annars og þriðja tálknatinds, 4. styttri tálknaboginn og 5. lengri tálknaboginn (Peichel o.fl., 2001).

nokkrar mínútur. Eftir þá litun var hver tálknabogi settur á milli tveggja glerplatna undir víðsjá (Leica M165 C) og ljósmyndaður (Leica MC170 HD). Myndirnar voru síðan færðar yfir á forritið ImageJ (ImageJ, 2012) og þar voru tálknatindar tvö og þrjú og bilið á milli þeirra mæld (*Mynd 2.1*). Ég tók þrjár mælingar af hverri breytu og vann svo með meðaltal þeirra til þess að draga úr líkum á mistökum við mælingar.

Magainnihaldið var greint undir víðsjá. Maginn var skorinn upp og innihaldið sett á petridisk með 95% alkóhóli. Innihaldið var greint til hóps (eins lágt og hægt var, en það fór töluvert eftir hópum og hversu melt fæðan var hversu nákvæmlega var hægt að greina). Einstaklingar voru svo taldir og varðveittir í glerglösum með 95% alkóhóli. Til að komast að fjölda voru augu flugna/púpa talin og deilt í með tveimur, höfuðkúpur *Orthocladinae*, *Chrionomini*, og skildir krabbadýra *Cladocera*, *Copepod* og *Ostracod* voru talinn. Maginn og glerglös voru merkt og síðan sett saman í 95% alkóhól.

Niðurstöðurnar voru skráðar inn í Excel (Microsoft Corporation, 2018) og þær færðar í R (RStudio, 2009). Öll gröf voru fengin með R (RStudio, 2009). Til þess að kanna mismun tálknabyggingar og magainnihalds var fiskunum skipt upp eftir þeim búsvæðum. Heita búsvæðið er HS2 stöðin, kalda búsvæðið er CS stöðin, kúluskíts búsvæði eru stöðvar 23 og 44, námu búsvæðið er 124, nykru búsvæðið eru stöðvar 128, 135 og DN (*Tafla 3.1*).

Kannað var hvort samband væri milli breyta fyrir líkamsbyggingu hornsílanna (lengd, þyngd, lengd tálknatinda tvo og þrjú og bilið á milli þeirra) með Pearson test í pakkanum "ggpubr". Myndir voru teiknaðar með ggplot í pakkanum "ggplot2" (Kassambara, 2020). Fyrir tölulegagreiningu var notast við MANOVA og adonis með pökkunum "dplyr" og "vegan" í R. MANOVA var notað til þess að kanna samband beinabyggingar í tálknaboganum við búsvæði, lengd og kyn. Sambandið var teiknað upp með boxplot. Adonis var notað til að kanna samband milli magainnihalds og lengdar, búsvæðis, kyns, og tálknabyggingar. Það samband var teiknað upp með ordihull og orditorp í pakkanum "vegan". Til þess að draga saman líkamsbyggingu og magainnihaldið var notuð envfit sem er einnig í pakkanum "vegan" (Wickham o.fl., 2020; Oksanen o.fl., 2020)

3 Niðurstöður

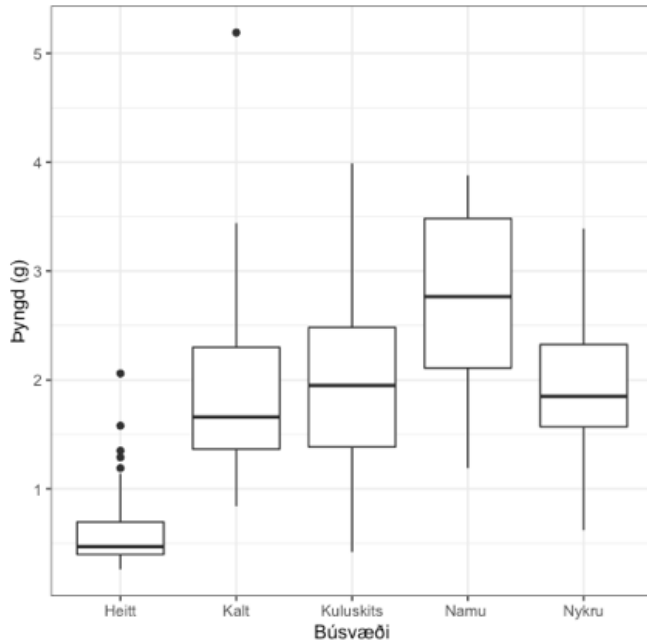
Í töflunni hér fyrir neðan (*Tafla 3.1*) má sjá hvernig heildarfjöldi hornsíla í þessari rannsókn skiptast á milli stöðva, búsvæða, fjöldi hænga og hrygna og hlutfallið þar á milli. Neðsta línan í töflunni sýnir heildarfjölda fiska, heildarfjöldi hænga og hrygna og heildar hlutfall.

Tafla 3.1: Fjöldi veiddra hornsíla í Mývatni eftir stöð og búsvæði og einnig hlutfall milli karlkyns og kvenkyns fiska.

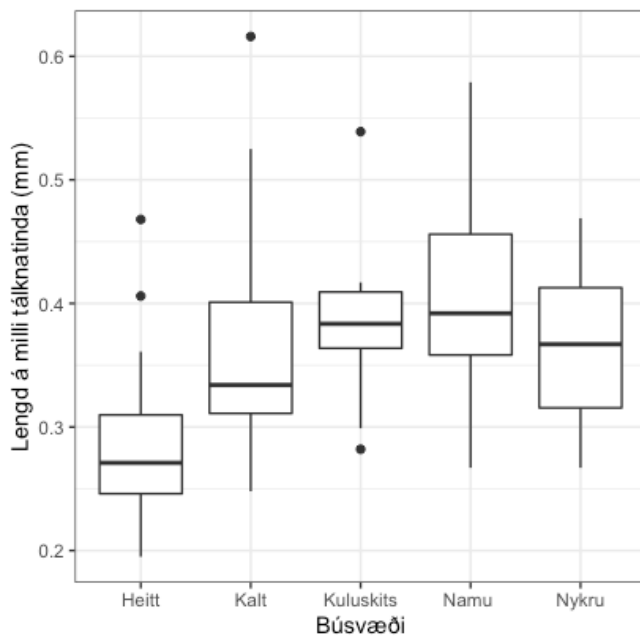
Fjöldi fiska	Stöð	Búsvæði	Fjöldi hænga	Fjöldi hrygna	Hlutfall (kk/kvk)
10	124	Námu	0	10	0/100%
6	128	Nykru	0	6	0/100%
8	135	Nykru	5	3	62,5%/37,5%
9	DN	Nykru	4	5	44,4%/55,6%
1	23	Kúluskíts	1	0	100%/0
15	44	Kúluskíts	3	12	20%/80%
31	CS	Kalda	26	5	83,9%/16,1%
32	HS2	Heita	28	4	87,5%/12,5%
112	-	-	67	45	59,8%/40,2%

3.1 Mælingar á fiskum

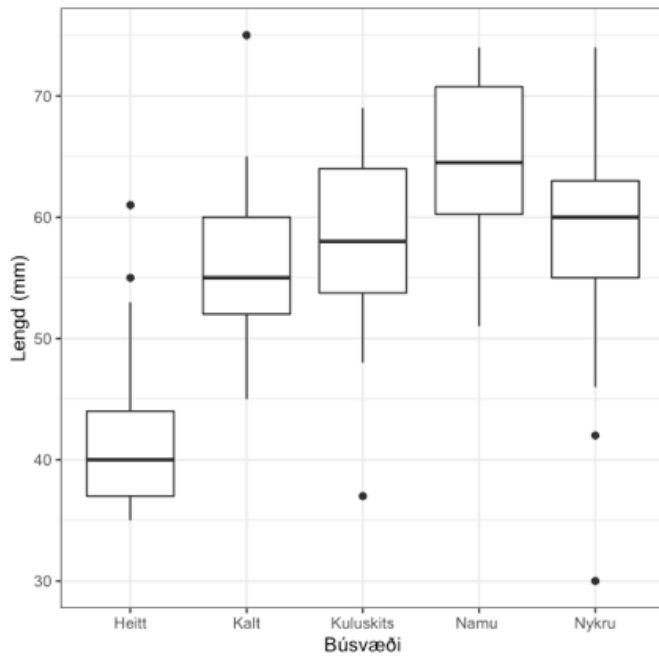
Fiskarnir voru mældir og vigtaðir. Meðaltal af þyngd, lengdin á milli tálknatinda tvo og þrjú og heildarlengd var sett upp í boxplot í R (Mynd 3.1, 3.2 og 3.3) og skipt upp eftir búsvæðum (sjá Tafla 3.1).



Mynd 3.1: Dreifing þyngdar hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Sílin í namu búsvæðinu voru að meðaltali þyngri en síli frá öðrum stöðvum

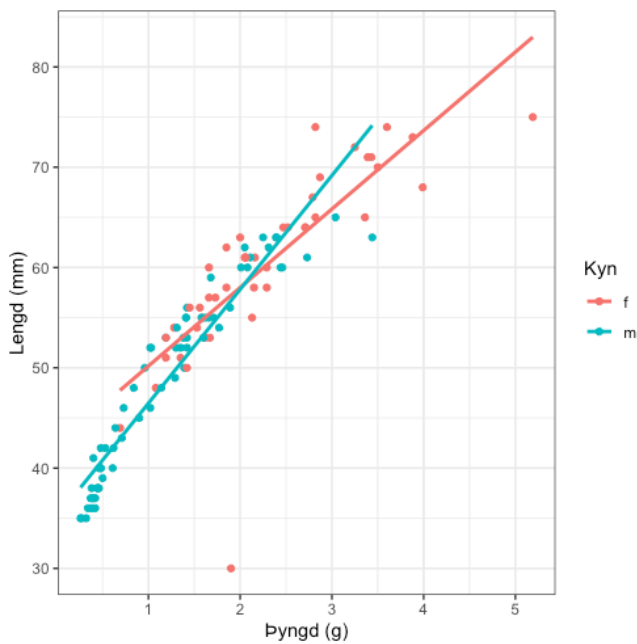


Mynd 3.2: Dreifing lengdar á milli tálknatinda tvö og þrjú hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Meðallengd tálknatindanna var meiri hjá sílum úr namu búsvæðinu.

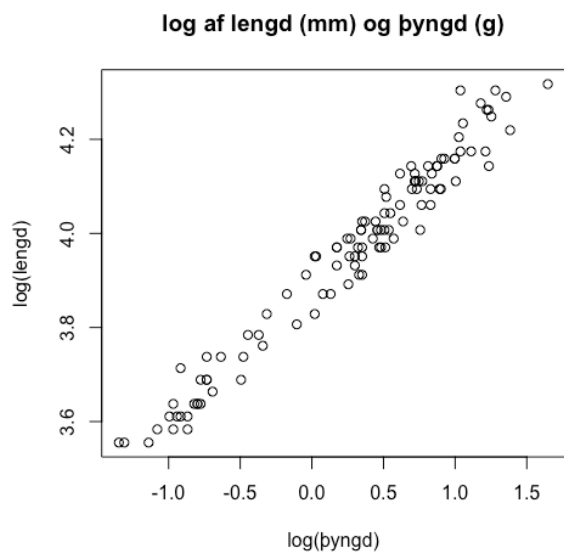


Mynd 3.3: Dreifing lengdar hjá hornsílum á milli búsvæðanna í Mývatni. Mest var meðallengdin hjá sílum á námu búsvæðinu.

Til að kanna samband milli lengdar og þyngdar voru gögnin sett upp í graf (Mynd 3.4). Einnig var kannað samband log af lengd og þyngd (Mynd 3.5).

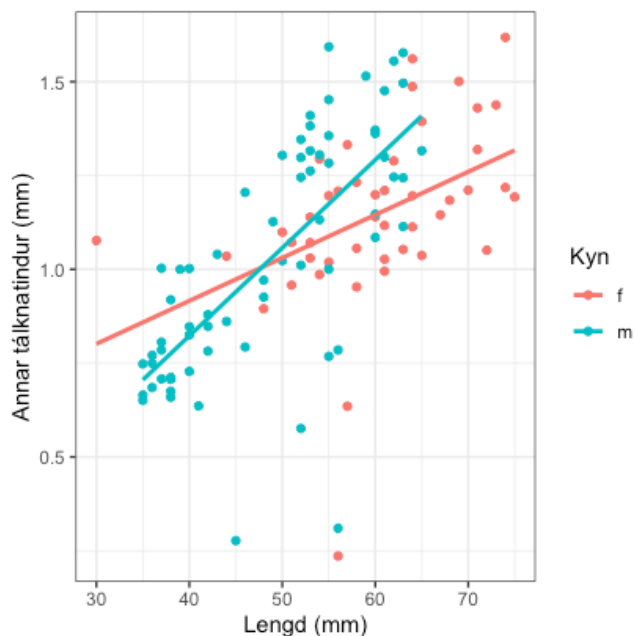


Mynd 3.4: Heildarlengd og þyngd hornsíla í Mývatni. Litað eftir kyni, rautt (kvenkyn) og blátt (karlkyn). Linulegt samband var á milli lengdar og þyngdar hjá hrygnum en ekki hængum ($F_{1,105}=282,3$, $P=0,000$)

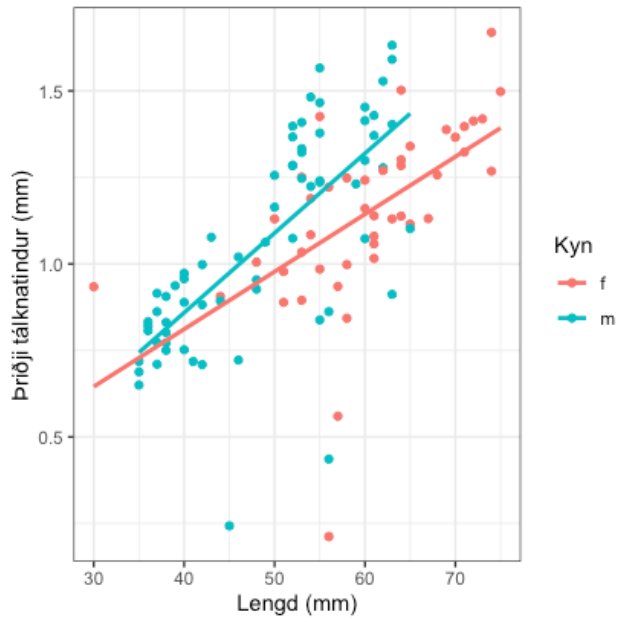


Mynd 3.5: log tekið af lengd (mm) og þyngd (g) hornsíla í Mývatni. Sambandið er línulegt. Eitt frávik var greinilegt og var því það síli fjarlægt.

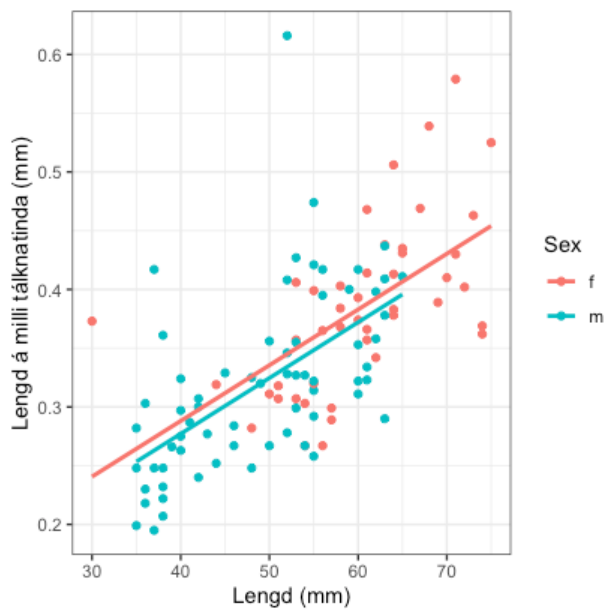
Kannað var samband milli tálknatinda tvö og þrjú og lengdina á milli þeirra gagnvart heildarlengd (Mynd 3.6, 3.7 og 3.8).



Mynd 3.6: Annar tálknatindur hornsíla í Mývatni borið saman við lengd þeirra. Samband er á milli lengds annars tálknatinds og heildarlengd fisksins, $F_{1,105} = 29,3, P=0,000$

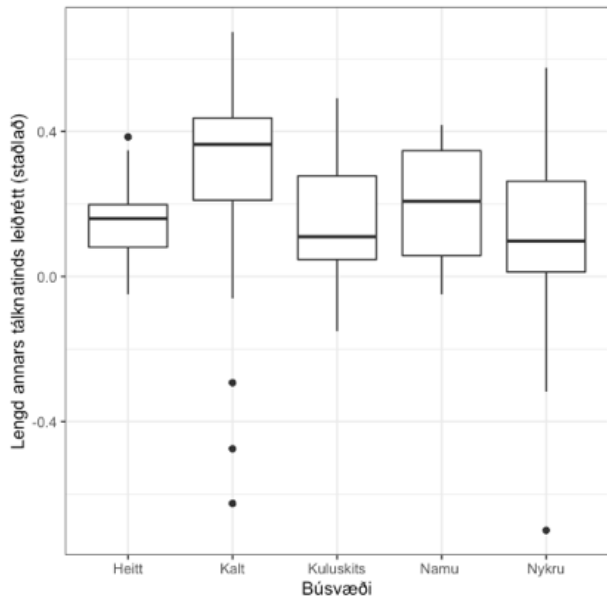


Mynd 3.7: Þriðji tálknatindur hornsíla í Mývatni borið saman við lengd þeirra. Samband er á milli lengds þriðja tálknatinds og heildarlengd fisksins, $F_{1,105} = 42,9$, $P=0,000$.

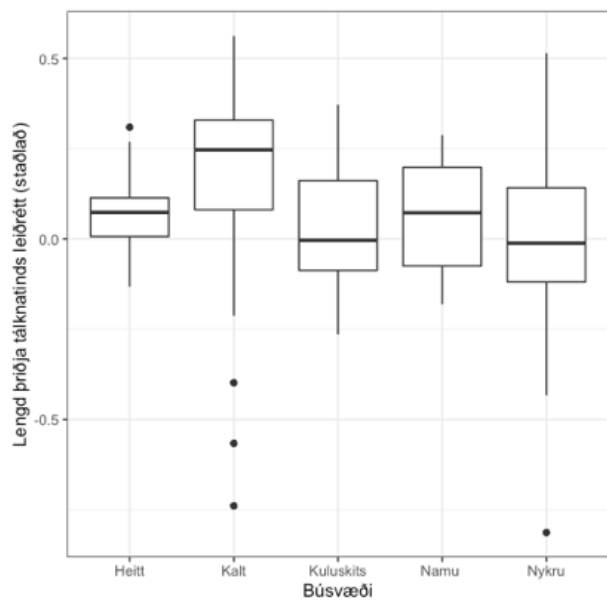


Mynd 3.8: Lengd á milli tálknatinda tvo og þrjú á móti heildarlengd hornsíla í Mývatni. Greinilegt samband er á milli lengds á milli tálknatinda og heildarlengd sílanna, $F_{1,105} = 30,6$, $P=0,000$.

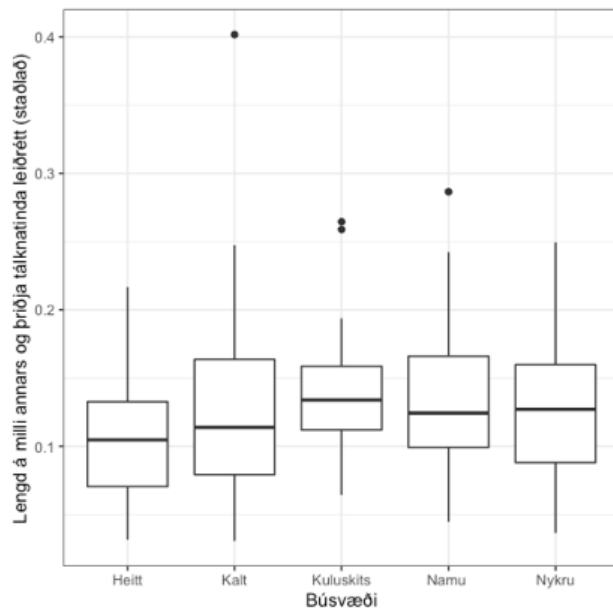
Til þess að hægt sé að bera saman gögnin þurfa þau að vera stöðluð gagnvart breytileika í stærð. Það er gert með því að reikna út leifar í MANOVA greiningunni. Greinilegur munur var í lengd tálknatinda milli búsvæða eftir að leiðrétt hafði verið eftir stærð silanna. Gögnin voru síðan sett upp í boxplot í R (Mynd 3.9, 3.10 og 3.11).



Mynd 3.9: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd tálknatinds tvö, skipt upp eftir búsvæðum. Mesta meðallengd annars tálknatinds var í kalda búsvæðinu. Samband var á milli tálknatinds tvo og búsvæða, $F_{4,105}=11,9$, $P=0,000$. Ekki var samband á milli tindsins og kynja, $F_{1,105}=1,2$, $P=0,284$.

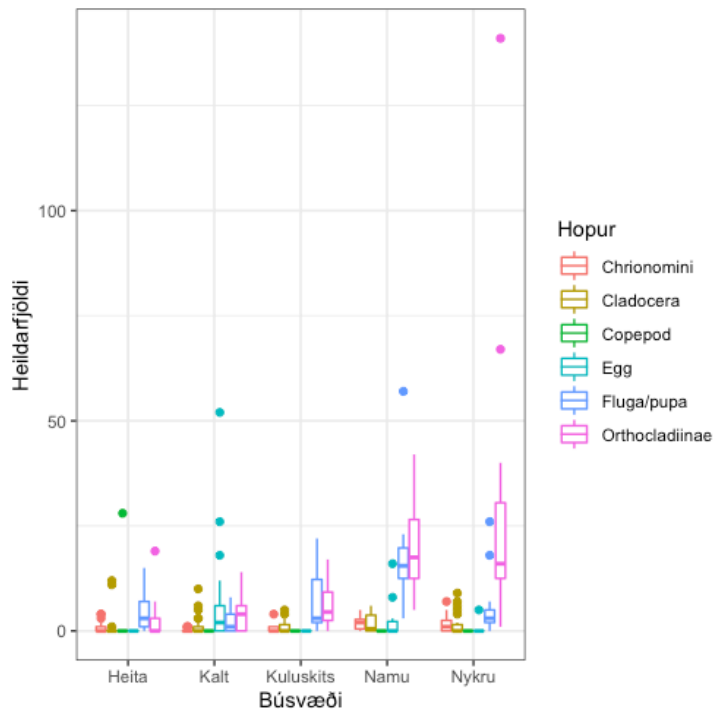


Mynd 3.10: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd tálknatinds þriðju, skipt upp eftir búsvæðum. Mesta meðallengd þriðja tálknatinds var í kalda búsvæðinu. Samband var á milli tálknatinds þriðju og búsvæða, $F_{4,105}=16,3$, $P=0,000$. Ekki var samband á milli tindsins og kynja, $F_{1,105}=2,8$, $P=0,098$.



Mynd 3.11: Niðurstöður úr manova settar upp á myndrænt form. Hér er búið að staðla lengd bilsins á milli tálknatinds tvö og þrjú, skipt upp eftir búsvæðum. Minnsta bilið var hjá fiskum á heita búsvæðinu og mesta var hjá fiskum í kuluskítis búsvæðinu. Samband var á milli búsvæða, $F_{4,105} = 14,5$, $P = 0,000$. Ekki var samband á milli kynja, $F_{1,105} = 0,3$, $P = 0,583$.

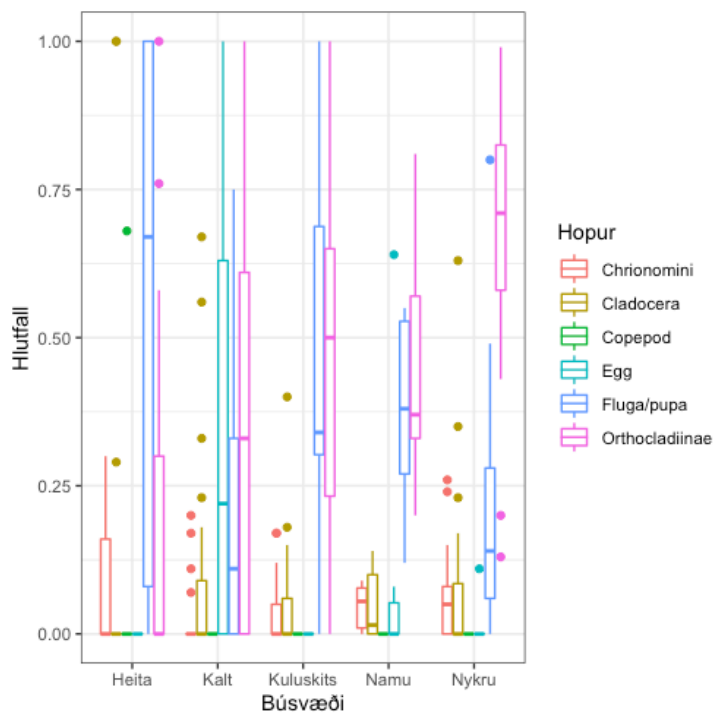
3.2 Mælingar á magainnihaldi



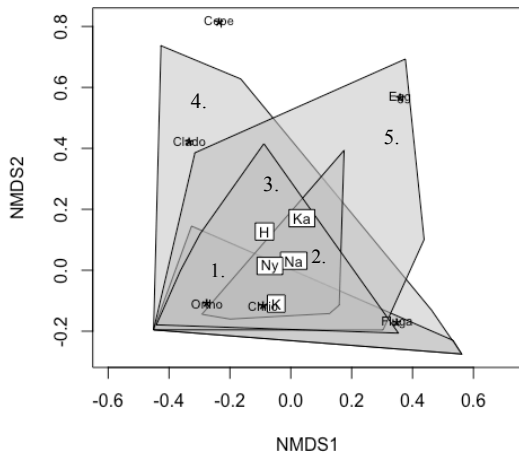
Magainnihaldið var greint og sett upp í Boxplot í R. Aðeins einn magi innihélt Copepoda (*Mynd 3.12*). Til þess að sjá hversu fjölbreytt fæðan var á milli búsvæða var hlutfall fæðuhópa af heildarinnihaldi hvers maga reiknað (*Mynd 3.13*).

Fyrir þessa greiningu voru fiskar sem innihéldu enga fæðu teknar úr. Aðeins 95 hornsíli innhéldu fæðu, af heildarfjölda 112. Tveir fiskar í Kalda búsvæðinu innhéldu ekki fæðu og í Heita búsvæðinu voru þeir 14 talsins.

Mynd 3.12: Heildarmagn hvers hóps í magainnihaldi í hornsílum, skipt upp eftir búsvæðum í Mývatni og litað eftir hvorum hóp fyrir sig.



Mynd 3.13: Hlutfall hóps eftir innihaldi hvers maga hornsíla, skipt upp eftir búsvæðum í Mývatni og litað eftir hverjum hóp fyrir sig.

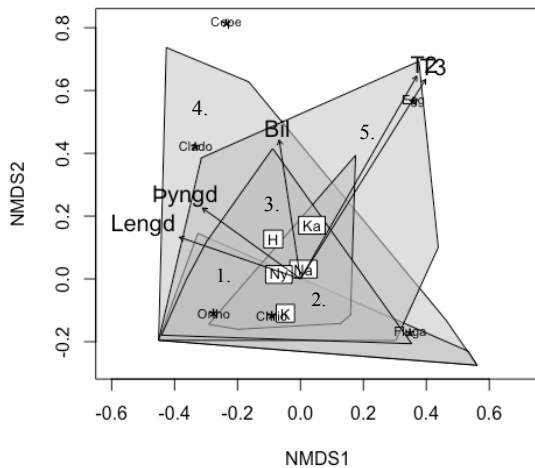


Til þess að sýna samband fæðu og búsvæða voru notuð föllin ordihull og orditorp í R (Mynd 3.14). Út úr myndinni má sjá að hornsíli í Kúluskíts búsvæðinu hafa ekki eins fjölbreytta fæðu og þau í Heita og Kalda búsvæðinu, en hornsíli frá engri stöð skera sig úr, hvað fæðu varðar.

Mynd 3.14: Samband milli búsvæða og magainnihalds hjá hornsílum í Mývatni. Merkingar: 1. Kúluskíts búsvæðið (K), 2. Námu búsvæðið (Na), 3. Nykru búsvæðið (Ny), 4. Heita búsvæðið (H), 5. Kalda búsvæðið (Ka) Orthocladinae (Ortho), Chironomini (Chiro), Fluga/púpa (Fluga), Cladocera (Clado), Hornsilaegg (Egg) og Copepod (Cope).

3.3 Tengslin á milli mælinga og magainnihalds

Til þess að kanna samband búsvæða, magainnihalds og líkamsbyggingar hornsíla var útlit tálknatinda tengt fæðu teiknuð upp sem sýndi þau tengsl (Mynd 3.15).



Sjá má að svo virðist sem stærri hornsíli séu frekar að éta krabbadýr, og það sama á við um hornsíli sem eru með stærra bil á milli tálknatinda, tengist þetta að einhverju leyti Heita búsvæðinu. Lengri tálknatinda tvö og þrjú tengist verulega og svo virðist sem hornsíli sem hafa lengri tálknatinda éti meira af eggjum, en minna af botnlægum mýlirfum. Síli með lengri tálknatinda virðast frekar finnast á Kalda búsvæðinu (Mynd 3.15).

Mynd 3.15: Samband milli búsvæða, magainnihalds og líkamsbyggingu hornsíla í Mývatni. Merkingar: 1. Kúluskíts búsvæðið (K), 2. Námu búsvæðið (Na), 3. Nykru búsvæðið (Ny), 4. Heita búsvæðið (H), 5. Kalda búsvæðið (Ka), Orthocladinae (Ortho), Chironomini (Chiro), Fluga/púpa (Fluga), Cladocera (Clado), Hornsilaegg (Egg), Copepod (Cope), tálknatindur tvo (T2), tálknatindur þrjú (T3).

4 Umræður

4.1 Líkamsbygging hornsíla

Þyngd, lengd á milli tálknatinda tvö og þrjú og heildarlengd hornsíla er mismunandi á milli búsvæðanna, minnst hjá sílum í heita búsvæðinu og mest hjá þeim í námu búsvæðinu (*Mynd 3.1, 3.2 og 3.3*). Fyrri rannsóknir hafa sýnt að á stöðvum í Ytri flóa (námu og nykru búsvæðið) finnast að meðaltali stærri hornsíli en í Syðri flóa (kúluskíts og kalda búsvæðið). Smæstu hornsílin hafa svo fundist á heita búsvæðinu (Millet o.fl., 2013). Sama má segja um niðurstöður úr þessari rannsókn. Mismuninn í þyngd og lengd á milli Ytri og Syðri flóa má mögulega tengja við mismunandi lífsögu milli svæðanna og þéttleika rándýra. Þyngd má einnig tengja við þéttleika sjálfra hornsíllanna, í Ytri flóa eru mun fleiri hornsíli (100-200 fiskar/m²) en í Syðri flóa (0.1-50 fiskar/m²). Einnig er þéttleiki rándýra mun meiri í Ytri flóa. Þar sem tengsl eru á milli lengdar á milli tálknatindanna og lengd hornsíllanna (*Mynd 3.8*) er skiljanlegt að bilið sé minna hjá heita búsvæðinu og mest hjá námu búsvæðinu (*Mynd 3.2*). Ef leiðrétt er fyrir lengd hornsíllanna má sjá að tálknatindar eru hlutfallslega lengri hjá hornsílum í kalda búsvæðinu (*Mynd 3.9 og 3.10*) og bilið á milli tálknatindanna er lengst hjá hornsílum í kúluskíts búsvæðinu en minnst hjá þeim í heita búsvæðinu (*Mynd 3.11*). Í þessari rannsókn mun hinsvegar áherslan vera á botn aðlaganir og fjölbreytileika, ekki á sjálft sviflæga útlitið. (Millet o.fl., 2013).

Samanburður á lengd og þyngd hornsíllanna í Mývatni sýnir samband þar á milli (*Mynd 3.4*). Samband á milli lengdar og þyngdar er mismunandi á milli tegunda fiska. Þetta samband tengist lögun líkamans og ástand hvers einstaklings. Segja má að þeir fiskar sem eru undir aðhvarfslínunni séu fremur léttir/grannir og þeir fyrir ofan aðhvarfslínuna eru feitari. Ástand búsvæðis og hvers einstaklings er breytilegt eftir árstíðum og á milli ára. Einnig er mikilvægt hvenær fiskarnir voru veiddir, þar sem þroskun kynkirtla hefur áhrif á fiskinn. Fiskarnir voru veiddir á fengitíma og því eru hrygnurnar þungar, þær eru fullar af hrognum (Schneider o.fl., 2000).

Eins og bilið á milli tálknatindanna eru tálknatindarnir sjálfir í tengslum við heildarlengd fisksins (*Mynd 3.6 og 3.7*). Hins vegar eru hængar með hlutfallslega lengri tálknatinda en hrygnur, en þeir eru að meðaltali styttri en hrygnurnar. Kenning er til um að hængar séu með hlutfallslega lengri tálknatinda og annað fæðuöflunarútlit til þess að bæta upp fyrir það að vera minni en hrygnurnar, en þurfa samt að éta úr sömu fæðuvist (Antoine Millet o.fl., 2013).

Til þess að hægt sé að bera saman hornsíli af mismunandi stærðum þarf að staðla fyrir stærð þeirra, það er gert með því að nota leifar úr MANOVA. Eftir stöðlun má sjá að bæði annar og þriðji tálknatindar eru hlutfallslega minnstir í heita, kúluskíts og nykru búsvæðunum og lengstir hjá hornsílum í kalda búsvæðinu (*Mynd 3.9 og 3.10*). Mesta fjölbreytni í lengd mátti sjá hjá sílum í kalda og nykru búsvæðinum. Ef horft er til lengd á milli tálknatindanna er það minnst hjá hornsílum í heita búsvæðinu og lengst hjá sílum í kúluskíts búsvæðinu (*Mynd 3.11*). Lengdin á milli tálknatindanna hjá námu, nykru og kalda búsvæðanna er fremur jaft (*Mynd 3.11*). Það að lengdin sé minnst hjá hornsílum í heita búsvæðinu bendir til þess að þau síli séu að síja fæðu betur úr vatninu, skritið er þó að þessi síli hafi ekki lengstu tindana á sama tíma. Það að lengdin sé mikið hjá hornsílum á kúluskíts

búsvæðinu þýðir að ekki þurfi að sía fæðuna mikið, sílin á því svæði séu minna að éta svif en meira í að ná fæðu úr leðjunni.

Hér má því segja að líkamsbygging hornsíla sé mismunandi á milli búsvæða og megi tengja það að einhverju leiti við hvernig hornsílin afla sér fæðu og hvernig fæða það er.

4.2 Magainnihald

Með því að skoða heildarfjölda hvers fæðuhóps í magainnihaldi hornsíla má leiða einhverjar líkur að því hvar hver hópur finnist í Mývatni (*Mynd 3.12*). Fyrir þessa rannsókn var notað hlutfall fæðuhóps af heildarinnihaldi hvers maga fyrir sig og þannig er hægt að leiðrétta fyrir bæði stærð fisksins og magni í hverjum maga, þeir fiskar sem höfðu tóma maga voru ekki teknir með í þær greiningar (*Mynd 3.13*).

Í heita búsvæðinu er hraunbotn, sem þakinn er lítt grónu botnseti og því er líklegt að ekki sé mikið um breytileika í fæðu. Megin fæða hjá sílum á því svæði var flugur/púpur sem líklega eru tekur í og við yfirborð, auk þess innihéldu magarnir lágt hlutfall af *Chironomini* og *Orthocladinae* lirfum. Aðeins einn fiskur hafði étið árfætlur (*Copepod*) og nánast ekkert annað og einn fiskur hafði aðeins étið krabbaflær (*Cladocera*). Á svæðum þar sem botninn er einsleitur þurfa síli að leita meira í fæðu í sjálfu vatninu, í svifi eða á yfirborði. Í kalda búsvæðinu var breytileiki í fæðu, þar var meginfæðan egg (líklegast hornsílaegg), flugur/púpur og *Orthocladinae* lirfur. Kalda búsvæðið hefur gróður og steinríkan botn, krabbaflær (*Cladocera*) finnast oft á gróðri, eða rétt ofan við botn, flugur/púpur eru teknar úr vatnsbolnum eða af yfirborði og *Orthocladinae* lirfur finnast í botnsetinu. Þeir einstaklingar sem átu mest af hornsílaeggjum voru á kalda búsvæðinu. Ástæðan fyrir því að þau éta egg sinnar eigin tegundar gæti verið sú að mikil samkeppni er milli fiska innan búsvæðisins og að verið er að bæta upp fyrir tap á líkamsmassa, eggjin eru mjög næringarík. (Mehlis o.fl., 2009). Í kúluskíts búsvæðinu var meginfæðan flugur/púpur og *Orthocladinae* lirfur. Á því búsvæði er oftast mjúkur botn og blettir af grænþörungum. Mjög svipað hlutfall var að finna á námu búsvæðinu. Þar er enginn gróður en mikill leðju botn. Á nykru búsvæðinu er mest étið af *Orthocladinae* lirfrum og einnig mikið af flugum/púpum, þar er mikill gróður. (Antoine Millet o.fl., 2013).

Öll búsvæðin nema heita búsvæðið hafa lítinn breytileika í fæðu á milli síla, en flestir hópar til staðar. Þau búsvæði hafa gróður og mikið af mjúkum botn. Því er að finna fjölbreytari fæðu í búsvæðum þar sem sílin geta náð í fæðu í botni, svifi og í gróðri. Þar sem hornsíli í heita búsvæðinu fá nánast einungis fæðu úr vatnsmassanum eða af yfirborði er minni breytileiki í fæðunni (Antoine Millet o.fl., 2013). Samkvæmt rannsókn sem Richard Svanbäck og Daniel I. Bolnick framkvæmdu árið 2007 eykur samkeppni innan stofna fjölbreytileika í fæðu, sem viðheldur því vistfræðilegum breytileika innan mismunandi stofna. Þar kom einnig fram að fjölbreytileiki í fæðu getur breyst eftir vistfræðilegum aðstæðum, það gerist með atferlisbreytingu en ekki þróun (Svanbäck og Bolnick, 2007).

Það að lítinn breytileika er að finna í kúluskíts, námu og nykru búsvæðunum er líklega tengt fæduframboði, sem gerir sílunum kleift að velja þá fæðu sem hentar þeim best og þau þurfa því ekki að sýna mikinn breytileika í fæðuvali. En þar sem lítið er af fjölbreyttri fæðu á kalda og heita búsvæðinu þurfa sílin að éta þá fæðu sem er í boði.

4.3 Tengslin á milli líkamsbyggingar og magainnihalds

Hlutfallslega lengdin á milli tálknatinda tvö og þrjú er minnst hjá sílum í heita búsvæðinu (*Mynd 3.11*). Þegar borið er saman útlit og fæðu sést að lengdin virðist tengjast áti á *Cladocera* og *Copepoda* og einnig fæðu síla í heita búsvæðinu (*Mynd 3.15*). Lítil fjölbreytni var í fæðu síla á því svæði og einnig má búast við að lítið sé um fæðu og hún einsleit. Einnig hefur hitastigið áhrif á orkuþörf sílanna. Sílin í heita búsvæðinu hafa minni lengd er á milli tálknatinda og geta því síað fæðuna betur úr vatninu. Þau eru einnig minni og léttari (*Mynd 3.1. og 3.3.*) sem getur tengst orkuþörf og framboði, þannig ná þau ekki að verða stærri (Antoine Millet o.fl., 2013).

Tálknatindarnir eru hlutfallslega lengstir hjá sílum í kalda búsvæðinu (*Mynd 3.9 og 3.10*) Það sem einkennir kalda búsvæðið er átið á eggjum sinnar eigin tegundar sem er árstíðabundið, fjölbreytt fæða og innstreymi af köldu vatni. Það að át á eggjum er mikið í kalda búsvæðinu gæti verið vegna þess að mikið er hrygnt þar og sækja því sílin í það svæði. Lengd tálknatinda gæti þó hugsanlega verið aðlögun að því að éta krabbadýr (*Cladocera* og *Copepoda*) sem finnast í gróðrinum. Lengdin á milli tálknatindanna er einnig lítið hjá sílum í kalda búsvæðinu, líkt og hjá hornsílum á heita búsvæðinu, og því geta þau síað vel út fæðuna. Hins vegar sést ekki sami breytileiki í lengd og þyngd eins og á heita búsvæðinu og því má segja að ekki sé eins mikil þörf á að spara orku hjá hornsílum á kalda búsvæðinu (Antoine Millet o.fl., 2013).

Ekkert samband er milli breytileika á byggingu tálknatinda (lengdar og bils) hjá hornsílum á kúluskíts, námu og nykru búsvæðunum (*Mynd 3.15*). Þar er fæðan aðgengilegri og því þurfa þau hornsíli ekki að aðlagast erfiðu fæðuvali.

Út frá niðurstöðunum má segja að hornsíli sem nærast meira á svifi og á yfirborði vatnsins, (heita búsvæðið), hafi minna bil á milli tálknatinda (*Mynd 3.11 og 3.15*) en þau hornsíli sem nærast á botni vatnsins, (kúluskíts, námu og nykru búsvæðin) (*Mynd 3.11 og 3.15*). Einnig er hægt að segja að hornsíli sem hafa erfitt fæðuval, (heita og kalda búsvæðið), hafa aðlagast til þess að ná sem mestri næringu úr þeirri fæðu sem er í boði. Hornsíli á heita búsvæðinu gera það með því að minnka bilið á milli tálknatinda á meðan sílin í kalda búsvæðinu lengja tálknatinda tvo og þrjú.

Árlegar rannsóknir eru framkvæmdar í Mývatni, þar sem veidd eru hornsíli, þau mæld og gögn skráð. Einnig er verið að taka gamlar og nýjar niðurstöður úr þeim rannsóknum og kanna erfðamengi og skyldleika hornsílanna. Það að kanna erfðamengi og skyldleika þeirra gæti skýrt niðurstöðurnar sem fengust við þessar rannsókn. Þá mætti kanna skyldleika búsvæðanna og hvort mökun sé búsvæðaháð. Til þess að fá meiri afgerandi niðurstöður í þessari rannsókn hefði mátt veiða fleiri fiska á hverri stöð.

Heimildir

- Antoine Millet, Bjarni K. Kristjánsson, Árni Einarsson og Katja Räsänen (2013). Spatial phenotypic and genetic structure of threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in a heterogeneous natural system, Lake Mývatn, Iceland. *Ecology and Evolution*.
- Árni Einarsson, Bergþóra Kristjánsdóttir, Elva Guðmundsdóttir og Þorkell Lindberg Þórarinnsson (2016). Mývatn og Laxá, Verndaráætlun 2011-2016. *Umhverfisstofnun*.
- Árni Einarsson, Gerður Stefánsdóttir, Helgi Jóhannesson, Jón S. Ólafsson, Gísli Már Gíslason, Isamu Wakana, Guðni Guðbergsson og Arnþór Garðarsson (2004). The ecology of Lake Myvatn and the River Laxá: Variation in space and time. *Aquatic Ecology*, **38** 317-348.
- Árni Kristmundsson og Sigurður Helgason (2007). Parasite communities of eels *Anguilla anguilla* in freshwater and marine habitats in Iceland in comparison with other parasite communities of eels in Europe. *Folia Parasitologica* **54**, 141–153.
- Eik Elfarsdóttir og Bjarni Jónsson. 2007. Rannsóknir á erfðaeiginleikum hornsíla. Fræðaðing *Veiðimálastofnun*.
- Gísli Már Gíslason, Ásgrímur Guðmundsson og Árni Einarsson (1998). Population densities of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in a shallow lake. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*.
- Glazer, A. M., Cleves, P.A., Erickson, P.A., Lam, A.Y. og Miller, C.T. (2014). Parallel developmental genetic features underlie stickleback gill raker evolution. *EvoDevo* **5**, 1-16.
- Guðni Guðbergsson og Þórólfur Antonsson. (1996). *Fiskar í ám og vötnum* (1. útg.). Reykjavík: Landvernd.
- Hatfield, T. (1996). Genetic divergence in adaptive characters between sympatric species of stickleback. *The American Naturalist* **149**, 1009-1029.
- ImageJ. (2012). *National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA*. (útgáfa 1.8.0_172). Sótt 2020 af <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>.
- Jón Gunnar Ottósson, Anna Sveinsdóttir og María Harðardóttir, ritstj. (2016). Vistgerðir á Íslandi. *Fjölrit Náttúrufræðistofnunar* **54**, 299.
- Kassambara, A. (2020). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. *R package version 0.4.0*. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>.
- Kristjánsson, B.K., Skúlason, S. og Noakes, D.L. (2002). Morphological segregation of Icelandic threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Biological Journal of the Linnean Society* **76**, 247-257.

- Mehlis, M., Bakker, T.C.M. og Frommen, J.G. (2009). Nutritional benefits of filial cannibalism in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Naturwissenschaften* **96**, 399-403.
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel*. Sótt 2020 af <https://office.microsoft.com/excel>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H., Szoecs, E., og Wagner, H. (2020). *vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7*. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Peichel, C.L., Nereng, K.S., Ohgi, K.A., Cole, B.L.E., Colosimo, P.F., Buerkle, C.A., Schluter, D. og Kingsley, D.M. (2001). The genetic architecture of divergence between threespine stickleback species. *Nature* **414**, 901-905.
- RStudio. (2009). J.J. *Allaire Free and Open Source*. (útgáfa 1.2.5001) [forrit]. Sótt 2018 af <https://rstudio.com/products/rstudio/download/>.
- Schneider, J.C., Laarman, P.W. og Gowing, H. (2000). Length-weight relationships. Chapter 17 í Schneider, J.C. (ritstj.) *Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates*. Michigan Department of Natural Resources, Fisheries Special Report 25, Ann Arbor.
- Skúlason, S., Parsons, K.J., Svanbäck, R., Räsänen, K., Ferguson, M.M., Adams, C.E., Amundsen, P., Bartels, P., Beam, C.W., Boughman, J.W., Englund, G., Guðbrandsson, J., Hooker, O.E., Hudson, A.G., Kahilainen, K.K., Knudsen, R., Kristjánsson, B.K., Lablanc, C., Jónsson, Z., Öhlund, G., Smith, C., og Snorrason, S.S. (2019). A way forward with eco evo devo: an extended theory of resource polymorphism with postglacial fishes as model systems. *Biological Reviews* **94**, 1786-1808.
- Smith, T.B. og Skúlason, S. (1996). Evolutionary significance of resource polymorphisms in fishes, amphibians, and birds. *Annual Review of Ecology and Systematics* **27**, 111-133.
- Snorrason, S., & Skúlason, S. (2004). Adaptive Speciation in Northern Freshwater Fishes. Í U. Dieckmann, M. Doebeli, J. Metz, & D. Tautz (ritstj.), *Adaptive Speciation (Cambridge Studies in Adaptive Dynamics*, bls. 210-228). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139342179.012
- Svanbäck, R. og Bolnick, D.I. (2007). Intraspecific competition drives increased resource use diversity within a natural population. *The Royal Society* **274**, 839-844.
- Wickham, H., François, R., Henry, L. og Müller, K. (2020). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.3*. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.