

HV 2018-17
ISSN 2298-9137



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

**Merking eldislaxa með stöðugum baríumsamsætum: Aðferð
til að auðkenna laxa í sjókvíum**
Marking of farmed salmon with barium stable isotopes

Leó Alexander Guðmundsson, Fletcher Warren-Myers,
Eydís Njarðardóttir og Guðjón Atli Auðunsson

REYKJAVÍK APRÍL 2018

**Merking eldislaxa með stöðugum
baríumsamsætum: Aðferð til að auðkenna
laxa í sjókvíum**
*Marking of farmed salmon with barium
stable isotopes*

Leó Alexander Guðmundsson, Fletcher Warren-Myers,
Eydís Njarðardóttir og Guðjón Atli Auðunsson

Upplýsingablað

Titill: Merking eldislaxa með stöðugum baríumsamsætum: Aðferð til að auðkenna laxa í sjókvíum / <i>Marking of farmed salmon with stable isotopes of barium</i>		
Höfundur: Leó Alexander Guðmundsson, Fletcher Warren-Myers, Eydís Njarðardóttir og Guðjón Atli Auðunsson		
Skýrsla nr: HV 2018-17	Verkefnisstjóri: LAG	Verknúmer: 9021
ISSN 2298-9137	Fjöldi síðna: 15	Útgáfudagur: 16. apríl 2018
Unnið fyrir: Hafrannsóknastofnun	Dreifing: Opin	Yfirfarið af: Guðni Guðbergsson
Ágrip <i>Leó Alexander Guðmundsson, Fletcher Warren-Myers, Eydís Njarðardóttir og Guðjón Atli Auðunsson. Merking eldislaxa með stöðugum baríum samsætum: Aðferð til að auðkenna laxa í sjókvíum. HV 2018-17.</i>		
<p>Strok eldislaxa úr sjókvíum er mikið vandamál í fiskeldi. Nauðsynlegt er vita umfang og ástæður slyasleppinga svo meta megí fjölda strokulaxa í umhverfinu og til að geta gert ráðstafanir sem draga úr líkum á frekari sleppingum. Ekki verður alltaf vart um slyasleppingar eða þær ekki tilkynntar og því verður að vera hægt rekja strokulaxa til þess framleiðenda sem slapp frá. Á Íslandi eru gerðar kröfur í lögum og reglugerð um ákveðnar ráðstafanir sem ætlaðar eru að tryggja að unnt sé að rekja strokulaxa til framleiðenda með erfðafræðilegum aðferðum. Til þessa hefur fyrirkomulagið ekki verið sannreynt en af ýmsum ástæðum er ekki fullljóst að það muni skila tilætluðum árangri auk þess sem það er kostnaðarsamt. Önnur aðferð til greiningar á uppruna fiska felur í sér merkingar fiska með stöðugum baríumsamsætum í kvörnum. Með aðferðinni er hægt að merkja eldislaxa hvers framleiðenda með sérstöku merki sem síðan má greina með LA-ICP-MS greiningartæki veiðist strokulaxar af óþekktum uppruna. Aðferðin er örugg m.t.t. árangurs merkinga, dýravelferðar, matvælaöryggis og er tiltölulega einföld og ódýr. Í þessu verkefni var reynd merking laxaseiða með stöðugum baríum samsætum (^{135}Ba, ^{136}Ba og ^{137}Ba) við íslenskar aðstæður. Niðurstöður tilraunarinnar voru að af 93 fiskum fengu 61% merki, 14% voru merkt að hluta og 25% án merkja. Mögulegar ástæður fyrir slökum árangri merkinga eru ræddar og tillögur eru gerðar að rannsóknum sem mögulega geta útskýrt hvers vegna náðist ekki 100% árangur líkt og</p>		

rannsóknir í Noregi hafa sýnt. Tilraunin er mikilvægt skref í átt að mögulegri hagnýtingu aðferðarinnar fyrir sjókvíaeldi á laxi á Íslandi.

Abstract

Leó Alexander Guðmundsson, Fletcher Warren-Myers, Eydís Njarðardóttir og Guðjón Atli Auðunsson. Marking of farmed salmon with barium stable isotopes. HV 2018-17.

Escapees of farmed salmon is a large problem in aquaculture. It is important to know the extent and causes of escapes in order to assess the number of farmed escapees in the wild and to facilitate measures to decrease the chances of further escapes. Not all escapes are reported and therefore it must be possible to trace escapees to the responsible farmer. Laws and regulations in Iceland claim that farms have to take certain measures which are intended to ensure that tracing farmed escapees using genetic methods is possible. To date, genetic methods have not been validated, but for various reasons it is not fully clear that it will deliver the desired results in Iceland. Another method for tracing fish involves marking the otoliths of salmon with barium stable isotopes. The method would allow you to mark each producer's farmed salmon with a isotope signature which can be later identified using LA-ICP-MS if escapees of unknown origin are caught. The method is safe with respect to marking success, animal welfare, food security and is relatively cheap. In this project, we tested marking salmon juveniles with barium stable isotopes (^{135}Ba , ^{136}Ba and ^{137}Ba) under Icelandic conditions. The results of the experiment were that of 93 fish analysed, 61% were correctly marked, 14% were partially marked and 25% not marked. Possible reasons for the poor mark success rate are discussed and proposals are made for studies that could explain why 100% mark success was not achieved, as previous experiments on Norwegian salmon have shown 100% mark success is achievable. This experiment is an important step towards the possible use of the method for the salmon industry in Iceland.

Lykilorð: laxeldi, sjókvíaeldi, slyasleppingar, strokulax, merking, auðkenni, greining á uppruna, baríumsamsætur

Undirskrift verkefnisstjóra:

Leó Alexander Guðmundsson

Undirskrift forstöðumanns sviðs:

Guðni Guðbergsson

Efnisyfirlit

Töfluskra	i
Myndaskra	i
Inngangur	1
Efni og aðferðir	3
Niðurstöður og umræður	5
Þakkir	9
Heimildir	10
Viðauki	12

Töfluskra

Tafla 1. Blöndun stofnlausna þriggja stöðugra samsæta af baríum. Stofnlausnir voru búnar til með baríumklóríði (BaCl_2), sem innihélt mismunandi samsætur baríums, og hreinu vatni. Styrkur samsæta í stofnlausnum og forsendur reikninga koma fram í töflu. Stofnlausnir A og B voru notaðar til að blanda samsætum af ákveðnum styrk í bólefni..... 3

Tafla 2. Styrkur og heildarmagn baríumsamsæta í merkingatilraunum. Styrkur samsæta miðaðist við 250 g fisk. Fyrir hverja tilraun voru skammtar blandaðir sem áttu að duga til merkinga 24 fiska og koma forsendur reikninga fram í töflu. 4

Myndaskra

1. mynd. Mynd til vinstri: Laxaseiði háfuð upp úr seiðatanki í flutningi þeirra frá seiðaeldisstöðinni Íspóri í Þorlákshöfn til tilraunaeldisstöðvar Hafrannsóknastofnunar í Grindavík. Á myndinni sjást Eydís Njarðardóttir og Kristján Sigurðsson. Mynd til hægri: Eydís Njarðardóttir við merkingu seiða með stöðugum baríumsamsætum 5

2. mynd. Mælingar á styrk stöðugra baríum samsæta ^{135}Ba (mynd til vinstri), ^{136}Ba (miðja) og ^{137}Ba (hægri) í kvörnum fiska sem fengu eitt merki. Mælt sem hlutfall á móti algengustu samsætunni ^{138}Ba . Mæling hefst á jaðri kvarna (e. otolith edge) og mælt er inn að kjarna (e. otolith core). 6

3. mynd. Mælingar á styrk stöðugra baríum samsæta í kvörnum fiska sem fengu tvö merki; $^{135}\text{Ba} + ^{137}\text{Ba}$ (efst), $^{136}\text{Ba} + ^{137}\text{Ba}$ (miðja) og $^{135}\text{Ba} + ^{136}\text{Ba}$ (neðst). Mælt sem hlutfall á móti algengustu samsætunni ^{138}Ba . Mæling hefst á jaðri kvarna (e. otolith edge) og mælt er inn að kjarna (e. otolith core). 7

Inngangur

Almennt hefur dregið úr stroki eldislaxa á undanförunum árum og áratugum með bættum eldisbúnaði, eftirliti og verkferlum í sjókvíaeldi (Jensen o.fl. 2010). Samt sem áður verður að líta á strok eldislaxa sem óhjákvæmilegan fylgifisk sjókvíaeldis og er það enn mikið vandamál (DFO 2013; Glover o.fl. 2017; Miljøkrim 2017). Strok eldislaxa er ekki aðeins tjón eldisaðila heldur getur það valdið umhverfissaða, einkum ef eldislaxar æxlast með náttúrulegum laxi (Jensen o.fl. 2010). Slík erfðablöndun er nú talin helsta ógn við náttúrulega laxastofna í Noregi (Forseth o.fl. 2017) og hefur erfðablöndun nú þegar greinst á Íslandi þrátt fyrir tiltölulega umfangslítið eldi (Leó Alexander Guðmundsson o.fl. 2017). Slysasleppingar eldislaxa geta orsakast af mörgum þáttum. Búnaður getur gefið sig í vöndum veðrum, göt komið á kvíar vegna ýmissa óhappa, fiskur getur sloppið í flutningum til og milli kvía, við flutning í slátrun o.fl. (Walker o.fl. 2006; Høviskeland o.fl. 2008; Jensen o.fl. 2010). Bæði á Íslandi og í Noregi er eldisaðilum skylt að tilkynna slysasleppingar. Sú skylda er hluti af eftirliti með eldisaðilum og m.a. viðleitni til að lágmarka umhverfistjón. Á Íslandi eru dæmi þess að slysasleppingar séu ekki tilkynntar (Leó Alexander Guðmundsson o.fl. 2017; Hafrannsóknastofnun, óbirt gögn) og í Noregi eru opinberar tölur um fjölda strokulaxa taldar stórlega vanmeta raunverulegan fjölda (Skilbrei o.fl. 2015; Glover o.fl. 2017). Gefur það til kynna að eldisaðilar viti ekki um slysasleppingar og/eða greini ekki frá þeim. Hver svo sem ástæðan er kemur það niður á vitneskju um umfang slysasleppinga, viðbrögðum við þeim og nýtingu upplýsinga sem gætu reynst mikilvægar til að fyrirbyggja sams konar slys. Greining á ástæðum sleppinga er einmitt ein af forsendum þess að þróa megi öruggari eldisbúnað, bæta verkferla, gera eftirlit skilvirkara og þar með minnka líkur á sleppingum (Heggberget o.fl. 2000; Glover o.fl. 2008; Jensen o.fl. 2010).

Ef unnt er að rekja strokulaxa til framleiðenda má búast við að tilkynningum um slysasleppingar fjölgi (Jensen o.fl. 2010). Í Noregi hefur erfðafræðilegum aðferðum verið beitt til að rekja strokulaxa úr ótilkynntum slysasleppingum til framleiðenda (Glover o.fl. 2008). Þá eru erfðaupplýsingar eldislaxa úr sjókvíum mismunandi framleiðenda á ákveðnu svæði bornar saman við erfðaupplýsingar strokulaxa. Aðferðin er þó þeim annmörkum háð að talsverður erfðamunur verður að vera á milli eldisstofna framleiðenda svo unnt sé að staðfesta upprunann. Ef slíkur munur er ekki til staðar, t.d. ef eldisaðilar nota sama eldisstofn, er tæpast hægt að greina upprunann nema það sé gert á grunni foreldragreiningar (Baranski o.fl. 2014). Þá verður að vera til staðar erfðaefni foreldrafiska og bókhald yfir foreldrafiska eldislaxa í kvíum. Eins mega mismunandi framleiðendur ekki ala lax undan sömu foreldrafiskum. Á Íslandi er notast við það fyrirkomulag þar sem framleiðendur nýta eldislax af sama stofni.

Í reglugerð um fiskeldi nr. 1170/2015, 49. gr. segir:

Auk þess er framleiðendum laxahroga skylt að varðveita í gagnagrunnum erfðavísa eldislaxa þannig að hægt sé á hverjum tíma að rekja uppruna laxfiska sem sleppa úr kvíum og veiðast síðar, m.a. ef óvissa ríkir um áhrif eldis á umhverfið. Gögn eða lífsýni af merktum eldisfiskum skulu send til Matvælastofnunar. Auk þess er framleiðendum hroga skylt að varðveita í gagnagrunnum erfðaefni foreldrafiska og halda bókhald yfir það frá hvaða foreldrum er selt til hvernar stöðvar þannig að hægt sé á hverjum tíma að rekja uppruna fiska sem sleppa úr kvíum eða stöðvum og veiðast síðar.

Þótt ofangreint fyrirkomulag hafi verið virkt a.m.k. frá árinu 2014 hefur ekki reynt á aðferðina til að rekja strokulaxa til framleiðenda. Jafnframt hefur aðferðafræðin ekki verið þróuð. Nánar tiltekið hefur ekki verið gerð rannsókn á því hversu mörg erfðamörk þarf (að gefnum ákveðnum breytileika erfðamarka innan stofns) svo rekja megi strokulaxa til réttra foreldra úr hópi margra mögulegra foreldrafiska af

mismunandi skyldleika (sjá Baranski o.fl. 2014). Því skyldari sem foreldrar eru því öflugri þarf aðferðin að vera til að geta greint á milli þeirra (Olsen o.fl. 2001). Þótt líklega megi þróa slíka aðferð er ekki þar með sagt að niðurstöður flokkunar verði alltaf afgerandi eða réttar. Bókhald yfir frjóvgun hroгна og sölu hroгна eða seiða, sýnameðhöndlun og erfðagreining eru meðal þátta sem krefjast nákvæmni til að minnka líkur á mannlegum mistökum (Baranski o.fl. 2014). Eins má líta á það sem ókost aðferðarinnar að þegar tekin er ákvörðun um greiningu strokulaxa hefur það talsverðan kostnað í för með sér. Ekki er útilokað að hár kostnaður dragi úr líkum á að fiskar verði greindir ef um fáa fiska er að ræða, jafnvel þótt veiði fárra strokulaxa endurspegli ekki nauðsynlega umfang slyasleppingar (Dempster o.fl. 2016).

Fram hefur komið aðferð sem nýta má til að rekja strokulaxa til framleiðenda og um leið sneiðir hjá ókostum erfðafræðilegu aðferðanna sem hér hafa verið nefndar. Það er merking fiska með sjaldgæfum stöðugum baríum samsætum (Thorrold o.fl. 2006). Í rannsókn Warren-Myers o.fl. (2015) var sýnt fram á það að með tiltölulega einföldum, öruggum og ódýrum hætti mætti merkja fjölda eldislaxa með því að breyta magni og náttúrulegu hlutfalli stöðugra baríumsamsæta í kvörnum fiska. Þannig er örilitlu magni af fyrirfram ákveðnum samsætum blandað í bóluefni, sem allir eldislaxar eru bólusettir með, og þær festast varanlega í kvörnum laxa. Með því að merkja fiska með mismunandi baríumsamsætum, einni eða fleiri, má búa til eins konar strikamerki fyrir hvern framleiðenda. Ef vafi leikur á uppruna strokulaxa má efnagreina kvarnir úr veiddum fiskum og fræðilega eiga niðurstöðurnar að vera óbyggjandi. Aðferðin er óháð bókhaldi yfir foreldra hroгнаframleiðslunnar, sölu hroгна og lífsýnasafni. Enn fremur þyrfti ekki að erfðagreina mikinn fjölda foreldrafiska til að greina uppruna strokulaxa ef það þá er mögulegt. Þannig yrðu allir strokulaxar af óþekktum uppruna raktir til framleiðenda óháð fjölda veiddra eldislaxa. Merkingin krefst ekki mikillar viðbótarvinnu og er ekki auka inngríp þar sem allir eldislaxar eru nú þegar bólusettir. Tilraunir á norskum eldislaxi hafa sýnt fram á 100% árangur merkinga (Warren-Myers o.fl. 2014, 2015).

Hvað er baríum og er óhætt að nota það til merkinga? Baríum (Ba) er þungt frumefni með sætistöluna 56 í lotukerfinu og tilheyrir flokki jarðalkalímálma líkt og t.d. magnesíum og kalsíum. Baríum er 0,05% hluti jarðskorpunnar og því tiltölulega algent efni. Í náttúrunni finnast sex stöðugar samsætur af baríum. Samsætan ^{138}Ba er algengust (71,7%) en aðrar mun fátíðari; ^{137}Ba (11,2%), ^{136}Ba (7,9%), ^{135}Ba (6,6%), ^{134}Ba (2,4%), Ba^{132} (0,1%) (de Laeter o.fl. 2003). Baríum er mikið notað í iðnaði, t.d. í olíu- og gasiðnaði, við gerð málningar, glers, gúmmís, flugelda og í læknisfræðilegum rannsóknum. Óbundið baríum veldur eitrunaráhrifum ef það er innbyrt og tekið upp í líkamann í tiltölulega miklu magni. Upptaka baríums í líkamann fer eftir því hvaða efnum það er bundið og ræðst af leysni efnasambandanna. Eitrunaráhrif baríums geta t.d. lýst sér í uppsölum, hjartsláttartruflunum, krampa, lömum og jafnvel dauða (IPCS 2001). Merkingarnar sem hér um ræðir krefjast hins vegar baríums í það litlu magni (Warren-Myers o.fl. 2015) að útilokað er að neysla merktra fiska leiði til inntöku efnisins í magni yfir alþjóðlegum heilsuverndarviðmiðum (IPCS 2001; ATSDR 2007; SCHER 2012). Jafnframt er grundvallaratriði að merkingarnar eiga ekki að hafa áhrif á velferð dýra umfram áhrifa vegna bólusetningar (Williamson o.fl. 2009; Warren-Myers o.fl. 2015; VKM 2016).

Markmið þessarar tilraunar var að merkja eldislaxa með mismunandi stöðugum samsætum af baríum og sannreyna árangur merkinga í rannsókn Warren-Myers o.fl. (2015) við íslenskar aðstæður.

Efni og aðferðir

Laxaseiði voru fengin hjá eldisstöðinni Íspóri 2. júní 2016 og voru þau flutt í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar á Stað í Grindavík þar sem tilraunin fór fram (1. mynd). Seiðin voru merkt með PIT-merkjum (Passive Integrated Transponder) 3. júní að undangenginni svæfingu, samtals 197 seiði (meðalþyngd 78,6 g ± 14,9).

Þrjár stöðugar samsætur (ekki geislavirkar) af baríum voru keyptar af bandaríska fyrirtækinu Oak Ridge National Laboratory (ORNL); ^{135}Ba , ^{136}Ba og ^{137}Ba . Samsæturnar voru bundnar sem baríumklóríð (BaCl_2), sem er auðleyst salt í vatni, og voru búnar til tvær stofnlausnir fyrir hverja samsætu (Tafla 1). Stofnlausnunum var blandað í bóluefni til að fá réttan styrk samsæta í hverja merkingatilraun (Tafla 2). Bóluefnið var alpha ject 5-3 sem notað er fyrir sjókvíaeldi á laxi á Íslandi. Prófaðar voru átta mismunandi merkingar; fjórar með eina samsætu og fjórar með tvær samsætur (Tafla 2). Styrk samsæta má sjá í töflu 2 en hann var ýmist 0,001, 0,02 eða 0,01 $\mu\text{g/g}$ eftir tilraun og reiknaður út frá 250 g meðalþyngd seiða (meðalþyngd 14 seiða var 275 g 15. september og gert var ráð fyrir fóðri í maga). Heildarmagn samsæta í 250 g fiski í tilraun með styrk 0,001 $\mu\text{g/g}$ var því 0,25 μg eða 0,00025 mg.

Merking fiska með stöðugum baríumsamsætum fór fram 27. september 2016. Seiði voru svæfð og síðan merkt með blöndu af samsætum og bóluefni. Hvert seiði fékk 0,1 ml af bóluefni líkt og í hefðbundinni bólusetningu. Blöndun samsæta í bóluefni var gerð rétt fyrir inngjöf og var efnun blandað á Vortex-hristara í 30 sec. Efni var sprautað í kviðarhol fiska með 1 ml sprautu og var stungustaður á miðlínu um 2 cm fyrir framan kviðugga skv. leiðbeiningum fisksjúkdómalæknis. Alls voru 133 seiði í átta hópum merkt og 20 seiði fengu bóluefni án stöðugra samsæta (viðmiðunarhópur). Meðalþyngd seiða á degi merkingar var 301 g ± 55.

Tafla 1. Blöndun stofnlausna þriggja stöðugra samsæta af baríum. Stofnlausnir voru búnar til úr baríumsklóríði (BaCl_2) með mismunandi samsætum baríums og hreinu vatni. Styrkur samsæta í stofnlausnum og forsendur reikninga koma fram í töflu. Stofnlausnir A og B voru notaðar til að blanda samsætum af ákveðnum styrk í bólefni.

Blöndun A- stofnlausna (~5 ml 4000 $\mu\text{g/ml}$)						
Samsætur	Þyngd BaCl_2 (mg)	Atómmassi Ba	Atómmassi Cl_2	% Ba af BaCl_2	Magn Ba (mg)	Magn H_2O í stofnlausn (g)
^{135}Ba	30,7	135	70,9	65,57	20,129	5,032
^{136}Ba	30,5	136	70,9	65,73	20,048	5,012
^{137}Ba	33,5	137	70,9	65,90	22,076	5,519

Blöndun B- stofnlausna (1 ml af 100 $\mu\text{g/ml}$)		
Samsætur	Stofnlausn A (μl)	H_2O í stofnlausn (μl)
^{135}Ba	250	750
^{136}Ba	250	750
^{137}Ba	250	750

Tafla 2. Styrkur og heildarmagn baríumsamsæta í merkingatíraunum. Styrkur samsæta miðaðist við 250 g fisk. Fyrir hverja tíraun voru skammtar blandaðir sem áttu að duga til merkinga 24 fiska og koma forsendur reikninga fram í töflu.

Nr.	Samsætur	Styrkur samsæta (µg/g)	Magn Ba (µg)	Stofnlausn A/B (µl)	Bóluefni (µl)
1	¹³⁵ Ba	0,001	6	60 (B)	2400
2	¹³⁵ Ba	0,01	60	15 (A)	2400
3	¹³⁶ Ba	0,001	6	60 (B)	2400
4	¹³⁷ Ba	0,001	6	60 (B)	2400
5	¹³⁵ Ba + ¹³⁶ Ba	0,01	60 + 60	15 + 15 (A)	2400
6	¹³⁵ Ba + ¹³⁶ Ba	0,02	120 + 120	30 + 30 (A)	2400
7	¹³⁵ Ba + ¹³⁷ Ba	0,01	60 + 60	15 + 15 (A)	2400
8	¹³⁶ Ba + ¹³⁷ Ba	0,01	60 + 60	15 + 15 (A)	2400

Seiðin voru í umjón starfsmanna Hafrannsóknastofnunar í tilraunaeldisstöðinni á Stað í Grindavík. Almennt voru eldisaðstæður eftirfarandi: Seiðin voru alin í einu tæplega fjögurra rúmmetra eldiskari með stöðugu gegnumstreymi. Selta var $32 \pm 1\%$, súrefnismettun rúmlega 100% og hitastig 7 °C. Lýsing var viðhöfð allan sólarhringinn. Fóðrið var Eco-laxafóður frá Fóðurverksmiðjunni Laxá hf. Fóðrað var daglega með sjálfvirkum fóðurgjafa (sem gefur dagskammtinn á 24 tímum). Fóðurstærðin fór eftir stærð fisksins og breyttist í takt við vöxt. Eldiskarið var þjónustað á hverjum degi, fóðurleifar hreinsaðar, sett á fóðrara, fylgst með súrefni o.fl. Seiðin voru alin í 11 vikur eftir merkingu með stöðugum samsætum eða til 13. desember 2016. Þá voru seiðin svæfð, slátrað og kvarnir teknar úr þeim. Á degi slátrunar var meðalþyngd fiska $513 \text{ g} \pm 110$.

Fyrir efnagreiningu á samsætum voru kvarnir hreinsaðar og límdar á smásjargler. Lífræn efni voru hreinsuð af kvörnum með alkalísku (NaOH) vetnisperoxíði (H₂O₂) og hljóðbaði. Síðan voru kvarnir skolaðar nokkrum sinnum með mjög hreinu vatni (Milli-Q, > 18.2 MΩ). Því næst voru kvarnir þurrkaðar og límdar á smásjargler með cyanoacrylate lími. Alls voru 96 kvarnir (ein kvörn úr fiski) límdar á tvö rúðustrikuð smásjargler, 48 kvarnir á gler.

Kvarnir voru sendar til Háskólans í Melbourne (Ástralíu) til greininga á stöðugum samsætum. Fletcher Warren-Myers efnagreindi sýnin og eftirfarandi er lýsing hans á aðferðafræðinni: *Stable isotope analyses were done on a Varian 7700x Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) fitted with a RESOLUTION (Resonetics, Nashua NH, USA) laser ablation (LA) system constructed around a Compex 110 (Lambda Physik) excimer laser operating at 193 nm. MAC3, 612 and 610 NIST (National Institute of Standards and Technology) glass standards doped with trace elements at known concentrations were used to calibrate the system. Otoliths were run in blocks of 18 samples bracketed by standards, using a spot size of 154 µm, a laser energy density of ~ 3 mJ/cm² and a laser repetition rate of 10 Hz. Spot ablation was performed under pure He (200 ml/min) to minimise re-deposition of ablated material and the sample was then entrained into the Ar (0.95 ml/min) carrier gas flow to the ICP-MS.*



1. mynd. Mynd til vinstri: Laxaseiði háfuð upp úr seiðatanki í flutningi þeirra frá seiðaeldisstöðinni Íspóri í Þorlákshöfn til tilraunaeldisstöðvar Hafrannsóknastofnunar á Stað í Grindavík. Á myndinni sjást Eydís Njarðardóttir og Kristján Sigurðsson. Mynd til hægri: Eydís Njarðardóttir við merkingu seiða með stöðugum baríumsamsætum (Ljósmyndir: Leó Alexander Guðmundsson).

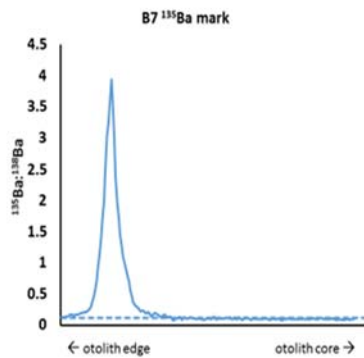
Niðurstöður og umræður

Alls voru 93 af 96 kvörnum efnagreindar m.t.t. stöðugra baríumsamsæta (^{135}Ba , ^{136}Ba og ^{137}Ba). Þrjár kvarnir eyðilögðust við hreinsun og því ekki greindar. Helstu niðurstöður voru þær að merking var árangursrík hjá 61% fiska, 14% voru merkt að hluta og 25% án merkja. Fiskar úr öllum tilraunum báru skýr merki (2. mynd). Lágt hlutfall merktra laxa í tilrauninni á sér líklega fleiri en eina ástæðu. Hér eftir verður greint frá mögulegum áhrifapáttum ásamt næstu skrefum sem höfundar telja nauðsynleg áður en hægt verður að nýta aðferðina á Íslandi. Tryggja verður 100% árangur merkingar sbr. Warren-Myers o.fl. (2015).

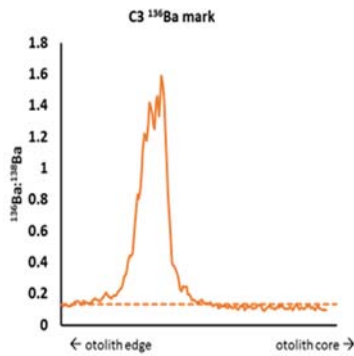
Í rannsókn Warren-Myers o.fl. (2015) var bólusetning/merking framkvæmd með bólusetningabyssu sem tryggir að hver fiskur fái rétt magn bóluefnis. Það er sú aðferð sem almennt er notuð til að bólusetja eldislax. Í þessari tilraun var hins vegar notast við hefðbundna 1 ml sprautu. Það eitt og sér útskýrir ekki ónákvæma skömmtun þar sem að öllu jöfnu mætti draga upp 0,1 ml af bóluefni og sprauta hvern fisk. Það reyndist hins vegar ekki framkvæmanlegt þar sem olúkennt og litað bólefnið húðaði sprautuna að innan með þeim hætti að erfiðlega gekk að mæla rétt magn fyrir næsta fisk. Ef sprauta ætti hvern fisk sérstaklega líkt og reynt var við merkingu fyrsta hópsins í tilrauninni hefði þurft að þrifa sprautu milli inngjafa eða notast við nýja sprautu fyrir hvern fisk. Við framkvæmd merkingar var almennt notast við þrjár til fjórar sprautur fyrir hvern tilraunahóp þar sem bóluefni var dregið upp einu sinni og þá sex til átta skammtar í einu. Af þeim sökum getur skömmtun hafa verið að nokkru leyti ónákvæm. Önnur möguleg ástæða fyrir ójafni skömmtun var sú að sumir fiskar fengu líklega hlutfallslega mikið af lofti eða froðu og þar með minna magn af samsætum. Við blöndun samsæta og bóluefnis var notast við hristara sem olli því að loftbólur komu fram og sátu fastar í seigu bóluefninu. Ekki var hægt að slá loftbólurnar úr sprautunum og vegna gerð vökvans var ekki alltaf hægt að sjá hvort og hversu mikið loft var í sprautunum þegar seiðin voru merkt.

Önnur atriði gætu tengst breytileika á stærð fiska en styrkur samsæta við merkinguna var reiknaður út frá meðalþyngd. Þannig fengu stórir fiskar hlutfallslega minna magn samsæta. Kvarnir sumra fiska voru límdar öfugt á smásjarglerin sem gat haft áhrif á gæði greiningar. Misvísandi niðurstöður milli árangur

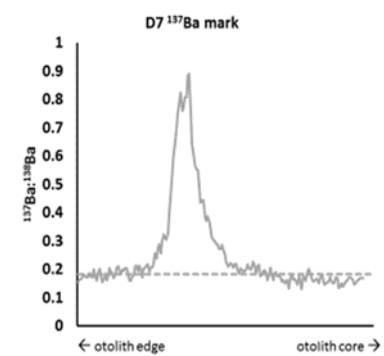
Sample B7: single mark (^{135}Ba)



Sample C3: single mark (^{136}Ba)



Sample D7: single mark (^{137}Ba)



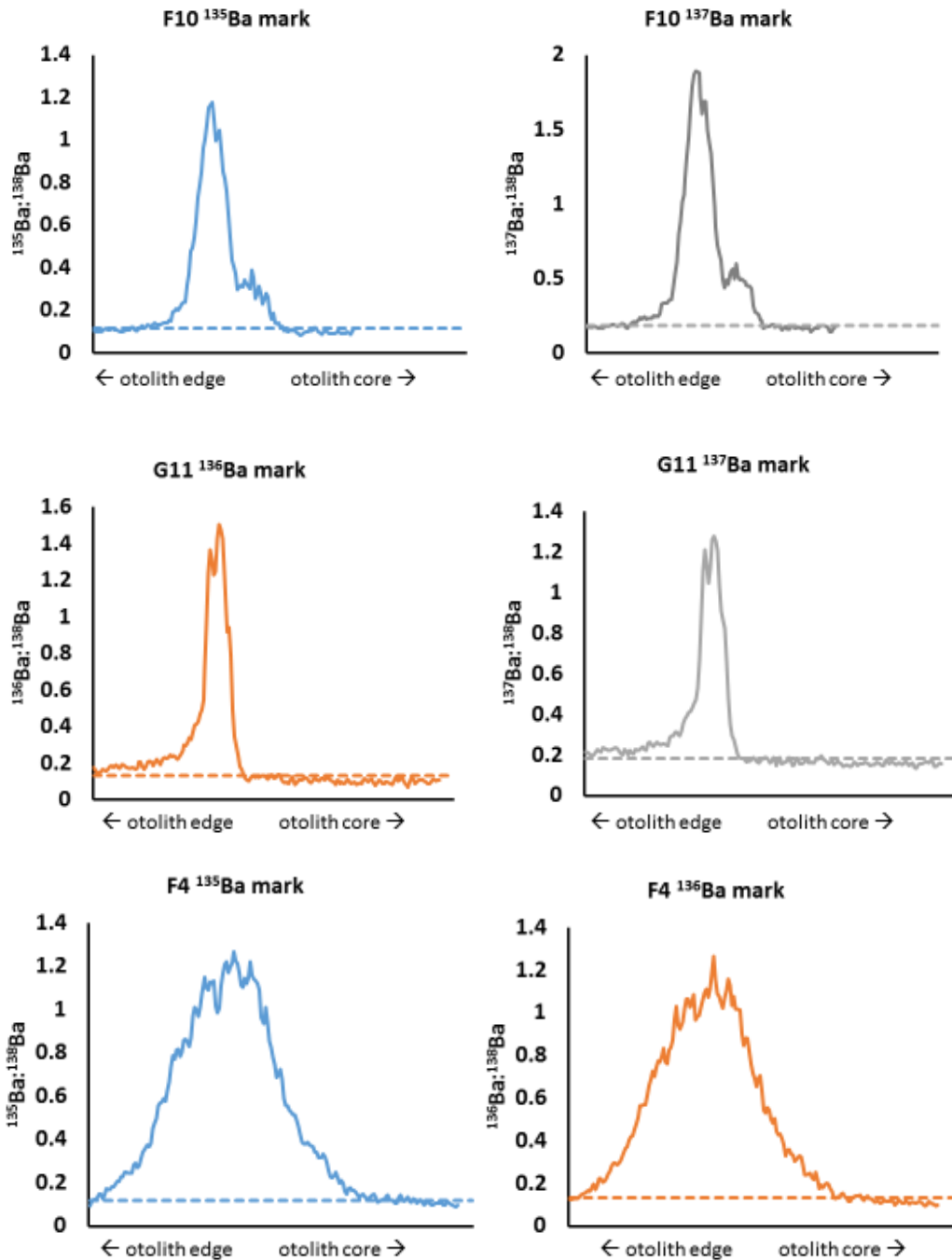
2. mynd. Mælingar á styrk stöðugra baríum samsæta ^{135}Ba (mynd til vinstri), ^{136}Ba (miðja) og ^{137}Ba (hægri) í kvörnum fiska sem fengu eitt merki. Mælt sem hlutfall á móti algengustu samsætunni ^{138}Ba . Mæling hefst á jaðri kvarna (e. otolith edge) og mælt er inn að kjarna (e. otolith core). Sjá frekari upplýsingar um fiska í viðauka.

merkinga stórra fiska annars vegar og milli kvarna sem límdar voru öfugt á smásjargler hins vegar (Viðauki) sýna þó að hvorugur þáttanna gæti útskýrt niðurstöðurnar almennt.

Mögulega var einn mikilvægasti þátturinn í lágu hlutfalli merktra fiska sá að samsæturnar blönduðust illa við bólufernið. Í sumum fiskum greindist mjög sterkt merki, mun sterkara en búast mætti við miðað við styrk samsæta. Oftar en ekki greindust slík merki í fiskum sem voru merktir hverjir eftir öðrum, líkt og fiskar nr. T2_8, T2_9 og T2_10 í tilraun nr. 2, fiskar T4_4, T4_5 og T4_6 í tilraun 4 og T8_4, T8_5 og T8_6 í tilraun 8 (Viðauki). Eins var algengast að þegar fiskar fengu ekki merki gerðist það hjá fiskum sem merktir voru hverjir eftir öðrum. Dæmi um slíkt mátti sjá í tilraunum nr. 5, 6 og 7 þar sem fjórir aðliggjandi fiskar í hverri tilraun fengu ekki merki (Viðauki). Þessar niðurstöður eru skýr vísending þess að blöndun samsæta við bólufernið var ekki nægjanlega góð.

Að mati höfunda geta a.m.k. tvær ástæður legið að baki. Í fyrsta lagi má nefna að í eldiststöðinni var fremur svalt (undir $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) og bólufernið því seigfljótandi. Reynt var að velgja bólufernið um stund með líkamshita og þar með mýkja það til að bæta blöndun og auðvelda meðhöndlun. Hins vegar er ekki útilokað að bólufernið hafi ekki verið hitað nægjanlega og það haft áhrif á blöndun. Þó var bólufernið og samsæturnar blandaðar á hristara í 30 sec og var það upplifun rannsakenda að efnin gætu ekki annað en verið vel blönduð eftir þá meðferð. Hin ástæðan gæti verið að bólufernið, sem er ólíukenndur vökvi, blandaðist illa við vatn eða nánar tiltekið saltlausnir með samsætum. Í tilraunum Warren-Myers o.fl. (2014; 2015) var blöndun hins vegar góð en í þeim var notast við annað bóluferni, MINOVA 6. Hvort munur er á eiginleikum bólufernanna alpha ject 5-3, sem hér var notað, og MINOVA 6 til að blandast vatni þyrfti að kanna.

Þótt merkingarárangur verkefnisins sé ekki í samræmi við niðurstöður sambærilegra verkefna (Warren-Myers o.fl. 2014; 2015) má geta þess að fyrsta tilraun Fletcher Warren-Myers skilaði ekki 100% merkingarárangri. Höfundar hafa hér fjallað um þætti sem mögulega geta útskýrt niðurstöðurnar. Rannsóknin er að því leyti mikilvæg fyrir næstu skref í prófunum svo unnt sé að nota aðferðina til merkingar á sjókvíalaxi á Íslandi. Höfundar leggja til að eiginleiki bólufernisins alpha ject 5-3 til að blandast lausn baríumsalta verði kannaður með einföldum tilraunum sem ekki krefjast bólusetningu fiska. Í fyrsta lagi má blanda bóluferni og samsætum líkt og gert var í þessari tilraun og taka sýni víðvegar úr vökvanum til að kanna hvort styrkur samsæta mælist jafn. Síðan mætti endurtaka sýnatökuna að ákveðnum tíma



3. mynd. Mælingar á styrk stöðugra baríum samsæta í kvörnum fiska sem fengu tvö merki; $^{135}\text{Ba} + ^{137}\text{Ba}$ (efst), $^{136}\text{Ba} + ^{137}\text{Ba}$ (miðja) og $^{135}\text{Ba} + ^{136}\text{Ba}$ (neðst). Mælt sem hlutfall á móti algengustu samsætunni ^{138}Ba . Mæling hefst á jaðri kvarna (e. otolith edge) og mælt er inn að kjarna (e. otolith core). Sjá frekari upplýsingar um fiska í viðauka.

liðnum, einu sinni eða oftari. Ef þessar tilraunir skiluðu jákvæðum niðurstöðum væri í öðru lagi æskilegt að kanna árangur blöndunar þegar notast væri við fulla einingu af bóluefni líkt og notuð er við hefðbundnar bólusetningar í laxeldi. Þá þyrfti einnig að kanna blöndun í tíma og rúmi. Að lokum þyrfti að framkvæma stóra tilraun með merkingu t.d. 200.000 laxaseiða. Þannig fengist reynsla af merkingum laxa á stórum skala og þróa mætti ferlið fyrir merkingu milljóna seiða á ári.

Líkt og fram kom í inngangi getur baríum valdið eitrunaráhrifum ef það er innbyrt í tiltölulega miklu magni. Af þeim sökum hafa verið sett viðmið um ásætlanlegt magn t.d. í neysluvatni og hvað sé óhætt að innbyrða af efninu. Í Evrópusambandinu er miðað við að baríum í neysluvatni fari ekki yfir 1000 µg/lítra (EC 1999) en í Bandaríkjunum er miðað við 2000 µg/lítra (EPA 2012). Almennt er talin lítil hættu stafi af því að innbyrða allt að 200 µg per kg líkamsþyngdar af baríum á dag (MRL – Minimal Risk Level, ATSDR (2007); NOAEL - No Observed Adverse Effect Level, IPCS (2001); TDI – Tolerable daily Intake, SCHER (2012)). Það er 14.000 µg á dag fyrir 70 kg manneskju. Í merkingunum fengu fiskar 0,25 µg til 10 µg af samsætum en styrkur efnanna miðaðist við 250 g seiði. Venjan er að bólusetja mun minni seiði, um 100 g, og myndi það gera 0,1 µg til 4 µg samkvæmt sömu forskrift. Líkt og sjá má af myndum 2 og 3 lækkar hlutfall baríum merkja aftur í bakgrunnsgildi á nokkrum vikum. Bendir það til að bakgrunnsgildi baríum samsæta náist tiltölulega fljótt í vefjum fiska (mögulega utan beina) eftir merkingu (Williamson o.fl. 2009). Jafnvel þótt ekki sé gert ráð fyrir þeirri losun baríums úr fiskum er magn baríums enn hverfandi í samanburði við heilsuverndarmörk.

Kostnaður vegna merkingar með stöðugum baríum samsætum og greiningar á sýnum var metinn í rannsókn Warren-Myers o.fl. (2015). Miðað við forsendur í þeirri rannsókn gæti efniskostnaðurinn á Íslandi numið um USD 0,003 - 0,008 á fisk eða um 0,3 – 0,8 kr (USD 1 = 100 kr). Væri þá gert ráð fyrir merkingu 100 g seiða (en ekki 40 g líkt og í Warren-Myers o.fl. (2015)) og fimm til sjö mismunandi merki. Miðað við þennan kostnað og að merkja þyrfti 220 seiði fyrir hvert framleitt tonn af laxi væri efniskostnaðurinn 660.000 - 1.760.000 kr fyrir 10.000 tona framleiðslu. Lækka mætti kostnaðinn með því að velja ódýrustu merkin fyrir stærstu eldisfyrirtækin. Einnig mætti mögulega lækka kostnaðinn með því að kaupa baríumkarbónat (BaCO_3), sem er mun ódýrara en baríumklóríð (BaCl_2), og umbreyta því innanlands í baríum klóríð. Einnig mætti stórlega lækka kostnaðinn með því að bólusetja minni seiði. Ef fjöldi merkja einskorðaðist ekki einungis við fjölda framleiðenda heldur eldissvæði (eða árganga) framleiðenda þyrfti fleiri merki og kostnaðurinn aukast. Þess konar fyrirkomulag gæfi mun betri upplýsingar þar sem það myndi auka líkurnar á að greina mætti orsök sleppinga. Í þessu verkefni kostaði efnagreining 5000 kr á fisk sem er álíka kostnaður og við erfðagreiningu.

Ýmsar aðferðir má nota til að komast að uppruna strokufiska, þ.e. rekja til framleiðenda (Tevasvold o.fl. 2017). Í inngangi var fjallað um kosti og galla erfðafræðilegra aðferða. Aðrar aðferðir krefjast sérstakra merklinga. Má þar nefna slöngumerki, örmerki (CWT, Coded Wire Tags) og PIT-merki en þau eru dýr (Eydís Njarðardóttir 2001) og af þeim og fleiri sökum henta þau ekki til merklinga milljóna fiska. Merking kvarna (eða beina) má einnig t.d. framkvæma með hitameðhöndlun seiða, böðun seiða í „calcein“ (fluorexon) lausn, „tetracycline“ eða „fluorochrome“ litum o.fl. Þær aðferðir koma hins vegar ekki vel út í samanburði við baríummerklingar hvað varðar fjölda mögulegra merkja og/eða kostnað (Warren-Myers o.fl. 2018). Merking eldislaxa með stöðugum baríumsamsætum virðist vera besta aðferðin sem nú er í boði til auðkenningar eldislaxa á Íslandi þegar litið er til mögulegs merklingarárangurs, kostnaðar og dýravelferðar.

Þakkir

Gísli Jónsson (MAST) veitti mikilvæga aðstoð í upphafi verkefnis. Sigurður Örn Jakobsson (Íspór ehf.) útvegaði laxaseiði og bóluefni. Matthías Oddgeirsson, Agnar Steinarsson, Kristján Sigurðsson, Njáll Jónsson og Tómas Árnason (Tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar á Stað í Grindavík) sáu um eldi seiða meðan á tilrauninni stóð og aðstoðuðu á margan hátt. Hlynur Bárðarson og Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir tóku þátt í kvartatöku seiða. Guðni Guðbergsson las yfir handrit að skýrslunni. Öllum eru færðar bestu þakkir fyrir.

Verkefnið var styrkt af umhverfissjóði sjókvíaeldis.

Heimildir

- ATSDR. (2007). *Toxicological Profile for Barium and Barium Compounds*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 184 bls.
- Baranski, M., Jacq, C., Karlsson, S., Hayes, B. og Blonk, R. (2014). *SporLaks –Industry-wide tracing of Norwegian farmed Atlantic salmon*. Final Report. Nofima report 12/2014, 24 bls.
- Dempster, T., Arechavala-Lopez, P., Barrett, L. T., Fleming, I. A., Sanchez-Jerez, P. og Uglem, I. (2016). *Recapturing escaped fish from marine aquaculture is largely unsuccessful: alternatives to reduce the number of escapees in the wild*. Reviews in Aquaculture, doi: 10.1111/raq.12153
- DFO. (2013). *Potential Effects Surrounding the Importation of European-Origin Atlantic Salmon to Atlantic Salmon Populations and Habitats in Newfoundland*. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2013/050, 13 bls.
- EC (European Commission). (1999). *Reports of the Scientific Committee for Food* (43. útg., ISBN 92-828-5887-1). Opinions on: Arsenic, Barium, Fluoride, Boron and Manganese in Natural Mineral Waters (Expressed on 13 December 1996), bls. 1 - 10.
- EPA. (2012). *2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency*, Washington, DC. EPA 822-S-12-001, 12 bls.
- Eydís Njarðardóttir. (2001). *Örmerki árið 2000*. Veiðimálastofnun, VMST-R/0103X, 13 bls.
- Forseth, T., Barlaup, B.T., Finstad, B., Fiske, P., Gjøsæter, H., Falkegård, M., Hindar, A. Mo, T.A., Rikardsen, A.H., Thorstad, E.B., Vøllestad, L.A. og Wennevik, V. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74: 1496 – 1513.
- Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, Ø. og Svåsand., T. (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries* 18: 890 – 927.
- Glover, K.A., Skilbrei, O.T. og Skaala, O. (2008). Genetic assignment identifies farm of origin for Atlantic salmon *Salmo salar* escapees in a Norwegian fjord. *ICES Journal of Marine Science* 65: 912 – 920.
- Heggberget, T.G., Skilbrei, O., Thorstad, E.B, Moen, V. og Johnsen, B.O. (2000). *Merking av kulturlaks i Norge - en utredning av aktuelle metoder, kostnader og effekter*. NINA Oppdragsmelding 640, 25 bls.
- Høviskeland, H.T., Leikvoll, B., Nilsen, R. & Poléo, A.B.S. (2008). *Rømt oppdrettsfisk*. Riksadvokatens arbeidsgruppe, 15. februar: 1 – 60.
- IPCS (International Programme on Chemical Safety). (2001). *Barium and barium compounds*. World Health Organization, Geneva. CICAD 33, 52 bls.
- Jensen, Ø., Dempster, T., Thorstad, E.B., Uglem, I. og Fredheim, A. (2010). Escapes of fish from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences and methods to prevent escape. *Aquaculture Environment Interactions*, 1: 71 – 83.
- de Laeter, J.R., Bohlke, J.K., De Bievre, P., Hidaka, H., Peiser, H.S., Rosman, K.J.R. og Taylor, P.D.P. (2003). Atomic weights of the elements: review 2000 — (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry* 75: 683 – 800.
- Leó Alexander Guðmundsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Jóhannes Guðbrandsson og Sigurður Már Einarsson. (2017). *Erfðablöndun eldislaxa af norskum uppruna við íslenska laxastofna*. Hafrannsóknastofnun. HV 2017-031, 31 bls.
- Miljøkrim. (2017). *Refleksjoner over arbeidet med miljøkriminalitet*. Hans Tore Høviskeland (ritstj.). Økokrim, nr. 1, årg. 20, 55 bls.

- Olsen, J.B., Busack, C., Britt, J. og Bentzen, P. (2001). The aunt and uncle effect: an empirical evaluation of the confounding influence of full sibs of parents on pedigree reconstruction. *Journal of Heredity*, 92: 243 – 247.
- SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risks, European Commission). (2012). *Assessment of the Tolerable Daily Intake of Barium*. 13 bls.
- Skilbrei, O.T., Heino, M. og Svåsand, T. (2015). Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages from farm sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 670 – 685.
- Tevasvold, G., Røttereng, P.J. og Forås, E. (2017). *Evaluering av metoder for merking og sporing av laks*. Rambøll, rapport nr. 1350021079. 48 bls.
- Thorrold, S.R., Jones, G.P., Planes, S. og Hare, J.A. (2006). Transgenerational marking of embryonic otoliths in marine fishes using barium stable isotopes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63: 1193 – 1197.
- Walker, A.M., Beveridge, M.C.M., Crozier, W., Ó Maoiléidigh, N. og Milner, N. (2006). Monitoring the incidence of escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in rivers and fisheries of the United Kingdom and Ireland: current progress and recommendations for future programmes. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1201 – 1210.
- Warren-Myers, F., Dempster, T., Fjellidal, P.G., Hansen, T., Jensen, A.J. og Swearer, S.E. (2014). Stable isotope marking of otoliths during vaccination: a novel method for mass-marking fish. *Aquaculture Environment Interactions*, 5: 143 – 154.
- Warren-Myers, F., Dempster, T., Fjellidal, P.G., Hansen, T. og Swearer, S.E. (2015). *An industry-scale mass marking technique for tracing farmed fish escapees*. PLoS One, 10(3), e0118594.
- Warren-Myers, F., Dempster, T. og Swearer, S.E. (2018). *Otolith mass marking techniques for aquaculture and restocking: benefits and limitations*. Reviews in Fish Biology and Fisheries, doi.org/10.1007/s11160-018-9515-4
- Williamson, D.H., Jones, G.P., Thorrold, S.R. og Frisch, A.J. (2009). Transgenerational marking of marine fish larvae: stable isotope retention, physiological effects and health issues. *Journal of Fish Biology*, 74: 891 – 905.
- VKM. (2016). *Risk assessment of marking and tracing methods with regards to the welfare of farmed salmonids. Opinion of the Panel on Animal Health and Welfare*. Report from the Norwegian Scientific Committee for Food Safety (VKM) 2016: 67, 74 bls.

Viðauki

Yfirlit yfir hæstu gildi mælinga á hlutfalli sjaldgæfra baríumsamsæta (^{135}Ba , ^{136}Ba , ^{137}Ba) á móti algengustu samsætunni (^{138}Ba), þ.e. hæsta gildi á styrk mælinga fyrir einstakar samsætur. Einnig er uppgefinn styrkur samsæta í tilraunum, þyngdarfrávik fiska frá 250 g við merkingu, hvort merking hafi tekist og athugasemdir. Fiskur taldist merktur er hann mældist yfir meðaltal mælinga viðmiðunarhóps + 3,3 SD þrjár mælingar í röð (sjá röksemdir í Warren-Myers o.fl. 2014). Þröskuldsgildin voru 0,117 (^{135}Ba : ^{138}Ba), 0,135 (^{136}Ba : ^{138}Ba) og 0,184 (^{137}Ba : ^{138}Ba). Athuga að hér eru aðeins hæstu hlutföll sýnd svo ef fiskur mældist yfir þröskuldsgildi en taldist ekki merktur þýðir það að mælingarnar fóru ekki yfir þröskuldsgildin þrjár mælingar í röð.

Tilraun 1: ^{135}Ba 0,001 $\mu\text{g/g}$

Nr. fiska	^{135}Ba	^{136}Ba	^{137}Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T1_1	0,163	0,119	0,175	0%	Já	
T1_2	0,147	0,132	0,179	36%	Já	
T1_3	0,119	0,121	0,184	50%	Nei	
T1_4	0,115	0,129	0,196	3%	Nei	
T1_5	0,250	0,145	0,202	-5%	Já	
T1_6	0,129	0,123	0,175	12%	Já	Kvörn límd öfug

Tilraun 2: ^{135}Ba 0,01 $\mu\text{g/g}$

Nr.	^{135}Ba	^{136}Ba	^{137}Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T2_1	0,141	0,121	0,178	-5%	Já	
T2_2	0,861	0,131	0,183	12%	Já	
T2_3	0,115	0,119	0,187	-21%	Nei	
T2_4	0,359	0,134	0,183	-16%	Já	
T2_5	0,328	0,146	0,188	41%	Já	
T2_6	0,314	0,134	0,176	-16%	Já	
T2_7	0,334	0,132	0,182	26%	Já	Kvörn límd öfug
T2_8	3,938	0,141	0,187	25%	Já	Kvörn límd öfug. Nr. B7 á 2. mynd
T2_9	2,615	0,122	0,186	38%	Já	
T2_10	1,085	0,137	0,185	52%	Já	

Tilraun 3: ^{136}Ba 0,001 $\mu\text{g/g}$

Nr.	^{135}Ba	^{136}Ba	^{137}Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T3_1	0,125	0,138	0,197	18%	Nei	
T3_2	0,117	2,241	0,204	34%	Já	
T3_3				53%		Kvörn eyðilagðist í hreinsun
T3_4	0,113	0,123	0,189	26%	Nei	
T3_5	0,105	0,539	0,176	7%	Já	
T3_6	0,114	1,524	0,197	73%	Já	Nr. C3 á 2. mynd
T3_7	X	X	X	24%	X	Kvörn límd öfug. Óvissa of mikil í gögnum
T3_8	0,121	0,196	0,186	1%	Já	
T3_9	0,106	0,217	0,178	5%	Já	
T3_10	0,107	0,236	0,179	26%	Já	

Tilraun 4: ¹³⁷Ba 0,001 µg/g

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T4_1	0,113	0,127	0,179	26%	Nei	
T4_2	0,108	0,126	0,197	14%	Nei	
T4_3				6%		Kvörn eyðilagðist í hreinsun
T4_4	0,109	0,128	1,792	18%	Já	
T4_5	0,098	0,106	4,151	-26%	Já	
T4_6	0,112	0,131	0,891	0%	Já	Nr. D7 á 2. mynd
T4_7	0,110	0,126	0,242	6%	Já	
T4_8	0,115	0,136	0,227	12%	Já	
T4_9	0,104	0,122	0,176	72%	Nei	
T4_10				57%		Kvörn eyðilagðist í hreinsun

Tilraun 5: ¹³⁵Ba + ¹³⁶Ba 0,01 µg/g

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T5_1	0,455	3,732	0,297	36%	Já	
T5_2	0,177	0,923	0,182	15%	Já	
T5_3	0,112	0,123	0,183	46%	Nei	Kvörn gæti verið T5_3, T5_10 eða T6_2
T5_4	0,337	0,388	0,179	-12%	Já	
T5_5	0,298	0,132*	0,178	7%	Já/Nei*	
T5_6	3,279	0,208	0,209	23%	Já	
T5_7	0,296	0,123*	0,187	-2%	Já/Nei*	
T5_8	0,224	0,121*	0,186	-9%	Já/Nei*	
T5_9	0,456	0,131*	0,179	50%	Já/Nei*	Kvörn límd öfug
T5_10	0,118	0,133	0,176	57%	Nei	Kvörn gæti verið T5_3, T5_10 eða T6_2

Tilraun 6: ¹³⁵Ba + ¹³⁶Ba 0,02 µg/g

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	Þ.frávik	Merki	Athugasemdir
T6_1	0,187	0,152	0,204	58%	Já	
T6_2	0,408	0,120	0,168	26%	X	Kvörn gæti verið T5_3, T5_10 eða T6_2
T6_3	0,130	0,134*	0,207	24%	Já/Nei*	
T6_4	0,113	0,121	0,175	24%	Nei	
T6_5	0,116	0,128	0,184	-11%	Nei	
T6_6	0,176	0,154	0,203	-4%	Já	
T6_7	1,269	1,265	0,186	27%	Já	Nr. F4 á 3. mynd
T6_8	0,197	0,215	0,178	38%	Já	
T6_9	0,113	0,118	0,184	13%	Nei	
T6_10	0,123	0,134	0,185	68%	Nei	

Tilraun 7: ¹³⁵Ba + ¹³⁷Ba 0,01 µg/g

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	p.frávik	Merki	Athugasemdir
T7_1	0,119	0,121	0,187	-5%	Nei	
T7_2	0,113	0,125	0,175	42%	Nei	
T7_3	0,549	0,135	0,249	40%	Já	
T7_4	0,229	0,122	0,176*	10%	Já/Nei*	
T7_5	1,165	0,121	1,878	8%	Já	Nr. F10 á 3. mynd
T7_6	0,135	0,127	0,403	20%	Já	
T7_7	0,128	0,121	0,184	23%	Nei	
T7_8	0,134	0,128	0,189*	-2%	Já/Nei*	
T7_9	0,238	0,121	0,186*	-3%	Já/Nei*	
T7_10	0,118	0,134	0,185	2%	Nei	

Tilraun 8: ¹³⁶Ba + ¹³⁷Ba 0,01 µg/g

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	p.frávik	Merki	Athugasemdir
T8_1	0,107	0,303	0,299	44%	Já	
T8_2	0,112	0,216	0,254	14%	Já	
T8_3	0,114	0,120	0,184	28%	Nei	
T8_4	0,122	1,031	0,928	28%	Já	
T8_5	0,107	2,518	2,051	45%	Já	
T8_6	0,114	1,506	1,281	64%	Já	Nr. G11 á 3. mynd
T8_7	0,123	0,120	0,206	44%	Nei	Kvörn límd öfug. Óvissa í gögnum
T8_8	0,115	0,197	0,247	34%	Já	
T8_9	0,106	0,766	0,691	47%	Já	
T8_10	0,107	0,468	0,430	69%	Já	

Viðmiðunarráttur

Nr.	¹³⁵ Ba	¹³⁶ Ba	¹³⁷ Ba	p.frávik	Athugasemdir
V_1	0,113	0,119	0,182	22%	
V_2	0,117	0,124	0,191	44%	
V_3	0,116	0,134	0,181	58%	Kvörn límd öfug
V_4	X	X	X	29%	Kvörn límd öfug. Óvissa of mikil í gögnum
V_5	0,105	0,119	0,167	38%	Kvörn límd öfug
V_6	0,11	0,136	0,188	-6%	
V_7	0,106	0,138	0,187	17%	Kvörn límd öfug
V_8	0,114	0,131	0,183	-8%	
V_9	0,106	0,127	0,172	25%	
V_10	0,109	0,129	0,181	23%	Kvörn límd öfug

Fullorðinn náttúrulegur lax og strokulax úr eldi, ómerktur fiskur

Nr.	¹³⁵Ba	¹³⁶Ba	¹³⁷Ba	Merki	Athugasemdir
Dalsá_1	0,112	0,131	0,184	Nei	Náttúrulegur
Dalsá_2	0,118	0,134	0,183	Nei	Náttúrulegur
Hvítá_1	0,121	0,135	0,197	Nei	Náttúrulegur
Hvítá_2	0,105	0,122	0,177	Nei	Náttúrulegur
Laugardalsá_1	0,116	0,127	0,179	Nei	Náttúrulegur
Laugardalsá_2	0,121	0,123	0,187	Nei	Náttúrulegur
Blanda_1	0,120	0,128	0,189	Nei	Náttúrulegur
Blanda_2	0,124	0,123	0,188	Nei	Náttúrulegur
Patreksfjörður_1	0,105	0,123	0,178	Nei	Eldi
Patreksfjörður_2	0,103	0,122	0,184	Nei	Eldi



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna