

Nýsköpun & neytendur  
Consumers & Products

Vinnsla & virðisaukning  
Value Chain & Processing

Erfðir & eldi  
Genetics & Aquaculture

Líftækni & lífefni  
Biotechnology & Biomolecules

Mælingar & miðlun  
Analysis & Consulting

Öryggi & umhverfi  
Food Safety & Environment



# Þróun iðnaðarvædds þorskeldis : Stjórn vaxtar og kynþroska með háþróuðum ljósabúnaði

Rannveig Björnsdóttir  
Jónína Þ Jóhannsdóttir  
Jón Árnason  
Þorleifur Eiríksson  
Cristian Gallo  
Böðvar Þórisson  
Þorleifur Ágústsson  
Björn Þrándur Björnsson  
Guðbjörg Stella Árnadóttir

Erfðir og eldi

Skýrsla Matis 37-09  
Nóvember 2009

ISSN 1670-7192

## Þróun iðnaðarvæðds þorskeldis:

### Stjórn vaxtar og kynþroska með háþróuðum ljósabúnaði

*Matís ohf.*

*Hraðfrystihúsið Gunnvör hf.*

*Hafrannsóknastofnunin*

*Náttúrustofa Vestfjarða*

*Háskólinn í Gautaborg*

*Háskólinn á Akureyri*

*Háskólinn á Hólum*

Nóvember 2009



NÁTTÚRUSTOFA  
VESTFJARÐA



Hafrannsóknastofnunin



GÖTEBORGS UNIVERSITET



Háskólinn  
á Akureyri



**Lokaskýrsla verkefnis númer R012-06: 1.6.2006 til 1.6.2009**

#### **Höfundar skýrslu:**

Rannveig Björnsdóttir, Jónína Þ Jóhannsdóttir, Jón Árnason – **Matís ohf.**

Guðbjörg Stella Árnadóttir (MSc nemi), Rannveig Björnsdóttir – **Háskólinn á Akureyri**

Þorleifur Eiríksson, Cristian Gallo, Böðvar Þórisson, Þorleifur Ágústsson – **Náttúrustofa Vestfjarða**

Björn Þrándur Björnsson – **Gautaborgarháskóli**

<i>Titill / Title</i>		<b>Þróun iðnaðarvædds þorskeldis : Stjórn vaxtar og kynþroska með háþrúðum ljósabúnaði / Improved lighting technology for regulating sexual maturation of farmed cod</b>	
<i>Höfundar / Authors</i>		Rannveig Björnsdóttir, Jónína Þ Jóhannsdóttir, Jón Árnason, Þorleifur Eiríksson, Cristian Gallo, Böðvar Þórisson, Þorleifur Ágústsson, Björn Þrándur Björnsson, Guðbjörg Stella Árnadóttir	
<i>Skýrsla / Report no.</i>	37 - 09	<i>Útgáfudagur / Date:</i>	Nóvember 2009
<i>Verknr. / project no.</i>	3005 – 1705		
<i>Styrktaraðilar / funding:</i> AVS rannsóknasjóður í sjávarútvegi			
<i>Ágrip á íslensku:</i>		<p>Heildarmarkmið verkefnisins var að bæta eldistækni í þorskeldi með notkun nýrrar gerðar ljósa í því markmiði að stjórna kynþroska hjá þorski. Um er að ræða ljós sem gefa frá sér eina bylgjulengd sem dreifist betur um vatnsfasann samanborið við halogen ljós sem hefðbundið eru notuð og hefur þessi nýja gerð ljósa reynst mjög árangursrík í forrannsóknunum. Jafnframt var kannað hvort ljósastýring strax á seiðastigi gæti hugsanlega ýtt undir þessi áhrif í kvíaeldinu. Stöðug meðhöndlun með ljósunum á seiðastigi hafði ekki áhrif á vöxt seiðanna en vísbendingar voru um færri vaxtargalla seiða. Ljósastýring á seiðastigi virtist þó hafa neikvæð áhrif á vöxt fisksins eftir flutning í sjókvíar auk þess sem mikið var um óútskýrð afföll í þeim hóp. Ljósastýring fiska í kvíum hafði jákvæð áhrif á vöxt fisksins samanborið við fisk sem haldið var við náttúrulega ljóslotu í sjókvíaeldi.</p> <p>Í verkefninu voru jafnframt þróaðar og staðlaðar nýjar aðferðir til mælinga á styrk vaxtarhormóna í þorski og reyndist aðferðin bæði næm og örugg. Ekki tókst að sýna fram á samband vaxtarhraða og styrks vaxtarhormóna í blóði fiskanna í þessari rannsókn en aðferðin veitir mikla framtíðamöguleika við rannsóknir á t.d. vaxtarhraða villts þorsks. Einnig var í verkefninu unnin ítarleg rannsókn á áhrifum sjókvíaeldis á fjölbreytileika og tegundasamsetningu botndýralífs undir kvíum. Vart varð víðtækra breytinga á tegundasamsetningu botndýra þrátt fyrir lítið álag samfara eldi í kvíunum yfir þriggja ára tímabil.</p>	
<i>Lykilorð á íslensku:</i>		<i>Þorskeldi, ný ljósatækni, vaxtarhormón, umhverfisáhrif</i>	
<i>Summary in English:</i>		<p>The overall aim of the project was to improve cod farming technology through delaying sexual maturation of cod by the use of a new lighting technology. The novel lights emit only one wavelength that is more effectively dispersed in water compared to the metal halogen lights traditionally used.</p> <p>Continuous manipulation using the novel light technology during the juvenile stage did not affect fish growth or survival. Indications of reduced frequency of deformities were however observed in this group. Light manipulation during the juvenile stage was furthermore found to negatively affect fish growth following transfer to sea cages and significantly higher unexplained loss of fish was observed in this group. Continuous light manipulation during on-growing in sea cages resulted in significantly improved growth of the fish compared with fish exposed to ambient light.</p> <p>New methods were furthermore developed for measuring the concentration of growth hormones in cod. A relationship between fish growth and the concentration of growth hormones could not be established. The method however provides an important tool for future studies of the growth of e.g. wild cod.</p> <p>Detailed studies of species diversity in bottom layers below the sea cages were also carried out, revealing extensive changes in species composition during the three year study.</p>	
<i>English keywords:</i>		<i>Cod farming, novel lights, growth hormone, environment</i>	

## EFNISYFIRLIT

<b>1. INNGANGUR</b> .....	<b>1</b>
<b>2. FRAMKVÆMD – EFNI OG AÐFERÐIR</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Ljósabúnaður</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Strandeldisstig</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3 Sjúkvíaeldisstig</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 Greining sýna</b> .....	<b>9</b>
2.4.1 Vöxtur og kynþroski.....	9
2.4.2 Fjöldi og afföll.....	9
2.4.3 IGF-I.....	9
2.4.4 Gæðamat.....	11
2.4.5 Umhverfismælingar.....	11
2.4.6 Tölfræðiúrvinnsla gagna .....	12
<b>3. NIÐURSTÖÐUR</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Vöxtur</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2 Einstaklingsvöxtur og holdstuðull</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3 IGF-I</b> .....	<b>21</b>
<b>3.4 Kynþroski – GSI</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5 Fóðurstuðull (FCR)</b> .....	<b>23</b>
<b>3.6 Afföll</b> .....	<b>24</b>
<b>3.7 Gæðamat</b> .....	<b>26</b>
<b>3.8 Umhverfisáhrif þorskeldis á sjókvíum</b> .....	<b>28</b>
<b>4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR</b> .....	<b>29</b>
<b>5. ÞAKKARORÐ</b> .....	<b>32</b>
<b>6. HEIMILDIR</b> .....	<b>33</b>
<b>7. VIÐAUKAR</b> .....	<b>35</b>

## 1. INNGANGUR

Áætlað er að þorskur (*Gadus morhua* L.) verði þegar fram líða stundir ein mikilvægasta tegundin í sjávarfiskaeldi í Evrópu á eftir laxi. Eldi á þorski hefur hins vegar átt undir högg að sækja og var framleiðsla á eldisþorski undir 1 000 tonnum árið 2003, um 12 000 tonn árið 2007 og áætlað er að framleiðslan verði um 150 000 tonn á árinu 2010 og geti verið komin í um 200 000 tonn árið 2013 sem þó er einungis lítið brot af áætlaðri neyslu (Rosenlund and Skretting, 2006 og 2004). Þetta þýðir markaðsverðmæti upp á hundruðir milljóna evra.

Eldistími frá klaki að markaðsstærð (um 3 kg) ætti ekki að vera lengri en 24 mánuðir (Rosenlund og Skretting, 2006), en einn mikilvægasti flöskuháls þorskeldis í dag er kynþroski á vaxtartímanum. Við stríðeldisaðstæður getur þorskurinn orðið kynþroska á innan við 2 árum eftir klak og allt niður í undir hálfu kíló að þyngd (Braaten, 1984; Godo and Moksness, 1987; Karlsen *et al.* 1995) sem er mun fyrr en villtur þorskur (Berg & Albert, 2003; Johansen *et al.*, 2000; Rey and Junquera, 1998). Kynþroski og hrygning draga úr vexti og tími fram til slátrunar lengist sökum þess að fiskurinn hættir að taka til sín fæðu um mánuði fyrir hrygningu og ver allri sinnu orku til uppbyggingar kynkirtla. Vandamál tengd snemmbærum kynþroska eru algeng við eldi ýmissa annarra tegunda og má þar sem dæmi nefna lax, regnbogasilung, eldissjóvarta (European sea bass) og ostrur (oysters) (Bromage *et al.*, 2001). Kynþroski stjórnast af erfðum (innri stjórn) og umhverfi (ytri stjórn). Kynbætur hafa verið nýttar í þeim tilgangi að forðast ótímabæran kynþroska hjá eldistegundum, sérstaklega laxi, en slík vinna tekur þó nokkrar kynslóðir (norskur eldislax er nú á níundu kynbótakynslóð). Það er því mjög mikilvægt að rannsaka og nýta umhverfisstjórnun samhliða slíkri kynbótavinnu. Eins og kemur fram að ofanefndu, þá er eitt af meginvandamálunum í þorskeldi, líkt og hjá mörgum öðrum eldistegundum, hve kynþroski er nátengdur vaxtarhraða, þannig að stríðalinn fiskur kynþroskast mjög snemma. Iðnaðurinn og sérfræðingar almennt hafa á undanförunum árum meira farið að nota ljósastýringu til að ná fram hagræðingu á ýmsum þáttum í fiskeldi og hefur ljósastýring til að mynda verið notuð með góðum árangri við eldi á laxi.

Ljóslosta er einn af þeim umhverfisþáttum sem hefur hvað mest áhrif á vöxt þorsks líkt og hjá öðrum fisktegundum (Esteban *et al.*, 2006; Norberg *et al.*, 2001). Nýlegar rannsóknir benda til að unnt sé að auka vaxtarhraða þorsks með því að nota ljósastýringu til að lengja daginn yfir haust og vetrarmánuðina. Slík ljósastýring gefur merki um “stöðugt sumar”, sem er

megin ætistímabilið. Fiskurinn skynjar þá ekki heldur hina náttúrulegu styttingu dags frá sumar- til vetrarsólstöðu, sem er það umhverfismerki sem fiskurinn nýtir sér til að tímasetja kynþroskaferlið og hrygningu. Þetta getur því komið í veg fyrir kynþroska eða frestað honum um a.m.k. eitt ár (Almeida *et al.*, 2009; Dahle *et al.*, 2000; Davie *et al.*, 2007a,b; Davie 2005; Davie *et al.*, 2003, 2004; Hansen *et al.*, 2001; Karlsen *et al.*, 2006a,b; Karlsen *et al.*, 2000; Kristoffersen, *et al.*, 2004; Taranger *et al.*, 2006; Taranger, *et al.*, 2004). Auk áhrifa á kynþroska gefur ljósastýring möguleika á allt að 60% betri vexti sem þýðir að hægt er að framleiða 3ja kg fisk með ljósastýringu á sama tíma og 2ja kg fisk með náttúrulegri ljóslootu. Hins vegar hefur ekki reynst mögulegt að ná þessum árangri við eldi þorsks í sjókvíum á iðnaðarskala og hafa niðurstöður verið misvísandi, allt frá því að hafa engin áhrif upp í frestun hrygningar í allt að 6 mánuði (upplýsingar frá skoskum eldisbændum). Út frá fyrri rannsóknum á áhrifum ljósastýringar á kynþroska þorsks (Hansen *et al.*, 2001; Davie *et al.*, 2007a; Almeida *et al.*, 2009), þá ætti notkun ljósastýringar að byrja um mitt sumar, þ.e. um 18 mánuðum eftir klak, og vara fram á næsta sumar eða lengur. Með notkun ljósastýringar frá 18 mánuðum eftir klak verður í tönkum innandyra ekki vart við kynþroska fyrr en eftir 3 ár í eldi (Hansen *et al.*, 2001). Svipaðar niðurstöður hafa fengist í sjókvíum með blöndu af náttúrulegu ljósi og stöðugri ljóslootu (Dahle *et al.*, 2000; Kristoffersen *et al.*, unpublished data). Aftur á móti hafa bestu niðurstöður í sjókvíum yfirleitt seinkað eðlilegum hrygningartíma hjá þorski 2 árum eftir klak frá febrúar-mars fram til júní eða ágúst þó svo einhver hluti stofnsins hrygni á eðlilegum tíma (Taranger *et al.*, 2006). Seinkun eða frestun kynþroska hefur víðtæk áhrif á arðbærni eldisins og því mikilvægt að leita leiða til stýringar kynþroska við eldi þorsks og annarra sjávarfiska.

Rannsóknir hafa sýnt að ljósastýring hefur áhrif á fæðuinntöku þar sem ljós er mikilvægt við fæðunám hjá þorski (Puvanendran and Brown, 2002). Áhrif ljóslootu á hreyfingu fiska hafa einnig verið rannsökuð og sýna niðurstöður rannsókna á fengrana (catfish) að fiskurinn syndir meira við stöðugt bjart ljós í samanburði við náttúrulega ljóslootu (12D:12L) (Almazán-Rueda *et al.*, 2004). Húðlitur fiska ræðst jafnframt af ljósmagni og lit í nánasta umhverfi hans. Aukið ljósmagn veldur því oft að húðin lýsist en hjá sumum tegundum dekkist hún vegna aukins álags samfara ljósunum (Rotllant *et al.*, 2003). Niðurstöður rannsókna hafa einnig leitt í ljós að styrkur ljóss fremur en fjöldi ljósa hafi hvað mest áhrif á sjálfrán ákveðinna tegunda s.s. lirlfur og seiði eldissjóvarta (sea bass) og vatnaborra (perch) (Cuvier-Péres *et al.*, 2001;

Kestemont *et al.*, 2003) auk þess sem árásarhneigð fengrana (catfish) virtist aukast við stöðuga lýsingu (Almazán-Rueda *et al.*, 2004).

Ljóslosta hefur mikil áhrif á framleiðslu hormóna og þá sérstaklega vaxtarhormóna og skjaldkirtilshormóna (Boeuf and Le Bail, 1989; Björnsson, 1997; Björnsson *et al.*, 2000; Han *et al.*, 2005). Þau hormón sem almennt eru talin mikilvægust við vaxtarstjórnun í fiski og öðrum hryggdýrum eru vaxtarhormón (growth hormone, GH) og insúlín-líkur vaxtarþáttur I (insulin-like growth factor I; IGF-I). GH er framleitt í heiladingli og hefur víðtæk áhrif í lífeðlisfræði fiska s.s. seltubúskap og efnaskipti fitu, próteina og kolvetna, vöxt beina og vöðva, æxlun og ónæmissvörun (Ágústsson *et al.*, 2002; Björnsson, 1997; Björnsson *et al.*, 2002; Canosa *et al.*, 2006; Fleming *et al.*, 2002; Nordgarden *et al.*, 2006; Reinecke *et al.*, 2005). Ýmsir umhverfis- og árstíðarbundnir þættir hafa áhrif á magn IGF-I í blóði fiska (Nordgarden *et al.*, 2005; Reinecke *et al.*, 2005). Sem dæmi má nefna að aukið magn IGF-I tengist hærra hitastigi (Gabillard *et al.*, 2003; Beckman *et al.*, 2004; Eppler *et al.*, 2006) auk þess sem takmarkaður aðgangur að fóðri veldur lækkun IGF-I í blóði fiska (Gabillard *et al.*, 2003; Pierce *et al.*, 2004; Small and Peterson, 2004). Rannsóknir sýna að IGF-I magn í blóði laxa er í hámarki í október þegar laxinn hefur undirbúning fyrir hrygningu (Nordgarden *et al.*, 2005) og búast má við svipuðu mynstri hjá þorski (Dyer *et al.*, 2004).

IGF-I er ásamt GH lykilþáttur í fósturþroskun og vaxtarstjórnun beinfiska og eru þessi hormón því lykilþættir við eldi ýmissa fisktegunda. Fram til þessa er þó lítið sem ekkert vitað um GH-IGF-I kerfið hjá þorski og hvort unnt sé með ljóslosta að hafa áhrif á framleiðslu þessara hormóna eða hvernig það tengist vexti og kynþroska þorsks. Styrkur IGF-I hefur ekki áður verið mældur í þorski en radioimmunoassay (RIA) er mest notaða aðferðin við slíkar mælingar í fiski en þar er stuðst við sérhæfð mótefni gegn IGF-I sameindinni sem reynist hafa lítinn breytileika milli fisktegunda. Aðferðin hefur um árabil verið notuð í Gautaborg við mælingar á IGF-I styrk í blóði laxfiska svo og sjávarfisktegunda á borð við lúðu og sandhverfu (Hildahl *et al.*, 2007; Imsland *et al.*, 2007; McCormick *et al.*, 2003), og voru því við upphaf verkefnisins taldar góðar líkur á að unnt væri að nýta aðferðina við rannsóknir á IGF-I í þorski.

Niðurstöður fyrri rannsókna sýna að mismunandi fisktegundir bregðast með mismunandi hætti við ljósastýringu og því ljóst að ekki er unnt að yfirfæra aðferðir við ljósastýringu á milli tegunda án þess að meta áhrif á lykillþætti s.s. vöxt og kynþroska. Í rannsókninni voru þorskseiði ljósameðhöndluð með nýrri ljósatækni (Cold-Cathode Lights; CCLs) frá því þau voru um 10g þyngd. Ljósín gefa frá sér græna bylgjulengd sem rannsóknir sýna að þorskurinn nemi betur en hvítt ljós (Northmore and Muntz 1970; Ziv *et al.*, 2007). Með ljósameðhöndluninni eru seiðunum skapaðar sérstakar umhverfisaðstæður mjög snemma á lífsferlinum með það að markmiði að kanna hvort unnt væri að ná fram aukinni næmni fyrir þessari bylgjulengd ljósa sem skilaði sér eftir að seiðin höfðu verið flutt í ljósastýrðar sjókvíar.

Megin markmið verkefnisins er að nota CCL's til að hafa áhrif á lykilatriði í þroskunarferli þorsks. Markmið verkefnisins er að nýta þessa ljósatækni til að ná fram bættum vaxtarhraða og seinkun kynþroska. Áætlað er að ljósastýrð vaxtarhvatning bæti fóðurnýtingu og styttri eldistímann og þar með minnki einnig umhverfisáhrif sjókvíaeldis. Seinkun eða hindrun kynþroska er talin auka gæði eldisþorsks og samantekið mun verkefnið því stuðla að aukinni hagkvæmni og framlegð í þorskeldi. Samhliða rannsóknum á áhrifum ljósastýringar á vöxt og kynþroska þorsks í eldi, var markmið verkefnisins einnig að skoða áhrif fiskeldis á botndýralíf og vakta breytingar á því vegna uppsöfnunar lífræns úrgangs frá eldinu. Verkefnið var unnið í samvinnu Matís ohf., Hraðfrystihússins Gunnvarar hf., Náttúrustofu Vestfjarða, Hafrannsóknastofnunar og Háskólans í Gautaborg, með aðkomu Hólaskóla-Háskólans á Hólum.

Tveir nemendur unnu hluta verkefnisins í rannsóknatengdu meistaranámi: **Guðbjörg Stella Árnadóttir** við mælingar á IGF-I í blóði þorsks tengt vexti fisksins á strandeldisstigi (*The effects of cold cathode lights on growth of juvenile Atlantic cod, Gadus morhua L.: use of IGF-I as an indicator of growth*“, MSc frá Viðskipta og Auðlindadeild HA haustið 2008) og **Filipe Figueiredo** (*Influence of continuous light on the sexual maturation and growth of Atlantic cod*, námslok MSc frá Háskólanum á Hólum fyrirhuguð vorið 2010). Þriðji meistaranemandinn, **Kjell Hellmann** nýtti jafnframt efnivið úr verkefninu til rannsókna á erfðum kynþroska og vaxtar (námslok MSc frá Háskólanum á Hólum fyrirhuguð vorið 2010)



## 2. FRAMKVÆMD – EFNI OG AÐFERÐIR

Rannsókninni var skipt upp í tvo megin verkþætti:

- STRANDELDISSTIG – eldi á þorskseiðum frá klaki að 200g.
- SJÓKVÍAELDISSTIG – eldi á þorski frá flutningi í sjó við 200g að sláturstærð

Í tilraunirnar var notaður aleldisfiskur framleiddur af Hafrannsóknastofnun á Stað við Grindavík og rannsökuð áhrif ljóslotu á vöxt og kynþroska fisksins. Ljósastýring var ýmist notuð frá upphafi seiðastigs eða frá upphafi sjókvíaeldisstigs og til viðmiðunar var fiskur sem gekk á náttúrulegri ljóslotu. Annað verkefnið (Codlight Tech) var unnið samhliða þessu þar sem ljósastýringu var beitt á áframeldis fisk, þ.e. villt veidd seiði sem fyrstu mánuðina voru alin í strandeldi en síðan flutt í kvíar og ljósastýringu beitt frá upphafi sjókvíaeldisstigs. Í því verkefni voru einnig rannsökuð áhrif ljóslotu á stærð og þroska eggfruma svo og á efnasamsetningu og gæði afurða auk þess sem lífmassamælir frá VAKI Aquaculture Systems var aðlagður mælingum á þorski. Niðurstöður Codlight Tech verkefnisins hafa verið birtar í lokaskýrslu til sjóðsins (júní 2009).

Vinna við verkefnið hófst 1. ágúst 2006 og var fyrstu sjö mánuðina unnið að fyrstu verkþáttum þar sem ljósastýrð þorsksseiði voru alin í strandeldi í kerum á Stað við Grindavík. Í maí 2007 voru fiskarnir fluttir í sjókvíar við Súðavík og hefur framkvæmd verkefnisins í megin dráttum verið samkvæmt áætlun sem sett var fram í upphaflegri umsókn til sjóðsins í febrúar 2006 (R012-06).

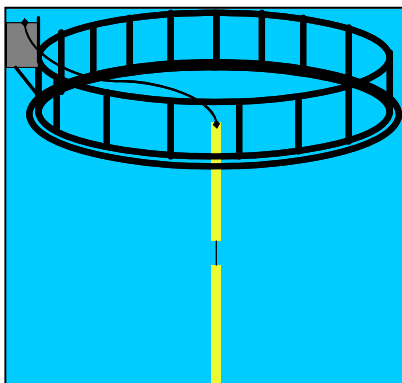
### 2.1 Ljósabúnaður

Í verkefninu var notuð ný gerð ljósa, svokölluð Cold-cathode ljós (CCL) frá Intravision í Noregi en þessi ljós gefa frá sér eina bylgjulengd sem dreifist betur um vatnsfasann samanborið við þau ljós sem hefðbundið eru notuð í fiskeldi (metal halogen). Rannsóknir hafa ennfremur sýnt að þorskur nemur þessa bylgjulengd ljósa (græn-grænblá) betur en bylgjulengd(ir) hefðbundinna metal halogen ljósa. Uppbygging CCL ljósanna er svipuð og neonljósa, þ.e. ljósin innihalda lampa með neon gasi undir léttum þrýstingi og hægt er að stjórna lit og magni CCL ljóssins með rafstraumi í gegnum lampann. CCL ljósin eru um fimm sinnum bjartari en neonljós og endast í um 50 000 klst. Þau eru ennfremur mjög sparneytin og

nota einungis um 5% af þeirri orku (Watt) sem hefðbundin metal halogen ljós nota. Einnig er mjög lítið flökt í CCL ljósunum sem minnkar líkur á að þau valdi stressi hjá fiskinum (Taylor *et al.*, 2008).

Uppsetning og þróun á CCL ljósunum var unnið sem hluti af Codlight Tech verkefninu sem unnið var samhliða þessu verkefni. Í upphaflegri umsókn um verkefnið var gert ráð fyrir að skoða áhrif af háum og lægri styrk ljósanna samanborið við náttúrulega ljóslotu, þ.e. gert var ráð fyrir tveimur kvíum með sex 100W CCL ljósum hver (600W/kví) og tveimur kvíum með þremur 100W CCL ljósum (300W/kví) auk tveggja kvía með náttúrulegri ljóslotu. Þetta var fyrirhugað þar sem reiknað var með að mismunandi ljósastyrkur hefði mismunandi áhrif á vöxt og kynþroska þorsksins. Niðurstöður fyrsta árs í Codlight Tech verkefninu sýndu hinsvegar að lítill og meðalhár styrkur ljósanna hafði lítill áhrif á vöxt og kynþroska fisksins og var því ákveðið að einskorða rannsóknirnar við hæsta ljósastyrkinn og rannsaka betur áhrif hans samanborið við náttúrulega ljóslotu.

Tvö 180cm löng CCL ljósrör voru tengd saman og staðsett á þremur stöðum inni í hverri kví (gular stangir á Mynd 1). Efra rörið var staðsett ~50cm undir yfirborði sjávar og það neðra á um 3m dýpi. Kaplar liggja frá straumkassanum í efra ljósrörið sem er síðan tengt við það neðra.



**Mynd 1.** Uppsetning CCL ljósa í sjókvíum.

## 2.2 Strandeldisstig

Villtur fiskur sem veiddur var við suðurströnd landsins var kreistur í Seiðaeldisstöð Hafró á Stað. Klak fór fram 1.maí 2006 og startfóðrun hófst 4. maí. Fyrstu 30 dagana voru lirfurnar fóðraðar á hjóldýrum ( $10\text{-}30.000.000 \text{ gjöf}^{-1}$ ) sem auðguð voru með Prótein Selco Plus (Inve, Belgía). Saltvatnsrækju (*Artemia*) var bætt við frá degi 15 og til dags 45 eftir klak ( $1\text{-}20.000.000 \text{ Artemia} \text{ gjöf}^{-1}$ ) og þurrfóður gefið með frá degi 15 eftir klak. Seiðin voru handfóðruð þrisvar á dag auk sjálfvirkrar fóðrunar í 12 tíma á sólarhring. Hitastig í kerjum var  $8^{\circ}\text{C}$  og rennsli  $20 \text{ L mín}^{-1}$  þar sem notaður var 30 % borholusjór (dælt úr 40m djúpri borholu).

Við upphaf tilrauna voru fiskarnir að meðaltali  $25 \pm 15 \text{ g}$  að þyngd en þá var 72 000 þorskseiðum skipt af handahófi í 6 ker sem voru  $3 \text{ m}^3$  að stærð ( $\sim 12\ 000$  fiskar/ker). Þrjú ker voru höfð með hefðbundnum ljósum (700 lux við yfirborð, 200 lux við 20 cm dýpi, 150 lux við 40 cm dýpi) og var ljós haft á allan sólarhringinn (24L:0D). Hin þrjú kerin voru höfð með CCL ljósum frá Intravison (4000 lux 5 cm frá ljósi, 1000 lux 20 cm frá ljósi, 500 lux 40 cm frá ljósi). Þéttleiki fiska í upphafi tilrauna var  $14 \text{ kg m}^{-3}$  og var honum haldið jöfnum á tímabilinu með sýnatökum og flutningi í  $30 \text{ m}^3$  ker eftir 14 vikur (í mars 2007). Ljósahópur sem áður var í þremur minni kerum var síðan sameinaður í eitt stórt ker fyrir flutning í sjókvíar og það sama var gert við viðmiðunarhópinn.

Sýni voru tekin úr hverju keru um það bil mánaðarlega frá byrjun nóvember 2006 til apríl 2007. Í hvert skipti voru um 100 fiskar úr hverju keru vegnir og um 30 þeirra lengdarmældir auk þess sem um 10 einstaklingar voru svæfðir og sýni tekin til mismunandi rannsókna: blóð til mælingar á IGF-I og sýni úr lifur og vöðva til genatjáningar á stýrigeni IGF-I sem framkvæmt var í verkefni sem unnið var samhliða (verkefnið "Erfðir ljóslotu hjá þorski" sem styrkt var af Tækniþróunarsjóði). Þrisvar sinnum á tímabilinu janúar til apríl 2007 voru 30 fiskar úr hverju keru einstaklingsmerktir og þeir síðan veiddir aftur 8 vikum síðar til mælinga á einstaklingavexti (specific growth rate; SGR) auk þess sem tekin voru sýni til foreldragreininga (*parental assignment*) sem framkvæmt var í samhliða verkefni (AVS verkefnið "Erfðir ljóslotu hjá þorski"). Fyrir frekari lýsingu á uppsetningu tilrauna og framkvæmd sýnatöku á seiðastigi er vísað í meistararitgerð Guðbjargar Stellsu Árnadóttur (*The effects of cold cathode lights on growth of juvenile Atlantic cod, Gadus morhua L.: use*

of *IGF-I as an indicator of growth*“, MSc frá Viðskipta og Auðlindadeild HA í nóvember 2008).

### 2.3 Sjókvíaeldisstig

Sjókvíarnar í Álftafirði voru staðsettar um 200 metra frá landi í tveimur aðskildum þyrpingum (N 66°01.522' - W22° 58.906' og 66°01.519' - W 22°58.776') og var dýpi undir þeim um 40-50 metrar. Straumur er góður á staðnum og lítil hætta er á lagnaðarís en ef lagnaðarís myndaðist þá voru þjónustubátarnir þrír á vegum Hraðfrystihússins Gunnvarar hf. í viðbragðsstöðu en ekki þurfti að sigla um svæðið og mylja niður lagnaðarís á tilraunátímanum. Fugl sækir óhjákvæmilega í fiskinn í kvíunum og er það helst skarfurinn sem nær að smeygja sér undir fuglanetið og ná sér í fisk. Hrefnur hafa sést á svæðinu og einnig örn.

Þann 6. maí 2007 var meðalþyngd seiðanna um 166 g og voru seiðin þá bólusett gegn kýlaveikibróður (baðbólusetning) fyrir flutning í sjókvíar. Samtals 19.880 seiði voru flutt vestur með flutningabíl og komið fyrir í fjórum hringlaga sjókvíum sem hver um sig var um 155 m<sup>3</sup> (6 metrar í þvermál og 5-6 metra djúpar). Í tveimur kvíanna var náttúruleg birta en hinar tvær voru útbúnar hvor með þremur CCL ljóssúlum (6 ljós) frá Intravision (263W kví<sup>-1</sup>). Fiskinum var dreift í kvíarnar (tæplega 5 000 seiði kví<sup>-1</sup>) og fiskur sem hafði verið í ljósum á seiðastigi var uggaklipptur til aðgreiningar frá fiski sem hafður var við hefðbundna lýsingu (metal halogen ljós) á seiðastigi. Þéttleiki var því fremur lítill í upphafi tilrauna eða um 5 kg m<sup>-3</sup>.

Starfsmenn Hraðfrystihússins Gunnvarar hf. sinntu kvíunum og fengu seiðin hefðbundna meðferð m.t.t. umhirðu og fóðrunar. Fiskinum var gefið þurrfóður (4-8 mm þorskfóður 15/53 frá Fóðurlöndunni hf.) og var fóðrað u.þ.b. daglega á tímabilinu maí til ágúst en fóðrunardögum fækkað með lækkandi umhverfishita, niður í 1-3 sinnum í viku. Dauðum fiski var safnað reglulega og fjöldi þeirra skráður svo og fóðurmagn sem gefið var í kvíarnar. Kafari á vegum HG kafaði einu sinni til tvisvar í mánuði við kvíarnar til að athuga ástand þeirra. Sýni voru tekin annan til þriðja hvern mánuð og slátrað var upp úr kvíunum í desember 2008.

## 2.4 Greining sýna

### 2.4.1 Vöxtur og kynþroski

Fylgst var reglulega með vexti fisksins á seiðastigi og í sjókvíaeldi. Sýnum af fiski var safnað á ákveðnum tímamarkum bæði á seiðastigi og eftir að seiðin höfðu verið flutt í sjókvíar. Fiskar sem voru ljósameðhöndlaðir með CCL ljósunum á seiðastigi voru uggaklipptir þannig að við sýnatökur úr sjókvíum var ávallt hægt að greina á milli uppruna fiskanna. **Vöxtur** var metinn með stöðluðum aðferðum þar sem mæld var þyngd og lengd (*fork length*) u.þ.b. 100 fiska úr hverri kví við hverja sýnatöku. Einnig voru á flestum sýnatökudögum valdir á bilinu 10-30 fiskar sem var fargað. Fiskurinn var þá slægður og **þyngd kynkirtla** mæld til ákvörðunar á hlutfallslegri stærð kynkirtla (GSI, gonadosomatic index). Á einstaka sýnatökudögum var **þyngd lifrar** einnig skráð til mats á hlutfallslegri stærð lifrar (HSI, hepatosomatic index).

**Holdstuðull** (condition factor, CF) er samband þyngdar og lengdar fisksins og var reiknaður samkvæmt formúlunni:  $CL = \text{fiskþyngd (g)} / \text{fisklengd (cm)}^3 \times 100$ .

### 2.4.2 Fjöldi og afföll

Fjöldi fiska sem settir voru í sjókvíar í maí 2007 var fenginn með því að deila í heildar lífmassa með meðalþyngd seiða við lok seiðastigs. Fjöldi fiska við lok tilraunar var fenginn með talningu upp úr kvíum við slátrun í desember 2008 og janúar 2009. Dauðir fiskar voru taldir á tímabilinu og óútskýrður dauði reiknaður (upphafs fjöldi fiska í kvíum að frádrögnum þeim fjölda fiska sem safnað var við sýnatökur, dauðum fiskum og fjölda fiska sem talinn var upp úr kvíum við lok tilrauna). Lífmassi dauðra fiska og fiska sem safnað var við sýnatöku var einnig reiknaður (fjöldi fiska x meðalþyngd fiska á því tímabili).

### 2.4.3 IGF-I

Mælingar á magni IGF-I í blóðvökva (plasma) voru framkvæmdar af meistaranema við verkefnið (Guðbjörg Stella Árnadóttir) í samstarfi við Prófessor Björn Þránd Björnsson og rannsóknarhóp hans í fiskalífisfræði við Háskólann í Gautaborg. Þessi hópur hefur verið leiðandi í rannsóknum á áhrifum umhverfisþátta svo sem ljóslotu á hormón og stjórnun lífsferla sem tengjast m.a. kynþroska hjá laxi og þorski (Björnsson et al 1994, Norberg et al

2004). Notuð var RadioImmuno Assay (RIA) aðferð við þessar mælingar en í verkefni sínu vann nemandi einnig að þróun aðferðar til mælingar á IGF-I með enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) aðferð sem er ódýrari og fljótlegri.

Mælingar með RIA aðferð voru framkvæmdar við Háskólann í Gautaborg sumarið og haustið 2007. Þekkt er að IGF-bindiprótein (IGFBPs) sem er að finna í blóðvökva fiska geta haft truflandi áhrif á mælingu IGF-I. Áhrif IGFBPs í blóðvökva þorsks voru hinsvegar ekki þekkt og því var styrkur IGF-I mældur í meðhöndluðum (extracted) og ómeðhöndluðum blóðvökva þar sem útdráttur á IGFBPs var framkvæmdur með aðferð Breier *et al.* (1991). Magn IGF-I í samtals 314 sýnum var síðan mælt með RIA aðferð (Moriyama *et al.* 1994) í 6 aðskildum keyrslum og greint í Gamma teljara (Gamma counter, Wizard 1470 Automatic, Wallac).

Við aðlögun ELISA aðferðarinnar til mælinga á magni IGF-I var stuðst við upplýsingar frá Long R<sup>3</sup> IGF-I ELISA (Novozymes GroPep Limited in Australia) og önnur gögn frá GroPep auk þess sem stuðst var við RIA aðferðina og aðferðir sem notaðar hafa verið við ELISA mælingar hjá Matís og Háskólanum á Akureyri. Magn IGF-I var síðan mælt með ljósgleypni við 405 nm í microplate mæli (Multiscan EX, Thermo Electron Corporation, Finland). Fyrir frekari lýsingu á aðferðum til mælinga á magni IGF-I og aðferðum við útreikninga og samanburð er vísað í meistara ritgerð Guðbjargar Stellu Árnadóttur.

Niðurstöður mælinga á IGF-I voru einnig hafðar til hliðsjónar í verkefninu “Erfðir ljóslotu hjá þorski” sem styrkt var af Tækniþróunarsjóði en markmið þess verkefnis var að einangra erfðapátt (gen) sem stýrir framleiðslu IGF-I með það að markmiði að skoða tengsl arfgerðar (Tækniþróunarsjóðsverkefnið) og svipgerðar (þetta verkefni). Þær upplýsingar verða birtar í meistara ritgerð Kjell Hellmann og verður þá unnt að meta tengst erfða og styrks IGF-I í blóðvökva seiða.

Nánari upplýsingar um aðferðir við mælingar á IGF-I í blóðvökva þorsks er að finna í viðlagðri ritgerð G. Stellu Árnadóttur til MSc prófs við Viðskipta og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri.

#### 2.4.4 Gæðamat

Við lok strandeldistímans voru gæði seiða rannsökuð með því að skoða útlit um 200 seiða úr hvorum hópi. Í sjókvíaeldinu var við allar sýnatökur framkvæmt sjónrænt mat á losi, mari, roðlit og holdlit auk þess sem fiskurinn var skoðaður m.t.t. beinagrindargalla og annarra útlitsgalla. Sýni voru jafnframt tekin úr lifur og vöðva fiska úr hverjum tilraunahópi og fitumagn og fitusýrusamsetning þeirra greind. Skynmat og almennt gæðamat á fiski við lok tilrauna var framkvæmt í Codlight Tech verkefninu. Niðurstöður þeirra rannsókna sýndu að ekki reyndist munur á gæðum fisks sem alinn hafði verið við stöðuga lýsingu með CCL ljósum samanborið við náttúrulega ljóslotu og því var ekki talið nauðsynlegt að endurtaka þær rannsóknir í þessu verkefni.

#### 2.4.5 Umhverfismælingar

Hitastig sjávar við kvíar var mælt reglulega yfir tímabilið með sjálfvirkum hitamæli (Starmon-mini from Star-Oddi Ltd.) auk þess sem súrefnismettun, blaðgræna og grugg (turbidity) var mælt á um tveggja metra dýpi með STD/CTD (model SD204, SAIV A/S, Norway). Við úrvinnslu gagna voru valdar mælingar á hádegi 15. hvers mánaðar.

Umhverfismat var framkvæmt í ytri hluta Álftafjarðar í Ísafjarðardjúpi eða nánar tiltekið á svæðinu fyrir utan Langeyri við Súðavík. Þessi hluti verkefnisins var í höndum starfsmanna Náttúrustofu Vestfjarða og var markmiðið að skoða breytingar á botndýralífi vegna uppsöfnunar lífræna efna frá eldinu. Sýnataka fór fram á tveimur stöðvum, þ.e. við báðar kvíabyrpingarnar (stöðvar A og B). Ekki hafði verið fiskur í kvíum á viðkomandi svæði áður en Matís hóf tilraunaeldi á þessum stöðum í tengslum við Codlight Tech verkefnið árið 2006. Rannsókn á lífríki botns við kvíar hófst áður en fiskur var fluttur í kvíar í Codlight Tech verkefninu og lauk eftir að slátrað hafði verið upp úr kvíunum við lok þessa verkefnis. Sýnum var safnað þrisvar sinnum á hvorri stöð þ.e. áður en fiskur var kominn í kvíar (27. mars 2006), um 4 mánuðum eftir að fiskur var settur í kvíar (6. nóvember 2006) og loks um 3 mánuðum eftir að slátrað var upp úr öllum kvíunum (10. mars 2009). Fleiri sýni voru tekin við kvíar með ljósum en við ljóslausar kvíar. Botnssýni til rannsókna á botndýralífi voru tekin með tveimur gerðum af

botngreipum; Shipeck greip sem ætluð er fyrir sýnatöku af hörðum botni og/eða af miklu dýpi og Van Veen greip sem er létt greip fyrir mjúkan botn og sýnatöku á litlu dýpi. Sýnum í greipunum var lýst eftir lit, lykt, grófleika setsins og hvort lifandi dýr sáust. Sýnin voru síðan fest með 6-10% formalíni og boraxi bætt út í svo skeljar skeldýra leysist ekki upp. Formalíninu var síðan hella af sýnunum eftir að minnsta kosti sólarhring og 70% alkohól sett í staðinn. Sýnin voru síðan sigtuð varlega með rennandi vatni og setið flokkað auk þess sem dýr voru flokkuð undir víðsjá og greind í tegundir og hópa með hjálp greiningarlykla og talin. Áætlað var að taka einnig kjarnasýni til rannsókna á lagskiptingu í botnseti en það reyndist ekki unnt þar sem botninn var of harður. Nánari upplýsingar um aðferðir við mælingar á botndýralífi er að finna í viðlagðri skýrslu frá Náttúrustofu Vestfjarða (Viðauki I).

#### **2.4.6 Tölfræðiúrvinnsla gagna**

Við tölfræðiúrvinnslu ganga var notað forritið SigmaStat® release 3.5 (Systat Software Inc., CA 94804-2028, USA). Niðurstöður rannsókna á vexti fiska á strandeldisstigi voru greindar með tímaraðagreiningu og breytileikastuðlar (dummy variables) lagðir inn í formúluna þegar breytileiki innan meðferðarhópa og á milli meðferðarhópa var skoðaður (MSc ritgerð G Stella Árnadóttir). Samband lengdar og þyngdar fisksins var jafnframt skoðað með aðhvarfsgreiningu. Við samanburð á vexti fiska í sjókvíaeldisfasa var notuð einþátta ANOVA greining og Kruskal-Wallis einþátta ANOVA greining samkvæmt aðferð Dunn's ef gögn reyndust ekki normaldreifð. Einþátta ANOVA greining og *t*-próf voru einnig notuð við samanburð á holdstuðli og hlutfalli kynkirtla fisks í mismunandi tilraunahópum. Fjölbreytni botndýra var metin með Shannon-Wiener  $H'$  fjölbreytileikastuðli (Grey et. al 1992; Brage og Thélín 1993).

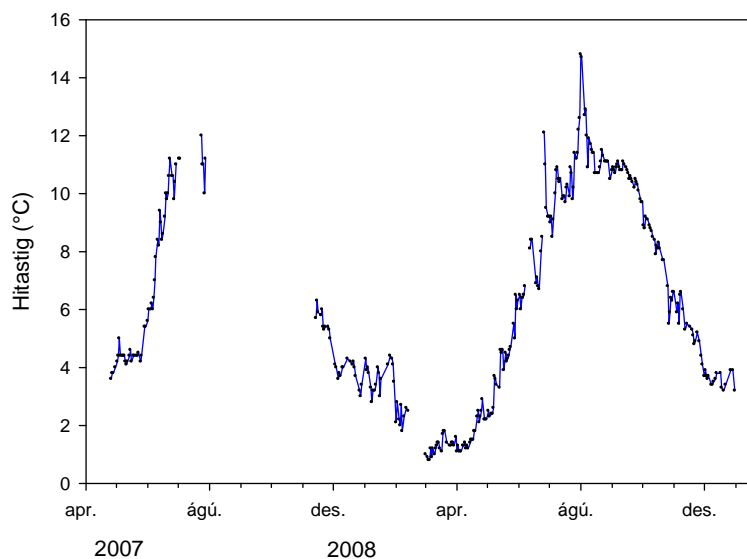


### 3. NIÐURSTÖÐUR

Helstu markmið þessa verkefnis voru að rannsaka áhrif ljóss og hvort ljósastýring með nýrri gerð ljósa (CCL) á mismunandi stigum eldisins hefði áhrif á vöxt og kynþroska þorsks. Áhrif ljósastýringar á styrk IGF-I í blóðvökva voru einnig rannsökuð auk þess sem gerðar voru tilraunir til að mæla styrk IGF-I með einfaldari og fljótlegri aðferð en almennt er notuð. Jafnframt voru rannsökuð áhrif kvíaeldis á þorski á lífríki sjávar umhverfis kvíarnar.

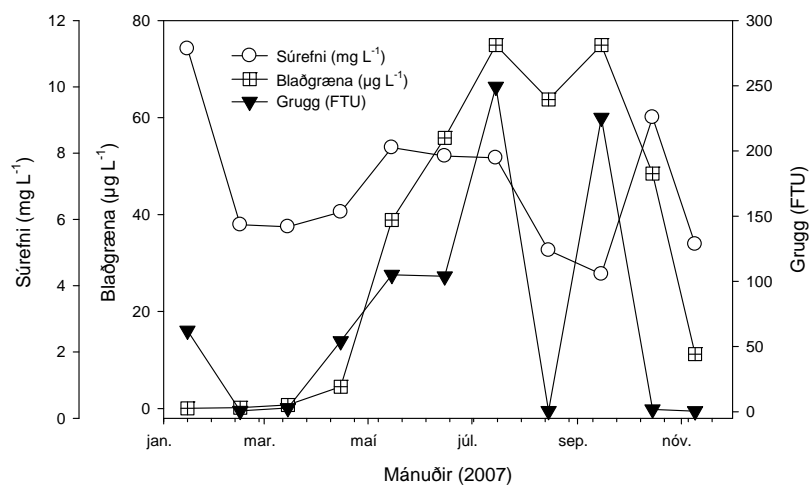
Á heildina litið má segja að verkefnið hafi gengið mjög vel. Ljósabúnaðurinn virkaði vel og uppsetning tilraunanna gekk samkvæmt áætlun. Flutningur seiðanna frá Stað og vestur í Ísafjarðardjúp tókst með ágætum og urðu hverfandi afföll vegna flutninganna. Kvíarnar voru staðsettar í tiltölulega þröngum firði og engin ljós brotnuðu eða eyðilögðust vegna öldugangs. Aftur á móti var töluverður þörungavöxtur utan á ljósunum og reyndist nauðsynlegt að hreinsa þau reglulega. Starfsmenn HG sáu um fóðrun fisksins og tóku þeir eftir annari hegðun þessa hóps fiska (aleldisfiskur) samanborið við áframeldisfisk sem veiddur er í Ísafjarðardjúpi. Þessari hegðun fisksins var ekki lýst frekar en gestir sem komu að kvíunum haustið 2007 (um 6 mánuðum eftir flutning í kvíar) urðu einnig varir við undarlega hegðun fisksins sem synti gjarnan á hliðinni og hegðaði sér í alla staði með undarlegum hætti (upplýsingar frá Jóni Árnasyni á Matís).

Miklar sveiflur voru á hitastigi sjávar við kvíarnar en það var mælt á tveggja metra dýpi. Hæsta hitastig á tímabilinu var 14.8°C snemma í ágúst 2008 og lægsta hitastigið var 0.8°C í mars 2008 (Mynd 2).



**Mynd 2.** Sjávarhiti á um 2 m dýpi á tímabilinu maí 2007 – nóvember 2008.

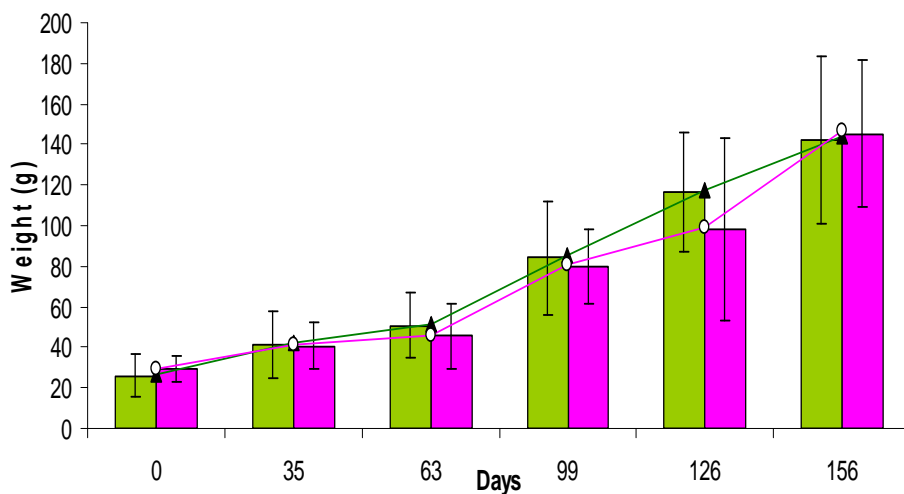
Súrefnismettun í sjó við kvíarnar mældist frá 11.15 mg L<sup>-1</sup> í janúar niður í 4.35 mg L<sup>-1</sup> í September (Mynd 3). Blaðgræna hækkaði úr 0.04 µg L<sup>-1</sup> í apríl í 74.98 í júlí og september. Grugg hækkaði einnig á tímabilinu, frá 0.41 FTU í febrúar-mars upp í 249.36 FTU í júlí.



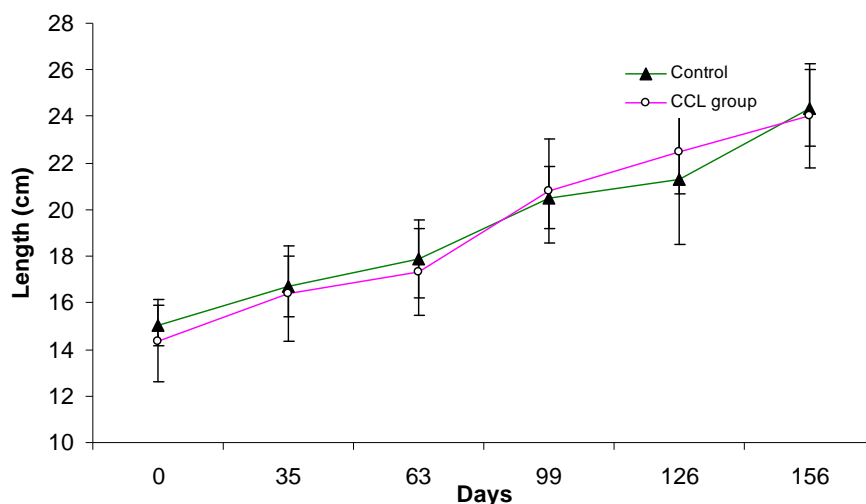
**Mynd 3.** Mælingar á súrefnismettun, blaðgrænu og gruggi á um 2 m dýpi við sjókvíar árið 2007.

### 3.1 Vöxtur

Fiskar voru lengdar- og þyngdarmældir við sýnatökur, sem framkvæmdar voru mánaðarlega á strandeldisstigi og um annan hvern mánuð eftir flutning í sjókvíar. Þyngdaraukning (Mynd 4) og lengdaraukning (Mynd 5) fiska á strandeldisstigi var borin saman við vaxtarmódel Björnsson *et al.* (2007). Við upphaf rannsóknarinnar í nóvember 2006 voru fiskarnir að meðaltali  $25 \pm 15$  g að þyngd og  $15 \pm 2$  cm að lengd og við lok strandeldisstigs 156 dögum síðar voru fiskarnir að meðaltali  $145 \pm 25$  g að þyngd og  $24 \pm 2$  cm að lengd. Þessi aukning á þyngd samræmist vel vaxtarmódelinu og aðhvarfsgreining (regression analysis) sýndi að þyngdarvöxtur fisksins var tengdur lengdarvexti ( $R^2 = 0.997$ ). Mismunandi ljóslota reyndist ekki hafa áhrif á vöxt eða afkomu þorsks á strandeldisstig ( $p = 0.985$ ). Frekari niðurstöður um þetta er að finna í ritgerð G. Stellsu Árnadóttur til MSc prófs við Viðskipta og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri (Viðauki III).



**Mynd 4.** Meðalþyngd fiska ( $\pm$  S.D.) á mismunandi sýnatökudögum á strandeldistímanum. Bleikar súlur sýna ljósmeðhöndlaða fiska og grænar súlur ómeðhöndlaða fiska. Bleikar og grænar línur sýna vöxt samkvæmt vaxtarmódeli fyrir þorsk (Björnsson *et al.*, 2007). Mynd úr meistararitgerð G. Stellsu Árnadóttur 2008.

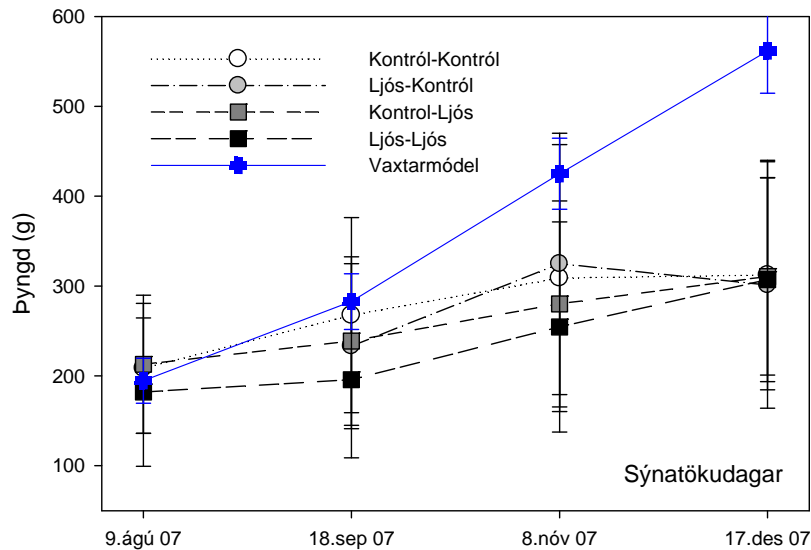


**Mynd 5.** Meðallengd fiska ( $\pm$  S.D.) á mismunandi sýnatökudögum á strandeldistímanum. Mældir voru 20 fiskar úr hverjum hóp við hverja sýnatöku. Mynd úr meistararitgerð G. Stellsu Árnadóttur 2008.

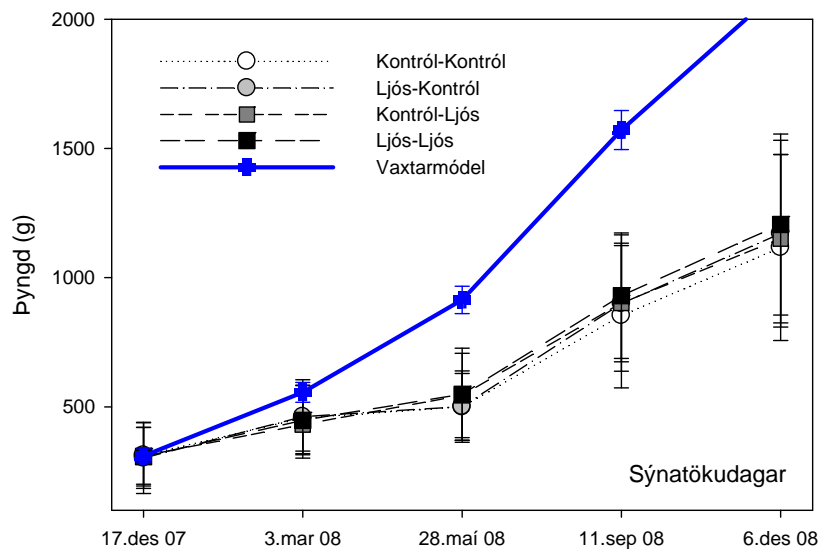
Fiskurinn var fluttur í sjókvíar í maí 2007 og við fyrstu sýnatöku í ágúst 2007 var meðalþyngd fiska á bilinu 182-233 g (Mynd 6) Ekki reyndist vera marktækur munur á þyngd fiska í hópunum á þessum tímamarki ( $p=0.201$ ). Á tímabilinu frá ágúst 2007 til desember 2007 óx fiskurinn úr 182-233 g upp í 301-312 g, sem er töluvert undir því sem gert er ráð fyrir í vaxtarmódeli Björnsson *et al.* (2007), þar sem þorskur er hafður við bestu skilyrði og fóðraður til mettunar (*ad libitum*). Vöxtur fyrstu mánuðina í sjókvíum var breytilegur í hópunum fjórum en svipuð meðalþyngd fiska mældist þó í öllum hópum við sýnatöku um hálfu ári eftir flutning í sjókvíar (Mynd 6). Síðasta ár tilraunarinnar óx fiskurinn úr 301-312 g upp í 1116-1205 g, og var vöxtur fiska í öllum hópum langt undir því sem gert er ráð fyrir í vaxtarmódelinu (Mynd 7). Meðallengd fiska í upphafi tímabilsins var á bilinu 28.1-30.3 cm og hverfandi munur var á lengd fiska í tilraunahópunum á tímabilinu (Mynd 8).

Ljósastýring í gegnum allan eldisferilinn leiddi til marktækrar aukningar í vexti samanborið við fisk sem ekki hlaut neina ljósameðhöndlun ( $p=0.022$ ) svo og fisk sem einungis var ljósastýrt á kvíastigi ( $p=0.009$ ). Ljósastýring einungis á seiðastigi hafði ekki áhrif á vöxt fiska í kvíaeldi ( $p=0.264-0.215$ ). Þegar horft var til munar á milli kynja við lok tímabilsins (128-

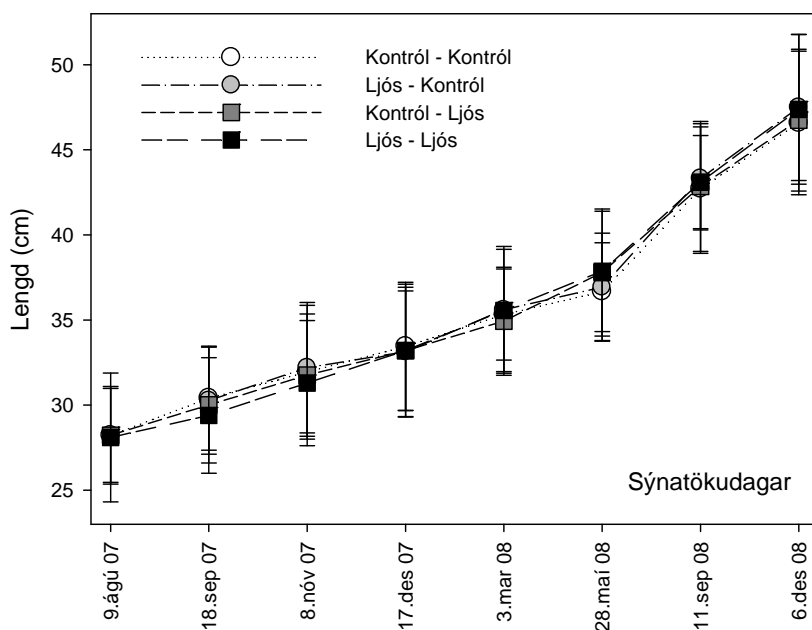
897 fiskar úr hverjum hópi), kom í ljós að ljósameðhöndlun virtist hafa meiri áhrif á vöxt hænga en hrygna (Tafla 1).



**Mynd 6.** Þyngd fiska fyrri hluta sjókvíaldistíma. Sýnd er meðalþyngd fiska ( $\pm$  S.D.) í hópnum, mæld þremur mánuðum eftir flutning í kvíar og næstu fjóra mánuði á eftir. Myndin sýnir einnig áætlaðan vöxt miðað við vaxtarmódel Björnsson *et al.* (2007) (blá lína) þar sem miðað er við hitastig í Ísafjarðardjúpi og reiknað út frá meðaltals þyngd fiska ( $\pm$  S.D.) í hópnum fjórum í upphafi tímabilsins.



**Mynd 7.** Þyngd fiska síðasta árið í sjókvíum. Sýnd er meðalþyngd fiska ( $\pm$  S.D.) í hópnum á mismunandi sýnatökudögum. Myndin sýnir einnig áætlaðan vöxt miðað við vaxtarmódel Björnsson *et al.* (2007) (blá lína) þar sem miðað er við hitastig í Ísafjarðardjúpi og reiknað út frá meðalþyngd fiska ( $\pm$  S.D.) í hópnum fjórum í upphafi tímabilsins.



**Mynd 8.** Lengd fiska á sjókvíaeldistímanum. Sýnd er meðallengd ( $\pm$  S.D.) fiska á mismunandi sýnatökudögum yfir tímabilið.

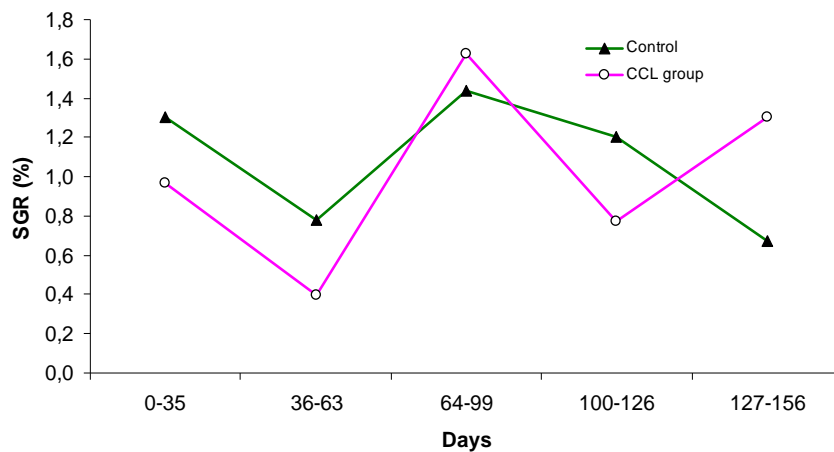
**Tafla 1.** Meðalþyngd kynja við lok tilraunatímans. Taflan sýnir meðalþyngd ( $\pm$  S.D.) hænga og hrygna. Marktækur munur á milli meðferðarhópa er gefinn til kynna með uppskrifuðum bókstöfum.

Seiðastig Kvíastig	Kontról Kontról	Kontról Ljós	Ljós Kontról	Ljós Ljós
<b>Hængar</b>	1107 $\pm$ 331g <sup>ab</sup>	1120 $\pm$ 313g <sup>b</sup>	1139 $\pm$ 358g <sup>abc</sup>	1191 $\pm$ 347g <sup>c</sup>
<b>Hrygnur</b>	1154 $\pm$ 365g <sup>a</sup>	1178 $\pm$ 334g <sup>ab</sup>	1194 $\pm$ 363g <sup>ab</sup>	1216 $\pm$ 353g <sup>b</sup>

### 3.2 Einstaklingsvöxtur og holdstuðull

Einstaklingsvöxtur, mældur sem SGR í % dag<sup>-1</sup> (specific growth rate) var skoðaður með því að merkja einstaklinga og fylgja þeim eftir með mælingu á vexti. Einstaklingsvöxtur fiska á strandeldistímanum reyndist vera að meðaltali 1.03% á dag (Mynd 9) og ekki var marktækur munur á vexti seiða í hópunum tveimur ( $p > 0.05$ ). Frekari niðurstöður um þetta er að finna í viðlagðri ritgerð G. Stellu Árnadóttur til MSc prófs við Viðskipta og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri.

Mikill munur reyndist á SGR á milli sýnataka á kvíaeldistímanum (meðaltal 30-100 fiska við hverja sýnatöku) og fiskur sem ekki var meðhöndlaður með CCL ljósum í kvíum virtist standa í stað eða jafnvel tapa þyngd á tímabilinu september til desember (Tafla 2). Vöxtur fiska í öllum hópum virðist komast í jafnvægi um hálfu ári eftir flutning í kvíar. Vöxtur fiska í öllum hópum er því mjög „undarlegur“ fyrstu mánuðina í sjókvíum en á heildina litið virtist ljósastýring á kvíastigi hafa jákvæð áhrif á vöxt fiska þegar lengra leið á eldistíma í kvíum (Tafla 2).



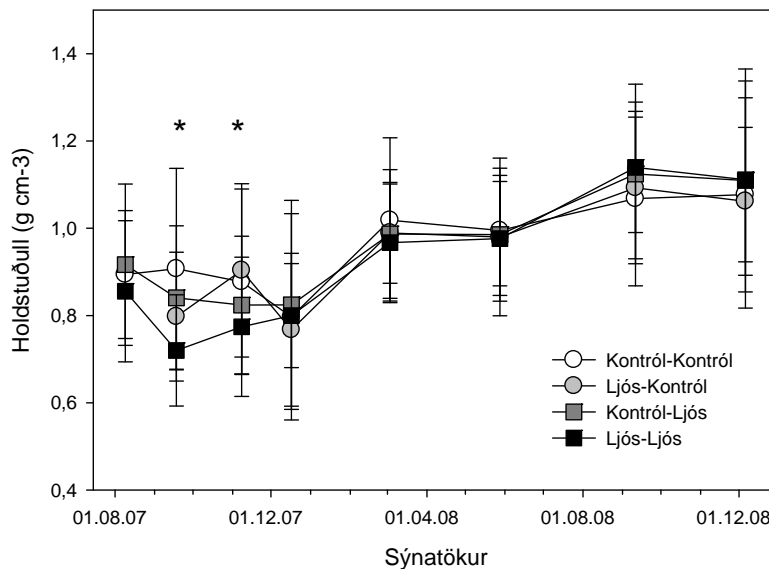
**Mynd 9.** Einstaklingsvöxtur seiða mældur í % vexti á dag (% SGR). Myndin sýnir SGR einstaklingsmerktra fiska á tímabilinu. Mynd úr meistara ritgerð G. Stellsu Árnadóttur 2008.

**Tafla 2.** Einstaklingsvöxtur fiska í kvíaeldisfasa. Taflan sýnir meðaltals vöxt fiska í hópunum (% dag<sup>-1</sup>) á milli tímabila. Hver hópur var alinn í tveimur aðskildum kvíum (A og B) og meðaltalsvöxtur reiknaður úr hvorri kví fyrir sig.

	Könnróll-Könnróll		Ljós-Könnróll		Könnróll-Ljós		Ljós-Ljós	
	A	B	A	B	A	B	A	B
9.ágú - 18.sep 07	0.51	0.73			0.50	0.08	0.36	0.17
18.sep - 8.nov 07	0.54	0.00	0.70	0.60	0.31	0.33	0.18	0.78
8.nov - 17.des 07	-0.23	0.32	-0.30	-0.07	0.21	0.31	0.71	0.23
17.des 07 - 3.mar 08		0.52		0.53		0.49		0.64
3.mar - 28.maí 08		0.18		0.23		0.18		0.18
28.maí - 11.sep 08		0.45		0.46	0.39	0.56	0.49	0.51
11.sep - 15.des 08					0.25		0.23	
9.ágú - 17.des 07	0.3	0.32	0.27	0.31	0.34	0.25	0.39	0.43
28.maí - 6.jan 09	0.39	0.36	0.44	0.34	0.33	0.39	0.37	0.38
9.ágú 07 - 6.jan 09	0.33	0.36	0.35	0.37	0.35	0.35	0.36	0.42

Holdstuðull (CF; condition factor) sýnir samband á milli lengdar og þyngdar fisksins ( $CF = (\text{fiskþyngd (g)} / \text{fisklengd (cm)}^3) \times 100$ ) og gefur því vísbendingar um vaxtarlag fisksins. Holdstuðull er að jafnaði mælikvarði á holdfyllingu en hækkar einnig þegar kynkirtlar stækka við aukinn kynþroska en minnkar eftir hrygningu. Holdstuðull var í kringum 1.0 á seiðastiginu og ekki reyndist vera munur á milli seiða sem ljósastýrt var með CCL ljósunum samanborið við hefðbundna lýsingu ( $p=0.55$ ). Holdstuðull fiska á kvíaeldisstiginu reyndist afar breytilegur á milli sýnatökudaga (Mynd 9). Mestur var breytileikin fyrstu 8 – 9 mánuðina í sjó en minnkaði síðan. Eftir nokkra mánuði í sjókvíum (í september 2007) reyndist vera marktækur munur á holdstuðli fiska sem ljósastýrt var frá upphafi kvíastigs samanborið við hópinn sem var ljósastýrt á seiðastigi ( $p=0.001$ ) og einnig samanborið við hópinn sem enga ljósastýringu fékk yfir tilraunatímamann ( $p=0.002$ ). Ljósastýring á seiðastigi hafði ekki áhrif á holdstuðul fisks eftir flutning í sjókvíar.

Niðurstöður rannsókna á holdstuðli fiska (Mynd 10) eru því í takt við niðurstöður einstaklingsvaxtar (Tafla 2), þ.e. vöxtur fiska í öllum hópum virðist mjög „óvenjulegur“ fyrstu mánuðina í sjókvíum en ljósastýring á kvíastigi hafði jákvæð áhrif holdstuðul fiskanna.

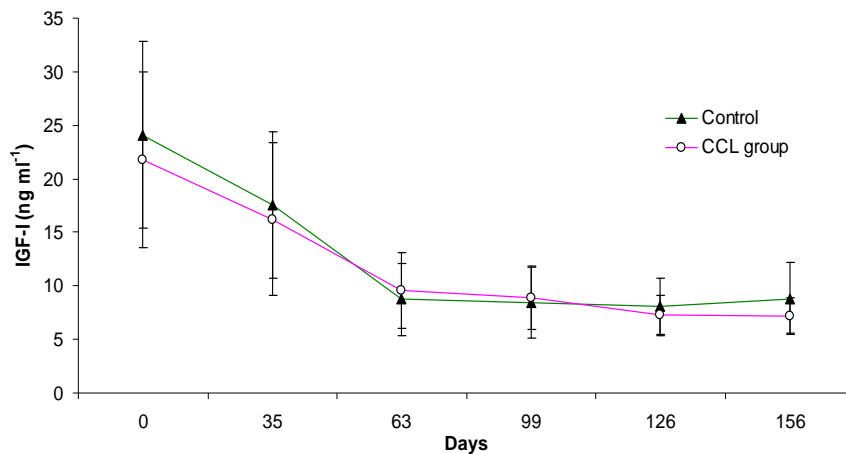


**Mynd 10.** Holdstuðull fiska í sjókvíum. Myndin sýnir meðaltals holdstuðuls fiska á mismunandi sýnatökudögum í kvíum þar sem seiðum var ljósastýrt á seiðastigi (Ljós-Kontrol) eða einungis í sjókvíum (Kontrol-Ljós) samanborið við ljósastýringu allt frá upphafi seiðastigs (Ljós-Ljós) eða enga ljósastýringu (Kontrol-Kontrol). Stjórnumerking gefur til kynna marktækan mun á milli hópa.



### 3.3 IGF-I

Styrkur IGF-I í blóðvökva fiska var mælt á um mánaðar fresti yfir seiðaeldisstigið. Ekki var marktækur munur á styrk IGF-I í ómeðhöndluðum samanborið við í meðhöndluðum blóðvökva ( $p=0.69$ ). Meiri breytileiki reyndist þó á endurteknum mæligildum á ómeðhöndluðum blóðvökva samanborið við meðhöndluðum og gefur það vísbendingar um að æskilegt sé að fjarlægja bindiprótein úr blóðvökva áður en mælingar eru framkvæmdar. Styrkur IGF-I mældist hærri í upphafi tilraunar, þ.e. í fiski undir 30g að þyngd ( $24 \text{ ng ml}^{-1}$ ) en lækkaði hratt fyrstu tvo mánuðina ( $8.7 \text{ ng ml}^{-1}$ ) og breyttist lítið eftir það. Ekki reyndist vera marktækur munur á styrk IGF-I í blóðvökva fiska sem meðhöndlaðir voru með ljósi samanborið við viðmiðunarhóp ( $p=0.518$ ) (Mynd 11).



**Mynd 11.** IGF-I í blóðvökva seiða á strandeldistímanum. Myndin sýnir meðaltalsgildi IGF-I ( $\text{ng ml}^{-1}$ )  $\pm$  S.D. mælt við hverja sýnatöku í 30 fiskum úr ljósastýrðum hóp (CCL group) og viðmiðunarhóp (Control). Mynd úr meistara ritgerð G. Stellu Árnadóttur 2008.

Í upphafi tilraunar reyndist vera neikvætt samband á milli þyngdar fiska og styrks IGF-I í báðum hópum ( $R^2 = 0.46$ ). Fiskar  $25 \pm 15 \text{ g}$  að þyngd mældust með IGF-I um  $23 \text{ ng ml}^{-1}$  en aðeins um  $9 \text{ ng ml}^{-1}$  í fiskum sem voru  $145 \pm 25 \text{ g}$  að þyngd við lok tilraunar. Ekkert samband reyndist vera á milli SGR og styrks IGF-I á mismunandi tímum í tilrauninni.

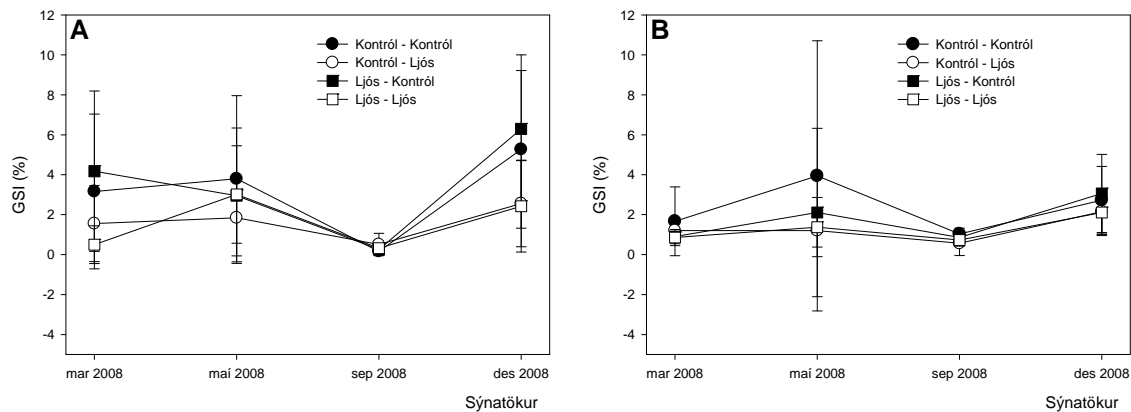
Tilraunir voru gerðar til að mæla IGF-I með ELISA aðferð og reyndist styrkur IGF-I í meðhöndluðum og ómeðhöndluðum blóðvökva svipaður og mældist með RIA aðferð. Minni munur reyndist enn fremur á milli mæligilda í meðhöndluðum blóðvökva þegar einstaka fiskar

voru mældir með ELISA aðferð samanborið við RIA aðferð. Erfitt reyndist þó að fá nothæfa staðalkúrfu við þynningu á staðli (Long R3IGF-I) og því ekki unnt að greina styrk IGF-I í blóðvökva með ELISA aðferð (niðurstöður ekki sýndar). Rannsaka þyrfti aðrar gerðir IGF-I staðla og frekari aðferðaþróunar er þörf til uppsetningar á ELISA aðferð til mæling á IGF-I í blóðvökva þorsks. Frekari niðurstöður mælinga á IGF-I í blóðvökva fiska er að finna í meistararitgerð G Stellu Árnadóttur.

Frekari niðurstöður um þetta er að finna í viðlagðri skýrslu frá Gautaborgarháskóla (Viðauki II) svo og ritgerð G. Stellu Árnadóttur til MSc prófs við Viðskipta og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri (Viðauki III).

### 3.4 Kynþroski – GSI

Áhrif ljóslotu á kynþroska fisks voru mæld með ákvörðun á hlutfallslegri stærð kynkirtla fiska eftir mismunandi langan eldistíma í sjókvíum samanborið við kontrólfisk. Niðurstöður sýna að hlutfall kynkirtla í hrygnum var svipað í öllum hópum og á mismunandi sýnatökudögum í kvíaeldinu (Mynd 12B). Í maí 2008 hækkaði hlutfall kynkirtla nokkuð í hrygnum sem ekki voru meðhöndlaðir með CCL ljósumum (Kontról-Kontról) samanborið við í hrygnum í hinum hópunum, en munur á milli hópa reyndist ekki vera marktækur ( $p=0.081-0.559$ ). Hlutfall kynkirtla í hængum reyndist hins vegar vera afar breytilegt á flestum sýnatökudögum (Mynd 12A). Undanskilin er sýnataka í september 2008 þegar hlutfall kynkirtla í hængum var mjög lágt í öllum hópum og breytileiki hverfandi. Almennt benda niðurstöður til þess að vöxtur kynkirtla í hængum hafi átt sér stað á mismunandi árstímum og virtist ljósamedhöndlun ekki hafa nein áhrif þar á. Við lok tilrauna í desember 2008 reyndist hlutfall kynkirtla vera marktækt lægra í hængum sem meðhöndlaðir voru með CCL ljósum á kvíastigi (Ljós-Ljós og Kontról-Ljós) samanborið við hænga sem ekki voru meðhöndlaðir með CCL ljósum á kvíastigi ( $p=0.004$  og  $p<0.001$ ). Meðhöndlun með CCL ljósum á seiðastigi hafði ekki áhrif á hlutfall kynkirtla í hængum og munur á milli hópanna reyndist ekki marktækur á öðrum sýnatökudögum ( $p=0.330 - 0.891$ ).



**Mynd 12.** Hlutfall kynkirtla. Myndin sýnir hlutfallslega þyngd kynkirtla (%GSI, Gonadosomatic index) af þunga hænga (A) og hrygna (B) á mismunandi sýnatökudögum á kvíaeldistímanum.

### 3.5 Fóðurstuðull (FCR)

Fjöldi fóðrunardaga í sjókvíum var á bilinu 26 dagar í júní/júlí 2007 niður í 8 daga í júní 2008. Fóðurstuðull (FCR) var reiknaður sem magn fóðurs (kg) á hvert kg lífmassa vaxtar í sjókvíum á tímabilinu maí 2007 til slátrunar í desember 2008/janúar 2009. Fóðurstuðull fiska í tilraunahópnum er sýndur í Töflu 3 en þar er gengið út frá því að í upphafi sé helmingur fiska í hverri kví uggaklipptur (ljósastýring á seiðastigi) og hinn helmingurinn ekki uggaklipptur (fiskurinn ekki í CCL ljósum á seiðastigi), en þessar upplýsingar voru ekki skráðar. Við útreikninga er miðað við að meðalþyngd tapaðra fiska (dauður fiskur og óútskýrður dauði) sé jöfn meðalþyngd fiska á tilraunatímanum.

**Tafla 3.** Útreikningar á fóðurstuðli (FCR) á tilraunátímanum í sjókvíum. Taflan sýnir niðurstöður úr kvíum sem hafðar voru á náttúrulegri ljósloftu frá upphafi seiðastigs (Kontról-Kontról) eða frá upphafi kvíaeldis (Ljós-Kontról) samanborið við ljósastrýingu með nýrri ljósataekni ýmist á seiðastigi (Ljós-Kontról) eða í gegnum allan eldisferilinn (Ljós-Ljós). Hver hópur var alinn í tveimur kvíum, A og B.

	Kontról-Kontról		Ljós-Kontról		Kontról-Ljós		Ljós-Ljós	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Fóður gefið (kg)*	1777	1743	1743	1777	1787	1824	1824	1787
Fjöldi í kví í upphafi**	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Fjöldi dauðra***	276	249	249	276	217	277	277	217
Fjöldi í sýnatöku	445	596	251	164	532	390	195	229
Fjöldi útskýrð afföll	820	839	1829	2006	898	1004	1889	1908
Fjöldi upp úr kví - slátrun	959	817	172	54	854	829	139	147
Meðalþyngd í upphafi (kg)	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
Meðalþyngd í lokin (kg)	1,068	1,173	1,177	1,148	1,179	1,121	1,190	1,220
Vöxtur – meðaltal (kg)	0,902	1,007	1,011	0,982	1,013	0,955	1,024	1,054
Meðaltalsþyngd dauðra/tapaðra (kg)	0,617	0,670	0,672	0,657	0,673	0,644	0,678	0,693
Lífmassi bætt í kvíar (kg)	415	415	415	415	415	415	415	415
Lífmassi sýni og tapað (kg)	829	978	1505	1554	968	970	1555	1555
Lífmassi úr kvíum (kg)	1024	958	202	62	1007	929	165	179
Lífmassi vöxtur (kg)	1438	1521	1292	1201	1560	1484	1305	1319
<b>Fóðurstuðull (FCR)</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>

\* Heildarmagn fóðurs sem gefið var í kvína var skipt til helminga á hópana tvo sem aldir voru í hverri kví

\*\*Gengið er út frá því að helmingur þess fisks sem settur var í hverja kví hafi verið ljósameðhöndlaður á seiðastigi

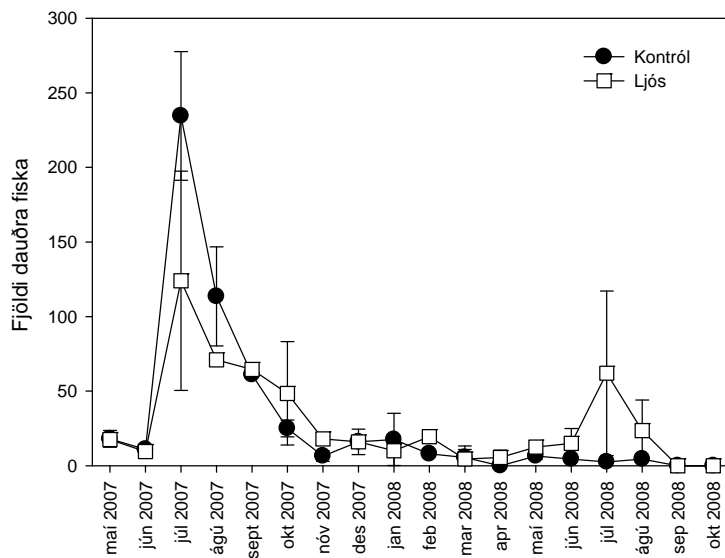
\*\*\*Dauðir fiskar voru ekki í öllum tilvikum flokkaðir og því gengið út frá því að fjölda dauðra fiska skiptist til jafns á hópana tvo sem aldir voru í hverri kví (ljósameðhöndlað á seiðastigi eða ekki ljósameðhöndlað á seiðastigi)

Eins og sjá má í Töflu 3 er fóðurstuðull hærri í þeim hóp sem var meðhöndlaður með ljósum á seiðastigi og virðist sem meðhöndlun með CCL ljósum á seiðastigi hafi leitt til um 15-17% hækkunar fóðurstuðuls. Ekki reyndist vera marktækur munur á fóðurstuðli þegar hóparnir voru bornir saman ( $p=0.067$ ) og er það í takt við niðurstöður um vöxt fisksins.

### 3.6 Afföll

Dauðir fiskar voru taldir reglulega úr kvíum svo og úr netum sem komið hafði verið fyrir undir sjókvíunum. Ekki var marktækur munur á dauða í kerjum á seiðastigi með ljósameðhöndlun samanborið við hefðbundna meðhöndlun (niðurstöður ekki sýndar). Ekki varð vart við mikil afföll við flutninga seiða frá Grindavík og í sjókvíar og ekki varð vart við mikinn dauða fyrsta mánuðinn eftir flutning í sjókvíar en mikil afföll urðu á tímabilinu júní til

september 2007 (Mynd 13). Dauður fiskur úr kvíunum var ekki flokkaður m.t.t. uggaklippingar og því ekki unnt að greina á milli dauðra fiska sem ýmist voru meðhöndlaðir eða ekki meðhöndlaðir með CCL ljósum á seiðastigi. Í júlí og ágúst 2007 varð vart meiri dauða í kvíum þar sem náttúrulegrar ljóslotu gætti samanborið við kvíar þar sem meðhöndlað var með CCL ljósum en aukins dauða gætti í ljósameðhöndluðum kvíum í júlí 2008 og ekki reyndist vera marktækur munur á dauða fiska í kvíunum fjórum ( $p=0.422$ ).



**Mynd 13.** Fjöldi dauðra fiska sem mánaðarlega var safnað úr sjókvíum. Myndin sýnir meðaltal dauðra fiska í tveimur kvíum mánaðarlega út tímabilið, þar sem meðhöndlað var með CCL ljósum í kvíunum (Ljós) samanborið við kvíar þar sem gætti náttúrulegrar ljóslotu (Kontrol).

Auk fiska sem fundust dauðir á tímabilinu, kom í ljós að mikill fjöldi fiska virtist „hverfa“ úr kvíunum (óútskýrð afföll, sjá Töflur 3 og 4). Óútskýrð afföll reyndust svipuð í kvíum þar sem meðhöndlað var með CCL ljósum samanborið við náttúrulega ljóslotu en mun meiri afföll urðu á fiski sem meðhöndlaður var með ljósunum á seiðastigi samanborið við hefðbundna meðhöndlun (Tafla 4). Við sýnatökur eru fiskar veiddir af handahófi úr kvíunum og eftir fyrstu 2-3 mánuðina í sjókvíum veiddust mun fleiri óklyptir fiskar (fiskur sem ekki var ljósameðhöndlaður með CCL á seiðastigi), sem bendir til þess að fiskur sem meðhöndlaður var með CCL ljósunum á seiðastigi hafi „horfið“ strax fyrstu 1-3 mánuðina í sjókvíum.

**Tafla 4.** Óútskýrð afföll úr sjókvíum. Taflan sýnir óútskýrð afföll fiska í kvíum sem hafðar voru á náttúrulegri ljóslotu frá upphafi kvíastigs (Ljós-Kontról) og í gegnum allan eldisferilinn (Kontról-Kontról) samanborið við fisk sem meðhöndlaður var með nýrri ljósatækni á seiðastigi (Ljós-Kontról) eða í gegnum allan eldisferilinn (Ljós-Ljós).

	Kontról-Kontról	Ljós-Kontról	Kontról-Ljós	Ljós-Ljós
<b>Óútskýrð afföll</b> (fjöldi fiska)	1.659	3.835	1.902	3.797

### 3.7 Gæðamat

Útlit um 200 seiða úr hverjum hópi var skoðað við lok strandeldistímans og komu í ljós vísbendingar um að ljósin hefðu jákvæð áhrif á vaxtargalla sem algengir eru í þorskeldi. Tíðni hryggskekkju (spinal deformities) reyndist þannig mun lægri í ljósaópnum (23 af 200) samanborið við kontrólhóp (61 af 200). Í kvíaeldisfasa var framkvæmt sjónrænt mat á fiskum við sýnatökur og slátrun. Ekki var sjáanlegur munur á losi, mari eða lit flakanna og er það í samræmi við niðurstöður fyrri rannsóknar (Codlight Tech) þar sem notaður var fiskur sem veiddur var villtur sem seiði. Ekki reyndist vera marktækur munur á fitusýrusamsetningu í vöðva eða lifur fiska í ljósastýrðum fiski samanborið við fisk sem hafður var við náttúrulega ljóslotu (Tafla 5).

**Tafla 5.** Fitusýrugreining á lifur og vöðva fisks úr tilraunahópunum. Sýnd er fitusýrusamsetning lifra í fiskum sem meðhöndlaðir voru með CCL ljósum allt frá upphafi seiðastigs (Ljós-Ljós) eða einungis frá upphafi kvíaeldis (Kontról-Ljós) samanborið við fisk sem ekki var meðhöndlaður með CCL ljósum (Kontról-Kontról) eða einungis á seiðastigi (Ljós-Kontról). Einnig er sýnd fitusýrusamsetning vöðva í fiskum sem meðhöndlaðir voru með CCL ljósum í kvíum (Ljós) samanborið við náttúrulega ljóslotu (Kontról\*) og er þá ekki gerður greinarmunur á mismunandi meðhöndlun á seiðastigi.

Fitusýra	Lifur				Vöðvi	
	Kontról Kontról	Ljós Kontról	Kontról Ljós	Ljós Ljós	Kontról*	Ljós*
<b>14 0</b>	7	7,6	5,9	6,6	1,3	1,7
<b>15 0</b>	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1	0,2
<b>16 0</b>	17	18,5	16,5	18,6	19,9	19,4
<b>16 1</b>	7,7	7,2	8,6	7,9	2,2	2,6
<b>18 0</b>	3,3	3,1	3	3,5	2,5	2,7
<b>18:1N-9</b>	19,5	17,2	21,3	17,9	9,8	10,9
<b>18:1N-7</b>	4,5	5,4	4,7	4,2	4,7	4,8
<b>18:2 n-6</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	2,7	2,6
<b>18:3 n-3</b>	1,3	1,5	1,3	1,3	0,4	0,3
<b>20 1 n-9</b>	12,8	13,6	12,4	13	4,1	4,6
<b>20:4n-6</b>	0,6	0,6	0,5	0,5	1,7	1,8
<b>22:1n-9</b>	1,8	1,7	1,6	1,7	0,8	0,8
<b>20:5n-3</b>	7,2	8,1	8,6	9,1	15,4	14,3
<b>24:1 n-11</b>	0,6	0,6	0,5	0,6		
<b>22:5 n-3</b>	1,8	1,2	1,4	1,3	1,9	1,9
<b>22:6 n-3</b>	13,1	11,4	11,9	12,3	36,8	35,8

Gæðamat á lokaafurð var ekki framkvæmt. Samanburður á gæðum flaka í fyrri rannsókn (Codlight Tech) sýndi að nokkur munur var á fáeinum þáttum sem tengjast ferskleika eftir mismunandi ljósmeðhöndlun en ákveðinn fyrirvari var þó hafður á niðurstöðum þar sem sýni voru ekki öll tekin á sama tíma. Ekki reyndist marktækur munur á öðrum þáttum nema að ljósmeðhöndlaður fiskur þótti aðeins stinnari eftir suðu og getur það orsakast af minna losi í vöðva ljósafisks. Hægt er að draga þá ályktun af fyrri niðurstöðum að ljósmeðhöndlun hafi ekki neikvæð áhrif á gæði afurða (Codlight Tech skýrsla).

### 3.8 Umhverfisáhrif þorskeldis á sjókvíum

Í umhverfismati voru sýni tekin þrisvar sinnum á tveimur stöðvum á svæðinu. Sýnum var lýst m.t.t. lyktar og litar og benti hvorugt til þess að í botnsetinu væru súrefnissnauðar aðstæður. Niðurstöður umhverfismats sýna hvernig svörun tegunda er mismunandi við uppsöfnun lífrænna efna frá fiskeldi og því hægt að nota hlutfallslegra breytingu þessara tegunda sem mælikvarða á breytingu á lífkerfinu í heild. Álagið reyndist lítið og breytingar á lífríki undir sjókvíum því ekki miklar. Því var afráðið að fara í mjög nákvæmar greiningar á dýralífi svo hægt væri að sjá svörun hjá einstökum tegundum. Á móti var sýnatökuferðum fækkað vegna þess hve tímafrekar greiningarnar eru. Niðurstöður greininga á botndýralífi er gefinn upp sem meðalfjöldi einstaklinga innan hvers hóps á m<sup>2</sup> (sjá Viðauka I). Breytingar á fjölda hópa á milli sýnatökudagasetninga eru skoðaðar út frá tveimur forsendum. Annars vegar er um að ræða samanburð á fjölda hópa áður en tilraunir hófust á svæðinu (í mars 2006) og fjórum mánuðum eftir að tilraunir hófust (í nóvember 2006) og hafa þarf hliðsjón af eðlilegri fjölgun dýra að vori. Hins vegar er um að ræða samanburð á fjölda hópa áður en tilraunir hófust (í mars 2006) og eftir þriggja ára eldi á svæðinu (í mars 2009). Niðurstöður útreikninga á fjölbreytileika (H') sýna að stuðullinn er lægri eftir fjögurra mánaða eldi en hækkar svo aftur á næstu þremur árum (sjá Viðauka I).

Samtals fundust 75 hópar/tegundir í þremur sýnatökum. Flestar tegundir fundust í nóvember 2006 eða 54 hópar/tegundir. Fjölgun var á burstaormshópum (*Polychaeta*) frá mars fram í nóvember 2006 en lítil breyting eða fækkun var í öðrum hópum. Einnig varð aukning á fjölda einstaklinga innan ákveðinna hópa á milli sýnataka og þá aðallega hjá burstaormum. Í nokkrum hópum fækkaði eða fjölgaði einstaklingum verulega á milli sýnataka, t.d. fækkar *Cossura longicirrata* verulega frá mars 2006 til mars 2009 en *Capitellidae* fjölgar aftur á móti. Hjá mörgum tegundum var lítil breyting á fjölda.

Frekari niðurstöður úr þessum hluta rannsóknarinnar er að finna í hjálagðri skýrslu Náttúrustofu Vestfjarða (sjá Viðauka I).



#### 4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR

Helstu niðurstöður rannsóknarinnar benda til þess að meðhöndlun með nýrri gerð ljósa hafi ekki áhrif á vöxt eða lifun þorsksseiða á seiðaeldisstigi. Fiskar í báðum hópum stækkuðu jafnt og þétt í gegnum tilraunina og náðu þeir um 150 g þyngd á fyrstu 11 mánuðunum sem er í samræmi við það sem sett hefur verið fram í vaxtarmódeli Björnsson *et al.* (2007). Þegar stærðamælingarnar eru lagðar til grunns útreikninga á vaxtarhraða þyngdar og lengdar á seiðaeldisstigi, kom hins vegar fram mjög óreglulegur og sveiflukenndur vöxtur. Ýmsar skýringar geta verið á þessu. Vaxtarhraði er næm stærð hvað varðar allar mæliskekkjur og þegar unnið er með litla fiska má gera ráð fyrir hlutfallslega stærri mæliskekkjum en þegar unnið er með stærri fiska. Hér getur t.d. mælibreytileiki vogar, vatn á yfirborði fisksins og/eða magafylling við vigtun haft tiltölulega mikil áhrif á þyngdarmælingar, enda sést að breytileikastuðull þyngdarmælinganna (%CV) er 25-45%. Lengdarmælingar hafa færri skekkjuvalda og var breytileikastuðull þeirra mun lægri (6-13%). Lengdarmælingar á seiðum gefa samt sem áður til kynna miklar sveiflur í vaxtarhraða og skýringin því líklega önnur en beinar mæliskekkjur. Mikilvægt er að hafa amk tvo þætti í huga. Stærð fiska innan hvers hóps var mjög breytileg, eins og breytileikastuðlar gefa til kynna. Við lok seiðaeldis er meðalþyngd seiða t.d. um 145 g og benda niðurstöður til þess að þetta 20 fiska úrtak sé of lítið til að gefa nákvæmar upplýsingar um raunverulegan vaxtarhraða hópsins. Einnig er mikilvægt að hafa í huga að þeim 20 fiskum sem voru mældir í hvert skipti, var jafnframt fórnað til vefjasýnatöku og því fjarlægðir úr hópnum. Þetta getur haft áhrif á stærðarsamsetningu og/eða vaxtarhraða þeirra fiska sem voru eftir í tilraunahópnum.

Ef miðað er við vaxtarmódel Björnsson *et al.* (2007) hefði fiskurinn átt að ná um 200 g í lok fyrsta árs og um 3000 g við lok tilraunatímabilsins. Vöxtur í kvíaeldisfasa reyndist hins vegar langt undir því marki ef hann er skoðaður í heild og var meðalþungi fisksins við lok tilraunatíma einungis um 1100-1200 g. Vöxtur fiska í öllum tilraunahópum reyndist langt undir vaxtarmódelinu bæði fyrstu mánuði tímabilsins svo og síðasta árið sem tilraunin varði. Ef horft er á fóðurstuðul, þá reyndist hann í heildina nokkuð hár og þá sérstaklega fyrir þann hóp sem var meðhöndlaður með CCL ljósum á seiðastigi. Fóður er fljótt að hverfa í gegnum jafn grunnar kvíar og notaðar voru í tilraunirnar og því getur hugsast að skýringa á lélegum vexti og háum fóðurstuðli megi að hluta rekja til vanfóðrunar eftir flutning í sjókvíar gildi fóðurstuðuls benda þó ekki beinlínis til þess. Í samantekt sýna niðurstöður að hvetja megi

vöxt fiska með ljósastýringu á kvíastigi en ljósastýring á seiðastigi leiddi ekki til aukins vaxtar, hvorki á seiðastigi né eftir flutning fisksins í sjókvíar.

Í verkefninu tókst að þróa og staðla aðferð til að mæla styrk IGF-I í blóðvökva þorsks og reyndist koma betur út að fjarlægja bindiprótein úr blóðvökva áður en mælingar voru framkvæmdar. Aðferðin virðist bæði næm og örugg og er þetta því mjög mikilvægur árangur, sem veitir mikla framtíðarmöguleika hvað varðar rannsóknir á hormónastjórn vaxtar og vaxtarhraða hjá þorski. Svipaðar niðurstöður hafa nýlega verið birtar (Davie et al 2007a), sem staðfesta að RIA aðferðin reynist mjög vel til rannsókna á IGF-I í þorski. Ekki reyndist þó vera samband á milli vaxtarhraða og styrks IGF-I í blóði þorsks og þar sem CCL-ljósameðferðin hafi ekki áhrif á vöxt fisksins, má segja að forsendurnar fyrir að finna slíkt samband milli hormónastyrks og vaxtarhraða hafi minnkað til muna. Styrkur IGF-I breyttist nokkuð hratt (lækkaði) í upphafi tilraunarinnar, þ.e. á meðan fiskurinn óx úr 30 í 50 g en var nokkuð stöðugur eftir það. Niðurstöður sýna því að mikilvægt er að skoða fiska sem hafa mismunandi vaxtarhraða á sama lífsögulega tímabili og kalla niðurstöður á frekari athuganir á því hvort breytingarnar á styrk IGF-I séu tengdar ákveðnum þroskunarfræðilegum skrefum, eins og sýnt hefur verið fyrir aðrar tegundir. Nýlegar niðurstöður (Davie et al 2007a) sýna nokkuð sterkt jákvætt samband vaxtarhraða og IGF-I hjá þorski, en þar var skoðaður 1.2-1.4 kg þorskur og hópar sem hafa mjög mismunandi vaxtarhraða, þ.e. ljósameðhöndlaður fiskur samanborið við fisk í náttúrulegri ljóslootu. Sífelld fleiri niðurstöður sýna sterkt samband vaxtarhraða og styrks IGF-I í blóði ýmissa fiskitegunda, meðal annars þorsks (Picha et al 2008). Þrátt fyrir að ekki hafi tekist að sýna slíkt samband í þessari rannsókn á þorskseiðum, er mjög líklegt að aðferðin geti reynst mjög mikilvæg í framtíðinni, sérstaklega hvað varðar upplýsingar um vaxtarhraða villts þorsks í hafinu. Því er mikilvægt að nýta þá aðferðafræðilegu uppbyggingu sem náðst hefur til frekari rannsókna á vexti og vaxtarhraða íslenska þorskstofsins.

Hlutfall kynkirtla í hrygnum reyndist svipað á mismunandi sýnatökudögum yfir tímabilið en mikill breytileiki var á hlutfalli kynkirtla í hængum innan hópanna á flestum sýnatökudögum. Meðhöndlun með CCL ljósum á kvíastigi leiddi til lægra hlutfalls kynkirtla í hængum við lok tilraunarinnar samanborið við fisk sem haldið var við náttúrulega ljóslootu á kvíastigi en meðhöndlun með CCL ljósum á seiðastigi hafði ekki áhrif á hlutfall kynkirtla í fiskinum.

Niðurstöður gefa vísbendingar um að meðhöndlun með CCL ljósum á seiðastigi leiði til minni galla seiða þar sem tíðni hryggskekkju (spinal deformities) reyndist mun lægri í seiðum sem meðhöndluð voru með CCL ljósunum á seiðastigi samanborið við viðmiðunarhóp. Ekki var marktækur munur á dauða í tilraunahópnum á seiðastigi en mikil afföll urðu á fiskinum á öðrum til fimmta mánuði eftir flutning í sjókvíar. Í öðrum og þriðja mánuði eftir flutning í sjókvíar varð vart meiri dauða í kvíum þar sem náttúrulegrar ljósloðu gætti samanborið við kvíar þar sem meðhöndlað var með CCL ljósum en ekki reyndist marktækur munur á milli hópanna. Mikill fjöldi fiska virtist þó „hverfa“ úr kvíunum og þá sérstaklega seiði sem meðhöndluð voru með CCL ljósunum á seiðastigi. Niðurstöður benda til þess að þessi fiskur hafi „horfið“ strax fyrstu 1-3 mánuðina í sjókvíum.

Ekki var marktækur munur á fitusýrusamsetningu í vöðva eða lifur fiska í ljósastráum fiski samanborið við fisk sem hafður var við náttúrulega ljósloðu og ekki reyndist sjáanlegur munur á losi, mari eða lit flaka við lok tilraunatímans. Niðurstöður eru í samræmi við niðurstöður ljósameðhöndlunar á áframeldisfiski í Codlight Tech verkefninu þar sem niðurstöður bentu til þess að ljósameðhöndlun hefði ekki neikvæð áhrif á gæði lokaafurða.

Fjölbreytni botndýralífs er talinn góður mælikvarði á breytingar af völdum uppsöfnunar lífrænna efna á lífríki botnsins. Í ljós kom að ákveðnar tegundir hurfu fyrstu fjóra mánuðina eftir að kvíaeldið hófst á meðan sumum tegundum fjölgaði meira en öðrum og eykur það ójafnvægi tegunda og lækkar þannig fjölbreytileikann. Fjölbreytnistuðullinn hækkaði síðan aftur þegar bornar voru saman sýnatökur á sama árstíma þremur árum seinna og skýrist það af því að aðrar tegundir koma í stað þeirra sem hverfa. Fjölbreytnistuðullinn reyndist í öllum tilvikum hærri fyrir kvíar þar sem meðhöndlað var með CCL ljósum samanborið við náttúrulega ljósloðu en fleiri sýni voru tekin við þá stöð sem gæti skýrt muninn. Mjög tímafrekt er að skoða fjölda tegunda til að fá hugmynd um ástand vistkerfisins og því þarf að finna einfaldari aðferðir. Ein hugmyndin er að nota ákveðnar tegundir, sem endurspeglar ástandið, svokallaðar vísitægi en hefur ekki tekist að útfæra þessar hugmyndir á fullnægjandi hátt hérlendis. Í þessari rannsókn sást að við lítið álag fjölgaði burstaormstegundinni *Capitella capitata* strax eftir aðeins fjóra mánuði og er það í samræmi við aðrar rannsóknir. Það sem er einna athyglisverðast í niðurstöðum þessarar rannsóknar er að við lítið álag, þ.e. lítið magn lífrænna efna, verða samt sem áður miklar

breytingar á dýralífi botnsins. Botndýralífið minnkar ekki endilega og fjölbreytni helst svipuð, en tegundasamsetning breytist.

*Í samantekt má segja að niðurstöður sýni verulega óeðlilegt þroskaferli fisks í tilrauninni og þá sérstaklega fyrstu mánuðina eftir flutning í sjókvíar. Fiskurinn óx illa, undarlegrar hegðunar varð vart í hópunum og mikil „óútskýrð“ afföll urðu á fiski strax fyrstu mánuðina eftir flutning í sjókvíar. Þetta veikir því miður verulega allar ályktanir sem beint tengjast vaxtarferlinu, svo sem sambandi milli IGF-I styrks í blóði og vaxtarhraða. Þekkt er og ljóst má vera að fiskurinn verður fyrir miklu álagi við flutning úr strandeldisstöð í sjókvíar. Sérstaklega ber að nefna möguleg áhrif þess að hitastig sjávar var mörgum gráðum lægra í sjókvíunum en í strandeldisstöðinni. Mjög líklega getur þetta haft töluverð og jafnvel langvarandi áhrif á þætti svo sem matarlyst og/eða ætisarferli, og þar með vaxtarhraða. Undarlegrar hegðunar fisksins varð þó enn vart um 6 mánuðum eftir flutning í sjókvíar (haustið 2007) og tæplega getur talist líklegt að áhrifa flutnings í nýtt umhverfi gæti svo lengi. Hugsast getur að stöðug ljósastýring á seiðastigi „rugli“ fiskinn með einhverjum hætti en það skýrir þó ekki slakan vöxt og undarlega hegðun fisks í öðrum hópum löngu eftir flutning í sjókvíar. Af niðurstöðum er því tæplega hægt að draga aðra ályktun en þá að gæðum seiða sem notuð voru í tilraunina hafi verið verulega ábótavant. „Óeðlileg“ hegðun fisksins fyrstu mánuðina í kvíum bendir til þess að skoða þurfi þetta skeið í framleiðsluferlinu mun betur en gert hefur verið.*

## **5. ÞAKKARORÐ**

AVS sjóðnum er þakkaður fjárstuðningur við verkefnið. Barða Ingibjartssyni og öðrum starfsmönnum HG er þakkað sérstaklega fyrir hirðingu fisksins á meðan tilraun stóð. Þorleifi Ágústssyni og Jóni Gunnari Schram, fyrrum sérfræðingum hjá Matís ohf. á Ísafirði er þakkað fyrir framkvæmd kvíahluta rannsóknarinnar og innsöfnun gagna.

## 6. HEIMILDIR

- Almazán-Rueda P, Schrama JW, Verreth JAJ. 2004. Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquaculture* 231: 347-359.
- Almeida F F L, Taranger GL, Norberg B, Karlsen Ø, Bogerd J, Schulz RW. 2009. Photoperiod-modulated testis maturation in Atlantic cod (*Gadus morhua*, L.). *Biol Reprod*, 80(4), 631-640.
- Ágústsson T, Sundell K, Sakamoto T, Ando M, Björnsson BTh. 2002. Pituitary gene expression of somatolactin, prolactin, and growth hormone during Atlantic salmon parr-smolt transformation. *Aquaculture* 222: 229–238
- Árnadóttir GS. 2008. The effects of cold cathode lights on growth of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): use of IGF-I as an indicator of growth. M.Sc. thesis Department of Business & Sciences, University of Akureyri, November 2008, 100 pp.
- Beckman BR, Shimizu M, Gadberry BA, Parkins PJ, Cooper KA. 2004. The effect of temperature change on the relations among plasma IGF-I, 41-kDa IGFBP, and growth rate in postsmolt coho salmon. *Aquaculture* 241: 601–619
- Berg E and Albert OT 2003. Cod in fjords and coastal waters of North Norway: distribution and variation in length and maturity at age. *ICES Journal of Marine Science*, 60, 787-797
- Björnsson B, Steinarsson A and Arnason T. 2007. Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture* 271, 216-226
- Björnsson B, Steinarsson A, Árnason T. 2007. Growth model for Atlantic Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): Effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture* 271: 216–226
- Björnsson BTh, Johansson V, Benedet S, Einarsdóttir IE, Hildahl J, Agustsson T, Jönsson E. 2002. Growth hormone endocrinology of salmonids: regulatory mechanisms and mode of action. *Fish Physiology and Biochemistry* 27: 227–242, 2002.
- Björnsson BTh, Hemre GI, Bjørnevik M, Hansen T. 2000. Photoperiod regulation of plasma growth hormone levels during induced smoltification of underyearling Atlantic salmon. *General and Comparative Endocrinology* 119: 17-25
- Björnsson BTh 1997. The biology of salmon growth hormone: from daylight to dominance. *Fish Physiol Biochem* 17, 9-24
- Björnsson BTh, Hansen T, Taranger GL, Stefansson SO, Walther BT, Haux C. 1994. The interrelation between photoperiod, growth hormone and sexual maturation of adult Atlantic salmon. *General and Comparative Endocrinology* 93: 70– 81.
- Boeuf G and Le Bail PY. 1989. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture* 177: 129– 152.
- Braaten B. 1984. Growth of cod in relation to fish size and ration level. In *Floedevigen rapportser. The propagation of cod Gadus morhua L.* (Vol. 1, pp. 677 - 711). Edited by Dahl, E., Danielssen, D.S., Moksness, E. and Solemdal, P.
- Brage R and Thélin I. 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkningar av organiske stoffer. Statens forureningstilsyn (SFT).
- Breier BH, Gallaher BW, Gluckman PD. 1991. Radioimmunoassay for Insulin-Like-Growth factor-I – Solutions to some potential problems and pitfalls. *Journal of Endocrinology* 128: 347-357
- Bromage NR, Porter MJR, Randall CF. 2001. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture* 197, 63-98.
- Canosa LF, Chang JP, Peter RE. 2006. Neuroendocrine control of growth hormone in fish. *General and Comparative Endocrinology* 151: 1–26
- Cuvier-Péres A, Jourdan S, Fontaine P, Kestemont P. 2001. Effects of light intensity on animal husbandry and digestive enzyme activities in sea bass *Dicentrarchus labrax* post-larvae. *Aquaculture* 202: 317– 328.
- Davie A, Porter MJR, Bromage N, Migaud H. 2007a. The role of seasonally altering photoperiod in regulating physiology in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Part II. Somatic growth. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64, 98-112.
- Davie A, de Quero CM, Bromage N, Treasurer J, Migaud H. 2007b. Inhibition of sexual maturation in tank reared haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) through the use of constant light photoperiods. *Aquaculture*, 270(1-4), 379-389.
- Davie A. 2005. Effects of photoperiod manipulation on growth and reproduction in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.), PhD Thesis, University of Stirling, 298pp.
- Davie A, Porter M, Bromage N. 2003. Photoperiod manipulation of maturation and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 28, 399-401

- Dahle R, Taranger GL, Norberg B. 2000. *Sexual maturation and growth of Atlantic cod (Gadus morhua L.) reared at different light intensities*. Paper presented at the 6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish, Bergen, Norway.
- Dyer AT, Barlow CG, Bransden MP, Carter CG, Glencross BD, Richardson N, Thomas PM, Williams KC, Carragher JF. 2004. Correlation of plasma IGF-I concentrations and growth rate in aquacultured finfish: a tool for assessing the potential of new diets. *Aquaculture* 236: 583–592
- Eppler E, Shived N, Moret O, Reinecke M. 2006. IGF-I is distinctly located in the bony fish pituitary as revealed for *Oreochromis niloticus*, the Nile tilapia, using real-time RT-PCR, in situ hybridization and immunohistochemistry. *General and Comparative Endocrinology* 150: 87-95.
- Fleming IA, Ágústsson T, Finstad B, Johnsson JI, Björnsson BTh. 2002. Effects of domestication og growth physiology and endobrinology of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59: 1323-1330.
- Gabillard JC, Weil C, Rescan PY, Navarro I, Gutiérrez J, Beil PYL. 2003. Effects of environmental temperature en IGF1, IGF2 and IGF type I receptor expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *General and Comparative Endocrinology* 133: 233-242.
- Godo OR and Moksness E. 1987. Growth and Maturation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod under different conditions. *Fisheries Reseach* 5, 235-242.
- Grey JS, McIntyre AD, Stirn J. Manual of methods in aquatic environment research. Biological assessment of marine pollution – with particular reference to bentos. Part 11. FAO. Fisheries technical paper 324. 49 bls.
- Han D, Xie S, Lei W, Zhu X, Yang Y. 2005. Effect of light intensity on growth, survival and skin color of juvenile Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris Gqntner*). *Aquaculture* 248: 299– 306
- Hansen T, Karlsen O, Taranger GL, Hemre G-I, Holm JC, Kjesbu OS. 2001. Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different photoperiods. *Aquaculture* 203, 51-67.
- Hildahl J, Sweeny G, Galay-Burgos M, Einarsdottir IE and Björnsson BTh 2007 Cloning of Atlantic halibut growth hormone receptor genes and quantitative gene expression during metamorphosis. *Gen Comp Endocrinol* 151: 143-152
- Imsland AK, Björnsson BTh, Gunnarsson S, Foss A and Stefansson SO. 2007 Temperature and salinity effects on plasma insulin-like growth factor-1 concentrations and growth in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 271:546-552
- Johansen T, Nyhammer G, Otterlei E, Naevdal G. 2000. Sexual maturation in cod, *Gadus morhua*, in relation to strain, temperature, size and haemoglobin type. *6th International Symposium on the Reproductive physiology of Fish*. Bergen. Edited by Norberg B., Kjesbu O.S., Taranger G.L., Andersson E. and Stefansson S.O. pp 343.
- Karlsen O, Hemre G-I, Tveit K, Rosenlund G. 2006a. Effect of varying levels of macro-nutrients and continuous light on growth, energy deposits and maturation in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture*, 255(1-4), 242-254.
- Karlsen O, Norberg B, Kjesbu OS, Taranger GL. 2006b. Effects of photoperiod and exercise on growth, liver size, and age at puberty in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 63(2), 355-364.
- Karlsen O, Taranger GL, Dahle R, Norberg B. 2000. Effects of exercise and continuous light on early sexual maturation in farmed Atlantic cod *Gadus morhua*. *6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish*. Edited by Norberg, B., Kjesbu, O. S., Taranger, G. L., Andersson, E., and Stefansson, S. O. Bergen, John Grieg A.S. p.328-330.
- Karlsen O, Holm J C, Kjesbu OS. 1995. Effects of periodic starvation on reproductive investment in first-time spawning Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, 133, 159-170.
- Kestemont P, Jourdan S, Houbart M, Mélard C, Paspatis M, Fontaine P, Cuvier A, Kentouri M, Baras E. 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and a biotic influences. *Aquaculture* 227: 333-356.
- Kristoffersen C, Karlsen O, Schulz RW, Migaud H, Stefansson SO, Taranger GL. 2004. Can use of additional light in outdoor tanks delay puberty in farmed male Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Gadoid Mariculture: Development and Future Challenges ICES Symposium*, Bergen, Norway;
- McCormick SD, O’Dea MF, Moeckel AM, Björnsson BTh. 2003. Endocrine and physiological changes in Atlantic salmon smolts following hatchery release. *Aquaculture* 222: 45-57.

- Moriyama S, Swanson P, Nishii M, Takahashi A, Kawauchi H, Dickhoff WW, Plisetskaya EM. 1994. Development of a homologous radioimmunoassay for coho salmon Insulin-like Growth Factor-I. *General and Comparative Endocrinology* 96: 149-161.
- Norberg B, Brown CL, Halldorsson O, Stenslandd K, Björnsson BTh. 2004. Photoperiod regulates the timing of sexual maturation, spawning, sex steroid and thyroid hormone profiles in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture* 229: 451-467
- Nordgarden U, Hansen T, Hemre GI, Sundby A, Björnsson BTh. 2005. Endocrine growth regulation of adult Atlantic salmon in seawater: The effects of light regime on plasma growth hormone, insulin-like growth factor-I, and insulin levels. *Aquaculture* 250: 862-871
- Nordgarden U, Fjellidal PG, Hansen T, Björnsson BTh, Wargelius A. 2006. Growth hormone and insulin-like growth factor-I act together and independently when regulating growth in vertebral and muscle tissue of atlantic salmon postsmolts. *General and Comparative Endocrinology* 149: 253-260.
- Northmore DPM and Muntz WRA. 1970. Electroretinogram determinations of spectral sensitivity in a teleost fish adapted to different daylengths. *Vision Research* 10: 799-816
- Picha ME, Turano MJ, Beckman BR, Borski RJ. 2008. Endocrine biomarkers of growth and applications to aquaculture: A minireview of growth hormone, insulin-like growth factor (IGF)-I, and IGF-Binding proteins as potential growth indicators in fish. *North American Journal of Aquaculture* 70:196-211
- Pierce AL, Shimizu M, Beckman BR, Baker DM, Dickhoff WW. 2004. Time course of the GH/IGF axis response to fasting and increased ration in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *General and Comparative Endocrinology* 140: 192-202.
- Puvanendran V and Brown JA. 2002. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods. *Aquaculture*, 214, 131-151.
- Reinecke M, Björnsson BTh, Dickhoff WW, McCormick SD, Navarro I, Power DM, Gutiérrez J. 2005. Growth hormone and insulin-like growth factors in fish: Where we are and where to go. *General and Comparative Endocrinology* 142: 20-24.
- Rey F, Junquera, S. 1998. Histological assessment of variations in sexual maturity of cod (*Gadus morhua* L.) at the Flemish Cap (north-west Atlantic). *ICES Journal of Marine Science* 55, 515-521.
- Stone H, Sidel JL, (1985). *Sensory evaluation practices*. Orlando, Fla.: Academic press, Inc. 311p.
- Rosenlund G and Halldórsson Ó. 2007. Atlantic codjuvenile production: Research and commercial developments. *Aquaculture* 268: 188-194.
- Rosenlund G and Skretting M. 2006. Worldwide status and perspective on gadoid culture. *ICES Journal of Marine Science*, 63(2): 194-197.
- Rotllant J, Tort L, Monteroc D, Pavlidisd M, Martinezb M, Wendelaar Bongae SE, Balme PHM. 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquaculture* 223: 129-139.
- Small BC and Peterson BC. 2004. Establishment of a time-resolved fluoroimmunoassay for measuring plasma insulin-like growth factor I (IGF-I) in fish: effect of fasting on plasma concentrations and tissue mRNA expression of IGF-I and growth hormone (GH) in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Domestic Animal Endocrinology* 28: 202-215
- Taranger G, Migaud H, Karlsen O, Kristoffersen C, Schulz R, Hansen T, Bromage N. 2004. Effect of different photoperiod and light intensity on puberty and melatonin profiles in cod. *5th International Symposium on Fish Endocrinology*, September 2004, Castellon, Spain
- Taranger GL, Aardal L, Hansen T, Kjesbu OS. 2006. Continuous light delays sexual maturation and increases growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in sea cages. *ICES Journal of Marine Science*, 63(2), 365-375.
- Taylor JF, Porter MJ, Bromage NR, Migaud H. 2008. Relationships between environmental changes, maturity, growth rate and plasma insulin-like growth factor-I (IGF-I) in female rainbow trout. *General and Comparative Endocrinology* 15:155(2):257-70.
- Ziv L, Toviv A, Strasser D, Gothilf Y. 2007. Spectral sensitivity of melatonin suppression in the zebrafish pineal gland. *Experimental Eye Research* 84: 92-99

## 7. VIÐAUKAR

Viðauki I. Skýrsla Náttúrustofa Vestfjarða

Viðauki II. Skýrsla Háskólinn í Gautaborg

Viðauki III. Meistararitgerð Guðbjörg Stella Árnadóttir frá Háskólanum á Akureyri 2008