

Vinnsla og vöruþróun  
Processing and Product  
Development

Líftækni  
Biotechnology



Matvælaöryggi  
Food Safety



# Möguleikar á framleiðslu náttúrulegs dýrasvifs til notkunar á fyrstu stigum fiskeldis

**Jónína Þ. Jóhannsdóttir**  
**Rannveig Björnsdóttir**

Vinnsla og vöruþróun

**Skýrsla Matís 29-08**  
Október 2008

ISSN 1670-7192

Titill / Title	<i>Möguleikar á framleiðslu náttúrulegs dýrasvifs til notkunar á fyrstu stigum fiskeldis / The potential for production of natural zooplankton for first feeding of marine larvae</i>		
Höfundar / Authors	Jónína Þ. Jóhannsdóttir, Rannveig Björnsdóttir		
Skýrsla / Report no.	29-09	Útgáfudagur / Date:	Október 2008
Verknr. / project no.	1304-1732		
Styrktaraðilar / funding:	Verkefnasjóður Sjávarútvegsins		
Ágríp á íslensku:	<p>Heildarmarkmið verkefnisins er að gera úttekt á möguleikum framleiðslu náttúrulegs dýrasvifs til notkunar á fyrstu stigum fiskeldis á Íslandi. Gæði og framboð lirfa er eitt helsta vandamálið í fiskeldi í dag. Lirfur flestra sjávarfiska þurfa lifandi bráð þegar forðanæring kviðpokans er uppurin og er þá framboð lifandi fóðurdýra nauðsynlegt þar til lirfur fara að taka til sín þurrfóður. Innlendir eldisstöðvar hafa fyrst og fremst notað hjóldýr og artemíu sem kaupa þarf erlendis frá og rækta í stöðvunum. Nokkuð skortir á rétta samsetningu næringarefna í þessum fóðurdýrum í samanburði við dýrasvif sem er náttúruleg fæða lirfa sjávarfiska og sýna rannsóknir að notkun dýrasvifs gefur aukna afkomu og bættan vöxt lirfa. Framboð náttúrulegs dýrasvifs er árstíðabundið en ræktun ýmissa tegunda hefur verið reynd á nokkrum stöðum í heiminum með góðum árangri. Benda niðurstöður rannsókna til þess að mögulegt sé að rækta ýmsar tegundir krabbaflóa í nægilega miklu magni til framleiðslu fyrir seiðældisstöðvar.</p> <p>Margar tegundir svifdýra er að finna í lífríki sjávar við landið sem hentað gætu til eldis sjávarfiska og má þar sem dæmi nefna rauðátu, <i>A. longiremis</i> og <i>Oithona spp.</i> Fyrirhugað er að sækja um rannsóknastyrk til sjóðsins um uppsetningu á aðstöðu og tilraunir með ræktun valinna tegunda(r) dýrasvifs.</p> <p><b>Verkefnið var styrkt af Verkefnasjóði Sjávarútvegsins.</b></p>		
Lykilorð á íslensku:	<i>Dýrasvif, krabbaflær, framleiðsla, fyrstu stig eldis</i>		
Summary in English:	<p>The main goal of this project was to evaluate the potential for production of natural zooplankton for production of marine fish larvae in Iceland. Satisfactory quality and survival of larvae are one of the main problems in marine aquaculture. Marine larvae are fed live zooplankton during the first feeding stages, when the content of the yolk sac is spent. Icelandic producers of marine fish larvae mainly use imported rotifers and <i>Artemia</i> as live feed. Copepods are the main food source of marine fish larvae in their natural environment and previous research indicate that the nutritional value of rotifers and <i>Artemia</i> is not adequate for successful development of the larvae. Successful growth and survival of larvae have been achieved using natural zooplankton. However, seasonal growth of natural zooplankton species prevents their use in commercial production of fish larvae. Copepods have been successfully cultured and there are indications that copepods can be cultured as feed in the production of marine fish larvae on a commercial scale.</p> <p>Various zooplankton species are found in the Icelandic marine ecosystem and that may be ideal candidates for culturing e.g. <i>Calanus finmarchicus</i>, <i>A. longiremis</i> and <i>Oithona spp.</i> As a next step, we will apply for funding of a larger project where the aim is to develop experimental facilities and carry out experimental cultures of selected species.</p> <p><b>The project was funded by the Project fund of the Ministry of Fisheries</b></p>		
English keywords:	<i>Zooplankton, copepod, production, marine aquaculture</i>		

## EFNISYFIRLIT

<b>1. INNGANGUR</b> .....	<b>1</b>
<b>2. DÝRASVIF</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Dýrasvif við strendur Íslands</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. Dýrasvif og fiskeldi</b> .....	<b>9</b>
<b>3. FRAMLEIÐSLA DÝRASVIFS</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1. Álitlegar tegundir til ræktunar</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2. Aðstæður við ræktun</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3. Geymsla eggja</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4. Ræktun algengustu tegunda svifdýra sem finnast hér við land</b> .....	<b>18</b>
<b>4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR</b> .....	<b>19</b>
<b>5. ÞAKKARORÐ</b> .....	<b>20</b>
<b>6. HEIMILDIR</b> .....	<b>21</b>

## 1. INNGANGUR

Heildarmarkmið verkefnisins var að gera úttekt á möguleikum á framleiðslu náttúrulegs dýrasvifs til notkunar á fyrstu stigum fiskeldis á Íslandi. Markmið verkefnisins var einnig að safna saman upplýsingum um það sem gert hefur verið í þessum efnum annarsstaðar í heiminum.

Á liðnum árum hefur eldi sjávarfiska aukist hratt að umfangi og eru lúða og þorskur meðal þeirra stofna sem eru ofnýttir og mikil eftirspurn er eftir en framboð lítið. Með eldi gefst möguleiki á stöðugu framboði og vöru sem er jöfn að gæðum. Áhugi fyrir þorskeldi fer einnig mjög vaxandi við norðanvert Atlantshaf og búast má við að eldi á þorski muni aukast mjög á næstu árum (Árnason 2004). Sem dæmi má nefna að á þessu ári má búast við að samarlögð framleiðsla íslenskra þorskseiddaframleiðenda verði um 300.000 seiði en eftirspurn er að sama skapi eftir um 1-1,5 milljón seiðum (Steinarsson 2008).

Undirstöðuatriði eldis sjávarfiska er framboð á liffum til að ala fram til slátrunar. Það er vel þekkt að gæði lifra skipta sköpum varðandi árangursríkt eldi en í dag eru mismunandi gæði lifra eitt af helstu vandamálum í fiskeldi (Skeidvoll 2008). Ýmis atriði eru talin hafa áhrif á afkomu og gæði lifra á fyrstu stigum eldisins og má þar nefna hrognagæði, bakteríuflóru í meltingarvegi lifra og umhverfi þeirra, næringarinnihald fóðurs svo og umhverfisaðstæður (Olafsen 2001, Björnsdóttir *et al.*, 2006).

Lirfur lúðu, þorsks og annarra sjávarfiska eru smáar og viðkvæmar við klak, og ekki að fullu þroskaðar þegar frumfóðrun hefst. Meltingarvegur sjávarfiska er t.d. fremur óþroskaður við upphaf fæðunáms og er þess vegna mjög vandasamt að finna fæðutegundir sem henta við eldi þeirra. Lirfur flestra sjávarfiska þurfa á lifandi bráð að halda þegar forðanæring í kviðpoka er á þrotum. Eitt af undirstöðuatriðum eldis sjávarfiska er því stöðugt og nægilegt framboð á lifandi fóðurdýrum sem lifurnar eru fóðraðar með áður en þær geta farið að taka til sín þurrfóður (Cutts 2003). Ýmsar tegundir fóðurdýra eru notaðar en hér á landi er fyrst og fremst notuð saltvatnsrækja (*Artemia*, artemía) í lúdueldi eða hjóldýr ásamt artemíu í þorskeldi og hafa framleiðendur þurft að sækja það erlendis frá og rækta í stöðvunum.

Artemía eru frumstæð krabbadýr sem bæði geta fætt lifandi liffur og gotið hrognum. Þetta eru ósérvirkar síuætur og er því auðvelt að nota dýrin til að bera hentug næringarefni handa liffum (Steinarsson 2004, Dhert *et al.*, 2001). Við óhagstæðar aðstæður myndar artemían um sig þykka skel (dvalarform) og er hún flutt þannig til landsins og annarra landa um heim

allan. Fiskey hf. kaupir hrogn frá Aquafauna-BioMarine (frá Salt Lake í Bandaríkjunum), klekur þeim og notar sem startfóður fyrir lúðulirfur. Hjóldýr (Rotifers) henta vel sem fyrsta fæða þorsklirfa. Þetta eru fjölfrumungar sem nærast á því að sía örsmáar agnir s.s bakteríur og þörunga úr umhverfi sínu. Flestar tegundir hjóldýra eru botnlægar en tegundin *Brachionus plicatilis* er sviflæg og víða ræktuð sem lifandi bráð í lifrueldi sjávarfiska (Moretti *et al.*, 1999). Dvalaregg hjóldýra er unnt að geyma árum saman í frysti og þola þau vel sótthreinsun til að forðast örverur sem gætu fylgt þeim (Balompapueng *et al.*, 1997). Aðeins er vitað um einn stað þar sem villt hjóldýr eru notuð til eldis á rækju og krabba, en það er í Bohai Bay í Kína (<http://www.fao.org>). Tilraunaeldisstöð Hafró fær hjóldýraræktir erlendis frá og geta síðan viðhaldið ræktun þeirra í eldisstöðinni (síræktir). Vel gengur að framleiða og rækta hjóldýr og artemíu og henta þessar tegundir afar vel í margskonar fiskeldi en hins vega fylgir báðum þessum tegundum fóðurdýra mikill fjöldi baktería sem oft er upprunnin úr öðru umhverfi og því liffunum ókunnug. Þetta lífræna álag getur reynst liffunum ofvíða ef ekkert er að gert og því er mikilvægt að áhersla sé lögð á rétta meðhöndlun, umgengni og hreinlæti við meðhöndlun fóðurdýra svo og á öðrum stigum eldisins (Björnsdóttir og Smáradóttir, 2003).

Þessi fæðudýr eru þó í eðli sínu mjög næringarsnauð. Fisklirfur þurfa á nauðsynlegum næringarefnum að halda sem fóðurdýrin innihalda ekki og gildir þetta sérstaklega um omega-3 fitusýrur þ.e. eikósapentaensýra (EPA-20:5n=3) og dókósaheksaensýra (DHA-22:6n-3) (Lavens *et al.*, 1996). Tiltölulega auðvelt er að auðga dýrin með fitusýrum þar sem reynt er að líkja eftir samsetningu dýrasvifs í náttúrulegu umhverfi fisklirfanna (Cutts 2003). Hjóldýrin og artemíuna þarf auk þess að auðga með vítamínum eða efnum sem þau geta breytt í vítamín (Rønnestad *et al.*, 1998; Merchie *et al.*, 1997; Lavens *et al.*, 1998). Flest tilbúin auðgunarefni innihalda viðbætt vítamín en auðgun með t.d. þörungum hefur verið stunduð í Japan og var áður notað í lúðuelldi Fiskeyar hf., þar sem þörungar eru yfirleitt vítamínríkir. Til viðbótar má nefna auðgun með lífefnum (ensímum og peptíðum) sem auka næringargildi fóðurdýranna. Fæðudýrin má einnig auðga með bakteríum í því markmiði að stýra samsetningu bakteríuflóru þeirra. Rannsóknir á auðgun hjóldýra eru enn á byrjunarstigi en umfangsmiklar rannsóknir á auðgun artemíu með lífvirkum efnum og bætibakteríum hafa verið í gangi hjá Rf/Mátis og HA í samstarfi við m.a. Fiskey hf., Hafrannsóknastofnun og Keldur (“*Bætibakteríur í lúðuelldi*” verkefni styrkt af Tækniþróunarsjóði 2006-2008, „*Forvarnir í fiskeldi*“ styrkt af AVS sjóðnum 2005-2008, „*Lífvirk efni í lúðuelldi*“ styrkt af Líftæknineti

HA 2005-2007 og “Lífvirk efni við lirfueldi lúðu og þorsks” verkefni styrkt af AVS sjóðnum 2007-2008). Helstu niðurstöður þessara verkefna benda til þess að með notkun sérvalinna bætibaktería (valdar í verkefninu) megi auka vöxt þorsklirfa um 20% (Lauzon *et al.*, 2007) og lifun lúðulirfa um 20% (Jóhannsdóttir *et al.*, 2008). Niðurstöður sýna jafnframt að auðgun fæðudýra með peptíð hydrolysötum sem unnin voru úr vannýttu hráefni, þ.e. ufsa, leiddi til örvunar ósérhæfðrar ónæmissvörunar í bæði lúðu- og þorsklirfum. Lirfurnar hafa á þessu stigi ekki þróað með sér sérhæfða ónæmissvörun og verða því að reiða sig á almenna, ósérhæfða svörun ónæmiskerfisins gegn bakteríum og öðru áreiti í umhverfi sínu (Magnadóttir *et al.*, 2005; Lange *et al.*, 2006). Því er mikilvægt ef unnt reynist með einföldum aðferðum að örva hina ýmsu þætti ósérhæfðrar ónæmissvörunar.

Náttúruleg fæða lirfa sjávarfiska eru ýmsar tegundir dýrasvifs og hefur framleiðsla dýrasvifs fyrir fyrstu stig sjávarfiskaeldis verið reynd á nokkrum stöðum í heiminum. Þessar tilraunir hafa þó ekki skilað þeim árangri sem óskað er eftir, þ.e. að unnt sé að rækta náttúrulegt dýrasvif í eldisstöðuvum á landi á sama hátt og gert er við þau fóðurdýr sem notuð eru í eldinu í dag. Ástæður þess eru margar og margbreytilegar en ljóst er að til mikils er að vinna með öruggu framboði og sjálfbærni við öflun lifandi fóðurdýra sem innihalda rétta samsetningu næringarinnihalds. Gerðar hafa verið tilraunir með veiðar/söfnun á náttúrulegu dýrasvifi til fóðrunar lirfa sjávarfiska (þorsks og lúðu) og hafa þær tilraunir sýnt að þroski lirfa og lifun er mun betri en þegar fóðrað er með hjóldýrum/artemíu (Imsland *et al.*, 2006; Evjemo *et al.*, 2003). Ljóst er þó að ekki er hægt að byggja eldi sjávarfiska á Íslandi á veiðum náttúrulegs dýrasvifs sem einungis er að finna að einhverju marki tvö tímabil á ári hverju, þ.e. undir vor- og haustblómgunartíma plöntu- og dýrasvifs í sjó hér við land.

## 2. DÝRASVIF

Í sjónum er að finna fjölbreytilegt úrval lífvera af ýmsum tegundum sem ásamt umhverfi sínu mynda vistkerfi sjávarins. Undirstöðu lífsins í sjónum eða fyrsta þrep fæðukeðjunnar mynda svifþörungarnir sem nýta orku sólarinnar til þess að framleiða lífræn efni úr vatni, koltvíoxíði og ýmsum næringarefnum. Síðan tekur við dýrasvifið sem nærast á þörungunum og nýtir þá sér til vaxtar og viðhalds. Dýrasvifið er síðan sjálft fæða ýmissa annarra lífvera í sjónum s.s.

annarra dýrasvifstegunda, fisklirfa, uppsjávarfiska og hvala. Efst í fæðukeðjunni eru svo ránfiskar, eins og t.d. þorskurinn í hafinu við Ísland. Dýrasvif gegnir því mikilvægu hlutverki í vistfræði sjávar vegna þess að um það flyst frumframleiðsla svifþörunganna til efri fæðuþrepa auk þess sem þar er að finna hátt hlutfall n-3 fitusýra svo og prótein, litarefni, vax estera og kítín. Í náttúrunni er dýrasvif og þá helst krabbaflær hin eðlilega bráð lirfa sjávarfiska (Cutts 2003) og liggur því nærri að álykta að lífsskilyrði og dreifing margra nytjafiska séu í nánnum tengslum við næringarefnaforðann á hverju hafsvæði (Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006).

Dýrasvif (zooplankton) rekur með straumum og geta þannig borist langar leiðir en þó hafa stærstu svifdýrin nokkra hæfileika til sunds. Dýrasvifssamfélagið er mjög fjölbreytt og tegundaauðugt og innan þess er að finna fulltrúa flestra fylkinga dýraríkisins sem finnast sem svifdýr að hluta eða allt æviskeið sitt. Algengustu dýrasvifstegundirnar eru á stærðarbilinu 0.2-2 mm, en margar eru einnig mun stærri eða 2-22 mm. Háttur flestra tegunda svifdýra er að dvelja í djúplögum sjávar yfir vetrartímam og því veiðist minna af þeim þegar líður á haustin (Gíslason og Ástþórsson 1995). Magn svifþörunganna og afrán annarra tegunda skýrir einnig að á vissum tímabilum verður fækkun í fjölda þeirra tegunda sem helstu nytjastofnar nærast á (áta) á vissum tímabilum. Talið er að bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvifsins ráðist af fæðuframboði og þar með umhverfisskilyrðum (Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006). Áturík svæði eru oft blöndunarsvæði eða straumamót í sjónum en á slíkum svæðum er framleiðni þörunganna yfirleitt mikil og eru þar því góð fæðuskilyrði fyrir átuna.

Magn dýrasvifsins, útbreiðsla og stærð, skiptir miklu máli fyrir lífslíkur fisklirfa þegar þær klekjast og fara að taka til sín fæðu. Tegundafjöldi svifdýra, eins og reyndar sjávardýra almennt, er mestur á heitum hafsvæðum í námunda við miðbaug, en þegar norðar dregur fækkar tegundunum jafnt og þétt. Þeim mun kaldari sem sjórinn er því færri eru tegundirnar sem þar er að finna. Á hinn bóginn er sjórinn á köldum hafsvæðum oft mjög næringarríkur og skilyrði til frumframleiðslu þörunganna því ákjósanleg. Af því leiðir að þrátt fyrir lítinn fjölda tegunda getur einstaklingsfjöldi eða mergð hvernar tegundar verið gífurlegur og eru því bæði norðlæg og suðlæg hafsvæði oft með þeim auðugustu í heimshöfunum (Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006).

Frá því að samtímaathuganir á sjó og lífríki hófust hefur vaxandi útbreiðsla Atlantssjávar á Norðurmiðum virst leiða til aukinnar frumframleiðni svifþörungum og þá meira fæðuframboðs og betri afkomu lífvera í sjónum (Ástþórsson og Vilhjálmsson, 2002). Ef hins vegar hlýnun heldur áfram gætu aðrir þættir spilað inn í, svo sem breytt aðgengi afræningja að bráð og aukning margvíslegrar óværu (Sigurjónsson 2003; Jónasson 2004). Breytingar á ástandi sjávar geta þannig haft áhrif á tegundasamsetningu plöntu- og dýrasvifs sem haft getur víðtæk áhrif á afkomu lífvera ofar í fæðukeðjunni (Beaugrand 2005; Richardson og Schoeman 2004).

## 2.2. Dýrasvif við strendur Íslands

Á Hafrannsóknarstofnun Íslands (Hafró) hefur á ári hverju verið unnið að umfangsmiklum rannsóknum á vistfræði hafsins umhverfis landið þar sem meginviðfangsefnið eru athuganir á fæðutengslum dýrastofna á Íslandsmiðum og þar gegnir dýrasvifið lykilhlutverki. Rannsóknir á langtímabreytingum á magni átu við landið hafa verið framkvæmdar frá því um 1960 og eru birtar í árlegum vistfræðiskýrslum Hafró sem fjalla um ástand sjávar og umhverfisþætti. Eftirfarandi upplýsingar eru að mestu fengnar úr þeim skýrslum.

Gögnum hefur verið safnað með sömu aðferðum á sama árstíma (maí-júní) og virðist átumagn að vorlagi góður mælikvarði á meðalátumagn ársins auk þess sem samanburður gefur góða mynd af langtímabreytingum átu. Aftur á móti getur átan tekið miklum breytingum á stuttum tíma og gefa þessar mælingar einungis til kynna ástand á þeim tíma þegar sýnum er safnað. Þótt breytileiki í átumergð frá ári til árs gefi vísbendingar um mismunandi heildarframleiðslu átu yfir sumarið, má að hluta skýra þær breytingar með því að vorvöxtur átunnar hefjist á breytilegum tíma frá ári til árs.

Miklar sveiflur hafa verið á átumagni frá upphafi mælinga og er munur á hæstu og lægstu gildum allt að 20-faldur fyrir norðan land en 10-faldur fyrir sunnan. Að meðaltali hafa liðið um 6-10 ár milli hæstu gilda. Á Siglunessniði var átumagnið í hámarki í upphafi sjöunda áratugarins, þó svo að vorið 2005 hafi átumagn verið með því hæsta sem mælst hefur. Á Selvogsbanka var hámark í byrjun áttunda áratugarins og annarsstaðar um miðjan níunda og tíunda áratuginn. Að jafnaði má segja að árlegar sveiflur í lífmassa átu fyrir sunnan og norðan séu nokkurn veginn í takt (Hafrannsóknarstofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006).



Rannsóknir Hafró sýna að þessar sveiflur eru í samræmi við langtímasveiflur átu í öllu norðanverðu Atlantshafi og bendir það til þess að breytileikinn í átumagni stjórnist að verulegu leyti af hnattrænum þáttum, líklegast tengdum veðurfari, sem hafa áhrif á víðáttumiklu svæði (Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006).

Ísland liggur á mótum hlýrra og kaldra strauma og vitað er að útbreiðsla ýmissa átutegunda ræðst að verulegu leyti af hinum ólíku sjógerðum við landið (Ástþórsson og Gíslason 1995). Samfélög dýrasvifs taka einnig miklum breytingum eftir því sem fjær dregur landinu og er því tegundasamsetning dýrasvifs yfir landgrunni ólík því sem gerist í úthafinu (Ástþórsson *et al.*, 1983). Í ljós hafa komið fjögur meginsvæði við landið, hvert með sína sérstöku samfélagsgerð og sem að nokkru má tengja ólíkum sjógerðum við landið (Gíslason og Ástþórsson 1997a; Gíslason og Ástþórsson 2004):

Landgrunnssvæðin suður og vestur af landinu þar sem sjórinn er blanda af strandsjó og Atlantssjó. Þar eru smákrabbaflær (*Acartia longiremis*, *A. clausi*, *Temora longicornis* og *Centropages hamatus*) sérstaklega áberandi. Sjávarflær (*Evadne nordmanni* og *Podon leuckarti*) og lirfur ýmissa botnlægra krabbadýra t.d. hrúðurkarlar (*Cirripede*) eru einnig mjög áberandi á svæðinu.

Landgrunnssvæði norður og austur af landinu en þar gætir minnkandi áhrifa strandsjávar og Atlantssjávar vegna blöndunar við kaldari sjó að norðan. Rauðáta (*Calanus finmarchicus*) er mjög algeng á svæðinu sem og smákrabbaflóin *Oncaea borealis*. Ljósátu (*Euphausiacea*) er helst að finna á þessum svæði auk þess sem seildýr (*Larvacea*) eru algeng.

Úthafssvæðin suður og vestur af landinu þar sem er að finna hreinan Atlantssjó. Þar er Rauðáta ríkjandi tegund en einnig *Oithona spp.* og ígulkerjalirfur (*Echinoderm*).

Úthafssvæðin djúpt norður og norðaustur af landinu þar sem áhrif pólsjávar gætir mest við landið. Einkennistegundir eru póláta (*Calanus hyperboreus*) og marflær (*Themsito spp.*) auk þess sem Rauðáta og *Oithona spp.* hafa einig fundist.

Árstíðabundnar breytingar í lífmassa og fjölda svifdýra endurspeglar árlegar sveiflur hjá algengustu tegundinni og þar með framboði á fæðu á hverju svæði. Svo virðist sem svipað munstur sé fyrir norðan land, í Ísafjarðardjúpi og í Eyjafirði en þar einkennist átumagn af lágum vetrargildum og aðalhámarki einu sinni um sumarið (Gíslason og Ástþórsson 1997b). Aftur á móti sýna rannsóknir að í hlýrri sjó við suður- og suðvesturströndina nær átan tvisvar

hámarki hvert ár (Gíslason og Ástþórsson 1995). Meðallífmassi átu hefur reynst vera u.þ.b. tvisvar sinnum lægri og árlegur meðalfjöldi svifdýra u.þ.b. fimm sinnum lægri fyrir norðan og norðvestan landið heldur en á suðvesturmiðum (Gíslason og Ástþórsson 1995; Gíslason og Ástþórsson 1997b; Ástþórsson og Gíslason 1992). Á undanförnun árum hefur að jafnaði verið mestur lífmassi átu á grunnmiðum í Faxaflóa. Einnig hefur magn átu verið mikið á djúpmiðum suður af landinu líkt og á fæðuslóð norsk-íslensku síldarinnar djúpt norðaustur og austur af landinu þar sem norrænar tegundir s.s. póláta eru mest áberandi. Lífmassi svifdýra er venjulega minnstur suðaustur, suður og suðvestur af landinu (Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit nr. 130. Vistfræðiskýrsla 2006; Gíslason og Ástþórsson 2004; 1997a).

Á norðlægum hafsvæðum eru það einkum tveir hópar krabbadýra (crustacea), þ.e. krabbaflær (copepoda) og ljósátur, sem eru mikilvægastir þeirra dýra sem að staðaldri finnast í svifinu. Af ættbálki krabbaflóa hafa fundist rúmlega 100 tegundir í hafinu við Ísland. Flestar eru krabbaflærnar aðeins um 2-4 mm að stærð, en mikilvægi þeirra í fæðukeðjunni kemur hinsvegar til vegna gífurlegrar mergðar þeirra í sjónum. Allar breytingar í átumagni milli árstíða svo og milli ára í sjónum hér við land eru að verulegu leyti tengdar lífsferlum krabbaflónna.

Margar tegundir svifdýra greinast þó að jafnaði í sýnum teknum í vorleiðangrum Hafrannsóknarstofnunar og eru þær helstar:

- a. Rauðáta (*Calanus finmarchicus*) er um helmingur dýra í innsöfnuðum sýnum (ef *Calanus spp.* nauplii eru talin með) við strendur Íslands (Gíslason og Ástþórsson 1997a) og er ein mikilvægasta fæðan fyrir seiði okkar helstu fiskistofna. Breytileiki í framleiðni hennar hefur því mikil áhrif á lífslíkur lirfa okkar helstu nytjastofna (Ástþórsson *et al.*, 1983; Ástþórsson og Gíslason 1999; Gíslason og Ástþórsson 1995). Rauðátan eyðir vetrinum í djúplögum sjávar utan landgrunnsins og þangað byrjar hún að synda þegar um mitt sumar. Hrygning fer aðallega fram í yfirborðslögnum um svipað leyti og vorvöxtur plöntusvifsins nær hámarki eða í apríl til maí. Rauðátan nærast fyrst og fremst á svifþörungum en einnig á smáum svifdýrum.
- b. *Acartia spp.* Nokkrar tegundir af ættkvíslinni *Acartia* finnast í miklu magni umhverfis landið. *Acartia longiremis* er algeng í Norður-Atlandshafi þar sem hún er einkum bundin við strandsvæði (Paffenhofer og Stearns 1988). Á Íslandsmiðum er hún einnig algeng, aðallega næst landi þar sem áhrifa strandsjávar gætir (Ástþórsson og Gíslason

1992; Gíslason og Ástþórsson 1995). Árstíðabreytingar í fjölda hennar hafa verið rannsakaðar í þremur fjörðum, í Reyðarfirði, Ísafjarðardjúpi og í Eyjafirði en einnig fyrir opnu hafi bæði suðvestur og norður af landinu (Ástþórsson og Gíslason 1992; Gíslason og Ástþórsson 1995; Kaasa og Guðmundsson 1994). Á öllum þessum svæðum er *Acartia* spp. að finna í svifi allt árið, en á veturna er hún þó mjög sjaldséð. Út af suðurströndinni og í Ísafjarðardjúpi eru tvö hámarks tímabil yfir sumarið, hið fyrsta í maí-júní en hið síðara í ágúst, en fyrir norðan eru hámarks tímabilin í júní-júlí og október. *A. longiremis* er alæta, sem lifir á þörungum, lirfum annara krabbaflóa og frumdýrum.

- c. *Oithona* spp. tegundin er í svifi allt árið og er með algengustu svifdýrum við Ísland. Tvær tegundir af *Oithona* ættkvísl eru algengastar, *O. spinirostris* og *O. similis* og er mun meira af fyrrnefndu tegundinni hér við land. *O. spinirostris* er algeng í Norður-Atlantshafi, jafnt á strandsvæðum sem í úthafinu (Gíslason og Ástþórsson 2004). Fyrir Suðurlandi nær fjöldi *Oithona* spp. tvisvar hámarki, fyrst í maí-júní og síðan í júlí (Gíslason og Ástþórsson 1995). Í Ísafjarðardjúpi eru hámarks tímabilin tvö, hið fyrsta í maí en hið síðara í ágúst (Ástþórsson og Gíslason 1992). Í Eyjafirði er sennilega bara eitt hámark á tímabilinu ágúst til október (Kaasa og Guðmundsson 1994). Einstaklingar þessarar ættkvíslar lifa að verulegu leyti ránlífi og éta svipudýr, bifdýr og ófrumbjarga skorupörunga, en einnig smáar lífrænar leyfar (<10µm), sem stærri krabbaflær ráða illa við (Nakamura og Turner 1997).
- d. Ættkvíslin *Pseudocalanus* spp. hefur norðlæga útbreiðslu í Atlantshafi og er algeng bæði á strandsvæðum sem og í úthafinu (Gaard et al., 2008). Á Íslandsmiðum er ættkvíslin meðal algengustu hópa í dýrasvifinu. Hana er að finna í svifi allt árið, en eins og annað dýrasvif er hún þó mjög sjaldséð í yfirborðslögum sjávar á veturna. Á suðurmiðum eru tvö fjöldahámarks tímabil (maí-júní og í júlí) og einnig á norðurmiðum (júlí og október-nóvember) (Gíslason og Ástþórsson 1995; 1998). Í Ísafjarðardjúpi og í Eyjafirði eru árstíðabreytingar óregluglegri (Ástþórsson og Gíslason 1992; Kaasa og Guðmundsson 1994). Einstaklingar af þessari ættkvísl éta aðallega svifpörunga.
- e. Fyrir Suðurlandi, í Faxaflóa og í Ísafjarðardjúpi er krabbaflóin *Temora longicornis* meðal algengustu tegunda í svifinu (Ástþórsson og Gíslason 1992; Gíslason og Ástþórsson 1995). *T. longicornis* eyðir vetrinum sem dvalaregg á botninum og er aðeins sviflæg í tiltölulega skamman tíma yfir hásumarið.

- f. Ljósáta (*Euphausiacea*) er með stærstu krabbadýrum í svifinu við Ísland og lifir sviflífi alla ævi. Margir nytjafiskar okkar (t.d. loðna, síld, þorskur, karfi) svo og skíðishvalirnir lifa að hluta á ljósátu. Fjórar tegundir ljósátu eru algengar hér við land, augnsíli (*Thysanoessa inermis*), agga (*Thysanoessa raschi*), sporðkríli (*Thysanoessa longicaudata*) og náttlampi (*Meganyctiphanes norvegica*) sem er þeirra stærst. Tegundirnar eru algengar á mismunandi stöðum við landið, agga er í mestu magni inni á fjörðum, augnsíli er algengast yfir landgrunninu, náttlampi úti við landgrunnsbrún en sporðkríli er einkum í úthafinu utan við landgrunnið (Ástþórsson og Gíslason 1997). Ljósátan hrygnir í yfirborðslögunum og fer hrygning fram um svipað leyti og vorvöxtur plöntusvifsins nær hámarki eða í apríl til maí. Ljósáta étur stóra svifþörungna, svo sem skorubörungna og kísilþörungna sem hanga saman í keðjum en einnig rotnandi lífrænar leifar og smáar dýrasvifstegundir.
- g. Á vorin eru hrúðurkarlar (*Cirripedia*) mjög algengir í svifi (Ástþórsson *et al.*, 1983). Fyrir sunnan land, í Ísafjarðardjúpi og Eyjafirði hafa fundist tvær tegundir hrúðurkarla í svifsýnum, *Verruca stroemia* og *Balanus balanoides* og er sú fyrrnefnda algengust (Ástþórsson og Gíslason 1992; Gíslason og Ástþórsson 1995; Kaasa og Guðmundsson 1994). Í hlýsjónum fyrir Suðurlandi eru hrúðurkarlalirfur algengastar í maí og júní (Gíslason og Ástþórsson 1995), en í kaldari sjó í Ísafjarðardjúpi og Eyjafirði er mest af þeim í júlí (Ástþórsson og Gíslason 1992; Kaasa og Guðmundsson 1994). Hróðurkarlalirfur lifa nánast eingöngu á plöntusvifi.

### 2.3. Dýrasvif og fiskeldi

Lengi voru auðlindir hafsins taldar ótæmandi en í kjölfari kvótaskerðinga á sjávarafli er fiskeldi ört vaxandi iðnaður sem stendur þó frammi fyrir takmörkuðu framboði á efni til framleiðslu á fiskafóðri og þá fyrst og fremst lýsi. Samfara aukinni fæðuþörf, einnig til fiskeldis, hefur athygli manna því í auknum mæli beinst að nýtingarmöguleikum dýrasvifs- eða átutegunda á lægstu þrepum fæðustigans í sjónum en því hefur verið haldið fram að meðal sumra tegunda dýrasvifs sé að finna stærstu ónýttu eggjahvítuuppsprettur jarðar (<http://www.sintef.no>).

Lirfur sjávarfiska hafa mikla möguleika til vaxtar á fyrstu þroskastigum sínum og hafa rannsóknir m.a. sýnt að þorskur getur 2000 faldað vöxt sinn á fyrstu 50 dögum ævi sinnar (Finn *et al.*, 2002). Fisklirfur þurfa því á nauðsynlegum næringarefnum að halda til að vaxa og þroskast eðlilega en tegundir dýrasvifs sem sjávarlirfur nærast aðallega á í náttúrunni innihalda mun meira af fosfolípíðum og fjölómettuðum fitusýrum en þær tegundir sem notaðar eru í eldi (van der Meeren *et al.*, 2008). Rannsóknir á næringarinnihaldi nokkurra dýrasvifstegunda hafa m.a. sýnt að heildarfitusýrumagn *copepodid* og eldri þroskasta *Temora longicornis* og *Eurytemora spp.* sé á bilinu 7-14% af þurrvigt og þroskastig I, II og III af Rauðátu sé á bilinu 10-19% og aukist upp í um 22-25% við frekari þroska (Evjemo *et al.*, 2003). Nokkuð skortir á rétta samsetningu næringarefna í fóðurdýrum sem hefðbundið eru notuð við lirfueldi. Dýrin innihalda oftast minna próteinmagn og meira magn glykogenana og fitu þó svo þau innihaldi yfirleitt minna magn frírra fitusýra (FFA) (Hamre *et al.*, 2007; van der Meeren *et al.*, 2008). Mikil afföll eru á fyrstu stigum eldis sjávarfiska s.s. þorsks og lúðu og hafa þau m.a. verið rakin til ófullnægjandi næringarsamsetningar sem kemur m.a. fram í minni vexti, lélegri fóðurnýtingu, hærra hlutfalli af útlitsgöllum og minna þoli gagnvart lélegum vatnsgæðum í samanburði við lirfur sem fóðraðar eru á náttúrulegu dýrasvifi (Hamre 2007; Imsland *et al.*, 2006). Niðurstöður rannsókna benda til þess að næringarinnihald auðgaðra fóðurdýra geti fullnægt þörfum lirfa til vaxtar en ekki myndbreytingar. Sem dæmi má nefna að hlutfall lita- og augngalla hjá lúðuseiðum í eldi er mun lægra ef krabbaflær eru notaðar sem fyrsta fóður samanborið við auðgaða artemíu (Sargent *et al.*, 1999; Hamre *et al.*, 2002) og var það rakið til aukins hlutfalls nauðsynlegra fitusýra í krabbaflóm. Afkoma var auk þess í sumum tilfellum betri og var talið að ástæðu þess mætti rekja til mismunandi magns nauðsynlegra fitusýra, DHA (docosahexaenoic acid) í fóðrinu (Shields *et al.*, 1999 Hamre *et al.*, 2002). Rannsóknir benda enn fremur til þess að notkun krabbaflóa í bland við auðgaða artemíu minnki töluvert líkur á litabrenslun við myndbreytingu lúðulirfa og það opni fyrir möguleika á að nota dýrasvif þó ekki væri nema að hluta til við framleiðslu fisklirfa í eldi (Naess *et al.*, 1995). Það er því ljóst að til þess að auka arðsemi eldis sjávardýra er nauðsynlegt að bæta næringarefnainnihald fóðurdýranna og gera þau sambærileg við náttúrulegt dýrasvif (Hamre 2007; Imsland *et al.*, 2006; Kvåle *et al.*, 2007; van der Meeren *et al.*, 2008). Rannsóknir Evjemo og féлага (2003) benda til þess að með réttum auðgunarefnum sé þetta mögulegt.

Með áframhaldandi aukningu fiskeldis í heiminum getur þó svo farið að eftirspurn eftir artemíu fari fram úr framboði. Margir eru því þeirrar skoðunar að náttúruleg svifdýr geti orðið undirstaða sjávarfiskaeldis í framtíðinni og leiði jafnvel til þess að hægt verði að auka fjölda tegunda í eldi (Payne *et al.*, 2001b). Margar rannsóknir eru í gangi til að kanna nýtingu á náttúrulegu dýrasvifi eða ræktun á nægilegu magni dýrasvifs til notkunar í fiskeldi. Ýmis fiskeldisfyrirtæki hafa notað náttúrulegt dýrasvif, aðallega krabbaflær, við ræktun lirfa þar sem þess er kostur auk þess sem ýmis fyrirtæki ala lirfur ýmissa sjávarfiska “*semi-extensively*” þ.e. nota að hluta til náttúrulegt dýrasvif sem safnað hefur verið úr tjörnum með góðum árangri (Engell-Sørensen *et al.*, 2004; Berg 1997; Drillet *et al.*, 2006b). Þetta fyrirkomulag er háð framboði á dýrasvifi og reynst hefur mögulegt að ala lirfur eingöngu á náttúrulegu dýrasvifi á tímabilinu apríl-júlí og síðan í bland við önnur fóðurdýr fram að þeim tíma þegar lirfurnar eru vandar á þurrfóður (Berg *et al.*, 1997).

### **3. FRAMLEIÐSLA DÝRASVIFS**

Helstu niðurstöður tilrauna þar sem lirfur sjávarfiska hafa verið ræktaðar á krabbaflóm, benda til þess að þó svo mikill breytileiki sé meðal ættkvísla krabbaflóa þá séu þær mjög hentug tegund til ræktunar (Støttrup *et al.*, 1998; Toledo *et al.*, 1999; Engell-Sørensen *et al.*, 2004). Ræktun mismunandi tegunda dýrasvifs og nauðsynleg aðstaða til ræktunar er fyrst og fremst háð lífsferli tegundanna. Þéttleiki og framleiðsla eggja er það sem mestu máli skiptir við notkun í fiskeldi og komið hefur í ljós að fæðuframboð hefur hvað víðtækust áhrif á eggjaframleiðslu dýranna í ræktun. Því er nauðsynlegt að aðlaga fæðuframboð eftir tegundum sem rækta á, þroskastigi dýra, þéttleika og öðrum aðstæðum við ræktunina (Drillet *et al.*, 2006a).

#### **3.1. Álitlegar tegundir til ræktunar**

Vandamál tengd ræktun dýrasvifs í nægilega miklu magni hefur til þessa komið í veg fyrir almenna notkun þess í fiskeldi. Mikilvægt er að velja tegund/tegundir sem henta vel til ræktunar en það eru taldar vera þær tegundir sem hægt er að rækta í miklum þéttleika, hafa

stuttan lífsferil, eru frjósamar og geta lifað á fjölbreytilegu fæði (þörungum og tilbúnu þurrfóðri).

Ýmsir þættir gera lirfur krabbaflóa (nauplii) að hentugum fóðurdýrum fyrir lirfur sjávarfiska í eldi (Cutts 2003). Mismunandi þroskastig krabbaflóa gefa möguleika á bráð af mismunandi stærð (80->90µm af lengd og 3-5µg þurrvigt) og eru þær því hentug fæða fyrir lirfur á mismunandi þroskastigum svo og mismunandi tegundir fisklirfa (Cutts 2003). Krabbaflær innihalda mikið af próteinum, karoteni, ómettuðum fitusýrum, meltingarensímum og öðrum efnum og efnasamböndum sem nauðsynleg eru lirfum (Kraul *et al.*, 1992; Evjemo og Olsen 1997). Krabbaflær eru auk þess lengur að fara í gegnum meltingarveg lirfa heldur en artemía og nær því lirfan að melta og taka upp meiri næringarefni frá þeim (Pedersen 1984). Einnig geta hreyfingar krabbaflóa örvað lirfurnar til fæðunáms auk þess sem ákveðnar tegundir botnlægra krabbaflóa (*harpactoida*) hafa hæfileika til að halda eldistönkum hreinum með því að éta agnir sem falla til í tankinum (grazers) (Cutts 2003). Krabbaflær eru einnig mjög hentug til ræktunar/eldis sökum þess að þær þola hita og seltu á breiðu bili og eru því ekki mjög viðkvæmar fyrir sveiflum í umhverfispáttum þó svo kjöraðstæður séu mismunandi eftir tegundum (Cutts 2003). Hafa ber í huga að mikill breytileiki er meðal ættkvísla krabbaflóa bæði m.t.t. næringarinnihalds og hentugleika til ræktunar en talið er að tegundir af ættkvíslum *calanoida* og *cyclopoida* henti best til ræktunar (Molejon *et al.*, 2003).

Botnlægar krabbaflær (*harpacticoida*) hafa meiri hæfileika til að aðlagast mismunandi aðstæðum (euriplastic) sem auðveldar meiri þéttleika í ræktun. Þessar tegundir hafa ekki eins sérstæðar næringarþarfir auk þess sem þær hafa styttri vaxtarferil og vaxa og fjölga sér hraðar og við fjölbreytilegri aðstæður samanborið við sviflægar tegundir krabbadýra (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Þó getur reynst erfitt að fá fisklirfur til að éta botnlægar krabbaflær auk þess sem mikið yfirborð og pláss hefur þurft til ræktunar og þær því ekki þótt vera hagkvæmar til notkunar í fiskeldi (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003; Cutts 2003; Støttrup og Norsker 1997). Sú tegund *harpacticoida* sem álitlegust þykir fyrir ræktun er *Tisbe spp.* m.a. vegna mikillar frjósemi og vegna mismunandi ljóssækni þeirra á mismunandi þroskaskeiðum en það auðveldar innsöfnun mismunandi þroskastiga hennar úr ræktunartönkum (jákvæð ljósaðlögun lirfa en neikvæð hjá stærri dýrum) (Støttrup og Norsker 1997; Cutts 2003). Þrátt fyrir sækni í botninn þá reyndist þessi tegund einnig vera til staðar í

efri lögum eldistanka u.þ.b. 17 klst eftir gjöf þrátt fyrir að hafa haldið sig á botninum fram að gjöf (Støttrup og Norsker 1997).

Aðstæður við ræktun sviflægra dýrasvifstegunda (*calanoid*) er einfaldari og hefur reynst auðveldara að skala upp þá framleiðslu þó svo ekki hafi náðst mjög mikill þéttleiki dýra í ræktun (Cutts 2003; Støttrup og Norsker 2003). Ýmsir kostir eru við að rækta krabbaflær af *calanoida* ætt t.d. vegna þess að stærð sumra lirfustiga af þeirri tegund hentar betur lirfum fiska sem hafa minni kjaft við upphaf fæðunáms (Payne og Rippingale 2001a). Aftur á móti eru vandamál í tengslum við að viðhalda hreinræktum í miklum þéttleika (Cutts 2003; Støttrup og Norsker 1997). Sú tegund *calanoida* sem hvað mest hefur verið rannsökuð til nota í lirfueldi er *Acartia tonsa* sem notuð hefur verið sem fôðurdýr fyrir fisklirfur og sem unnt hefur verið að rækta yfir fleiri kynslóðir á rannsóknastofunni. Vegna lítills þéttleika í ræktun var tegundin þó ekki talin vera álitleg í fjöldaframleiðslu til notkunar í fiskeldi (Støttrup *et al.*, 1986). Niðurstöður Jepsen og féлага (2007) bentu hins vegar til þess að ræktun *A. tonsa* gæti verið hagkvæmur kostur fyrir fiskeldi þar sem unnt væri að ná þéttleika um og jafnvel yfir 600 dýr/L. Höfundar benda þó á að þróa þurfi betur aðferðir til ræktunar og mæla þeir m.a. með því að mismunandi blöndur þörunga (stærð agna) verði rannsakað frekar svo og stýringar á kynjahlutfalli dýranna. Rannsóknir hafa einnig sýnt að *A. tsuensis* og blandaðar ræktir *calanoid* tegunda geti gefist vel í ræktun í útítönkum (Ohno *et al.*, 1990; Støttrup *et al.*, 2003).

Tekist hefur með góðum árangri að rækta um 60 tegundir dýrasvifa á rannsóknastofum og má þar sem dæmi nefna *Tisbe holothuriae*, *Tigriopus japonicus*, *Oithona spp.*, *Paracalanus spp.*, og *Eurytemora spp.* (Støttrup *et al.*, 2003; Støttrup *et al.*, 1986; Foscarini *et al.*, 1988) Niðurstöður benda til þess að mögulegt sé að rækta ýmsar tegundir krabbaflóa í nægilega miklu magni til framleiðslu fyrir seiðaeldisstöðvar (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003; Drillet *et al.*, 2006a). Ýmsar tilraunir hafa verið gerðar með blandaðar ræktir þar sem hjóldýr eru ræktuð með ýmsum tegundum dýrasvifs (semicontinuous mass polyculture) og má þar sem dæmi nefna dæmi *O. oculata* eða *T. Japonicus* (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003).



### 3.2. Aðstæður við ræktun

Við ræktun dýrasvifs í miklum mæli þarf að huga að mörgu svo vel gangi og miklu máli skiptir að þekkja vel lífsferil dýranna og kjöraðstæður þeirra bæði hvað varðar næringarþörf, umhverfisaðstæður, hitastig og seltu. Fyrir fiskeldisfyrirtækin er það fjöldi einstaklinga (þéttleiki) svo og framleiðsla eggja sem mestu máli skiptir. Framleiðni er beint tengd þáttum á borð við afkomu dýranna, kynjahlutfalli, fjölda eggja (egg sacs) á hvert kvendýr, fjölda afkvæma á hvert kvendýr svo og þroskunarhraða (development rate) (Cutts 2003). Mismunandi er á milli tegunda hvað hefur víðtækust áhrif á framleiðnina en rannsóknir sýna að ýmsir þættir geta haft áhrif þar á:

- a. Þéttleiki: Ýmsar tilraunir hafa verið gerðar með ræktun krabbaflóa og náðst hefur mismunandi þéttleiki í ræktun t.d. 500, 1000 og 2000 einstakling/L (Medina og Barata 2004) og 62, 166 og 425 einstaklinga/L (Peck og Holste 2006). Í rannsóknum Medina og Barata (2004) reyndist þéttleiki dýra í ræktun hafa hvað víðtækust áhrif á þroskun dýra og eggjaframleiðslu en ekki eins mikil áhrif á afkomu dýra og lífvænleika eggjanna. Meiri þéttleiki virtist seinka þroskun og minnka eggjaframleiðslu í samanburði við minni þéttleika í ræktun. Við ræktun krabbaflóa er mest reynsla af *calanoid* tegundum (*Acartia spp.* ofl) sem og *harpacticoida* (*Euterpina acutifrons*, *Tisbe spp.* ofl) þar sem mestur þéttleiki hefur fengist (Payne og Rippingale 2001a). Þéttleiki sem unnt hefur verið að ná í ræktun krabbaflóa er talinn vera nægilegur til að hægt sé að framleiða lirlfur sjávarfiska á iðnaðarskala (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003).
- b. Afföll: Reynslan sýnir að mikið er um afföll við ræktun krabbaflóa og hefur það verið rakið til meðhöndlunar dýranna í ræktunarferlinu (Medina og Barata 2004; Drillet *et al.*, 2006a). Því er mikilvægt að öll meðhöndlun og umgengni við ræktir sé vel skipulagt.
- c. Framleiðsla eggja: Fæðuframboð er það sem hefur hvað mest áhrif á eggjaframleiðslu auk þess sem gæði fæðunnar hefur víðtæk áhrif (Mauchline *et al.*, 1998; Støttrup og Jensen 1990). Til að ná hamarks eggjaframleiðslu í ræktun verður að aðlaga fæðuframboð eftir tegundum sem rækta á, þroskastigi dýra, þéttleika og öðrum aðstæðum við ræktunina (Drillet *et al.*, 2006a). Ekki hafa verið gerðar margar rannsóknir á framleiðslu eggja en komið hefur í ljós að minni eggjaframleiðsla fæst

við meiri þéttleika við ræktun (Medina og Barata 2004; Peck og Holste 2006). Niðurstöður Medina og Barata (2004) sýndu t.d. að eggjaframleiðsla var mest 32 egg/kvendýr/dag við ræktun *A.tonsa*.

- d. Klakhlutfall: Eins og með eggjaframleiðslu þá er klakhlutfall háð fæðuframboði og næringarinnihaldi fæðunnar (Drillet *et al.*, 2006a).
- e. Kynjahlutfall: Vísbendingar eru um að kynjahlutfall dýranna geti breyst við ræktun. Ekki er að fullu vitað hvað hefur áhrif á þetta en niðurstöður rannsókna hafa bent til þess að þéttleiki geti skipt máli og að hlutur kvendýra minnki eftir því sem þéttleiki í ræktunum eykst (Zhang og Uhlig 1993; Fava og Crotti 1979) þó svo hið gagnstæða hafi einnig komið í ljós (Hoppenheit *et al.*, 1976).
- f. Fóður og næringarþörf: Rannsóknir sýna að bein tengsl eru á milli næringarinnihalds svifdýra og þess sem dýrin eru ræktuð á (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Næring getur einnig haft víðtæki áhrif á æxlun dýranna, afkomu og ýmsa aðra þætti í lífsferli þeirra (Cutts 2003). Í sínu náttúrulega umhverfi lifir dýrasvif á þörungum og lífrænum ögnum á botninum en sumar tegundir geta einnig auðveldlega lifað á öðru og næringarsnauðara fæði (Weiss *et al.*, 1996). Almennt má segja að hentugleiki fæðu fari eftir því hversu auðmeltanleg hún er og hvernig næringarinnihald hennar passar tegundinni (Cutts 2003). Krabbaflær sem notaðar hafa verið í lifrueldi hafa verið fóðraðar með þörungum (Payne og Rippingale 2001a). Önnur aðferð er að nota tjarnir eða tanka með sjóvatni þar sem næringarefnum er bætt í til að viðhalda náttúrulegri blómgun þörunga og hefur það leitt til aukningar á framleiðslu lirfa (Lemus *et al.*, 2004).

Ýmsar tegundir þörunga hafa verið notaðar við ræktun dýrasvifs og hafa rannsóknir sýnt að magn og gæði þörunganna hafa víðtæk áhrif á framleiðslu eggja þar sem bæði næringarinnihald og stærð agna skipta máli (Jepsen *et al.*, 2007). Bakteríur hafa einnig verið notaðar sem fóður í ræktun krabbaflóa svo og ýmiskonar tegundir af geri (t.d. bökunarger og  $\omega$  ger) (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Hvort tveggja hefur reynst vel og hafði jafnvel góð áhrif á lifur sumra fisktegunda (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Þegar gerður er samanburður á notkun þörunga og gers hefur komið í ljós að báðar þessar fæðutegundir eru gagnlegar, meiri framleiðsla er af lifrum þegar voru notaðir þörungar en aftur á móti var heildarframleiðsla meiri yfir lengri tíma þegar fóðrað var með geri (Carli *et al.*, 1995).

- g. Uppskeyra (harvesting): Innsöfnun dýra til fóðrunar lifra úr ræktum hefur áhrif á þéttleika og þar með framleiðni ræktanna (Cutts 2003). Ýmsar rannsóknir hafa sýnt að *tíðari* söfnun geti aukið framleiðni ræktanna og getur það orsakast af minni þéttleika eða auknum vatnsgæðum eftir söfnun (Cutts 2003). Mikilvægt er einnig að öll meðhöndlun í eldinu séu vel skiplögð og heimtur fóðurdýra séu í samræmi við það sem best hentar hverri tegund.
- h. Umhverfisþættir í eldi (selta, hiti, turbulence): Margar tegundir dýrasvifs þola miklar sveiflur í umhverfi sínu þó svo þær eigi sér sínar kjöraðstæður þar sem afkoma og framleiðni er mest. Við uppsetningu ræktana er því mikilvægt að hafa þekkingu á kjöraðstæðum sem henta þeirri tegund sem við á og aðlaga aðstæður í eldinu að þeim.
- i. Búnaður og aðstaða sem nauðsynleg eru til ræktunar er háð því hvaða tegundir dýrasvifs á að rækta og mikilvægt er að hafa viðtæka þekkingu á líffræði (biology) og lífsferli þeirra tegunda sem unnið er með. Botnlægar tegundir svifdýra þurfa mikið yfirborð en sviflægar tegundir þurfa hins vegar meira rúmmál eldisvökva. Margar aðferðir hafa verið reyndar til að auka yfirborð í ræktun t.d. með notkun grunnra bakka eða með því að bæta kúlum ofan í eldiskörin (Støttrup og Norsker 1997). Í ræktun hefur að mestu verið hætt að nota náttúrulegt undirlag s.s. sand eða leir og þess í stað notað gler eða plastundirlag (Souza-Santos *et al.*, 2006) Tilraunir með notkun kalksteins hafa einnig gefist vel og bætt framleiðnina verulega (Sun og Fleeger 1995).

Ræktun svifdýra í miklu magni hefur að mestu leyti verið í blandaðri rækt í tönkun utandyra þar sem hægt er að stjórna ákveðnum atriðum (semicontrolled) en einnig hafa tilraunir verið gerðar með ræktun einstakra tegunda í stríðeldi (intensive kerfum) (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003; Støttrup og Norsker 1997). Nauðsynlegt er að geta haft stjórn á sem flestum þáttum í eldisumhverfinu, s.s. fóðri, hitastigi og vatnsgæðum, og er það yfirleitt auðveldara þegar tankar eru staðsettir innanhúss þó svo að oft sé meiri möguleiki á stærri eldiseiningum þegar staðsetning er utandyra. Með “*intensive*” ræktun krabbaflóa má reikna með meira og stöðruga framboði dýra auk þess sem það þarf minna pláss í samanburði við “*extensive*” framleiðslukerfi (Payne og Rippingale 2001a). Hægt er að hanna “*intensive*” ræktun krabbaflóa þannig að egg eða lirlfur dýranna séu reglulega valin/aðskilin frá ræktunum. Þannig fæst mikið magn stærðarflokkaðrar fæðu til að fóðra lirlfur með og tryggir það jafnframt að fæðan sem gefin er í ræktina sé notuð til þess að framleiða egg og lirlfur en ekki

til vaxtar (Payne og Rippingale 2001a). Einnig hefur komið í ljós að sumar tegundir t.d. *Acartia spp.* eru alætur sem éta eigin lirlfur og því nauðsynlegt að aðskilja þær frá þó svo það sé tímafrek aðgerð (Payne og Rippingale 2001a).

### 3.3. Geymsla eggja

Vitað er að tegundir krabbaflóa á hafsvæðum framleiða dvalaregg sem hluta af lífsferli sínu og í því markmiði að viðhalda fjölda við mismunandi umhverfisskilyrði (Marcus 1996; Engel og Hirche 2004). Þrátt fyrir að miklar framfarir hafi orðið við ræktun krabbaflóa þá hefur geymsla eggjanna verið nokkuð vandamál en nauðsynlegt þykir að framleiða dvalaregg til að tryggja framboð á dýrasvifi sem lifandi fóðurdýr fyrir fiskeldi allt árið um kring (Drillet *et al.*, 2007). Tegundin *A. tonsa* hefur mest verið rannsökuð í þessu sambandi. Rannsóknir benda til að betra sé að geyma kæld egg frekar en lirlfur auk þess sem egg fara í dvalarástand við kælingu vegna breytinga frá kjöraðstæðum (*suboptimal aðstæður*) (Drillet *et al.*, 2006a; 2006b; Payne og Rippingale 2001c).

Nýjar rannsóknir hafa sýnt að egg *A. tonsa* þoli geymslu við lágan hita án þess að missa næringarinnihald sitt (aa og fitusýrur). Eggin hafa reynst lífvænleg eftir langa geymslu en aftur á móti minnkar klakhlutfall (hatching success) við geymslu og er einungis um 40% eftir 1 árs geymslu (Drillet *et al.*, 2006a). Aðstæður við geymslu eggja hafa þarna mikið að segja og má sem dæmi nefna hitastig, seltu og súrefnisskilyrði (Holmstrup *et al.*, 2006). Klakhlutfall eftir geymslu getur þó verið mismunandi eftir tegundum auk þess sem aldur/þroski eggja við frystingu virðist einnig hafa áhrif á klakhlutfall. Sem dæmi má nefna að 5-7 klst gömul egg *A. tonsa* virtust koma best út (Drillet *et al.*, 2006a; 2007). Rannsóknir Holmstrup og féлага (2006) bentu til þess að kjöraðstæður við geymslu *A. tonsa* eggja væri við hitastig undir 5°C, seltustig á milli 10 ppt og 20 ppt og súrefnissnauðar aðstæður en þá klöktust út 10-35 naupliur úr eggjum eftir 20 vikna geymslu sem samsvarar 10-35% afkomu. Komið hefur í ljós að þroskaferill dýra er hægari eftir geymslu eggja sem bendir til þess að egg þurfi að byggja upp ákveðinn orkuforða sem tapast við geymsluna (Drillet *et al.*, 2006a). Afföll geymslueggja hafa reynst innan þeirra marka sem fengist hefur við ræktun nýfrjóvgaðra eggja þ.e. 0,035-0,130/dag og er afkoman talin tengjast lífefnafræðilegum

breytingum sem verða á eggjum við geymslu (Drillet *et al.*, 2006a). Geymsla eggja virðist auk þess ekki hafa mikil áhrif á framleiðslu eggja hjá kvendýrum (Drillet *et al.*, 2006a).

Vitað er að bakteríuflóra hefur mikil áhrif á afkomu á ýmsum stigum fiskeldis (Olafsen 2001). Rannsókuð hafa verið áhrif sýklalyfja á afkomu og þroska eggja ef þau eru notuð á dvalaregg til að koma í veg fyrir súrefnisskort af völdum bakteríuvaxtar (Drillet *et al.*, 2007). Niðurstöður þeirra rannsókna leiddu í ljós að notkun sýklalyfja í réttum skömmtum getur aukið geymsluþol eggja *A. tonsa* í ákveðinn tíma en of stór skammtur eða of langur meðhöndlunartími gat valdið eitrunaráhrifum á bæði egg og lirlfur dýranna (Drillet *et al.*, 2007).

Ef teknar eru saman niðurstöður rannsókna á geymslu eggja er ljóst að mögulegt er að rækta og viðhalda ræktum dýrasvifs til notkunar við eldi sjávarfiska. Við geymslu verða samt sem áður ákveðnar breytingar á efnainnihaldi eggja sem geta haft áhrif á lífvænleika þeirra og afkomu en aðstæður við geymslu s.s. selta, ljós, súrefni og lífræn efni í geymslulausninni eru líkleg til að hafa áhrif á þetta og þarf að rannsaka það betur til að ná fram kjöraðstæðum við geymslu eggja (Drillet *et al.*, 2006a). Auk þess ber að hafa í huga mismunandi þol mismunandi tegunda krabbaflóa/dýrasvifs við geymslu.

### **3.4. Ræktun algengustu tegunda svifdýra sem finnast hér við land**

Eins og áður sagði er rauðáta ein mikilvægasta tegund dýrasvifs í sjó hér við land og hefur hún verið mikið rannsókuð m.a. í Noregi þar sem tvö stór verkefni hafa verið framkvæmd til þess að kortleggja vistfræði og kjöraðstæður við ræktun hennar (GLOBEC og TACS). Vel hefur tekist að viðhalda ræktun á rauðátu yfir fleiri kynslóðir (Jensen *et al.*, 2006) þar sem aðstæður við ræktun voru þróaðar með hliðsjón af fyrri rannsóknum (Harris *et al.*, 2000; Campbell *et al.*, 2001). Þar kom í ljós að framleiðslugeta, kynjahlutfall og fleiri þættir er háð fódurtegund og framboði á fódri, hitastigi og öðrum umhverfisaðstæðum í ræktun líkt og gerist í náttúrunni (Irigoien *et al.*, 2000; Jonasdóttir *et al.*, 2008).

Fjöldi rannsókna hafa einnig verið gerðar á ræktun á hinum ýmsu tegundum *Acartia* spp. og *Oithona* spp. og virðast þessar tegundir henta vel í eldi vegna hentugs lífsferils auk þess sem

mögulegt er að geyma egg *Acartia* spp. til lengri tíma (Drillet *et al.*, 2006a; Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003).

#### 4. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR

Á Íslandi hefur á undanförunum árum orðið mikil aukning á eldi sjávarfiska, og mikil þekking á fiskeldi er að byggjast hér upp með mörgum og fjölbreyttum rannsóknaverkefnum í samstarfi við íslenskan fiskeldisiðnað. Fyrirtækið Fiskey hf. hefur til að mynda náð betri tókum á framleiðsluferlinu en öðrum framleiðendum hefur teksti og hefur fyrirtækið verið stærsti framleiðandi lúðuseiða í heiminum í nokkur ár.

Lirfur krabbaflóa eru náttúruleg fæða sjávarfiska og innihalda þær öll nauðsynleg næringarefni fyrir eðlilegan þroska lirfanna. Ekki hefur þó tekist að nýta þessa auðlind hafsins í fiskeldi að nægilegu marki sökum þess að framboð hefur verið bundið ákveðnum árstímum. Aukið framboð og auðvelt aðgengi að lifandi fôðurdýrum er lykilatriði varðandi velgengni fiskeldisfyrirtækja og ræktun náttúrulegs dýrasvifs minnkar auk þess þörf á innflutningi artemíu frá svæðum sem eru verulega frábrugðin náttúrulegum uppeldisstöðvum fiskanna. Niðurstöður fyrri rannsókna sýna jafnframt að notkun náttúrulegs dýrasvifs gefa aukna afkomu og bættan vöxt lirfa auk þess sem vísbendingar eru um bætt gæði lirfa vegna færri galla og því séu seiðin betur í stakk búin að takast á við ýmiskonar álga og áreiti frá umhverfi sínu (Imsland *et al.*, 2006).

Ræktun dýrasvifs hefur verið talin óhentug leið m.a. vegna þess hve tímafrek og kostnaðarsöm hún er. Auk þess er tvöföldunartími flestra tegunda krabbaflóa er 5-10 sinnum lengri en hjá hjóldýrum en aftur á móti þá þarf að sama skapi 5-10 sinnum minni þéttleika af dýrasvifi til gjafar í samanburði við það magn sem þarf af hjóldýrum (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Vel hefur tekist að rækta ýmsar tegundir dýrasvifs og aukin þekking hefur aflast á möguleikum til ræktunar á dýrasvifi og þá þætti sem hafa áhrif á afkomu og framleiðni mismunandi tegunda. Því er talinn vera raunhæfur grundvöllur fyrir ræktun sem nægir fyrir framleiðslu lirfa á stórum skala (Molejon og Alvarez-Lajonchere 2003). Möguleikar á stöðugu framboði dýrasvifs er auk þess orðinn að veruleika með framleiðslu dvalareggja.

Eftir því sem næst verður komist þá er talið að miklir möguleikar séu fyrir hendi á ræktun náttúrulegs dýrasvifs í nægilega miklu magni til að koma alveg eða að hluta í stað aðkeypra fóðurdýra til notkunar á fyrstu stigum fiskeldis á Íslandi. Taldar eru miklar líkur á að hægt sé að rækta með góðum árangri þær tegundir krabbaflóa sem algengastar eru hér við land t.d. rauðátu, *A. longiremis* og *Oithona spp.* tegundirnar *O. spirostris* og *O. similis*. Víðtæk þekking er fyrir hendi hjá fyrirtækjum, s.s. Fiskey hf. og Hafró, á ræktun lifandi fóðurdýra og þörunga til notkunar í eldinu auk þess sem góð þekking er á lífsferlum og kjöraðstæðum þessara tegunda við náttúrulegar aðstæður.

Í framhaldi af þessarar forathugun er fyrirhugað að sækja um rannsóknastyrk til Verkefnasjóðs Sjávarútvegsins um uppsetningu á aðstöðu og til að framkvæma tilraunir með ræktun valinna tegunda(ar) dýrasvifa til nota á fyrstu stigum lirfueldis þorsks og lúðu. Auk aðkomu íslenskra fiskeldis- og rannsóknafyrirtækja er gert ráð fyrir að verkefnið verði unnið í samstarfi við SINTEF þar sem rannsóknir á þessu sviði hafa veriðs stundaðar í nokkurra ár (<http://www.sintef.no>).

## **5. ÞAKKARORÐ**

Aðstandendur verkefnisins vilja þakka Verkefnasjóði Sjávarútvegsins fyrir þeirra framlag til verkefnisins sem gerði þessa forathugun mögulega. Starfsmönnum Hafrannsóknastofnunar er einnig þakkað fyrir veittar upplýsingar.

## 6. HEIMILDIR

- Árnason J.** 2004. *Fóður og fóðurgerð fyrir þorsk*. Í: Þorkseldi á Íslandi. Björn Björnsson og Valdimar Ingi Gunnarsson (ritsjórar). *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* nr. 111.
- Ástþórsson ÓS, Vilhjálmsson H.** 2002. Iceland Shelf LME: Decadal Assessment and Resource sustainability. In: K. Sherman and H. R. Skjoldal (editors): *Large Marine Ecosystem of the North Atlantic*. Amst. : Elsevier Science, pp. 219-240.
- Ástþórsson ÓS, Gíslason Á.** 1995. Long-term changes in zooplankton biomass in Icelandic waters in spring. *ICES J. Mar. Sci.* 52: 657-668.
- Ástþórsson ÓS, Gíslason Á.** 1997. Biology of euphausiids in the subarctic waters north of Iceland. *Mar Biol*, 129:319–330
- Ástþórsson ÓS, Hallgrímsson I, Jónsson GS.** 1983. Variation in zooplankton density in Icelandic waters in spring during the years 1961-1982. *Rit Fiskideildar*. 7: 73-113.
- Ástþórsson ÓS, Gíslason Á.** 1992. Investigations on the ecology of the zooplankton community in Ísafjörð-Deep, Northwest Iceland. *Sarsia* 77: 225-236.
- Ástþórsson ÓS, Gíslason Á.** 1999. Inter-annual variation in abundance and development of *Calanus finmarchicus* in Faxaflói, west Iceland. *Rit Fiskideildar*, 16:131-140.
- Balompapueng MD, Munuswamy N, Hagiwara A, Hirayama K.** 1997. Effect of disinfectants on the hatching of marine rotifer resting eggs of *Brachionus plicatilis* Muller. *Aquaculture Res.* 28:559-565.
- Beaugrand G.** 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. *ICES Journal of Marine Science*. 62(3):333-338
- Berg L,** 1997. *Commercial feasibility of semi-intensive larviculture of Atlantic halibut (Hippoglossus hippoglossus L.)*. *Aquaculture* 155: 333– 340.
- Björnsdóttir R, Smáradóttir H.** 2003. Stýring örveruflóru í startfóðrunarkerjum lúðulirfa (Rannís ver.#010 840 001) Lokaskýrsla. #21-03.
- Björnsdóttir R, Smáradóttir H, Jóhannsdóttir JP, Guðmundsdóttir Á, Sveinsdóttir H, Jónsdóttir HR, Sigvaldadóttir SÓ, Bonilla VM, Reynisson E, Pétursdóttir M.** 2006. *Forvarnig í fiskeldi: Flokkun örvera, tilraunir með notkun bætibaktería og próteinmengjarannsóknir*. *Verkefnaskýrsla Rf #18-06*.
- Campbell RG, Wagner MM, Teegarden GJ, Boudreau CA, Durbin EG.** 2001. Growth and development rates of the copepod *Calanus finmarchicus* reared in the laboratory. *Marine Ecology-Progress series*. 221:161-183
- Carli A, Mariottini GL, Pane L.** 1995. Influence of nutrition on fecundity and survival in *Tigriopus fulvus* Fischer (Copepoda: Harpacticoida). *Aquaculture* 134(1-2):113-119.
- Cutts CJ.** 2003. Culture of harpacticoid copepods: Potential as live feed for rearing marine fish. *Advances in Marine Biology*. 44:295-316.
- Dhert P, Rombaut G, Suantika G, Sorgeloos P.** 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture *Aquaculture*. 200(1-2):147-159



- Drillet G, Iversen MH, Sorensen TF, Ramløv H, Lund T, Hansen BW.** 2006a. Effect of cold storage upon eggs of a calanoid copepod, *Acartia tonsa* (Dana) and their offspring. *Aquaculture*. 254:714-729
- Drillet G, Jorgensen NOG, Sorensen TF, Ramløv H, Hansen BW.** 2006b. Biochemical and technical observations supporting the use of copepods as live feed organisms in marine larviculture. *Aquaculture Research* 37: 756-772
- Drillet G, Lindley LC, Michels A, Wilcox J, Marcus NH.** 2007. Improving cold storage of subitaneous eggs of the copepod *Acartia tonsa* Dana from the Gulf of Mexico (Florida - USA). *Aquaculture Research* 38 (5):457-466
- Engel M, Hirche HJ.** 2004. Seasonal variability and inter-specific differences in hatching of calanoid copepod resting eggs from sediments of the German Bight (North Sea). *J. Plankton Res.* 26(9):1083-1093.
- Engell-Sørensen K, Støttrup JG, Holmstrup M.** 2004 Rearing of flounder (*Platichthys flesus*) juveniles in semiextensive systems. *Aquaculture* 230:475-491
- Evjemo JO, Olsen Y.** 1997. Lipid and fatty acid content in cultivated live feed organisms compared to marine copepods. *Hydrobiologia* 358: 159-162.
- Fava G, Crotti E.** 1979. Effect of crowding on nauplii production during mating time in *Tisbe clodiensis* and *T. holothuriae* (Copepoda, Harpacticoida). *Helgoland Marine Research* 32(4):466-475.
- Finn RN, Rønnestad I, van der Meeren T, Fyhn HJ.** 2002. Fuel and metabolic scaling during early life stages of Atlantic cod *Gadus morhua*. *Mar. Ecol., Prog. Ser.* 243:217-234
- Foscarini R.** 1988. A Review: Intensive farming procedure for Red Sea bream (*Pagrus major*) in Japan. *Aquaculture*. 72:191-246.
- Gaard E, Gíslason Á, Falkenhaus T, Søliland H, Musaeva E, Vereshchaka A, Vinogradov G.** 2008. Horizontal and vertical copepod distribution and abundance on the Mid-Atlantic Ridge in June 2004. *Deep Sea Research Part II-Topical studies in Oceanography*. 55(1-2):59-71
- Gíslason Á, Eiane K, Reynisson P.** 2007. Vertical distribution and mortality of *Calanus finmarchicus* during overwintering in oceanic waters southwest of Iceland. *Marine Biology* 150 (6): 1253-1263
- Gíslason Á, Ástþórsson ÓS.** 2004. Distribution patterns of zooplankton communities around Iceland in spring *OS SARSIA* 89 (6): 467-477
- Gíslason Á, Ástþórsson ÓS.** 1995. Seasonal cycle of zooplankton southwest of Iceland. *J Plankton Res* 17:1959-1976
- Gíslason Á, Ástþórsson ÓS.** 1998. Seasonal variations in biomass, abundance and composition of zooplankton in the subarctic waters north of Iceland. *Polar Biology*, 20: 85-94.
- Gíslason Á, Ástþórsson ÓS.** 1997a. Útbreiðsla og tegundasamsetning dýrasvífs við Ísland í tengslum við sjógerðir. Í: Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. *Hafrannsóknastofnun. Fjölrit*, 57: 1-9.
- Gíslason Á, Ástþórsson ÓS.** 1997b. Árstíðabreytingar dýrasvífs fyrir norðan Ísland. Í: Fjölstofnarannsóknir 1992-1995. *Hafrannsóknastofnun. Fjölrit*, 57: 11-23.
- Hamre K, Opstad I, Espe M, Solbakken J, Hemre GI, Pittman K.** 2002. Nutrient composition and metamorphosis success of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) larvae fed natural zooplankton or *Artemia*. *Aquaculture Nutrition* 8(2):139-148

- Hamre K, Holen E, Moren M.** 2007. Pigmentation and eye migration in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae: new findings and hypotheses. *Aquaculture Nutrition* 13(1):65–80.
- Harris RP, Irigoien X, Head RN, Rey C, Hygum BH, Hansen BW, Meyer-Harms B, Carlotti F.** 2000. Feeding, growth, and reproduction in the genus *Calanus*. *ICES Journal of Marine Science*. 57(6):1708-1726.
- Holmstrup M, Overgaard J, Sorensen TF, Drillet G, Hansen BW, Ramløv H, Engell-Sørensen K.** 2006. Influence of storage conditions on viability of quiescent copepod eggs (*Acartia tonsa* Dana): effects of temperature, salinity and anoxia. *Aquaculture Res.* 37(6):625-631
- Hoppenheit M.** 1976. Dynamics of Exploited Populations of Tisbe-Bolothuridae (Copepoda, Harpacticoida) .3. Reproduction, Sex-Ratio, Rate of Development and Survival Time. *Helgoland Marine Research* 28(2):109-137.
- Imsland AK, Foss A, Koedijk R, Folkvord A, Stefansson SO, Jonassen TM.** 2006. Short- and long-term differences in growth, feed conversion efficiency and deformities in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*) started on rotifers or zooplankton. *Aquaculture Research* 37 (10):1015–1027
- Irigoien X, Obermuller B, Head RN, Harris RP, Rey C, Hansen BW, Hygum BH, Heath MR, Durbin EG.** 2000. The effect of food on the determination of sex ratio in *Calanus* spp.: evidence from experimental studies and field data. *ICES Journal of Marine Science*. 57(6):1752-1763.
- Jensen LK, Carroll J, Pedersen G, Hylland K, Dahle S, Bakke T.** 2006. A multi-generation *Calanus finmarchicus* culturing system for use in long-term oil exposure experiments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 333(1):71-78
- Jepsen PM, Andersen N, Holm T, Jørgensen AT, Højgaard JK, Hansen BW.** 2007. Effects of adult stocking density on egg production and viability in cultures of the calanoid copepod *Acartia tonsa* (Dana). *Aquaculture Research* 38 (7), 764–772.
- Jóhannsdóttir JP, Smáradóttir H, Káradóttir EG, Þórarinsdóttir EE, Pétursdóttir M, Björnsdóttir R.** 2008. Meðhöndlun hrognna og lirfa með nýrri blöndu bætibaktería. *Matís skýrsla* #28-08.
- Jonasdóttir SH, Richardson K, Heath MR, Ingvarsdóttir A, Christoffersen A.** 2008. Spring production of *Calanus finmarchicus* at the Iceland-Scotland ridge. *Deep Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*. 55(4):471-489
- Jónasson JP.** 2004. Mat á náttúrulegum dauða hörpudisks, *Chlamys islandica* (O.F. Müller), í Breiðafirði út frá hlutfalli skelja á hjör. Í: Þættir úr vistfræði sjávar 2003. Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit 101: 37-40.
- Kaasa Ö, Guðmundsson K.** 1994. Seasonal variations in the plankton community in Eyjafjörður, North Iceland. *ICES C.M.* 1994/L:24, 28 s.
- Kraul S, Ako H, Nelson A, Brittain K, Ogasawara A.** 1992. Evaluation of live feeds for larval and postlarval mahimahi, *Coryphaena hippurus*. *J. World Aquac. Soc.* 23 (1):299–306.
- Kvåle A, Nordgreen A, Tonheim SK, Hamre K.** 2007. The problem of meeting dietary protein requirements in intensive aquaculture of marine fish larvae, with emphasis on Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture Nutrition*. 13(3):170–185

- Lange S, Bambir SH, Dodds AW, Bowden T, Bricknell I, Espelid S, Magnadóttir B.** 2006. Complement component C3 transcription in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) larvae. *Fish & Shellfish immunology*. 20(3):285-294
- Lauzon HL, Guðmundsdóttir S, Steinarsson A, Oddgeirsson M, Magnadóttir B, Ásgeirsson ÍÖ, Gísladóttir B, Reynisson E, Pétursdóttir SK, Ragnarsdóttir P, Pedersen MH, Budde BB, Guðmundsdóttir BK.** 2007. Forvarnir í fiskeldi. A-hluti – Forvarnir í þorskeldi. Skýrsla Matis 53-07.
- Lavens P, Sorgeloos P.** 1996. *Manual on the Production and use of live food for aquaculture. Food and Agriculture organization of the United Nations*. ISBN:92-5-103934-8.
- Lavens P, Merchie G, Sorgeloos P.** 1998. Critical review of the larval fish and crustacean feeding methods with ascorbic acid enriched diets: effects on fish and shrimp growth, stress and disease resistance. *Conference of the World Aquaculture Society*. Las Vegas. USA: 316
- Lemus JT, Ogle JT, Lotz JM.** 2004. Increasing production of copepod nauplii in a brown-water zooplankton culture with supplemental feeding and increased harvest levels. *North American journal of Aquaculture*. 66(3):169-176.
- Magnadóttir B, Lange S, Guðmundsdóttir S, Bøgwald J, Dalmo RA.** 2005. Ontogeny of humoral immune parameters in fish. *Fish & Shellfish Immunology*. 19(5):429-439
- Marcus NH.** 2006 Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present and future studies, *Hydrobiologia* 320:141–152
- Mauchline J, Blaxter JHS, Southward AJ, Tyler PA.** 1998. Advances in marine biology - The biology of calanoid copepods – Introduction. *Advances in Marine Biology*. 33
- Medina M, Barata C.** 2004. Static-renewal culture of *Acartia tonsa* (Copepoda : Calanoida) for ecotoxicological testing. *Aquaculture*. 229:203-213.
- Merchie G, Lavens P, Sorgeloos P.** 1997. Optimization of dietary vitamin C in fish and crustacean larvae. *Aquaculture*. 155:165-181.
- Molejon OGH, Alvarez-Lajonchere L.** 2003. Culture experiments with *Oithona oculata* Farran, 1913 (Copepoda : Cyclopoida), and its advantages as food for marine fish larvae. *Aquaculture*. 219(1-4):471-483
- Moretti A, Pedini M, Fernandez-Criado G, Cittolin Cuidastri R.** 1999. *Manual on hatchery production of seabass and gilthead seabream*. Vol. 1. FAO, Rome :194
- Naess T, Germain-Henry M, Naas KE.** 1995. First feeding of Atlantic halibut (*Hippoclossus hippoglossus*) using different combinations of *Artemia* and wild zooplankton. *Aquaculture* 130(2-3):235-250.
- Nakamura Y, Turner JT.** 1997. Predation and respiration by the small cyclopoid copepod *Oithona similis*: How important is feeding on ciliates and heterotrophic flagellates? *Journal of Plankton Research*. 19(9):1275-1288
- Ohno A, Takahashi T, Taki Y.** 1990. Dynamics of Exploited Population of the Calanoid Copepod, *Acartia-Tsuensis*. *Aquaculture* 8(1):27-39
- Olafsen JA.** 2001. *Interactions between fish larvae and bacteria in marine aquaculture*. *Aquaculture*. 2001:223-247.

- Paffenhofer GA, Stearns DE.** 1988. Why is Acartia-Tonsa (Copepoda, Calanoida) Restricted to nearshore environments. *Marine Ecology-Progress Series*. 42(1):33-38
- Payne MF, Rippingale RJ.** 2001a. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*. 201:329-342
- Payne MF, Rippingale RJ, Cleary JJ.** 2001b. Cultured copepods as food for West Australian dhufish (*Glaucosoma hebraicum*) and pink snapper (*Pagrus auratus*) larvae. *Aquaculture*. 194:137-150
- Payne MF, Rippingale RJ.** 2001c. Effects of salinity, cold storage and enrichment on the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*. 201:251-262
- Peck MA, Holste L.** 2006. Effect of salinity, photoperiod and adult stocking density on egg production and egg hatching success in *Acartia tonsa* (Calanoida: Copepoda): optimizing intensive cultures. *Aquaculture* 255: 341–350.
- Pedersen BH.** 1984. The intestinal evacuation rates of larval herring (*Clupea harengus* L.) predated on wild plankton. *Dana* 3:21-30.
- Richardson AJ, Schoeman DS.** 2004. Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*. 305(5690):1609-1612
- Rønnestad I, Helland S, Lie Q.** 1998. Feeding *Artemia* to larvae of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) results in lower larval vitamin A content compared with feeding copepods. *Aquaculture*. 165:159-164.
- Sargent J, McEvoy L, Estevez A, Bell G, Bell M, Henderson J, Tocher D.** 1999. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture* 179(1-4):217-229.
- Shields RJ, Bell JG, Luizi FS, Gara B, Bromage NR, Sargent JR.** 1999. Natural Copepods Are Superior to Enriched *Artemia* Nauplii as Feed for Halibut Larvae (*Hippoglossus hippoglossus*) in Terms of Survival, Pigmentation and Retinal Morphology: Relation to Dietary Essential Fatty Acids. *Journal of Nutrition*. 129:1186-1194.
- Sigurjónsson J.** 2003. Breytingar á ástandi sjávar og afrakstur fiskistofna: Hvað getum við lært af sögunni? *Fiskifréttir*, 19. des., 38-43.
- Skeidvoll S.** 2008. Strategy for Cod Farming. Cod Farming in Nordic Countries. Conference. Reykjavik Iceland. (<http://thorskeldi.is>).
- Souza-Santos LP, Pastor JMO, Ferreira NG, Costa WM, Araújo-Castro CMV, Santos PJP.** 2006. Developing the harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis* culture: testing for salinity tolerance, ration levels, presence of sediment and density dependent analyses. *Aquaculture Research* 37(15):1516-1523
- Steinarsson A.** 2004. *Porskeiði*. Í:Porskeldi á Íslandi. Björn Björnsson og Valdimar Ingi Gunnarsson (ritstj.). Reykjavík *Hafrannsóknarstofnun*. *Fjölrit* 111:41-86.
- Steinarsson A.** 2008. Good Cod, Bad Cod. Cod Farming in Nordic Countries. Conference. Reykjavik Iceland. (<http://thorskeldi.is>).
- Støttrup J.** 2003. Production and nutritional value of copepods. In: J. Støttrup and L.A. McEvoy, Editors, *Live Feeds in Marine Aquaculture*, Blackwell Publishing, Oxford, pp. 145–205.

- Støttrup JG, Norsker NH.** 1997. Production and use of copepods in marine fish larviculture. *Aquaculture* 155 (1-4): 231-247
- Støttrup JG, Shields R, Gillespie M, Gara MB, Sargent RJ, Bell JG, Henderson RJ, Tocher DR, Sutherland R, Naess T, Mangor Jensen A, Naas K, Van der Meeren T, Harboe T, Sanchez FJ, Soorgeloos P, Dhert P, Fitzgerald R.** 1998. The production and use of copepods in larval rearing of halibut, turbot and cod . *Bulletin of the Aquatic Association of Canada* 4 :41 – 46 .
- Støttrup JG, Jensen J.** 1990. Influence of Algal Diet on Feeding and Egg-Production of the Calanoid Copepod *Acartia-Tonsa Dana*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 141(2-3): 87-105.
- Støttrup JG, Richardson K, Kirkegaard E, Pihl NJ.** 1986. The cultivation of *Acartia tonsa Dana* for use as a live food source for marine fish larvae. *Aquaculture* 52(2):87-96
- Sun B, Fleeger JW.** 1995. Sustained mass culture of *Amphiascoides atopus* a marine harpacticoid copepod in a recirculating system. *Aquaculture* 136(3-4):313-321
- Toledo JD, Golez MS, Doi M, Ohno A.** 1999. Use of copepod nauplii during early feeding stage of grouper *Epinephelus coioides*. *Fisheries Science* 65:390 – 397 .
- van der Meeren T, Olsen RE, Hamre K, Fyhn H.J.** 2008. Biochemical composition of copepods for evaluation of feed quality in production of juvenile marine fish. *Aquaculture* 274 (2-4):375-397.
- Weiss GM, McManus GB, Harvey HR.** 1996. Development and lipid composition of the harpacticoid copepod *Nitocra spinipes* reared on different diets. *Marine Ecology-Progress Series*. 132(1-3):57-61
- Zhang Q, Uhlig G.** 1993. Effect of density on larval development and female productivity of *Tisbe holothuriae* (Copepoda, Harpacticoida) under laboratory conditions. *Helgoland Marine Research*. 47(2): 229-241.
- Þættir úr vistfræði sjávar 2006.** Environmental conditions in Icelandic waters. *Hafrannsóknastofnunin. Fjölrit* nr. 130. Reykjavík 2007