

Kapittel 3

Torsk i oppdrett



3.1 Bestandssituasjonen for villtorsk

Asgeir Aglen, Havforskningsinstituttet

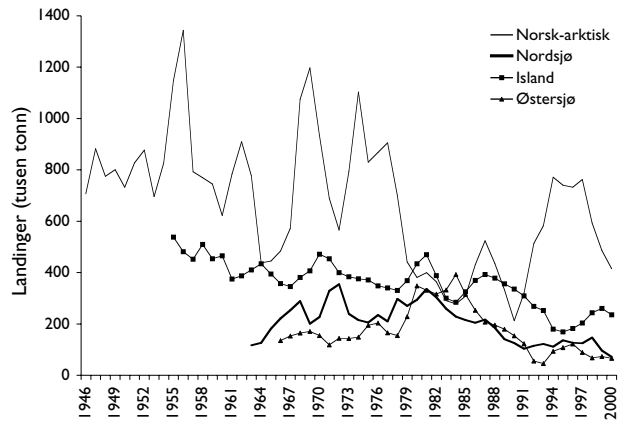
Torsk har vært svært ettertraktet mat gjennom mange hundre år. Det har ført til gode priser og dermed stor interesse for å fiske torsk. Med økende flåtekapasitet har derfor overbeskatning blitt et fellestrekk for alle torskebestander. Dette er en utvikling som har pågått over flere tiår. Innføring av en rekke reguleringer og begrensninger i fiskeriene har i de siste 20 årene bremsset på denne utviklingen, men har ikke vært tilstrekkelig til å snu den. De kanadiske torskefiskeriene ble stengt i 1994, og bestandene er fremdeles i dårlig forfatning. På vår side av Atlanteren har torskebestandene holdt ut noe lenger, men flere av dem er i dårlig forfatning.

Bestand	Periode	Landinger (tusen tonn)		
		Gj.snitt	2000	Kvotead 2002
Norsk-arktisk torsk	1946-2000	671	414	181
Norsk kysttorsk	1984-2000	52	37	16
Island	1955-2000	360	235	164
Grønland	1955-2000	150	0,2	0
Færøyene	1961-2000	24	23	22
Vest av Skottland	1966-2000	14	3	0
Irskesjøen	1968-2000	9	2	0
Nordsjøen og Skagerrak	1963-2000	200	71	0
Kattegat	1971-2000	11	5	0
Østersjøen (Beltene)	1970-2000	39	38	36
Østersjøen (Hovedbasseng)	1966-2000	175	66	0
Sum		1705	894	419

Tabell 1 Årlige landinger fra torskebestander i Nordøst-Atlanteren
Annual landings of cod stocks in the Northeast Atlantic

Tabell 1 gir en oversikt over fangstene fra torskebestandene i Nordøst-Atlanteren. For alle disse er fangsten i 2000 lavere enn det historiske gjennomsnittet, og Det internasjonale råd for havforskning (ICES) sitt råd for 2002 er enda lavere. For seks av de elleve bestandene var rådet for 2002 null eller "lavest mulig" fangst. Samlet var fangsten i 2000 på omtrent halvparten av historisk gjennomsnitt, mens summen av kvoterådene for 2002 var på knapt fjerdeparten av historisk gjennomsnittlig fangst. Figur 1 viser fangstutviklingen for de bestander som har betydning mest i Nordøst-Atlanteren. For norsk-arktisk torsk og islandstorsk ser vi en fallende hovedtendens over hele den perioden som er inkludert. For nordsjøtorsken ser vi en god periode i 70-årene og i Østersjøen en slik periode i 80-årene, men begge disse er nå kommet dramatisk lavt.

En skiller gjerne mellom vekst-overfiske og rekrutterings-overfiske. Vekst-overfiske betyr at mye



Figur 1 Landinger av norsk-arktisk torsk, nordsjøtorsk, Islandstorsk og østersjøtorsk (unntatt sørvestre Østersjøen) for de perioder som er brukt i ICES sine bestandsvurderinger.
Landings of Northeast Arctic cod, North Sea cod, Islandic cod, and cod in the Baltic Proper for the periods used by ICES in the stock assessments.

fisk fanges mens den enda er så ung at den fremdeles har en tilvekst som langt overgår naturlig svinn fra årsklassen (naturlig dødelighet). Utbyttet for fiskeriet blir altså redusert ved at fisken fanges før den er "utvokst". Rekrutterings-overfiske betyr at gytebestanden er så mye nedfisket at den ikke klarer å produsere normale årsklasser.

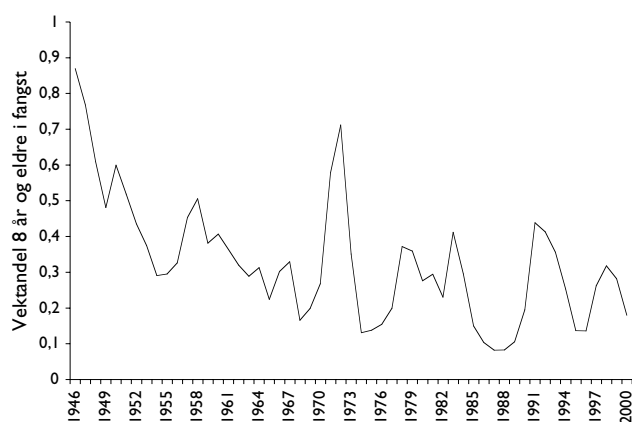
For noen av torskebestandene ble vekst-overfiske merkbart allerede i etterkrigsårene. Før den tid var flere av de viktigste torskefiskerier rettet mot kjønnsmoden fisk på gytevandring i kystnære farvann. Ved utbygging av havgående fartøy ble det totale fisketrykket økt, og en større del av fisket ble rettet mot umoden fisk i hele bestandens utbredelsesområde. Utviklingen av havgående fartøy startet før krigen, men på grunn av lav fangstinnsetning i krigsårene, ble ikke effekten særlig merkbart før noen år senere. For norsk-arktisk torsk kan vekst-overfisket illustreres ved andelen av åtte år og eldre torsk i totalfangsten (Fig. 2). Vi ser hvordan den avtok i perioden 1946-til 1970, mens den siden har variert noe, men har aldri kommet tilbake til et stabilt høyt nivå. Det var riktignok en kortvarig økning i andelen gammel fisk i 70-årene som resultat av noen uvanlig sterke årsklasser, og tidlig på 90-tallet

som en kombinert effekt av kraftige reguleringer, en god årsklasse og bedret mattilgang for torsken (økt loddebestand).

Rekrutteringen avhenger av en rekke faktorer i tillegg til gytebestandens størrelse. Det kreves derfor mange års observasjoner ved lav gytebestand, før en med særlig sikkerhet kan påstå at bestanden er ”rekrutterings-overfisket”. For nordsjøtorsk er alle unntatt en av årsklassene født etter 1987 under langtidsgjennomsnittet. Det er gode grunner for å hevde at en nedfisket gytebestand er en viktig årsak til dette, selv om det samtidig er grunner for å tro at miljøforholdene for torsk i Nordsjøen har vært dårligere i denne perioden, sammenliknet med 70-årene og slutten av 60-årene. For norsk-arktisk torsk har gytebestanden minket betydelig de åtte-ni siste årene, og alle de fire siste årsklasser er målt til å være under gjennomsnittet. En finner også at ved lave gytebestander er gjennomsnittlig rekruttering lavere enn den er ved høyere gytebestander, selv om det fins eksempler på gode årsklasser født av ganske små gytebestander. Ut fra føre-var-argumentasjon er i dag hensynet til gytebestand et viktig kriterium i ICES sin kvoterådgiving. Slik føre-var-grensen for gytebestand er definert skal rådgivingen sikre at fisket ikke fører til bestandssammenbrudd. Rådgivingen begrenser dermed graden av rekrutterings-overfiske, men gir ikke nødvendigvis sikkerhet mot at rekrutterings-overfiske forekommer. Vekst-overfiske har mindre fokus i ICES-rådgivingen, men er et stykke på vei ivaretatt gjennom en føre-var-grense for fisketrykket.

Miljøvariasjoner og overfiske

Alltid når en bestand er ved randen av sammenbrudd, oppstår det en debatt om hvorvidt hovedårsaken



Figur 2 Vektandel av 8 år og eldre fisk i fangstene av norsk-arktisk torsk i perioden 1946-2000. Proportion by weight of 8 year and older fish in the catches of North-East Arctic cod in the period 1946-2000.

er overbeskatning eller forverring av miljøet. Disse faktorer kan ikke enkelt analyseres uavhengig av hverandre, og debatten dreier seg oftest om hva som er årsak og hva som er virkning. Det er tydelig at miljøvariasjoner har stor betydning for torskbestandene. I Østersjøen bedres rekrutteringsforholdene dramatisk hver gang det skjer betydelig innstrømming fra Skagerrak. I Barentshavet har innstrømming av atlantisk vann en positiv effekt for torsken. På Canadakysten og vestkysten av Grønland var det levelige forhold for torsken mye lenger nord i de produktive torskeperiodene enn hva tilfelle har vært de siste ti årene. Slike påviste miljøeffekter rokker likevel ikke ved det faktum at alle disse bestandene ville vært bedre utnyttet ved å holde en betydelig lavere beskatningsgrad, i alle fall i de siste 30 årene.

Framtidsutsikter

Mye tyder på at alle viktige torskbestander har vært overbeskattet over lang tid, og situasjonen for en del bestander er i dag ganske kritisk. Dette krever en betydelig ”investeringsperiode” hvor en må holde lave fangster over flere år for å bygge bestandene opp på et produktivt nivå. Det betyr at for de fleste bestander vil det i beste fall gå fem-ti år før en kan ha håp om et forsvarlig fangstuttak i nærheten av de historiske gjennomsnitt vist Tabell 1. Rådene for 2002 (Tabell 1) gir en rimelig indikasjon på hva som samlet kan være et fornuftig årlig fangstuttak de nærmeste fem årene, selv om utviklingen kan bli noe ulik for de ulike bestander.

Historien har vist at det er vanskelig å få til rask gjenoppbygging av torskbestandene. I en del tilfelle har rådgivingen vært for dårlig, og reguleringene har verken vært tilstrekkelig strenge eller tilstrekkelig effektive (Nordsjøen og Barentshavet). I Canada og i Østersjøen har i tillegg miljøforholdene de siste årene vært ugunstige. Ut fra slike erfaringer kan vi frykte for flere tiår med lave fangster fra enkelte bestander.

For norsk-arktisk torsk vil de avtalte kvoter for 2002 og 2003 ikke gi rom for en rask gjenoppbygging av bestanden, og den reduserte rekrutteringen observert de fire siste årene gir ikke håp om vesentlig bedring i fangstgrunnlaget innenfor de nærmeste fem årene. Siden 1999 har loddebestanden i Barentshavet vært betydelig større enn i de seks foregående årene. Det har ført til bedre mattilgang for torsken og dermed betydelig redusert kannibalisme og litt bedret individvekst. Hvis denne situasjonen holder seg, vil en eventuelt sterk 2002-årsklasse av torsk kunne bidra til bedret fangstgrunnlag etter 2006.

3.2 Torsken kommer nå!

Per Gunnar Kvenseth og Jørgen Borthen, Norsk Sjømatcenter

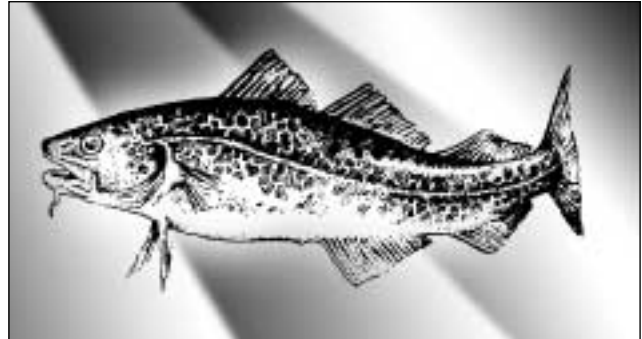
I 2001 ble det produsert ca. 1 mill. torskeyngel i totalt åtte anlegg i Norge. 40 % av yngelen, eller omkring 400 000, ble produsert i fire intensive anlegg. Senhøstes 2001 ble det første gang produsert torskeyngel fra høstgytende, lysmanipulert stamfisk fra kommersielle anlegg, etter at Havforskningsinstituttet gjorde det samme i stor skala høsten før. I løpet av fem år forventes produksjonen å øke til 50-60 mill. yngel fra 15-17 anlegg. Dominerende produksjonsmetode vil være sesonguavhengig og intensiv. De store intensive anleggene vil arbeide mot en helårig og kontinuerlig produksjon for å utnytte anleggenes kapasitet best mulig. Mindre intensive anlegg kan fortsatt produsere torskeyngel med innsamlet naturlig plankton som startfôr, enten for egen fremføring til matfisk eller for salg til et eller flere lokale påvekstanlegg.

Kvotest- og prisutsikter for 2002

ICES har anbefalt høyere kvoter for hvitfisk i Europa for 2002, dette gjelder TAC (total allowable catch) for hyse og hvitting i Nordsjøen, med nesten en dobling for hyse og 50 % økning for hvitting. Den globale tilførselen av hvitfisk forventes imidlertid å gå noe ned. Tilførselen av torsk er beregnet til å bli om lag 1,2 mill. tonn, hvilket er en reduksjon på 90 000 tonn sammenlignet med 2001. Den største reduksjonen finner sted i islandsk sone, i Østersjøen og i EU-farvann. Den totale tilførselen av hvitfisk i 2002 forventes å bli ca. 4,4 mill. tonn, eller 500 000 tonn mindre enn i 2001. Kvotereduksjoner og reduserte fangster har ført til økende priser. Dette ser ut til å fortsette, og det er spådd en ytterligere økning i prisen på hvitfisk i 2002 i størrelsesordenen 6-10 %.

Økende interesse for torskoppdrett

Interessen for torskoppdrett har økt kraftig de siste par årene. I perioden 1996-1998 var det kun ett anlegg i Norge som produserte torskeyngel (Parisvatnet, Havforskningsinstituttet). Årlig ble det produsert 40 000 - 230 000 yngel. Det var liten interesse for torskoppdrett, og høsten 1998 måtte oppdrettere i Vestlandsregionen overtale til å kjøpe yngel til kr 7,- per stk. På denne bakgrunn var det



usikkert om det ville bli noen yngelproduksjon i det hele tatt i 1999.

I dag er situasjonen totalt snudd om. I 2001 blir det produsert i størrelsesordenen en million yngel i Norge ved i alt åtte anlegg. Produksjonen foregår i økende grad intensivt etter tilsvarende metoder som det årlig produseres 500 mill. yngel av seabass og sea-bream i Middelhavsområdet. Sea-bream og seabass-yngel selges i størrelse rundt to gram, og til en pris rundt to kroner stykket. Torskeyngel selges fra poller rundt 50-120 gram, mens de intensive anlegg selger ut yngelen ved mindre størrelse, gjerne ned mot ti gram. Det er stor interesse for torskeyngelen som nå omsettes til priser mellom 15,- og 30,- kr, men størrelsen varierer svært mye.

Hva er det som har skjedd - hva er det som har revitalisert interessen for torskoppdrett? Det er vanskelig å peke på en enkelt faktor som kan ha utløst denne enorme interessen. En av faktorene er nok ressursituasjonen på verdensmarkedet når det gjelder tilførsel av hvitfisk, der kvotereduksjoner har gitt økende priser. En annen faktor er den framgang en har hatt ellers i Europa på oppdrett av marin yngel, en teknologioverføring som helt konkret er koblet opp i flere av de nye yngelanleggene for torsk i Norge. Det meget gode året som lakseoppdrett fikk i 2000 kan også ha virket inn på torskinteressen. Samtidig koblet norske politikere aktiviteter angående utvikling av nye arter mot muligheten til å få fortrinn i kampen om nye oppdrettskonsesjoner for laks. Den enkleste aktiviteten var å skaffe seg konsesjon for matfiskoppdrett av torsk. Flere oppdrettsfirmaer hadde også finansielle ressurser til å starte aktiviteter på torsk,

både yngel- og matfiskproduksjon. Interessen for matfiskkonsesjoner til torsk stod etter hvert ikke i forhold til tilgjengelig yngel. Fiskeridirektoratet innførte derfor en begrensning i tildeling av matfiskkonsesjoner for torsk, koblet opp mot tilgang til yngel gjennom kontrakter mellom matfisk- og yngelprodusent. Dette har nok vært prisdrivende når det gjelder torskkeyngel i 2001.

Produksjonsmetoder for yngel

Med utgangspunkt i forsøkene fra Forskningsstasjonen Flødevigen i Arendal i 1880-årene, ble metoder for storskala produksjon av torskkeyngel utviklet av norske forskere på slutten av 1970-tallet og i begynnelsen av 1980-tallet. Nyklekte torskelarver ble sluppet ut i avstengte sjøvannsbasseng og poller for der å finne naturlig plankton som startfôr. På grunnlag av oppløftende forskningsresultater på begynnelsen av 80-tallet ble det bygd ut flere anlegg spesielt i Hordaland og Sogn og Fjordane i regi av kommersielle selskaper. I tillegg ble det bygd ut poseanlegg, der torskelarvene ble satt ut i tette presenningsposer i sjøen og plankton pumpet inn fra omliggende vannmasser. I 1987-88 var i alt fem poller og to basseng- og poseanlegg i drift, derav flere med kommersiell satsing (LMC, Blom Fiskeoppdrett, Seafarm, Lofilab, o.a.). Totalproduksjonen av yngel økte til ca 600 000 i 1989, men produksjonen var sesongbetont og heller ustabil.

På 90-tallet kom igjen økende kvoter og fangster av torsk, prisene sank og interessen omkring torskeoppdrett dalte. Antall produsert yngel per år varierte mellom 360 000 i 1991 til 53 000 i 1996, med en til tre produsenter. Ved all produksjon før 2000 har naturlig plankton hatt en dominerende rolle ved startfôring. Intensiv produksjon har kun foregått i FoU-regi. På 90-tallet gikk mye av torskkeyngelen inn i havbeiteprogrammet PUSH. I 1999 ble det produsert ca 100 000 yngel, hovedsakelig ved semi-intensiv (poser) og i noen grad ekstensiv metode (polloppdrett). I 2000 økte produksjonen til nærmere 600 000 yngel (6 anlegg).

Mye av kompetansen og erfaringen fra 1980-tallet når det gjelder torsk og torskeoppdrett ble tatt vare på og videreutviklet i havbeiteprogrammet PUSH (1990-1998). I regi av PUSH ble det også startet forsøk med intensiv produksjon av torskkeyngel. Med intensiv produksjon menes en produksjon der en totalt har frigjort seg fra sesong og naturlig

plankton. Alt levendefôret dyrkes under kontrollerte betingelser i produksjonshaller.

Matfiskproduksjon fra yngel

Matfiskoppdrett av torsk foregår i dag etter metoder utviklet for oppdrett av laks og regnbueørret i nøter. Torsken føres med et tørrfôr tilpasset fiskens egenart. Samtlige fôrfirma produserer eller planlegger nå produksjon også for fôr til torsk. Større matfiskanlegg benytter automatiske fôringsanlegg, mens mindre anlegg fortsatt benytter manuell fôring.

Matfiskproduksjonen av torsk var ca. 300 tonn i 2001. Dette er basert på yngel produsert i 1999. I tillegg ble det slaktet ca. 300 tonn torsk basert på levendefanget villfisk som føres opp i en begrenset periode. Basert på yngel produsert i 2000, ca. 600 000, antar vi at det vil bli slaktet ca. 1 500 tonn oppdrettstorsk i 2002.

Hittil har det meste av torskkeyngelen blitt produsert på grunnlag av rogn fra stamfisk med naturlig gyting. Det vil si startfôring i løpet av perioden mars-april og salg av 50-100 grams yngel senhøstes. Når det gjelder torsk har det ikke vært noe veldefinert settefiskproduksjon. Etter hvert som yngelproduksjonen økes i omfang og gjøres sesong-uavhengig, samtidig som spillvarmeressurser og resirkulering benyttes til å oppnå en raskere vekst hos yngelen, kan det bli etablert egne landbaserte settefiskanlegg som produserer yngel best mulig tilpasset videre påvekstfase i sjøen. De intensive yngelanleggene er kostbare å bygge ut og drive, og bør produsere et høyt antall yngel for å oppnå lønnsomhet. Når yngelen er tilvent tørrfôr, bør den overføres til egne settefiskanlegg.

Matfisk fra villfanget torsk

I 2001 var det et visst gjennombrudd for produksjon av oppdrettstorsk fra villfisk. En kan tenke seg ulike scenarier:

- Fange kvoten i form av 0-gruppe yngel.
- Fange småfallen torsk under eller kanskje like over minstemålet.
- Beholde dagens beskatningsmønster, og ved hjelp av best mulig teknikk bringe den fisken som fanges, levende til lands.

Det er det siste alternativ som har økt i interesse i 2001, og det har vist seg å gi god vekst (fordobling

av vekt) i løpet av noen korte sommermåned. En kan flerdoble verdien per fisk ved en slik strategi. Flere redskaper kan være aktuelle, og salgslagene har pekt på den enorme verdiskapning en kan få ved oppfôring.

Fra et biologisk synspunkt vil et fiske av 0-gruppe ha minst innvirkning på bestanden. 0-gruppen har en svært stor dødelighet, og ”et stalltips er at kanskje mer enn 90 % av denne yngelen vil enten sulte i hjel eller bli spist opp av sine brødre og søstre den første vinteren”. Det antas at det er politiske føringer her som gjør at de to første alternativene ovenfor er lite aktuelle, særlig i dagens bestandssituasjon. Diverse avtaler må endres, og det er neppe aktuelt før det kan vises eller sannsynliggjøres at arbeidet kommer bestanden til gode.

Viktige utfordringer i yngel- og settefiskfasen

- Utvikle kostnadseffektiv storskala yngelproduksjon, herunder redusert avhengighet av *Artemia* og etablere tidlig tørrfôrtilvenning.
- Utvikle metoder for rasjonell og kostnadseffektiv settefiskproduksjon.
- Etablere årstidsuavhengig produksjon av egg og larver med god kvalitet.
- Etablere og drive et avlsprogram for oppdrettstorsk.

Viktige utfordringer innen sykdom og helse

- Etablere hygienerutiner og vaksineringsstrategier i yngel- og settefiskproduksjonen.
- Kartlegge muligheter for smitteoverføring fra/til andre oppdrettsarter.
- Overvåking og kontroll av parasitter i matfiskoppdrett.
- Innføring av generasjonsskille i matfiskoppdrett.

Viktige utfordringer innen matfiskproduksjon

- Styre kjønnsmodningen hos torsk i oppdrett.
- Optimal kvalitet og størrelse på settefisk i

forhold til lokalt oppdrettsmiljø.

- Utarbeiding av kostnadseffektivt fôr og fôringsrutiner.
- Styrt kvalitet relatert til produksjonsparametre og avl samt optimaliserte driftsrutiner.

Generelle utfordringer

- Ren driftsmessig kvalitetsheving (hindre oter, hull i not, dødelighet grunnet vibriose, oppskalering).
- Redusere kostnader per kg produsert, målt som rund vekt, fra dagens 20-25 kr til 15-17 kr i stor skala.
- Økt anvendelse av biprodukter som hode, lever, rogn etc. til økonomisk interessante priser.
- Utvikle optimale driftsmodeller basert på en balanse mellom kostnader (særlig energi og kapasitetsutnyttelse, vekst og ønsket slaktetidspunkt).
- Utnytte våre kunnskaper om viderefôring av torsk.

Flaskehals

Manglende storskala yngelproduksjon er fortsatt den største flaskehalsen på kort sikt for utviklingen av torskeoppdrett i Norge. Etter hvert som yngelproduksjonen øker, vil antakelig andre utfordringer ha økt relativ betydning. Da tenker vi særlig på kontrollert kjønnsmodning, bedre kontroll med parasitter, sykdommer og avl for forbedring av produksjonsegenskaper. I tillegg vil markeds kunnskap og produktutvikling være viktig. Eksportutvalget for fisk har alt startet et interessant markedsarbeid med fokus på oppdrettstorsk. Innenfor første fase, opptil noen tusen tonn, vil mye av fisken bli omsatt til beste betalende levendefiskmarked, antakelig til Sverige, Danmark og de nærmeste EU-land. Fra 2005 vil produksjonen antakelig nå 10 000 tonn, og da kan veksten komme fort i kvantum. Det kreves da at en utvider fokus på produktspekter. Torskeoppdrett vil bli en stor næring!

3.3 Stamfisk torsk

Birgitta Norberg og Olav Kjesbu, Havforskningsinstituttet



Foto: Merete Fonn

Torskens reproduksjonsbiologi

Når vi tenker på torsk, tenker vi i vår del av verden først på fremst på atlantisk torsk, men det finnes også en egen torskeart i Stillehavet, stillehavstorsk. Utseendemessig er disse veldig like, men stillehavstorsk legger eggene på bunnen, mens atlantisk torsk gyter pelagiske egg, altså egg som driver med vannstrømmen. Østersjøtorsk er spesiell i forhold til de andre stammene av atlantisk torsk ettersom den er tilpasset gyting i brakkvann (vann med lavt saltinnhold); denne stammen produserer svært store og lette egg.

Hunner av norsk kysttorsk og barentshavtorsk (dvs. norsk-arktisk torsk eller skrei) produserer, som hos de andre stammene, store mengder med egg hvert år. Dette kan utgjøre 0,5-15 millioner egg per hunn avhengig av lengde, men kysttorsk produserer

Figur 1 Gytemoden stamfisk av torsk.
Broodstock cod ready for spawning.

generelt mer enn skrei, og oppdrettet torsk mer enn villfisk. Torsk i Trondheimsfjorden er sannsynligvis den mest produktive i så henseende i våre farvann. Skreien vandrer fra Barentshavet og sørover til Vesterålen og Lofoten for å gyte. Denne lange vandring har skapt en fisk som også er mer avlang i formen enn kysttorken, men som også er veldig avhengig av mattilbudet i Barentshavet, som først og fremst er lodde, til videre vekst og modning. Endringer i eggantallet (fekunditeten) hos skrei mellom ulike år er dermed nært knyttet til loddemengde i Barentshavet som kan variere svært mye. Så fremt føringen er fornuftig avpasset, anses ikke eggmengden i en oppdrettssituasjon å være en begrensende faktor. Man forventer om lag en

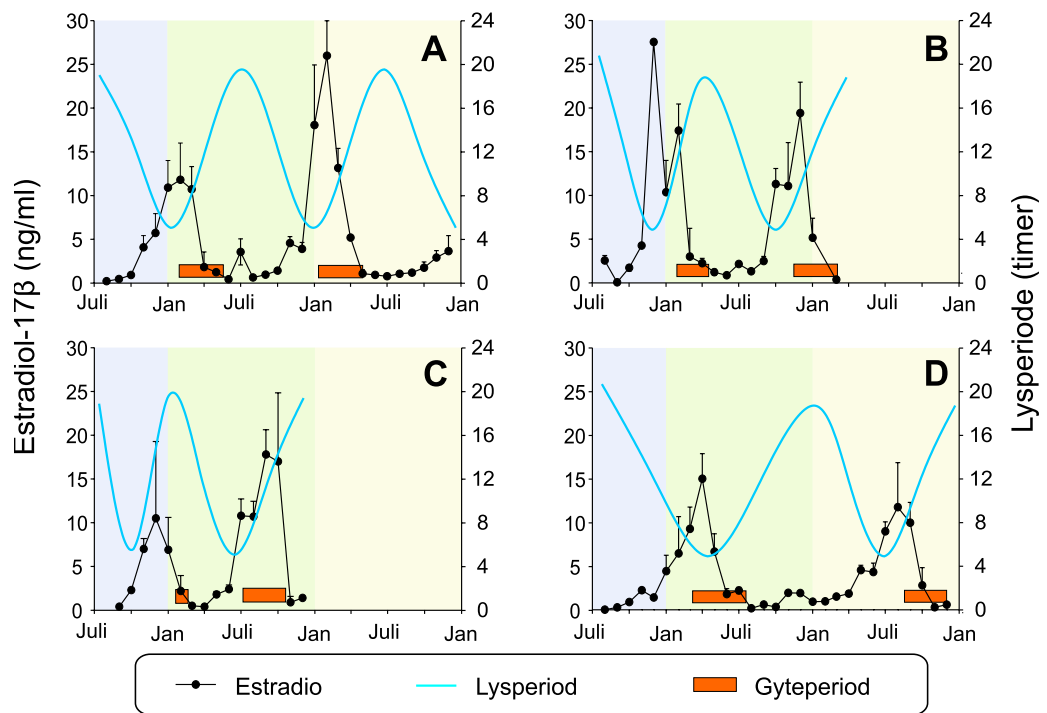
liter egg (ca. 600 000 egg) pr kg fisk. I naturen vil kysttorsk modnes (4-5 år) tidligere enn skrei (6-8 år), mens det i oppdrett er små forskjeller; begge modnes ved alder to år, enkelte hanner allerede ved alder ett år. Tidligere alder ved modning er også vanlig for hanner i felten.

Torsk er en porsjonsgyter, dvs. flere porsjoner med egg blir gytt fra hver hunn under gytesesongen (se nedenfor). Hannene er klare til å gyte før hunnene starter, og har også rennende melke en stund etter at hunnene er helt ferdige med gyttingen; hannene følger altså mottoet "alltid rede". Eggporsjonene, opptil 20 i tallet, er minst i begynnelsen, øker så til midten av gyteperioden for hver hunn, for deretter å avta igjen. Eggstørrelsen (om lag 1,2-1,5 mm) avtar vanligvis gradvis mens hunnen gyter sine porsjoner, men fisk som gyter for første gang i sitt liv har vanligvis en mindre reduksjon. Eggstørrelsen øker generelt med fiskens størrelse og med dens alder. Det finnes ligninger for disse sammenhenger i litteraturen, men vår anbefaling i en oppdrettssituasjon vil være å satse på litt eldre stamfisk (for eksempel annengangsgytere), som både gyter svært mange egg og hvor eggstørrelse er i det øvre sjiktet (som gir larver av god størrelse).

Lysstyring av kjønnsmodning og gytting

Kjønnsmodning hos fisk er styrt av en indre rytme, som i sin tur blir påvirket av signaler fra det omgivende miljøet, særlig daglengde (fotoperiode). Dette sikrer at gyttingen skjer til samme årstid hvert år. Hver hunn har en gyteperiode på tre til seks uker, og individuelle variasjoner i gyttestart medfører at en stamfiskbestand har en reproduksjonsperiode som kan vare i omtrent tre måneder. Hormonelt blir kjønnsmodningen kontrollert via den såkalte hjernehypofyse-gonadeaksen. Systemet er best utforsket i laksefisk, hvor gonadotropin-frigjørende hormon

(GnRH) fra hjernen signaliserer til hypofysen at produksjon og frisettelse av gonadotropiner som follikkelstimulerende hormon (FSH) og luteiniserende hormon (LH) skal starte. FSH og LH stimulerer gonadevekst og modning, gjennom å stimulere til syntese av kjønnssteroider (Fig. 2). FSH antas å være viktig for den tidlige utviklingen av gonadene, og gonadenes vekst frem til sluttmodning og gytting, mens LH spiller en stor rolle under



Figur 2 Fotoperioderegimer og produksjon av kjønnssteroider (estradiol) ved forsøk med gytetidsmanipulering av torsk ved Austevoll havbruksstasjon.

A) Kontrollgruppe, dvs 12 måneders årssyklus gjennom hele forsøket.

B) Komprimert fotoperiode – 9 måneders årssyklus fulgt av 12 måneder.

C) Komprimert fotoperiode – 6 måneders årssyklus fulgt av 12 måneder.

D) Utstrakt fotoperiode – 18 måneders årssyklus fulgt av 12 måneder.

Photoperiod and estradiol production in light manipulated cod broodstock at Austevoll Aquaculture Research Station.

A) Control group - 12 months year cycle throughout the experiment.

B) Compressed year cycle – 9 months year cycle followed by 12 months.

C) Compressed year cycle – 6 months year cycle followed by 12 months.

D) Extended year cycle – 18 months year cycle followed by 12 months.

selve sluttmodningen av egg og sperm. Hjernehypofyse-gonadeaksen er meget følsom for ytre stimuli, hvorav forandringer i fotoperioden er det sterkeste.

Manipulasjon av fotoperioden blir brukt på mange oppdrettsarter for å gi årstidsuavhengig produksjon av egg og larver, og torsk har vist seg meget velegnet for denne type behandling. I forsøk ved Austevoll havbruksstasjon tidlig på 1990-tallet, ble torsk eksponert for ulike eksperimentelle fotoperioder (komprimert eller utstrakt), og resultatet var fire grupper av torsk som ga egg til ulike tider på året (Fig. 2). Grunnet liten interesse for oppdrett av torsk ble ikke arbeidet fulgt opp umiddelbart, men ble tatt opp igjen i 1999, da interessen for torsk økte. I dag har Austevoll havbruksstasjon rutinemessig høstproduksjon av torskelarver fra gytetidsmanipulert stamfisk.

Vanntemperaturen har også vist seg å være en kritisk faktor for et vellykket gyteresultat, og for høye temperaturer vil virke negativt både på selve gytingen og på eggkvaliteten. For torsk er optimal vanntemperatur rundt 6-8 °C, men temperaturen må være under 10 °C.

Stamfiskernæring

Oppbygningen av gonadene begynner tidlig om høsten, men den mest intensive fasen er fra november til januar, da mesteparten av næringsstoffene tas opp og lagres i egganleggene (oocytene). Denne prosessen kalles for vitellogenese og kontrolleres hormonelt av kjønnsteroidet estradiol-17 β (Fig. 2), som induserer syntese av eggeskallsproteiner og "plommeprotein" vitellogenin i leveren. Disse proteinene transporteres i blodet til gonadene, hvor de blir innkorporert i de voksende oocytene. Vitellogenin er utgangspunktet for larvens "matpakke", plommemassen, og inneholder blant annet fett, karbohydrater, kalsium, jern, magnesium og fosfor. Opptak og lagring av vitellogenin er hovedårsaken til ovarienes meget raske vekst i perioden fra november til januar, men også andre næringsstoffer blir tatt opp for å lagres i egganleggene. Oppbygningen av gonadene er en svært stor påkjenning for fisken, som bruker mye energi til dette. Det er derfor viktig at føret blir sammensatt på en måte som både sikrer stamfiskens helse og gir riktig sammensetning av næringsstoffer i eggene. Forsøk hvor stamtorsk er blitt føret med fôr innholdende fett fra ulike kilder, tyder på at

stabil, og kun forandres dersom fisken får fôr som mangler noen fettsyrer. Det samme synes å gjelde for aminosyrer og vitaminer. Med andre ord, naturen er laget slik at den optimale kvaliteten alltid forsøkes opprettholdt.

Maternale og paternale effekter

Maternale og paternale effekter henviser til ikke-genetiske bidrag fra mor og far. Begrepene brukes spesielt mye i studier hvor man ser på foreldrenes størrelse og kondisjon, og hvordan disse såkalte fenotypiske faktorer virker på avkommet, især overleving og vekst hos de tidligste stadier. Innenfor analyser av årsaker til observert årsklassevariasjon i felten (variasjon i antall avkom som overlever fram til 3-års alderen) har dette vært et stort og viktig tema i de senere 10-20 år, men er også et sentralt tema innenfor akvakultur. Idéen er gammel, men oppstod i en mer strukturert form blant russiske forskere i 1930-årene. Fokus har vært mye på å sammenligne første- og flergangsgytere, hvor det hevdes at sistnevnte kategori øker sjansen for å få dannet sterke årsklasser. Dette grunnet en lengre gyteperiode, større og flere egg og larver, og generelt lavere dødelighet under de tidlige livsstadier. De senere års forskning tyder på at fokus kanskje i større grad må rettes mot foreldrenes kondisjon og størrelse, enn om de er første- eller flergangsgytere.

Fremtidige forskningsbehov

Valget av hvilke fisk som skal brukes som stamfisk er ikke enkelt, men man bør generelt bli mer bevisst på denne utvelgelsen. Dette har vært diskutert og tatt til følge i en helt annen skala for laksefisk, som riktignok har flere år på baken som akvakulturnæring. Det er her ikke bare snakk om ulike genetiske stammer (inkludert sjanser for innavl), men også de fenotypiske egenskaper hos stamfisken drøftet ovenfor. Videre er det snakk om grunnleggende forskning på regulering av porsjonsgyting og kjønnsdifferensiering, samt effektivisering av fotoperiode-manipulasjon. Det er altså mye vi ennå ikke vet eller håndterer på en fullgod måte, selv om torsk generelt sett er blant de mest utforskede marine arter, med oppstart av de første gytstudier allerede i 1880-årene. Det faktum at torsk gyter naturlig i fangenskap, i motsetning til mange andre fiskearter, er selvsagt svært positivt. Men det har også medført at de mer basale studier, især innenfor reproduksjonsfysiologi, har fått relativt liten oppmerksomhet i tider hvor andre problemer var mer iøynefallende.

3.4 Gyting, innsamling, inkubering og klekking av egg

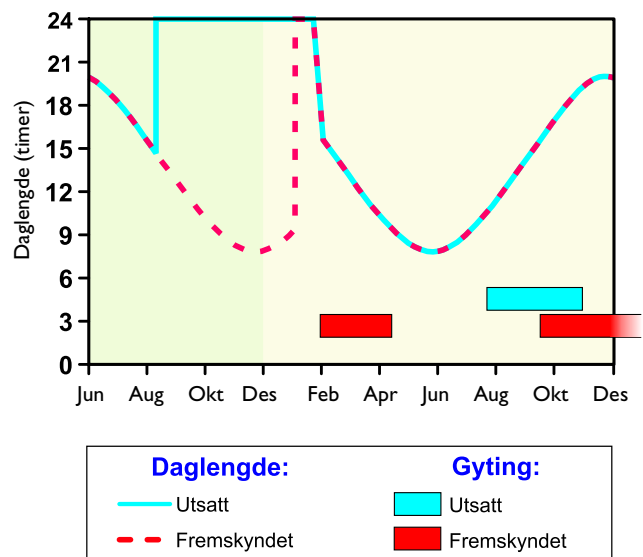
Terje van der Meeren, Havforskningsinstituttet

Torsken er lett å få til å gyte naturlig i fangenskap. Et omfattende arbeid knyttet til stryking av stamfisken er derfor ikke nødvendig, og det er billig og enkelt å fremskaffe befruktede egg i store mengder. Stabil tilførsel av egg av noenlunde kvalitet er en svært viktig forutsetning for at yngelproduksjonen kan skje på et kommersielt nivå. En annen viktig forutsetning vil være tilgang av egg uavhengig av årstid. I likhet med andre fiskeslag er torskens gytesyklus lett å kontrollere ved bruk av lys. Modning av egg og melke (gonader) er styrt av et hormonsystem som settes i gang av endringer i daglengden. Ved å isolere stamfisken fra den naturlige lysrytmen kan man med bruk av kunstig lys forskyve (fremskynde eller utsette) tidspunktet for modningen av gonadene. Bruk av flere gytebestander som har ulik forskyvning av gytetidspunktet, vil derfor kunne gi tilgang på befruktede egg kontinuerlig gjennom hele året.

Gyting og innsamling av egg

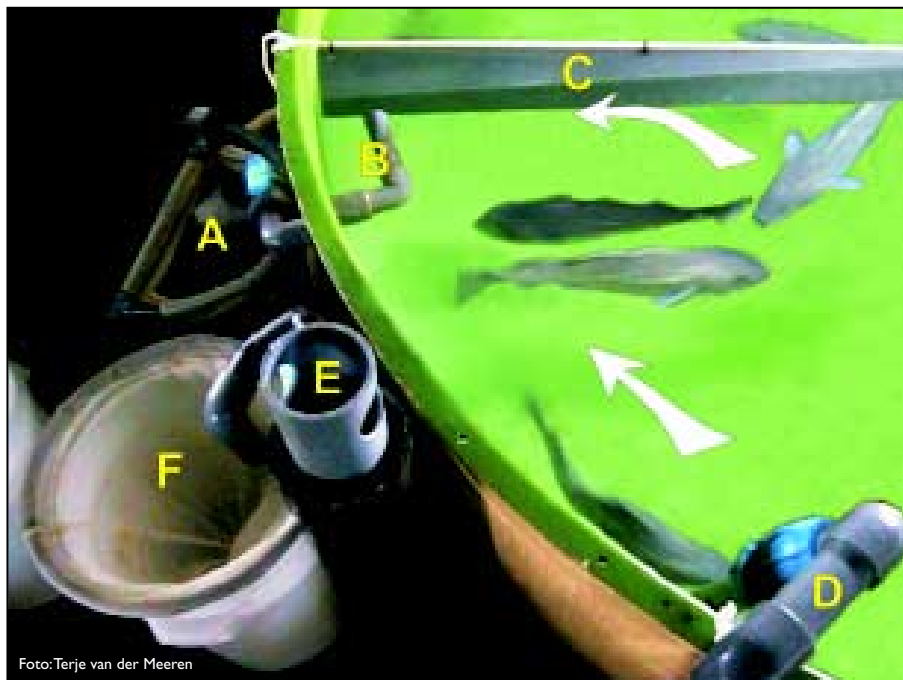
Produksjon av egg uavhengig av årstid styres ved å sette opp flere gytebestander i ulike kar. Gytekarene må hver for seg være isolert fra tilgang på naturlig lys og satt på forskjellige årssykluser med hensyn til daglengde. Figur 1 viser to ulike lysregimer som førte til henholdsvis seks md. fremskynding eller utsetting av gytingen. Den fremskyndede gruppen gikk på naturlig lys i merd til februar, og ble deretter overført innendørs direkte til seks md. forskjøvet årsrytme via noen få uker med kontinuerlig lys. I februar var denne fisken kommet for langt i modningen av gonadene til at utviklingen av egg og melke ble stoppet. Fisken gjennomførte derfor en gyting i mars og april, som forventet hvis den hadde hatt naturlig lysrytme. Overføringen i februar til daglengde tilsvarende august førte imidlertid til at en del fisk i denne gruppen startet gyting på nytt igjen om høsten. Den andre gytegruppen fikk kontinuerlig undervannslys i merden fra september før den ble overført innendørs direkte til seks md. forskjøvet årsrytme. Denne gruppen viste ikke tegn til modning i februar og startet gytingen først i august. Det er mange måter å forskyve årsrytmen på. Det kan for eksempel fra juli legges inn en ekstra

”dag” med samme daglengde etter hvert andre døgn. Etter 1,5 kalenderår vil gytingen hos denne fisken være utsatt med seks md. Tilsvarende kan det tas vekk ”dager” med faste intervaller slik at årsrytmen går fortere enn normalt. Ved å ta vekk annen hver dag vil for eksempel dette føre til at gytingen fremskyndes med seks md. i løpet av et kalenderår. Tillegg eller fjerning av dager skjer til forskyvning av ønsket antall måneder er gjennomført, deretter benyttes normal varighet av en årssyklus. Hvis både fremskynding og utsetting kombineres vil det være behov for maksimalt seks md. forskyvning. Med utgangspunkt i juli vil det altså være mulig å få til gyting når som helst året etter.



Figur 1 Forskyvning av gytetidspunkt ved å regulere fotoperiode (daglengde) for to grupper stamfisk av torsk.
Shift in spawning time in two cod broodstocks by regulation of photoperiod.

I motsetning til laksen er torsken en porsjonsgyter, og hver hunnfisk vil kanskje ha mellom 15 og 20 porsjoner som gytes med ca. tre dagers mellomrom. Noen individer i en gytebestand vil alltid begynne tidligere enn andre, og en bestand som har begynt å gyte vil derfor normalt holde på i ca to-tre måneder. Ved å sette opp fem-seks bestander med ulike årsrytmer skulle det derfor være mulig å ha tilgang til befruktede egg praktisk talt hver eneste dag året



Figur 2 Innsamling av egg fra gytekar. Piler viser vannstrøm i karetts overflate.
 A) Samletank med håv av planktonduk (eggsamler) for overflatevann.
 B) Justerbar rørstuss for drenering av egg fra overflatelaget.
 C) Plate i PVC-plast for konsentrering av egg mot overflatesamleren (eggtrakt).
 D) Vanntilførsel.
 E) Utvendig avløp.
 F) Samletank med håv av planktonduk (eggsamler) for avløpsvann.
Collection of eggs from spawning tank. Arrows show water movement at surface.
 A) Egg collection tank with plankton net for surface water.
 B) Adjustable tube for collection of floating egg from the surface layer.
 C) PVC plate for concentration of eggs at site of surface collection.
 E) Drain outside spawning tank.
 F) Egg collection tank with plankton net for drain water.

rundt. En typisk gytetank bør være 4-5 m i diameter og minst 2 m dyp. I tillegg bør det være ca. 0,5 m "fribord" i tanken slik at not ikke behøves for å hindre fisken i å hoppe ut. Not for nær vannflaten vil føre til at fisken lett får skader i snuten etter berøring med noten. Nervøse individer bør fjernes, da disse lett vil kunne stresse resten av stamfisken. Også fisk som sveller ekstremt kraftig opp under gytingen bør fjernes. Dette er irregulære gytere som har problemer med å slippe egg. Eventuelle egg fra disse individene vil stort sett være ubrukelige og overmodne egg. En del av disse individene vil kunne dø i løpet av gytingen, og det er observert at dette har skjedd med opp til 30 % av hunnfisken. Årsakene til at individer utvikler irregularitet i gytingen er ikke klarlagt, men man tror stress er en viktig faktor.

Optimal tetthet av fisk i gytekaret er ikke bestemt, men med utgangspunkt i ca. 10 kg/m³ vil dette kunne

gi ca 250 kg i en 4 m tank med 2 m dybde. Bruk av eldre individer med størrelse på over 5 kg er å foretrekke, da dette vil være erfarne flergangsgytere. Som en veiledning bør vanntilførselen være ca. 1 liter per kg fisk, og slik at oksygenmetningen ikke synker under 90 %. Kjønnfordelingen har ofte vært 60 % hunner og 40 % hanner, og mengde egg produsert totalt hos fisk i fangenskap (fekunditet) har vist seg å være beregnet til opp mot 900 000 egg per kg hunnfisk like før gyting. Hos nylig innfanget villfisk vil fekunditeten være en del lavere. En del av eggene som gytes vil være døde eller ubefruktede. Befruktede og til dels ubefruktede egg vil stort sett flyte og samles i vannoverflaten av tanken. Innsamling av eggene i et produksjonsanlegg bør derfor foregå fra overflaten. Døde egg synker til bunns og vil være viktig å fjerne fra gytetanken for å hindre vekst av bakterier og sopp som seinere kan skade friske egg. Det må derfor også være avløp sentralt i bunn med sirkulær strøm i karet for å fjerne de



Figur 3 Separasjon av døde og levende egg utført i 1,5 liters plastflasker.
Separation of dead and live eggs in 1.5 litres plastic bottles.

døde eggene. Typisk befruktning av egg samlet inn i overflaten vil være ca 80 % sett hele gytesesongen under ett. Ut fra total mengde egg gytt vil kanskje befruktningen ikke være mer enn 50-60 %. Daglig innsamlet eggmengde vil variere, og det vil kunne samles mest egg midt i gytesesongen. I eksemplet ovenfor med 250 kg fisk i karet vil det på det meste kunne samles 5-8 liter egg per døgn fra overflaten av karet.

Innsamling av eggene skjer ved at eggene kan konsentreres ved et punkt langs karveggen hvor det lages en gjennomføring til en oppsamlingstank med en håv av 500 μ m planktonduk (Fig. 2). For å få eggene raskt ut av karet etter at en porsjon er gytt bør minst 30 % av det tilførte vannet dreneres ut gjennom overflatesamleren. Eggsamleren tømmes minst en gang i døgnet og døde egg skilles fra levende egg ved separasjon (5-10 min) i en egnet beholder. Også her vil eggene som flyter bestå av befruktede og ubefruktede egg, mens døde egg synker til bunns (Fig. 3). Etter separasjonen kan eggene eventuelt desinfiseres hvis det er ønskelig.

Temperatur har vist seg å bety mye for eggkvalitet og eggutvikling. Det er helt nødvendig å kontrollere temperaturen i et stamfiskanlegg som bygges opp for eggproduksjon uavhengig av årstid. Den varmeste årstiden i vannlagene et stykke under overflaten vil være høsten hvor temperaturen kan overstige 10 °C på dyp mellom 30 og 250 m avhengig av hvor man er langs kysten. Temperaturer over 10 °C har vist seg å føre til både en betydelig reduksjon i befruktningen og en stor økning i feilutvikling av egg som var befruktet. Temperatur under gytingen kan kontrolleres ved å legge vanninntaket til anlegget dypt nok. Alternativet er energianlegg med varmepumpe og varmeveksling. Stamfisken har stort vannbehov, og et energianlegg bør kanskje kombineres med delvis resirkulering av vannet for å gjøre kontroll av temperatur rimeligere.

Når stamfisken starter gytingen vil appetitten til fisken synke kraftig. I tillegg må fôringen stoppes for å hindre uønsket organisk materiale som rester av fôr og fekalier blant eggene. Slikt materiale vil kunne være substrat for bakterie- og soppvekst. Imidlertid vil 2-3 md. gyting uten fôring føre til en betydelig utmagring av stamfisken, spesielt hvis temperaturen er høy (opp mot 10 °C). Doble gyteenheter hvor innsamling av egg og fôring av stamfisken alternerer gjennom gytesesongen vil kunne være en løsning. Imidlertid er effekt av sulting på egg- og larvekvalitet hos torsk lite undersøkt, og man kan derfor ikke si om manglende fôring gjennom gytesesongen betyr noe for larvenes levedyktighet.

Egginkubering og klekking

Eggene inkuberes ofte i sylindrerformede tanker med kon bunn. I mindre målestokk benyttes 70 liters inkubatorer av PEH-plast, og i disse legges det inn mellom 0,5 og 1 liter egg. Det har vist seg at det kan klekkes opp til 300 000 larver i disse enhetene. Dette tilsvarer en klekking på mellom 50-80 %, avhengig av mengde innlagte egg. For klekking av egg i industriell målestokk er det behov for større inkubatorer, og 250 liters tanker av glassfiber er mye brukt.

Inkubatoren har vanntilførsel gjennom et rør som går ned langs karveggen (Fig. 4). Røret har relativt store hull nedover på en side. Dette vil sikre god tilførsel av vann og dannelsen av en vannstrøm uten at egg og nyklekte larver akselereres for hurtig. Gjennom utviklingen går eggene inn i stadier



Figur 4 Inkubator for torskeegg.

- A) Avløpssil.
- B) Rør for vanntilførsel.
- C) Plastslange for blåsing av luft på vannoverflaten.
- D) Kran for røkting av døde egg.
- E) Silikonslange for lufttilførsel rundt avløpssilen.
- F) Utvendig avløpsslange for kontroll av vannivå.

Incubator for cod eggs.

- A) Outlet sieve.
- B) Tube for water supply.
- C) Plastic tube for air blowing on the surface.
- D) Tap for removal of dead eggs.
- E) Silicon tube for aeration around the outlet sieve.
- F) Drain tube outside the incubator to adjust water level.

hvor de er mer ømfintlige mot ytre påvirkninger. Vanntilførselen, slik den er beskrevet ovenfor vil kunne redusere det mekaniske stresset på egg og plommeseklarver uten at dette går ut over vannkvaliteten grunnet tilførsel av for lite vann. Bruk av mye vann (minst 3 liter pr minutt i en 70 liters inkubator) ser ut til å være svært viktig for å hindre vekst av bakterier og sopp i inkubatoren. God vanntilførsel er derfor svært viktig for å få høy overlevelse gjennom eggstadiene.

Avløpssystemet består av en sentral avløpssil (kledd med $250\mu\text{m}$ planktonduk) som rekker opp over vannflaten (Fig. 4). Rundt dette røret i bunnen av inkubatoren er det lufttilførsel gjennom en plastring med huller. Denne luftingen skaper en vertikal vannbevegelse som sikrer at eggene ikke setter seg fast på avløpssilen. Videre fordeles eggene vertikalt i inkubatoren av luftingen. Luftboblingen må være

forsiktig slik at egg og larver ikke utsettes for hurtige akselerasjoner. Torskeegg flyter lett og har derfor en tendens til klumpe seg i overflaten. Dette er uheldig fordi det kan skape flere lag med egg i overflaten hvor deler av egglaget ikke får nok tilførsel av oksygen. En mer horisontal luftstrøm tilført gjennom en plastslange over vannflaten kan derfor brukes til å fordele eggene i overflaten (Fig. 4). Vannhøyden i inkubatoren styres av et utvendig nivåår. På undersiden av inkubatoren bør det være en tappekran for døde egg ved røkting.

Eggkvalitet er vanskelig å vurdere da det ikke finnes objektive mål for dette. Ved innsamling er det allikevel mulig å foreta en visuell inspeksjon av eggene i stereolupe (gjerne med mørkefelt). Celledelingen i eggene bør være symmetrisk, cellene klart avgrenset og omtrent like store. Videre bør feltet utenfor celleklumpen være klart og gjennomskiktig.



Foto: Terje van der Meeren

Figur 5 Torskeegg like før klekking.
Cod egg close to hatching.

Høy befruktning er en fordel for å kunne inkubere nok materiale, men det har vist seg at egg fra grupper med lav befruktning vil kunne klare seg utmerket.

Temperaturen i inkubatorene bør være den samme som temperaturen for stamfiskene. Avhengig av temperaturen vil eggene bruke ulik tid til klekking. Klekking vil skje ca. 11 døgn etter befruktning ved 8-9 °C, mens tilsvarende tid ved 6 °C vil være 14-15 døgn. Her er det også mulig at ulike torskestammer vil bruke forskjellig tid under like temperaturforhold.

Ved skilling av gode og dårlige egg før overføring til inkubatoren måles ofte det totale volumet av eggene

som skal legges inn. Når eggdiameter er kjent kan dette volumet brukes til å beregne antall egg. Når man kjenner radius av egget ($r = \text{diameter}/2$) kan volumet (V) av ett egg bestemmes ($V = 4/3\pi r^3$). Ved å anta at eggene ligger i tettste kulepakning vil ca. 74 % av det målte eggvolumet være egg. Antall egg finnes derfor ved å dele 74 % av målt eggvolum på volumet av ett enkelt egg. En tommelfingerregel som kan brukes angir ca. 600 000 egg for en liter egg. Dette vil være noenlunde riktig for egg av ca. 1,30 mm størrelse, men eggdiameter for en og samme stamfiskbestand kan godt synke fra 1,5 til 1,2 mm i løpet av en gytesesong. Antallet egg fra dette kan derfor variere mellom 450 000 og 800 000 per liter. Tettste kulepakning er en teoretisk modell, og praksis har vist at antall egg per liter

stemmer bra for store egg. For de mindre eggene har det vist seg at antallet per liter er noe lavere (ca. 50 000 færre egg) enn beregnet fra formlene ovenfor. En alternativ formel er derfor $N = 1222 * D^{-2,71}$ der N er antall egg pr ml og D er gjennomsnittlig diameter for egg mellom 1,15 og 1,50 mm.

Røkting av døde egg bør skje daglig. Røktingen utføres ved å stenge av all vann- og lufttilførsel i inkubatorene for en 10-15 minutters periode. Døde egg vil da synke til bunns og kunne røktes ut ved at avløpssilen løftes og røktekranen under inkubatoren åpnes. Mengde døde egg bør måles for å holde oversikt med hvor mye som er igjen i inkubatoren. De første dagene etter innlegging vil det ofte gå ut en del egg. Dette vil vanligvis omfatte ubefruktede egg og egg med forskjellige utviklingsfeil. Økt dødelighet kan også sees senere i utviklingen når eggene går igjennom bestemte kritiske stadier (blastulasjon, gastrulasjon og epiboly). Det er blant annet viktig å unngå disse periodene når egg skal transporteres. Transporten vil normalt være trygg hvis den skjer

de første en-to døgn etter befruktning. Også like før klekking har det vært transportert egg med god suksess. I forbindelse med klekking er det viktig å få ut eggskall. Disse vil normalt synke og lett røktes ut, men ved bruk av for små luftbobler i den vertikale luftingen langs avløpssilen vil en del eggskall faktisk kunne binde seg til luftboblene og flyte.

Inkubering av torskeegg har skjedd både i lys og mørke. Begge deler ser ut til å fungere greit for klekkingen sin del, og ved Austevoll havbruksstasjon er det benyttet vanlig innendørs lys fra armaturer i taket med godt resultat. Dette gir også liten forskjell i lys ved overgang til startføring. Klekkingen skjer normalt over et døgn, men det har vært rapportert fra Skottland om klekking som har vart over tre-fire døgn. I slike tilfeller har veksling mellom lys og mørke vært brukt for å klekke eggene synkront. Figur 5 viser bilde av et torskeegg like før klekking.

3.5 Larver og tidlig yngel

Terje van der Meeren, Havforskningsinstituttet

Ulike metoder finnes for å produsere torskeyngel: 1) ekstensiv produksjon i poller, 2) semi-intensiv produksjon i poser eller store kar knyttet til poller og 3) intensiv produksjon innendørs. Sistnevnte kan foregå uavhengig av årstid og således være en kontinuerlig produksjon i motsetning til de to første metodene. Hvis torsken i oppdrett skal nå et nivå på for eksempel halvparten av lakseproduksjonen i 2000, vil det være behov for en årlig produksjon av ca. 170 millioner 5 grams yngel. Dette vil legge beslag på 800-1000 veldrevne poller av brukbar størrelse hvis all denne yngelen skulle produseres etter de to første metodene. Til sammenligning vil dette kanskje kunne klares av 30-50 intensive yngelanlegg når denne metoden er ferdig utviklet og optimalisert for torsk. For øvrig produseres det i størrelsesorden 400 millioner yngel av de marine artene "seabass" og "sea-bream" i middelhavsområdet med bruk av den intensive metoden.

Startfôring

Startfôring av torskelarver er en komplisert prosess som krever kunnskap både om larvenes næringsøkologi, ernæring, og krav til vannkvalitet og andre miljøforhold. I tillegg må produksjon av alger og levende byttedyr som hjuldyr (rotatorier) og saltkreps (*Artemia*) beherskes. Det hele må kombineres med en utstrakt praktisk sans og syn for detaljer som ofte kan være av avgjørende betydning. Til sist er det fremdeles mangel på kunnskap om viktige deler av startfôringen. Det største uløste spørsmålet er hvorfor torsken i den tidlige yngelfasen ofte er utsatt for stor og plutselig dødelighet. Er torsken spesielt sårbar i denne fasen, eller stilles det spesielle krav til ernæring, miljøforhold og vannkvalitet som vi ikke har innarbeidet i den oppdrettsteknologien vi bruker? En dødelighet på 60-80 % i denne fasen er tung å bære for en oppdretter som allerede har investert en-to måneders arbeid i startfôring og produksjon av alger og levendefôr.

I det følgende vil startfôring av torskelarver beskrives for den intensive metoden ut fra erfaringene som

er gjort ved Havforskningsinstituttet, Austevoll havbruksstasjon. Startfôringen utføres i sylindereformede kar (Fig. 1) med flat eller svak kon bunn. I sentrum er det satt opp en avløpssil med 250-350 μ m planktonduk som skiftes til større maskevidde etter hvert som larvene vokser (1000 μ m ca. fem uker etter klekking når *Artemia* introduseres som byttedyr). Rundt avløpssilen er en luftring i plast på samme måte som i egginkubatorene. Dette vil gi en sentral luftbobling i karet som fører til vertikal vannbevegelse i midten og langs karveggen. Langs overflaten transporteres vannet horisontalt ut fra midten. Vannivå reguleres med nivåør på utsiden av karet. Karfargen er vanligvis sort eller grønn. Oppå karene kan det brukes en krage for å skygge karveggen (Fig. 1). Det er observert at bruk av denne kragen vil orientere larvene vekk fra veggen slik at det blir en god og jevn fordeling av larvene. Vel en meter over karet benyttes et lysarmatur av varierende størrelse, avhengig av karvolum. Større kar får 36W lysrør mens det brukes 18W til mindre kar. Erfaringene er gode med OSRAM Biolux 72 rør, som er et dagslysrør med forholdsvis vidt spekter. Ulike lysintensiteter mellom 40 og 650 lux har vært brukt, og alle har gitt bra resultat. Det benyttes 24 timers kontinuerlig lys.

Temperaturen i karene ved overføring av plomme-sekkklarver må være identisk med temperaturen i klekkeriet (6-8 °C). Så økes temperaturen langsomt (maksimum 1 °C pr døgn) til 12 °C som benyttes videre. Alle karene bør ha individuelle kolonne-luftere (Fig. 1). Dette vil sikre at vann som går inn i karet ikke er overmettet med hensyn til nitrogen. I overflaten av karet benyttes "skimmere" for å fjerne lipidrester fra fôringen. Denne skimmeren bør ligge helt ute langs kanten slik at fetthinnen som drives ut fra boblingen i midten fjernes i så stor grad som mulig.

Avhengig av temperatur overføres larvene på dag 3-5 etter klekking. Larvene bør ha litt plommesekk igjen ved overføring. Overføres de ved riktig tidspunkt vil de kunne spise store mengder rotatorier innen 6-8 timer. Verken bruk av alger (*Isochrysis* sp.) eller lysintensiteter mellom 40-650 lux ser ut til



Figur 1 Startfôringskar for torskelarver.

- A) "Overflate-skimmer".
- B) Avløpssil.
- C) Vanntilførsel.
- D) Plastslange for kontinuerlig tilførsel av alger.
- E) Plastslange for lufttilførsel rundt avløpssilen.
- F) Kolonnelufter.
- G) Krage.

Tank for startfeeding of cod larvae.

- A) *Surface skimmer.*
- B) *Outlet sieve.*
- C) *Water supply.*
- D) *Plastic tube for continuous supply of algae.*
- E) *Plastic tube for aeration around the outlet sieve.*
- F) *Column aerator.*
- G) *Collar lid.*

å påvirke første næringsinntak. Bruk av alger for å lage grønt vann er vanlig i intensiv yngelproduksjon av flere marine arter. Hos torsk har det vist seg at overlevelsen de første 3-5 ukene varierer mellom 12 og 30 % hvis det kun benyttes klart vann uten alger. Larvetetthet ved overføring fra egginkubator har da vært vel 40 plommeseckklarver per liter. Med alger er det observert større variasjon, men generelt høyere overlevelse enn i klart vann. Overlevelsen i algevann har variert mellom 9 og 63 % med tettheter på 10 til 40 plommeseckklarver ved overføring fra inkubator. I de fleste karene er overlevelsen høyere enn 30 % når det brukes alger. Alger tilføres kontinuerlig med doseringspumpe, og algetettheten har vært mellom 100 og 200 celler/ μl , noe som tilsvarer mellom en og to NTU når turbiditet har vært målt. Perioden med alger har vært sammenfallende med hvor lenge rotatorier har vært brukt som fôr (4-5 uker etter klekking), men det vil kanskje være like gunstig å begrense algeperioden til kun to uker. Dette er imidlertid ikke prøvd ut i større skala. Siden alger ikke betyr noe for det aller

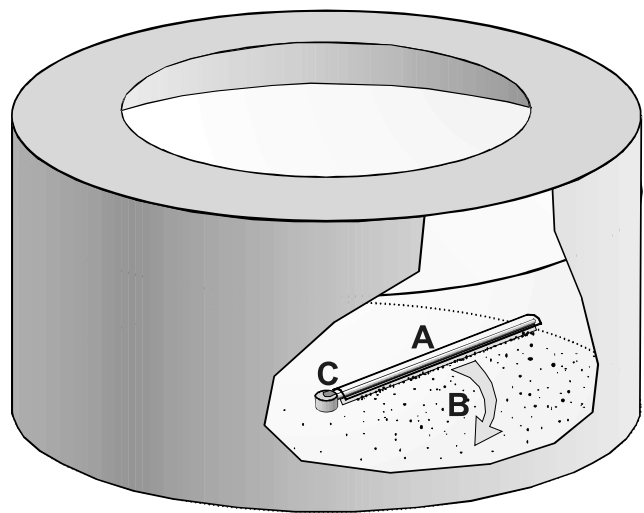
første næringsinntaket, er det nærliggende å tro at algene kondisjonerer vannet på en eller annen måte. Mesteparten av dødeligheten i karene ser ut til å skje ganske tidlig (innen første uken etter overføring). Alger kan også tenkes å kondisjonere byttedyrene slik at de holder næringsverdien og er mer optimale for larvene. Likevel, bruk av klart vann gir også betydelige mengder larver. En overlevelse på rundt 20 % med 40 larver per liter som utgangspunkt vil for eksempel gi i underkant av ni yngel pr liter ut av karet. Dette tilsvarer teoretisk ca. 44 000 yngel fra et kar med diameter 2,5 m (5 m^3).

En rekke faktorer knyttet til fôr og vannkvalitet vil være bestemmende for å få et bra resultat gjennom larvefasen. I resultatene nevnt ovenfor har det vært brukt en vannutskifting på to ganger karvolumet ved overføring fra inkubator. Denne har vært økt gradvis til ca seks ganger karvolumet innen fem uker etter klekking. Trolig vil det være gunstig med enda større vannutskifting, men det krever større mengder fôrorganismer da en større andel av disse vil gå tapt gjennom avløpssilen. For å hindre at larvene suges mot avløpssilen kreves det større silflate ved økt vanngjennomstrømming tidlig i startfôringen. Utfôringsstrategi er også viktig. Ved de larvetettheter og overlevelser som er referert ovenfor vil larvene tre-fire uker etter klekking effektivt fjerne alle byttedyr i løpet av tre timer når det tilføres rotatorier tilsvarende 8000 per liter karvolum. Kontinuerlig tilførsel av nok fôr er derfor kanskje en løsning. Man bør regne med et fôrbehov fra 100 til 1000 rotatorier per larve per døgn for perioden fra første næringsinntak til fire uker etter klekking. I tillegg må man ta høyde for tap av

byttedyr gjennom avløpssil og at en del rotatorier blir inaktive, synker til bunns og dør uten å bli spist. Selv om overlevelsen har vært god, har veksten vært dårlig gjennom larvefasen. Dette støtter opp under at tilførselen av byttedyr kanskje bør være enda høyere enn angitt ovenfor. Det har vist seg at det er gunstig å bruke rotatorier så lenge som mulig. Vi snakker her om frem til 4-5 uker etter klekking, eller frem til at larvene er vel 10 mm (ca. 1mg tørrvekt).

Det finnes flere ulike strategier for å produsere byttedyr. Produksjonen av rotatorier er helt klart begrensende for mengde larver som kan startføres på en gang. Rotatorier kan dyrkes i 600 liters tanker med kon bunn. Dyrkingen utføres ved 20 °C i 80 % sjøvann med noe tilførsel av alger av og til, og f.eks. med RotiMac (BioMarine AquaFauna Inc., USA) som får to ganger daglig. Mellom 0,3 og 0,5 g RotiMac per million rotatorier brukes per fôring. Kraftig luftbobling benyttes i kulturene, og oksygen ble tilført etter behov (relativt sjelden). Rotatorier kan også dyrkes på gjær eller alger. En annen mulighet er oljeemulsjoner av samme type som benyttes for *Artemia*. Både kontinuerlig kultur med høsting av 15-20 % daglig, og "batch-kultur" med høsting av ca 12 % daglig er benyttet. En av de viktigste begrensningene i produksjonen av rotatorier er akkumulering av ammonium i rotatoriertankene. Forsøk i Belgia med kontinuerlig vannutskifting, nitrifisering av ammonium i et biofilter (resirkuleringsanlegg) og proteinskumming har gitt betydelig høyere tettheter av rotatorier slik at større mengder kan produseres på samme volum.

Etter perioden med rotatorier benyttes *Artemia* som byttedyr. *Artemia* er trolig dårligere enn rotatorier ernæringsmessig sett (mindre fosfolipid og flerumettede omega-3 fettsyrer), men inneholder mer energi da dette byttedyret er større. *Artemia* er for det meste av typen EG cyster (USA). *Artemia* dekapuleres og klekkes etter standard prosedyrer (hydrering i kald sjø, etsing av cysteskall med natrium-hydroksyd og hypokloritt, skylling med tiosulfat og kaldt vann, samt klekking ved maksimum 27,5 °C i 250 liters tanker med luftbobling og kraftig lys). Vel 24 timer etter igangsetting av klekkingen skylles *Artemia*-naupliene og settes til anriking med DC-DHA Selco (Artemia Systems Inc., Belgia) ved samme temperatur og lysforhold som under klekkingen. Også andre anrikingsmedier er mulig å få tak i, og emulsjonene til anrikningen kan man også lage selv. Vel 0,20-0,35 g Selco benyttes per



Figur 2 Rensesystem for bunn i oppdrettskar
 A) Roterende rensearm med kost eller gummilist.
 B) Organiske partikler.
 C) Gjennomføring til gir og elektrisk 24V motor på undersiden av karet.
 Bottom cleaning system for rearing tanks
 A) Rotating cleaning arm with brush or rubber squeegee.
 B) Organic material.
 C) Connection to gear and electric 24V motor under the tank.

liter tankvolum for tettheter av 200-350 *Artemia* pr ml. I tillegg kan det tilsettes vitaminer. Etter 20 til 24 timers anriking skylles *Artemia*-naupliene og føres ut til torskelarvene. Utfôringen bør foregå kontinuerlig. Nedkjøling av utfôringstanken med *Artemia* kan være gunstig da *Artemia* holder lengre på næringsverdien ved lavere temperatur.

Røkting i karene gjennom larvefasen er vanskelig så lenge det brukes alger. Bunnen er vanskelig å se og det er lett å virvle opp organisk materiale fra bunnen. I tillegg befinner det seg en del torskelarver ofte dypt i karet de første ukene. I forsøkene ved Austevoll havbruksstasjon er det ikke utført røkting i algeperioden. Et automatisk røktesystem av rensearmtypen (Strandvik Plast AS) vil være å foretrekke (Fig. 2), men dette systemet må tilpasses for torsk.

Tidlig yngelfase

Metamorfosen hos torskelarvene regnes å begynne ved en størrelse av 12-15 mm. Metamorfosen er en lang prosess, og tarmsystemet er ikke ferdig utviklet før ved ca 40-50 mm lengde. Da torsken verken er larver eller ferdig utviklet yngel i denne fasen,

kalles derfor dette "tidlig yngel". Yngelens behov for mye mat samt usikkerhet rundt tilgjengelighet og ernæringsmessig kvalitet av *Artemia*, gjør det ønskelig med en tidlig overgang til formulert fôr. Dette området er for tiden et viktig satsingsfelt i forskningen. Fôret må også være av en type at det lett aksepteres av yngelen, og det må fungere godt i fôrautomater. Fôret bør ha passelig oppdrift slik at det holder seg i vannmassen en liten stund. Tilførselen av formulert fôr bør skje ofte slik at tilgjengeligheten er god. Bruk av formulert fôr stiller store krav til reinhold i karet. Dette må gjøres daglig manuelt eller automatisk av et "rensearm"-system. Akkurat under tilvenningen vil det også trolig være en fordel å håndfôre en god del. Dette gir god kontakt med fisken, noe som er viktig for å oppdage eventuelle problemer i forbindelse med tilvenningen.

Torsk i tidlig yngelfase er observert i å spise hverandre. Denne kannibalismen har trolig sammenheng med utilstrekkelig tilførsel av fôr. Visuelle observasjoner gjort i kar med kontinuerlig tilførsel av fôr tyder på at kannibalisme ikke forekommer når mattilgangen er god. Også store forskjeller i yngelstørrelse i et kar er uheldig og kan føre til kannibalisme. Store forskjeller i størrelsen kan tyde på utilstrekkelig fôring, og problemet kan avhjelpest ved sortering. Stor spredning i størrelse kan også skapes ved at store byttedyr (for eksempel *Artemia*) innføres for tidlig i larvefasen. Det kan føre til at enkelte individer skaffer seg et forsprang som etterløperne ikke klarer å ta igjen.

Torsk i tidlig yngelfase ser også ut til å være svært utsatt for perioder med plutselig og stor dødelighet. Dette kan inntreffe både før, under og etter tilvenning til formulert fôr. I noen tilfeller vil en del yngel flyte på overflaten med oppsvulmet buk, mens det er vel så vanlig at yngelen ligger død på bunnen om morgenen. Opp mot 80 % av yngelen kan gå tapt på denne måten. Det er svært viktig å rømme ut den døde yngelen hurtig. Videre vil det være en fordel å øke vanngjennomstrømningen, kanskje opp mot 20 ganger karvolumet per døgn. Hvis yngelen flyter i overflaten med buken opp, bør luftingen av vannet sjekkes og det tilførte vannet måles for nitrogenovermetning. Overflaten



Figur 3 Torskeyngel (ca. 50 mm lengde) fra lysmanipulert stamfisk med høstgyting. *Cod juveniles (ab. 50mm length) from light-manipulated broodstock spawning during autumn.*

bør sjekkes for fetthinne helt ut til karveggen, og skimmeren kontrolleres slik at den fungerer skikkelig. Forsøk i mindre skala viser at overlevelsen også kan være svært god i denne perioden. Dette forsøket ble karakterisert ved høy vanngjennomstrømning (50 ganger karets volum) og kontinuerlig tilførsel av *Artemia* før tilvenning til formulert fôr. Resultatet kan tyde på at vannkvalitet spiller en viktig rolle.

Den sensitive perioden i tidlig yngelfase ser ut til å være forbigående. Når yngelen har passert 50 mm lengde (Fig. 3), ser den ut til å være langt mer robust. Dette kan tenkes å ha sammenheng med utvikling av et spesifikt immunforsvar som skjer relativt seint hos torsk. Kunnskap om årsaken til dødeligheten i tidlig yngelfase og utvikling av systemer og prosedyrer som reduserer problemet bør være et av de viktigste forskningsområdene for å støtte utviklingen av torsk i oppdrett.

3.6 Tilvekst hos torsk

Ørjan Karlsen, Havforskningsinstituttet

Settefisk

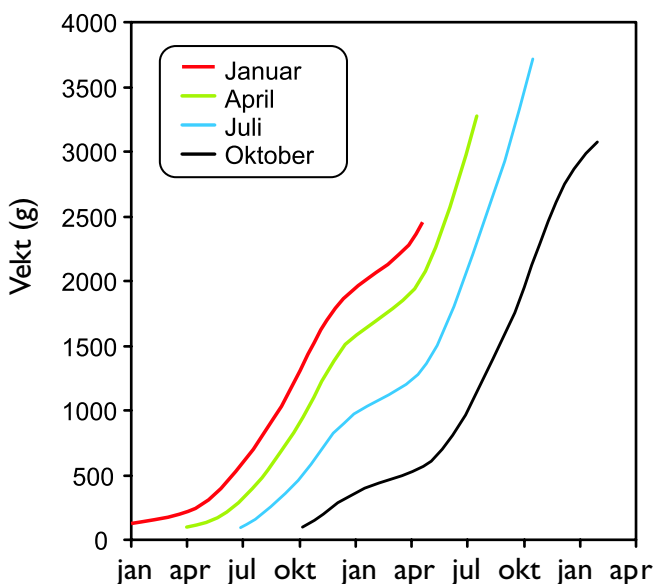
I de senere år har torsk igjen blitt attraktiv som oppdrettsart. Kunnskapen om hvordan en kan forskyve gytesesongen ved hjelp av å forskyve lysrytmen har vært kjent lenge. Og ulikt tidligere år satser mange av yngelproduzentene nå på nær helårig yngelproduksjon, de fleste i intensive oppdrettsystemer. Hvilken alder og størrelse en velger ved utsett til merd varierer, noen satser på å produsere settefisk over 50 g, mens andre velger å produsere 5 g yngel. Erfaringsgrunnlaget for i hvilken grad torsk tåler å bli satt ut ved ulike temperaturer, og hvilken vekst og overlevelse en kan forvente er ikke det beste. Fisken som produseres i poll blir samlet inn når den er noen få gram, og holdes i merd til den selges. Dette fungerer godt, med god vekst og liten dødelighet. Ved overføring bør fisken akklimatiseres til nye temperaturer. En skal være forsiktig med å overføre fisk til kalde temperaturer da den lett får sårskader som ikke

heles. Vår erfaring er at fisken tåler bedre å bli satt ut til høyere temperaturer enn lavere. Vi har overført fisk på 500 gram direkte fra 8 til 16 grader, og selv om fisken spiste dårlig i 10 dager, var det ingen dødelighet eller sykdomsutbrudd. Et så stort sprang anbefales ikke.

Siden vekst er så avhengig av temperatur og antall lystimer, har fisk på våre breddegrader et markert vekstmønster med dårlig vekst om vinteren, og god sensommer og høst. Liten fisk er mer påvirket av temperatur enn stor fisk, og betydningen av å ha optimal temperatur er derfor viktigst for liten fisk. Erfaringsgrunnlaget for utsett av liten fisk ved ulike årstider med de ulike temperaturene er mangelfulle. I en normal produksjonssyklus med eggproduksjon og startfôring om våren vil torsken normalt nå en størrelse på mellom 100 og 300 gram til juletid. Fisken som settes ut om høsten har noen få måneders tilveks før vintertemperaturene og antall lystimer reduserer veksten frem til sent om våren da temperaturen øker. I mangel på reelle data kan en estimere veksten ved ulike utsettingstidspunkt ved å bruke kjente vekstformler for torsk. Figur 1 viser tilvekst i 500 dager hos 100 grams torsk satt ut ved ulike tidspunkter i året ved temperaturer målt ved Havforskningsinstituttet, Austevoll havbruksstasjon.

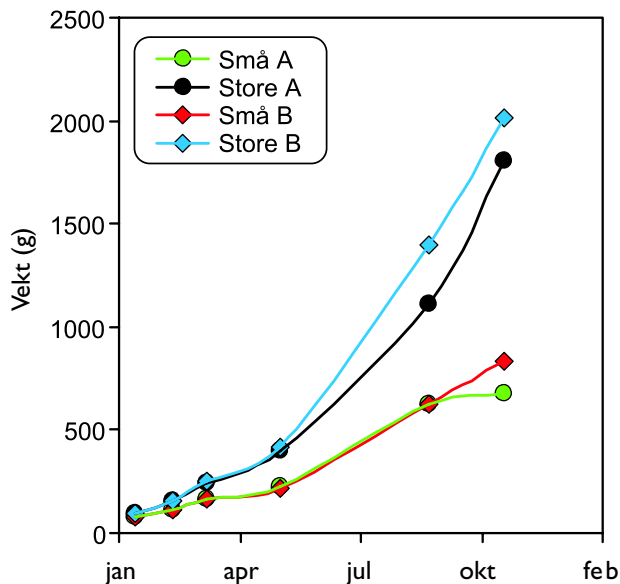
Årsaken til veksten har sammenheng med hvor stor del av de 500 dagene fisken opplever rimelig gunstige temperaturer. Bruker en formlene ovenfor vil fisken uansett utsettingstidspunkt nå nær identiske størrelser ved hele år (eks. vil alle være 1,8 kg 1 år etter utsett). Dataene som formlene bygger på er ikke dokumentert for størrelser over 2 kg. Erfaring tilsier dog at veksten første året i sjø kan være betydelig bedre enn hva formlene indikerer, mens problemene med kjønnsmodning har gjort det vanskelig å dokumentere veksten andre året i sjø (fra fisken er ca. 3 kg).

Den innbyrdes størrelsesrangeringen av fisk i en gruppe ser ut til å holde seg noenlunde konstant over flere år. Det er stor variasjon i vekst både innen og mellom familiegrupper. Siden tilgjengelige



Figur 1 Beregnet tilvekst over 500 dager for 100 grams torsk satt ut ved fire ulike tidspunkter på året. *Calculated growth during 500 days for 100 g cod transferred to net pens four times. The growth is calculated from growth equations.*

grupper har vært fra materiale som inneholder mange familiegrupper, vil spredningen i vekst være betydelig. Figur 2 viser eksempler på forskjell i vekst mellom 30 hurtigvoksende og 30 sentvoksende fisk i to ulike behandlinger (A og B). Allerede etter 10 mnd. utgjør forskjellen 1,2 kg.



Figur 2 Forskjell i vekst mellom 30 hurtigvoksende og 30 sentvoksende fisk i to ulike behandlinger, A og B. *Difference in growth rate between 30 fast growing and 30 slow growing fish in various treatments (A and B).*

Selv om behandlingen her har effekt (A vs. B), er forskjellen mellom de hurtig- og sentvoksende i en behandling betydelig større enn behandlingseffekten. Forskjellen mellom gruppene indikerer også hvilken spredning i vekst en kan få innen en gruppe. Det vil derfor svare seg å benytte hurtigvoksende fisk som utgangsmateriale uansett når fisken settes ut. En må forvente at med et mer homogent utgangspunkt ved hjelp av avl og sortering kan redusere variasjonen betydelig.

Merdoppdrett

Siden teknologien som benyttes til lakseoppdrett kan overføres til torsk, kreves det ingen spesielle tilpasninger av oppdrettsystemene. Men vær oppmerksom på at atferden til torsk er slik at den går langs bunn og vegger. Den finner derfor lett hull i merdene, og rømmer villig ut disse. Faren for rømming gjennom hull er langt større for torsk enn for eksempel laks.

Veksten til torsk i merder er avhengig av temperatur og antall lystimer. Tidligere er det gjort en rekke undersøkelser av betydningen av spesielt temperatur på vekst hos torsk. Resultatene viser at veksten øker mot en temperatur rundt 12 °C, noe høyere for liten fisk, og noe lavere for stor fisk. Torsk tåler temperaturer på 20 °C i en lengre periode, men den vokser ikke. Tilsvarende overlever den temperaturer ned mot 0 °C. Fisken må ikke håndteres ved høye eller lave temperaturer. Forsøk har også vist at lange dager med bruk av kontinuerlig tilleggslys (over- eller undervannslys) gir en vekstforbedring. Økende antall lystimer ser ut til å fremme veksten. Denne effekten varierer litt avhengig av årstid, i kar på land ser det ut til at lange dager er fordelaktig for liten fisk, spesielt ved høye temperaturer. For større fisk er effekten av rent kontinuerlig lys eller kontinuerlig tilleggslys størst på vårparten. For fisk holdt på naturlig lys frem til januar året etter klekking (ca. 10 mnd gammel) og deretter satt over på kontinuerlig tilleggsbelysning i merder, fremmet ikke lyset



Figur 3 Veiing og måling av torsk fra merd ved Austevoll havbruksstasjon. *Measurement of cod from net pens at Austevoll Aquaculture Research Station.*

veksten i forhold til grupper på naturlig lys før andre våren, da de på naturlig lys kjønnsmodnet.

Stor torsk (500 gram og oppover) tåler sterk strøm. I karforsøk påvirket ikke svømmehastigheter på en kroppslengde i sekundet veksten, etter en innledende tilvenningsperiode. Dette betyr også at mosjonering ikke fremmet vekst. Det er rapportert at liten fisk kan få problemer i sterk strøm, og det ble observert dødelighet som følge av dette.

I kontrollerte forsøk i kar med diameter 1,4 meter vokste sorterte grupper dårligere enn usorterte grupper, og det ble også funnet at tettheter over 10 kg/m³ reduserte veksten. I tidligere forsøk i merder har en funnet at tettheter opp mot 20 kg/m³ ikke reduserte veksten. Det gjenstår en del undersøkelser før en kan konkludere med hvilke tettheter torsk bør ha ved ulike forhold. Dette fordi at fisken endrer atferd ved økende tettheter. Ved lave tettheter ser det ut til at fisken går for seg selv, mens ved høye tettheter går den omtrent som laks. Hvilken betydning dette har for vekst er ikke avklart.

Hos torsk lagres fett hovedsakelig i leveren, innholdet av fett i muskel er mindre enn 1 %. Vanligvis har oppdrettstorsk en leverindeks (dvs. vekt av lever som % av totalvekt) på over 11-12 %. Innen en gruppe er det ofte observert sammenfall mellom individets vekst og leverindeks. Leverindeksen kan manipuleres med fôrinnehold. Høyt protein, lite fett og lite karbohydrater er gunstigst. Tilsvarende er det funnet at et grovere fôr gir lavere leverindeks, og at dette kan ha sammenheng med magetømmingsraten. Ved bruk av mye fett i fôret kan leverindeksen øke til over 16 %. Det ser også ut til at fôring annen hver dag ikke senker veksten i forhold til fisk fôret oftere, og kan ha en gunstig effekt på leverstørrelsen. Tvunget mosjonering av torsk i kar til en kroppslengde i sekundet ga ikke redusert leverindeks i forhold til fisk uten eller med lav mosjonering. Generelt ser det derimot ut til at leverindeksen er 2-6 % lavere i kar enn i merder. I lange forsøk (over ett år) kan en med valg av riktig fôr holde god vekst med en leverindeks under 9 %.

3.7 Kjønnsmodning hos torsk

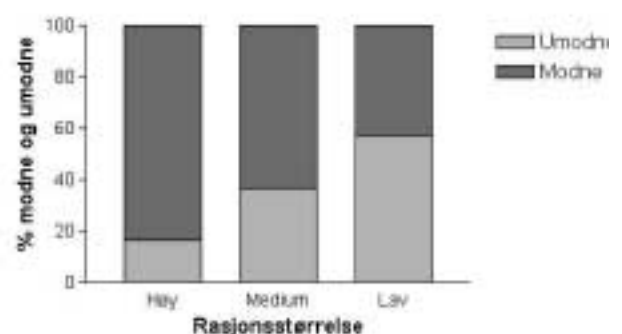
Geir Lasse Taranger, Havforskningsinstituttet

Tidlig kjønnsmodning er et av de største problemene i matfiskoppdrett av torsk. Torsken gyter vanligvis i perioden februar-april, og i løpet av denne perioden kan den miste inntill 35 % av kroppsvekten. I naturen modner kysttorsk vanligvis for første gang etter 3-6 år, mens norsk-arktisk torsk (skrei) kan være 6-8 år før den modner for første gang. I oppdrett vil imidlertid både kysttorsk og skrei ha tilnærmet 100 % modningsandel blant både hannfisk og hofisk to år etter klekking så lenge veksten har vært rimelig god. Torsken er da vanligvis bare ca. 1,5 kg, og kjønnsmodningen vil gjøre at det tar lang tid før den er oppe i en fornuftig slaktestørrelse. Fôrutnyttelsen blir også svært dårlig hvis torsken går gjennom en modning. Under gode vekstbetingelser kan en del av hanntorsken bli moden allerede som ettåring på størrelser fra 100 til 200 g! Det er antatt at det er den gode fôrtilgangen og de gode vekstbetingelsene i oppdrett som fører til den tidlige modningen. Oppdrettstorsk som har normal vekst vil typisk ha en leverstørrelse på ca. 12 % av kroppsvekten, mens vill kysttorsk vanligvis har mellom 3 og 6 % leverstørrelse. Torsken lagrer mesteparten av fett i leveren, og en antar at stor lever er med på å sette i gang kjønnsmodningen.

Det har vært gjennomført en rekke forsøk med ulike fôr eller sulteperioder for å redusere leverstørrelse og kjønnsmodning i oppdrettstorsk. Imidlertid må en ha svært lange sulteperioder for å få vesentlig redusert leverstørrelse, og i de fleste tilfellene var det ingen eller små effekter på andelen modne torsk etter to år. En mulig forklaring på den begrensede effekten av sulting kan være at grunnlaget for modning legges på et tidlig tidspunkt i livet hos torsk. For å teste dette er det nylig gjennomført et forsøk ved Austevoll havbruksstasjon der en ga torsk redusert fôrrasjon allerede fra nullgruppestadiet (fra september første leveår). Torsken ble fôret enten 100 %, 40 % eller 20 % rasjon ved at 100 % gruppen ble fôret etter appetitt fem dager i uken, mens 40 % fikk full rasjon (regnet i % av biomasse i forhold til 100 % gruppens dagsrasjon) to dager i uken og 20 % gruppen fikk full rasjon en dag per. uke. Torsken gikk i 1,5 m kar med en viss vannstrøm (mosjonering).

De ulike fôrrasjonene påvirket andelen hanner som kjønnsmodnet som ettåring (ca. 15 % i den fullfôrede gruppen og tilnærmet 0 % på de reduserte rasjonene). Etter modningen som ettåring ble alle gruppene samlet i en merd (mai 2000) og gitt full fôring fram til modning som toåring (januar 2001). I mai 2000 hadde den fullfôrede gruppen en leverindeks på ca. 6 %, mens de på redusert rasjon hadde bare ca. 2,5 % leveindeks. Til tross for at alle gruppene ble fôret i overskudd fra mai 2000 til januar 2001, var modningsandelen som toåring blant hofisk redusert fra over 80 % modning i 100 % gruppen til ca. 60 % modning i 40 % gruppen, og ca. 40 % modning i 20 % gruppen (Figur 1). Det var imidlertid også store forskjeller i kroppsvekt i januar 2001, fra ca. 1 kg i 20 %-gruppen til 1,5 kg i 100 % gruppen. Forsøket tyder på at en del av grunnlaget for høy modningsandel legges tidlig i livet. De observerte forskjellene i modning mellom gruppene kan både skyldes forskjeller i kroppstørrelse, energiinnhold (leverstørrelse) eller vekstrate.

En interessant observasjon var at modningen hos hofisken var lavere i den fullfôrede gruppen (ca. 80 %) sammenlignet med tidligere forsøk (normalt 100 %). Dette kan muligens forklares ut fra den lave leverindeksen (ca. 6 %) i mai året før gyting. Selv om dette forsøket viser at en kan redusere



Figur 1 Effekt av redusert fôrrasjon i første leveår på andelen kjønnsmodne hunntorsk ved toårsalder. *Effect of reduced feed ration during first year of life on the proportion of sexually mature female cod at age two years.*

modningen i hotorsk med redusert fôring, fører sulting også til sterkt redusert vekst. Derfor er denne teknikken lite aktuell som praktisk tiltak mot modning i oppdrett. Derimot kan dette gi oss økt innsikt i mekanismene for tidlig modning slik at en ev. kan utvikle tiltak basert på en kombinasjon av behandlinger, for eksempel mosjonering, redusert fôring i perioder og lysstyring.

Lysstyring har vist seg å være en effektiv måte for å utsette kjønnsmodningen i torsk. I et innledende forsøk ved Matre havbruksstasjon ble det indikert at en kunne utsette modningen med ca. ett år ved å gi ett år gammel torsk kontinuerlig lys fra midtsommer og utover. Forsøket ble utført i innendørs 5 m kar, og fisken ble moderat mosjonert slik at leverindeksen lå på ca. 7-9 %. Når en prøvde med det samme lysregime i merder på Tveit Oppdrett AS i Hordaland, fikk en bare utsatt kjønnsmodningen med ca. 4-6 måneder men det så ut som at omfanget av modningen ble redusert. Lysstyringen i merd utsatte modningen til torsken var ca. 3 kg, og veksten økte med ca. 0,8 kg i forhold til torsk som gikk på naturlig lys.

Det ble foreslått to ulike forklaringer på forskjellene som ble oppnådd i kar og merd: 1) det kunne skyldes ulik grad av mosjonering og svømmehastighet mellom de to systemene, og dermed forskjeller i energideponering og kjønnsmodning, eller 2) det kunne være forskjeller i lysoppfattelse mellom fisk som fikk kontinuerlig lys i innendørs kar og hos fisk i merd som fikk en kombinasjon av både kunstig og naturlig lys. Disse hypotesene er testet i to forsøk ved Austevoll havbruksstasjon.

I det første forsøket ble ettårig torsk holdt i 3 m kar på enten naturlig lys eller kontinuerlig lys fra midtsommer i lystette kar, i kombinasjon med ulik grad av mosjonering (0, 0,5 og 1 kroppslengder/s). Forsøket viste at kjønnsmodningen ble utsatt med minst ni måneder i alle gruppene som fikk kontinuerlig lys, mens mosjoneringen ikke hadde effekt på modingsandel eller tidspunkt. På naturlig lys var modningen tilnærmet 100 % til normal tid, uavhengig av mosjonering. Mosjoneringen hadde kun små effekter på leverstørrelse og vekst, og det er mulig at den gode fôrtilgangen i forsøket (overskudd) forhindret større effekter av mosjonering på energideponering hos torsken.

Det neste forsøket testet betydningen av ulik lysintensitet av det kunstige lyset i utendørs kar.

Ved lysstyring i utendørs kar eller merder vil det kunstige lyset konkurrere med den sterke naturlige bakgrunnsbelysningen. Vi antar at det er forholdet mellom lysintensiteten om dagen og natten som avgjør om torsken tolker lyset som kontinuerlig eller som et skifte mellom "dag" og "natt". Innledende forsøk med torsk i merd tydet på at den vanlige tilleggsbelysningen ikke var tilstrekkelig til å senke produksjonen av melatonin, som er et viktig 'mørkehormon' i torsk. Dette kunne tyde på at en måtte øke intensiteten på det kunstige lyset for at det skulle overstyre effekten av det naturlige lyset i merd.

Forsøket ble satt opp i oktober med torsk som var 1,5 år gammel, og som hadde hatt kunstig tilleggslys i merder fra midtsommer. Det ble benyttet dekknot på alle karene for å redusere intensiteten på det naturlige lyset for å simulere merdsituasjonen i de 1 m dype karene, og for å unngå solbrenthet. En gruppe gikk i lystette kar og fikk kun kunstig kontinuerlig lys med normal intensitet (ca. 100 lux) fra oktober, en gruppe fikk kun naturlig lys, en gruppe fikk en kombinasjon av naturlig lys og normal lysintensitet (ca. 100 lux på bunn av karet) og en gruppe fikk naturlig lys i kombinasjon med kontinuerlig lys med høy intensitet (ca. 1600 lux på bunnen av karet).

Som forventet var det tilnærmet 100 % modning på naturlig lys i mars, mens det var svært få individer som modnet på kontinuerlig lys fram til desember da fisken var nesten tre år gammel. Det ble observert en viss tendens til gonademodning på fisk eksportert for både normal og høy lysintensitet i tilleggslysgruppene utover høsten, men denne tendensen var lavere i gruppen på høy lysintensitet.

Målinger av 'mørkehormonet' melatonin viste at både kontinuerlig lys i de lysttette karene, og den høye lysintensiteten, fjernet døgnrytmene i dette hormonet, mens tilleggslys med normal intensitet ikke klarte å fjerne denne rytmen. Dette tyder på at tilleggslys på ca. 1600 lux i kombinasjon med dekknot er tilstrekkelig til i stor grad å blokkere kjønnsmodning hos torsk. Det ble funnet tendenser til gonadeutvikling både på fisk eksponert for både normal og høy lysintensitet. Dette kan enten tyde på at en slik lysstyring ikke vil være 100% effektiv i å stoppe modningen i alle individene, eller at forsøket startet for seint opp (oktober) for å få full effekt. Effekten vil sannsynligvis allikevel være tilstrekkelig for å få gode produksjonsresultat i matfiskoppdrett av torsk.

Imidlertid vil det være kostbart og vanskelig å oppnå en lysintensitet tilsvarende 1600 lux i en stor merd, selv om en bruker undervannsllys. Vi er derfor i gang med nye forsøk for å teste hvor lite lys vi kan bruke for å få en akseptabel effekt i merd, og om vi evt. kan finne mer optimale bølgelengder på det kunstige lyset slik at vi kan oppnå den ønskede biologiske effekt med minst mulig strømforbruk.

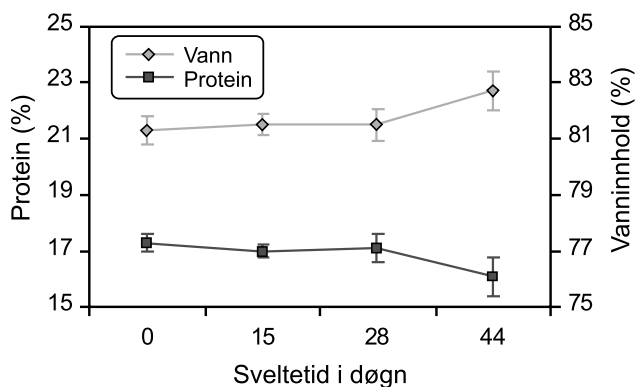
3.8 Slaktekvalitet på oppdrettstorsk

Håkon Otterå, Havforskningsinstituttet
Leif Akse, Fiskeriforskning

Dersom oppdrett av torsk skal verta ei næring av særleg omfang, er det avgjerande at ein greier å produsere eit produkt med stabil og god kvalitet. Ein stor del av problema ein hadde rundt 1990 med innføring av torsk som ein ny oppdrettsart, var knytte til problem med kvaliteten, anten reelle problem eller rett og slett dårleg rykte. Oppdrettstorsk vert naturleg nok samanlikna med vill torsk, og fleire eksempel på avvik i høve til vill torsk vart rapportert på 1980/1990-talet:

- stor lever
- tynne bukklappar
- mørk skinnfarge
- seig konsistens
- anna smak
- låg pH i muskel
- dårleg eigna for fryselagring

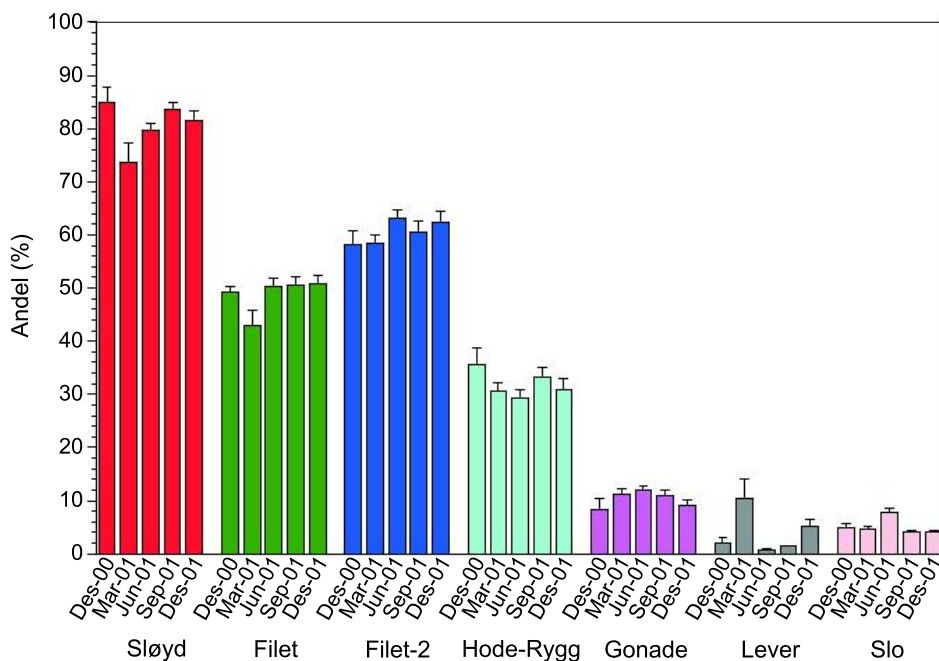
Problem med stor lever på oppdrettstorsk er eit velkjent problem, og er nok ein av hovudgrunnane til at enkelte meiner at oppdrettstorsk har dårleg kvalitet. Torsk som vert fôra med feitt fôr, f.eks. tørrfôr berekna på laks eller feitt fisk, vil lett få ei unaturleg stor lever, gjerne opp mot 20 % av kroppsvekta. Dette fører igjen til at bukveggen vert tynn og fileten liten. Med dagens fôr berekna på torsk (feittinnhald 11-15 %) er ikkje dette noko stort problem. Typisk finn ein i dag levervektar på rundt 10% av rund vekt, noko som ikkje er uvanleg også for vill fisk. I tillegg kan levera, dersom ho har god kvalitet, vera eit godt betalt biprodukt.



Figur 1 Protein og vassinnhald i muskelen på loddetorsk som vart svelta i 44 døgn. *Protein and water content in cod starved for 44 days.*

Eit anna lett karakteristisk trekk hos oppdrettsfisken er den mørke skinnfargen. I enkelte marknader vert det sett på som eit teikn på dårleg kvalitet – fordi dette vert assosiert med mørk villfisk av dårleg kvalitet. Om mørk skinnfarge vert eit reelt problem ved eksport av oppdrettstorsk, avheng både av til kva marknad han vert seld og om han vert seld rund eller som filet. Det er mengda melanophorer, fargeceller, i skinnen som avgjer kor mørk fisken vert. I tillegg vert fordelinga av fargestoffet melanin i fargecellene styrt nervøst, slik at torsken til ein viss grad kan tilpassa seg fargen på omgjevnadane. Dette kan gje seg utslag i at fisken endrar skinnfarge etter slakting, og svært ofte vert fisken betydeleg mørkare ei stund etter at han er vorten avliva. Det er likevel mykje truleg at ein ved å endra oppdrettstilhøva heilt frå yngelstadiet av, til ein viss grad kan styra skinnfargen på oppdrettstorsken.

Ein torsk i fangenskap kan nå ein storleik på rundt 3 kg to år etter klekking. Tilsvarande vekt vert først nådd ved alder tre-fem år i vill tilstand i Sør Noreg, og endå seinare lenger nordover. Veksten til oppdrettstorsken vil nok bli endå betre enn dette når ein kjem eit stykke lenger med domestiseringa. Ein rask vekst vil naturleg nok påverka strukturen i muskelfibrane og muskelkjemien generelt. Energinivået (glykogeninnhaldet) i muskelen hos oppdrettstorsk vil vanlegvis vera mykje høgare enn hos villfanga fisk, noko som kan påverka kvaliteten etter slakting. Teksturen i muskelen etter koking vert gjerne fastare for oppdrettstorsk, og smaken kan vera litt avvikande frå villfisk. Nye resultat frå prosjektet "Kvalitet på oppdrettstorsk" (NFR nr. 136455/120) gjennomført i regi av m.a. Norsk Sjømatsenter, Havforskningsinstituttet og Fiskeriforskning viser likevel at kvaliteten på oppdrettstorsk i det store og heile er god. Ein del avvik frå det ein er van med på vill torsk er likevel til stades. Det er derfor viktig at oppdrettstorsk vert sett på som eit eige produkt, og ikkje nødvendigvis samanlikna med villfanga torsk. Dette prosjektet viste også svært små forskjellar med omsyn til kvalitet mellom torsk fôra med kommersielt tilgjengeleg tørrfôr og fôr basert på fiskeavskjer (Rubin-fôr).



Figur 2 Prosentvis fordeling av ulike "organ" hos oppdrettstorsk (hofisk) fôra med tørrfôr. Alt rekna som prosent av rund vekt, bortsett frå "Filet-2" som er rekna som prosent av sløyd vekt (med hovud). Målingane er gjort gjennom eit år. Data frå NFR-prosjektet "Kvalitet på oppdrettstorsk".
Percentage contribution of various "organs" to total body weight at a group of farmed cod (females) followed for one year.

I samband med slakting av torsken er det viktig å svelta fisken minst ei veke, og helst tre veker. For kort svelting vil lett gje fôrsmak på fisken, og i tillegg reduserer ein energilageret i muskelen ved svelting. Ein del av dei som har bruka fisk og fiskeavskjer som fôr til oppdrettstorsk har erfara at særleg sild kan sette ein merkbar eigensmak på torsken, det er derfor særst viktig med svelting i slike tilfelle. Forsøk har også vist at svelting utover dette i liten grad påverkar f.eks. levermengda i torsken. For lang svelting kan også redusera kvaliteten. I eit forsøk som Fiskeriforskning gjorde i Finnmark tidleg på 1990- talet, auka vass innhaldet i fileten, og proteininnhaldet gjekk ned når "loddetorsk" vart svelta i meir enn fire til fem veker (Fig. 1). Den åtesprengde "loddetorsken" liknar på mange måtar oppdrettstorsken i muskelkvalitet.

Når torsken vert oppdrettsfisk kan også slakting og bearbeiding optimaliserast på ein heilt annan måte enn kva som er tilfelle for villtorsk frå vanleg fiske. Frå andre oppdrettsarter, laks og kveite,

veit ein at det er mykje å vinne på å unngå stressing og utmatting av fisken under slakting. Lite er gjort for å finne den beste slaktemetoden for oppdrettstorsk, han vert i dag oftast bløgga og sløyd på same måten som villfisken. Torskeoppdrett åpner også for filetering og bearbeiding av særst ferskt råstoff, før fisken er dødsstiv. Dette gjev ein annan kvalitet både på ferske og bearbeidde produkt. Eit forsøk med lettsalting av pre rigor og post rigor filet frå oppfôra

villtorsk hos Fiskeriforskning viste store forskjellar i saltopptak, utbytte og kvalitet. Medan pre rigor-fileten tapte om lag 5 % i vekt, auka post rigor-fileten tilsvarande. Konsistens, farge og smak vart også forskjellig.

Før norsk oppdrettstorsk vert lansert for fullt i viktige marknader bør ein undersøke korleis forbrukarane opplever forskjellen mellom vill- og oppdretta torsk. Sjølv om fokus enno ei tid vil være på ferske produkt av oppdrettstorsk, kan ein gjerne også ta med frosne variantar i slike konsumenttestar. Vår hovudkonklusjon er at ved rett fôring og drift elles så får oppdrettstorsken ein god kvalitet - om enn noko forskjellig frå villfisk. Det er likevel svært viktig at ein tek problema rundt kvalitet, produkt- og prosessutvikling på alvor. Eksport av dårleg oppdrettstorsk kan lett øydelegga ei elles lysande framtid for torskeoppdrett.



Foto: Jørgen Borthen

Figur 3 Fileter av oppdrettstorsk – eit kvalitetsprodukt.
Farmed-cod fillets – a high quality product.

3.9 Kvalitet av torsk

Erik Slinde, Havforskningsinstituttet

Flere av våre torskefisker er aktuelle i oppdrett, eller egner seg til levendelagring og oppfôring før salg. Torsk, lysing og hyse er alle blitt klekket og startfôret i løpet av de siste år, men det er torsken vi har mest kunnskap om. Ved siden av disse tre er også hvitting, sei, lyr, brosme og lange torskefisker som i første omgang er aktuelle for levendelagring og oppfôring.

Torskefisk er mager fisk, og inneholder som regel mindre enn en prosent fett i fileten. Tørrstoffinnholdet i fileten er omkring 20 %. Mesteparten er protein, men dette varierer gjennom året og er avhengig av tilgang på fôr. Torskefisk er altså slankekost av beste merke.

Vi har i dag ca. 170 marine konsesjoner med et volum på 815 000 kubikkmeter som står klar til å produsere torsk i en mengde på mellom 40 000-100 000 tonn. FAO mener at det vil produseres 1,5-2 millioner tonn torsk i år 2015. I dag har vi bare 8-9 operative matfiskanlegg for torsk, så det er langt fram. Disse produserer 300 tonn oppdrettstorsk, pluss at det drives oppfôring av torsk.

I motsetning til laksefisk er fangsten av torskefisk betydelig. Markedet er stort og omfattende og kundene kjenner produktet. Det er mange biologiske problemer som skal løses før vi ser de helt store volumene av oppdrettstorsk eller annen marin torskefisk. I mellomtiden vil oppdrettstorsk måtte konkurrere i markedet med villfisken.

Loftfisket er basert på lange tradisjoner hvor skrei kommer inn til kysten i en alder av 5-7 år og gyter 3-5 millioner egg. Skreien er blitt mindre og mindre ettersom vi har høstet av de store eksemplarene, og førstegangsgyterne blir yngre og yngre. Lofottorsk er ideell til mølje, hvor rogn, lever og filet er hovedingrediensene. Dette er en rett en bare kan få når en fanger fersk, kjønnsmoden torsk. Men fileten er av dårlig kvalitet, til sammenligning like dårlig som kvaliteten av kjønnsmoden laks. I oppdrett er det å unngå kjønnsmodning en forutsetning for både kvalitet og inntjening. Beste filetkvalitet har en umiddelbart før kjønnsmodningen begynner. På dette punkt vil oppdrettstorsken lett konkurrere med

villfanget torsk fordi vi kan styre kvaliteten gjennom tilgang på fôr, og ved lysstyring.

Fisk er betydelig mer bedervelig enn kjøtt. Når fisk avlives, starter dødsprosessene hvor omsetning av glykogen til melkesyre og gjennomgang av *rigor mortis* er de sentrale begivenheter. Melkesyre senker surhetsgraden, pH, i fileten. Denne surgjøringen i torskefisk gir som regel ikke lavere pH enn 6,3, mens den i kjøtt i regelen er omkring 5,6. Surhetsgraden som fisk oppnår etter slakting er avhengig av fôrtilgang og glykogeninnhold i muskelen. Ved lav fôrtilgang og stressende fangstmetoder kan slutt-pH i torskefisk lett bli høyere enn 7. Dette fører til at bakterier kan vokse relativt raskt, og den enzymatiske nedbrytning av fileten skjer også relativt fort dersom vi ikke har en temperatur på null grader i fileten. Vår tradisjon for behandling av fisk om bord i våre fiskefartøyer har ikke satt lav temperatur og hygiene i høysetet. På dette punkt vil oppdrettstorsken være langt lettere å behandle riktig og være langt mer hygienisk akseptabel. Den vil derfor være å foretrekke framfor villfanget fisk.

Fisk er en mer ømtålig råvare enn kjøtt. Når fisk svømmer rundt i vann, har den en vekt som er lik null. Fisken har ikke et bindevev som støtter muskelen mot tyngdekraften når den tas ut av vannet, slik som for eksempel hos pattedyr. Manglende skånsomhet under håndtering gir derfor blodflekker i vev og misfarging. Siden fisk alltid behandles sammen og ikke hver for seg, er det lett å få smitte fra den ene fiskens tarminnhold til den andres kjøttvev. Utblødning er også viktig, og det å skjære over halen på fisken sikrer at også denne delen av fileten får fin hvit farge. Filetspalting er et annet problem, og avhenger av fiskens kondisjon og behandling. Alle disse forhold er lettere å kontrollere i oppdrett, noe som gjør at oppdrettstorsk vil få en langt mer stabil kvalitet enn villfanget fisk.

”Fisk er fisk og kjøtt er mat” er et vanlig uttrykk. Dette henger sammen med at fisk alltid har vært billig og lett tilgjengelig i Norge. Imidlertid har dette forandret seg betraktelig de siste år, ettersom vi har nådd grensen for hva vi kan ta ut av havet på kloden. Verdien av fisk er derfor økende

på det internasjonale marked, og kunden er villig til å betale mer. Kunden stiller også stadig større kvalitetskrav til produktet, og det blir mer og mer lønnsomt å ta vare på all fisk. Det er da viktig å være klar over at fisk blir lettere bedrevet enn kjøtt, og kravet til kjøling og lav temperatur gjennom hele prosessen er av enda større betydning for fisk enn for kjøtt. Temperaturen må være 0 °C hele tiden. Oppdrettfisk kan kjøles før avliving, og er langt lettere å få ned temperaturen på enn i villfanget fisk. Hygiene og holdbarheten blir derfor bedre.

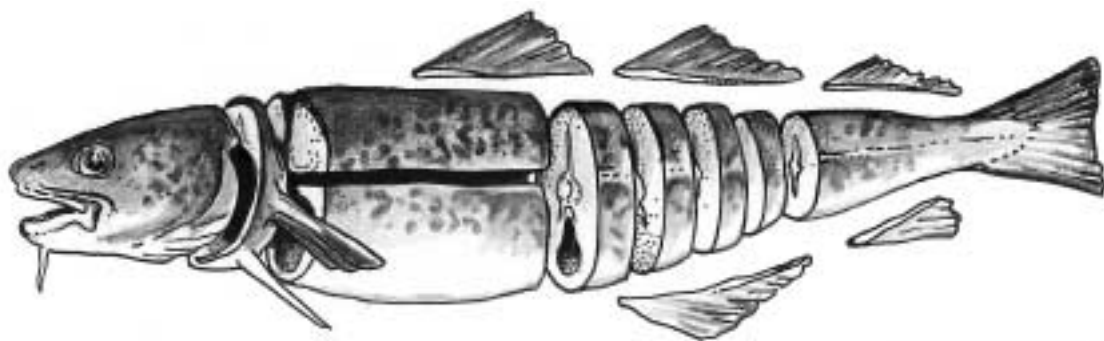
Sushi lages av rå fisk, og da er kravet til hygiene og kvalitet ekstra høyt. I denne sammenheng er trygg mat hygienisk akseptabel mat. Da må det være fritt for bakterier og parasitter. Ved å fryse fisken før bruk, tar en livet av kveis og andre parasitter som er vanlig i villfisk. I oppdrett vil en lettere kunne kontrollere parasittstatus.

Fisk inneholder kuldetolerante bakterier og det

samme gjør sjøvann. Den behandling som villfisken får gjør at bakterietallet i regelen er svært høyt i filet, ofte omkring 10 millioner per gram. Til eksempel tilsetter en "bare" en million bakterier per gram kjøtt når en skal lage salamipølse. Bakteriene som finnes i sjøvann tåler dessuten kulde bedre enn de bakterier vi finner i kjøtt fra landjorda. Dette gjør at fisk bederves lettere.

Det kunden ønsker er en hygienisk beinfri filet, som kan spores og er garantert som trygg mat, og da hygienisk trygg. Resten av fisken må lages til farseprodukter eller fermenteres.

Utseende og tekstur er viktige egenskaper, og siden oppdrettstorsk føres regelmessig og behandles skånsomt, får den en bedre tekstur, mindre filetpalting og hvitere farge enn villfisk. Dagens oppdrettstorsk har derfor en lys fremtid i markedet, og den vil bidra til at villfisken blir behandlet bedre for å kunne konkurrere i kvalitet.



3.10 Genetikk og torskoppdrett - utfordringer og muligheter

Knut E. Jørstad, Havforskningsinstituttet

I kjølvannet av den kommersielle suksess i laksenæringen, dreier oppdrettsindustriens interesse seg mer og mer i retning av marine arter. Det er mest fokus på torsk, men en rekke andre arter står også for tur. Erfaringene og lærdommene fra utviklingen av laksenæringen må legges til grunn for å stake ut en fornuftig strategi for næringsutviklingen av de marine artene. Dette bør gjøres når næringen er i startgropen fordi det vil være vanskelig å gjøre store endringer i rammebetingelsene på et senere tidspunkt.

Når det gjelder genetikk, er det spesielt to områder som har stått i fokus i laksenæringen. Det ene er aktiv bruk av genetisk kunnskap og metoder i avlsprogrammer for å forbedre viktige produksjonsegenskaper som f.eks. vekstevne, alder ved kjønnsmodning og sykdomsresistens. Slike egenskaper kan være av avgjørende betydning for det økonomiske resultatet for den enkelte oppdretter. Det andre området er knyttet opp mot den store mengden rømt oppdrettslaks og miljøvirkningene av dette. Det er særlig hensynet til villaksen som har stått i fokus, og det fryktes at krysning mellom oppdrettslaks og villaks vil føre til negative effekter i de ville laksebestandene.

De genetiske aspektene knyttet til oppdrett er imidlertid generelle og gjelder for alle arter som tas inn i kultur. For torsk er den store utfordringen nå å etablere en levedyktig næring uten de uheldige miljøkonsekvensene som vi har sett på laks. Her vil det være nødvendig med en oppsummering av eksisterende biologisk kunnskap, fremskaffing av ny og nødvendig kunnskap, og sist men ikke minst, ta aktivt i bruk genetisk kunnskap og metoder på et tidlig tidspunkt.

Lokale kysttorsk-stammer?

Det er velkjent at det er stor individuell variasjon hos torsk i størrelse, fargemønster og kroppsform. Det kan også være stor forskjell på torsk fra ulike steder. En stor del av denne variasjonen blir vanligvis forklart på grunnlag av ulike miljøbetingelser, men

her kan det også være genetiske faktorer med i bildet. I Norge har vi relativt lange tradisjoner med hensyn til genetiske studier på torsk. Allerede på midten av 1960-tallet gjennomførte Dag Møller og Gunnar Nævdal omfattende genetiske undersøkelser basert på antistoffer og blod-proteiner. Genetiske forskjeller ble påvist mellom hovedgruppene kysttorsk og skrei, men også mellom kysttorsk fra ulike områder langs kysten. Dette bildet støttes også i mange tilfeller gjennom sammenligning av biologiske parametre og vandringsmønster (merkeforsøk).

På 1980-tallet ble det også tatt i bruk andre metoder med utgangspunkt i vevsenzymer. Disse viste betydelige mindre variasjon i forhold til de første studiene, men bekreftet også i noen tilfeller de tidlige resultatene. Det var generelt langt mindre variasjon enn ventet i vevsenzymer hos torsk i Nord-Atlanteren, og dette utløste en til dels omfattende debatt om tolkingen av resultatene. De seneste årene er det blitt mer vanlig å bruke ulike DNA-metoder i slike studier. Ved Fiskerihøgskolen i Tromsø er det påvist store forskjeller mellom kysttorsk og skrei i gen systemet synaptophysin. Mikrosatellitt DNA-analyser er gjennomført på torsk en rekke steder og viser generelt en høyere grad av variasjon enn tidligere vist.

For utviklingen av torskenæringen er det viktig at vi har et korrekt bilde av bestandsstrukturen av torsk. Eventuelle krav om bruk av lokal stamfisk bør begrunnes med dokumentasjon av genetisk distinkte lokale bestander. Genetisk kartlegging av torskbestandene langs kysten er derfor viktig. Det omfattende datagrunnlaget som allerede finnes, må både revideres og suppleres med nye data fra mer moderne DNA-metoder (mikrosatellitt-analyser).

Testing av ulike stammer – produksjonsegenskaper

I startfasen av torskoppdrett er vi også avhengige av å velge riktig stamfisk. Dersom målet er å utvikle en eller flere høyproduktive linjer hos torsk, er det viktig å ta utgangspunkt i en bredt sammensatt basis-

populasjon (er). På laks ble det i starten testet ca. 40 ulike elvestammer under oppdrettsbetingelser. Det omfattende avlsprogrammet som er gjennomført har uten tvil hatt stor betydning for næringen. Den fisken som utgjør hovedmaterialet i dag er avkom fra et relativt lite antall stammer av de opprinnelige 40.

Hos torsk vil det sannsynligvis være praktisk vanskelig å gjennomføre et så omfattende program som hos laks. Det er viktig å ta utgangspunkt i noen av de stammene vi vet er forskjellig genetisk sett og teste disse under ellers like forhold i kultur. Fra rutinemessig overvåkning av torskebestandene finnes et stort biologisk materiale som må vurderes i forhold til oppdrett av torsk. Dessuten ble det gjennomført omfattende utsetninger og studier av torsk på 1990-tallet i regi av havbeiteprogrammet PUSH. Her er det også mye bakgrunnsmateriale som vil være svært nyttig når strategien for torsk skal utformes.

På samme måte som på laks vil en testing av et utvalg av stammer gi informasjon om hvilket materiale det er mest formålstjenlig å gå videre med. Egenskaper som har betydning for det økonomiske resultatet (tilvekst, kjønnsmodning, sykdomsresistens og lignende) kan kartlegges innenfor og mellom stammene, og arvbarheten bestemmes. Dette vil være nødvendig for å vurdere grunnlaget og mulighetene for å sette i gang mer omfattende avlsprogrammer på torsk. Her vil det også være formålstjenlig å sammenligne avkom fra ulike familiegupper under identiske forhold (samme forsøksenhet) ved å bruke mikrosatellitt DNA-analyser til identifisering av grupper. Slike forsøk er allerede gjennomført i Norge både på torsk og hummer i samarbeid med utenlandske institutter (EU-prosjekter).

Ved Havforskningsinstituttet er det tidligere gjennomført en rekke studier på torsk hvor overleving og vekst på avkom fra kysttorsk og skrei er sammenlignet. Forsøkene viser at avkom fra kysttorsk har høyest overleving og vekst i den tidligste larvefasen, i alle fall under de betingelsene som foreløpig er testet. Det er også vist klare forskjeller i vekst mellom de to hovedgruppene gjennom året, kysttorsken har hurtigst vekst i sommerhalvåret, mens skrei vokser relativt bedre ved lavere temperaturer (se figur 1). Skrei legger også inn mer av veksten i hvit muskulatur i forhold til kysttorsk. Slike forhold kan ha stor betydning

for økonomien i et framtidig oppdrett, og må derfor undersøkes i mer detalj.

Muligheten for avlsprogrammer

Grunnlaget for å forbedre det genetiske grunnlaget for viktige produksjonsegenskaper er at det er tilstrekkelig genetisk variasjon i utgangsmaterialet. I tillegg vil det være avgjørende i hvilken grad de ønskede/uønskede egenskapene er arvbare. Før det settes i gang et omfattende og kostbart program for seleksjon, må derfor arvbarhetene (heritability) estimeres. Arvbarheten måles i eksperimentelle krysningsforsøk og angis på en skala fra null (ingen arvelig komponent) til en (100% arvelig bestemt). Dersom arvbarheten er lav, har det liten hensikt å sette i gang et storstilt avlsprogram. Foreløpig finnes lite eller ingen informasjon om dette på torsk, men det antas at det også her er lignende forhold som for en rekke andre arter.

Det finnes ulike modeller og strategier for avl for å forbedre egenskapene til organismer i kultur. I lakseoppdrett brukes familieseleksjon, dvs. at de beste familiene (og beste individene innenfor de enkelte familiene) plukkes ut og brukes som stamdyr for neste generasjon. Dette har fungert bra i laksenæringen, men har krevd forholdsvis store investeringer og anlegg. Avkom fra et større antall familier må oppdrettes i separate enheter inntil de kan merkes og oppdrettes i større kar i et relativt kostnadskrevende oppsett.

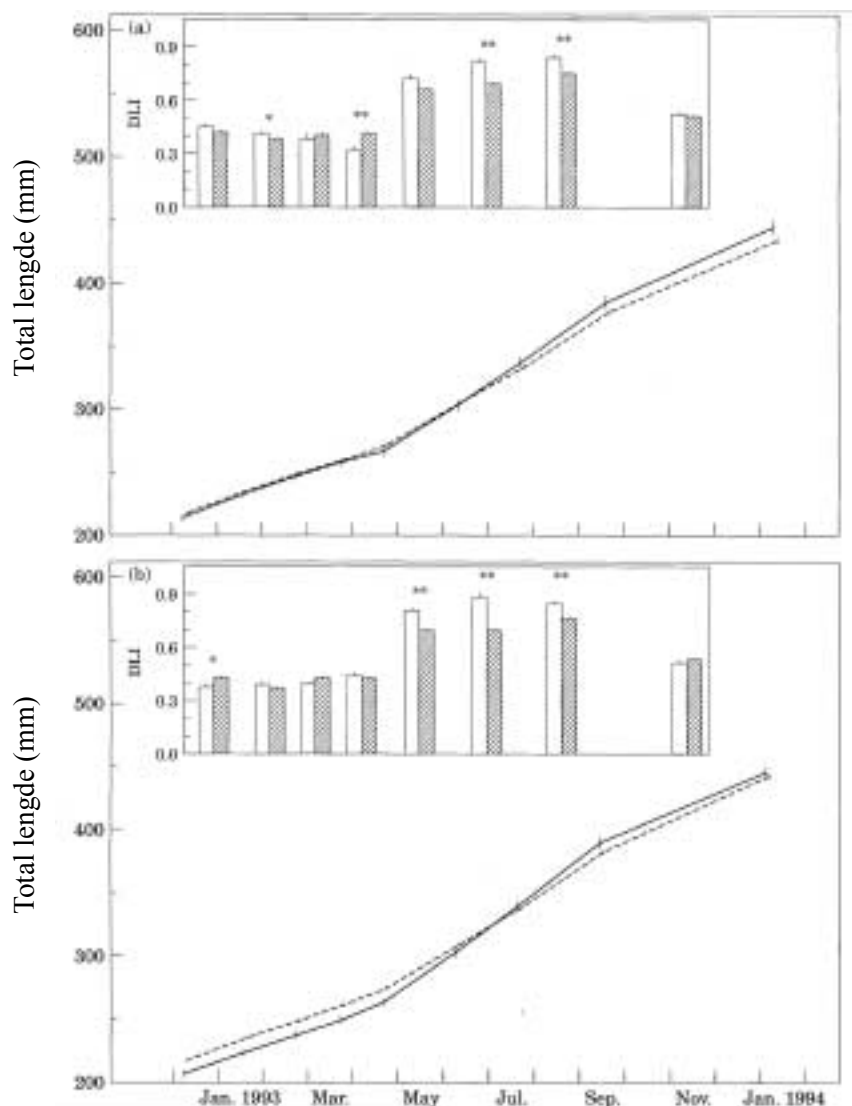
For torsk må det vurderes nøye om et lignende avlsprogram skal settes i gang i dag. Torskenæringen må sannsynligvis være av en viss størrelse før slike investeringer kan forsvares. På den andre siden er det viktig å komme tidlig i gang, da et avlsprogram er svært tidkrevende. På torsk bør en også vurdere andre modeller enn tradisjonelt familieutvalg. Det er særlig bruk av mikrosatellitt DNA-metoder til identifisering av familiegupper som må utredes og testes. Disse metodene har vist seg svært effektive både på torsk og hummer, og kan inngå som et vesentlig element i et seleksjonsprogram på torsk. De enkelte familiene identifiseres ved hjelp av DNA-profil, og i prinsippet skulle ytterligere merking være unødvendig. Avkom fra de enkelte familiene kan også gå i samme kar fra starten av og dermed eliminere variasjon mellom enkeltkar samt redusere kostnadene.

I masseseleksjon blandes avkommet fra mange familier og de beste (største) individene tas ut som

stamfisk for neste generasjon. Her må en ha kontroll med innavl som kan føre til problemer. Også her kan de nye DNA metodene åpne for bedre muligheter for kontroll mot innavl, alternative avls strategier og muligens billigere tekniske løsninger. Disse kan være spesielt anvendbare på torsk, men må testes for en praktisk og økonomisk evaluering.

Valg av avlsstrategi må også knyttes opp mot hvilken bestandsstruktur vi faktisk har hos torsk i våre farvann. Dersom de genetiske forskjellene som er avdekket de siste årtiene mellom ulike torskestammer i forskjellige genetiske systemer kun

er et resultat av miljøvariasjon mellom regioner, så er valg av avlstrategi i prinsippet åpent. Som på laks kan man satse på utvikling av en oppdrettstorsklinje som skal brukes i alle regioner uten å risikere uønskede genetiske effekter på lokale stammer ved rømming. Under slike betingelser vil overføring av materialet mellom regioner være uproblematisk fra en genetisk synsvinkel, men det kan også være sykdomsaspekter som må vurderes. Så langt tyder imidlertid datamaterialet på at vi har et sett av lokale kysttorsk stammer som er forskjellig fra skrei, og som også er forskjellige fra hverandre i større og mindre grad. I den situasjonen er et sentralisert



Figur 1 Sammenligning av vekst hos kysttorsk (åpen) og skrei (skravert) under like forhold. Signifikante forskjeller i spesifikk lengde vekst (DLI) ble påvist både for hannfisk (a) og hunnfisk (b). Kysttorsk vokser best i sommerhalvåret.
Comparison of growth between coastal cod and NE Arctic cod under identical conditions. Significant differences were found in daily length increment (DLI) for both males (a) and females (b). Coastal cod had highest growth in the summer season.

avlssystem sannsynligvis mindre ønskelig, og kan representere en miljøtrussel mot lokale stammer av kysttorsk. Basert på en detaljert genetisk kartlegging langs kysten kan det være rasjonelt å satse på mer regionale eller lokale stammer.

Rømt oppdrettstorsk – en trussel mot lokale stammer?

Svært mye av miljøproblemene knyttet til laksenæringen er fokusert på rømt oppdrettlaks og trusselen mot villaksen i elvene våre. Man frykter at oppdrettlaks som er selektert på oppdrettsmiljø, vil krysse genmaterialet inn i villaksbestander og dermed redusere tilpasningsevne og på lengre sikt produksjon og levedyktighet. Eventuelle effekter av slik innkrysning er også avhengig av hvor store genetiske forskjeller det egentlig er mellom norske laksestammer. Dette er foreløpig lite dokumentert. Også for torsk vil en evaluering av potensielt uønskede genetiske effekter som følge av rømming av oppdrettstorsk i fremtiden, være knyttet til den faktiske genetiske variasjon i de ville torskestammene. Kartlegging av den genetiske bestandsstrukturen vil være helt nødvendig for å være i stand til å vurdere en eventuell risiko.

Hvis det er små eller neglisjerbare genetiske forskjeller i norske torskbestander, vil heller ikke problemet med effekter av rømming utgjøre store problem, i alle fall ikke på kort sikt. Dersom det gjennomføres avlsprogram med store endringer i genmaterialet, kan rømming på sikt bli et problem. Over mange generasjoner kan seleksjon under oppdrettsbetingelser føre til store endringer med hensyn til overleving og reproduksjon under naturlige miljøbetingelser. Ved omfattende rømming kan innkrysning i ville bestander igjen føre til genetiske endringer og redusert produksjon. Dette kan i verste fall føre til dramatiske endringer hos torsk som er av våre aller viktigste marine ressurser.

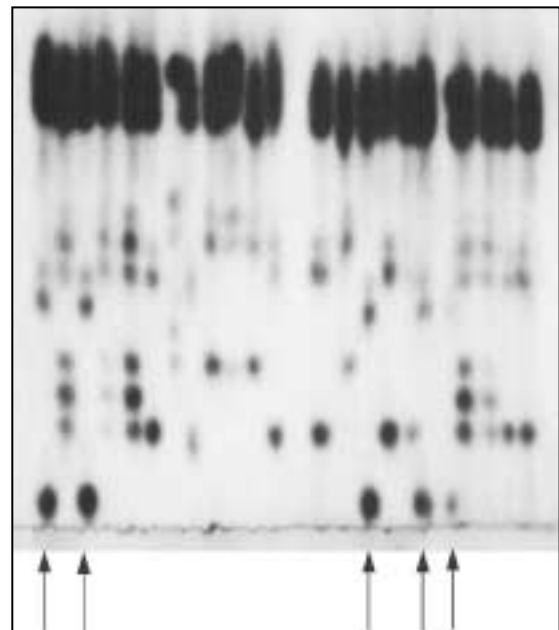
Om en stor fremtidig torskenæring representerer en genetisk trussel mot de lokale stammene er en viktig, men vanskelig vurdering. Først må vi ha et korrekt bilde av den faktiske genetiske bestandsstruktur vi har i våre farvann. Vi vet en god del, men datagrunnlaget må vurderes mer helhetlig og suppleres med resultater fra mikrosatellitt-analyser. All erfaring tilsier at det er vanskelig å hindre rømming av torsk. Utforming av kriterier med hensyn til valg av stamfisk, strategier for

avlsarbeid og i hvilken grad settefisk transporteres fritt mellom geografiske regioner, vil være viktige elementer som vil virke inn.

Genetisk merking av oppdrettstorsk?

Fysisk merking av all oppdrettlaks har vært foreslått. Også genetisk merking har vært diskutert og foreslått for mer enn ti år siden. Fordelen med genetisk merking er at dersom oppdrettfisken rømmer og krysser seg med villfisk, så vil det være mulig å påvise dette samt kvantifisere omfanget.

På dette området ble det gjennomført omfattende arbeid på slutten av 1980 tallet ved Havforskningsinstituttet. I løpet av en 6-7-årsperiode ble det krysset fram en genetisk merket torskestamme som ble i en rekke eksperimenter. Denne fisken hadde en genmarkør som er svært sjelden i naturen og som lett kan identifiseres ved hjelp av elektroforese (Figur 2). Avkom fra denne stammen ble også brukt i utsettinger av torsk i regi av PUSH-programmet



Figur 2 Båndmønster hos genetisk merket torsk ved stivelsesgel elektroforese og spesifikk farging av enzymet glucosephosphate isomerase (hvit muskulatur). Individene med nummer (1 – 5) er homozygote for GPI-1*30. *Banding pattern of genetic tagged cod seen from starch gel electrophoresis and specific staining of the enzyme glucosephosphate isomerase (white muscle). The individuals with numbers (1 – 5) are homozygote for GPI-1*30.*

tidlig på 1990-tallet. Innenfor tidsrammen på programmet var det ikke mulig å registrere i hvilken grad den krysset seg med vill fisk. Dersom den utsatte genmerkede fisken har deltatt i den naturlige gytingen i perioden etter at PUSH-programmet ble avsluttet i 1997, skulle det være mulig å påvise genetiske endringer i den nåværende bestanden. Slike data er spesielt viktige når genetiske effekter av rømming i et fremtidig oppdrett av torsk skal evalueres.

Den genetisk merkede stammen ble krysset fram for inn en genmarkør på oppdrettstorsk på et så

tidlig tidspunkt som mulig. Stammen ble imidlertid ikke ført videre på midten av 1990-årene, delvis på grunn av generell sykdom-/helseproblemer. Dersom det fremdeles finnes rester av denne fisken, er dette resultat av utsettingene på midten av 1990 tallet, eventuelt avkom fra utsettingsfisken. Slik fisk er svært attraktiv og vil utgjøre et glimrende utgangspunkt for å utvikle en ny genmerket torsk i fremtiden. Ved omfattende genetisk kartlegging av potensiell stamfisk i årene fremover, vil det kunne utvikles en ny torskelinje hvor det "gamle" genmaterialet kombineres med nye mikrosatellitt genmarkører.