

Genteknologi og havbruk

Et debatthefte fra Bioteknologinemnda

1998

Bilde: "FORSIDE"

Bilde NPS 01879513 (gutt – pike fiskehov – hav)

Til leserne

Dette heftet om genteknologi og havbruk føyer seg inn i rekken av debathefter som Bioteknologinemnda har gitt ut. Tidligere hefter har diskutert bruk av moderne bioteknologi i forbindelse med landbruk (1996) og bruk av genetiske tester (1997). Denne gangen håper vi å nå en ny målgruppe nemlig dem som arbeider med, og har interesse for oppdrettsnæringen i videste forstand.

Bioteknologinemnda har bedt en utvalgt gruppe personer om å gi sine bidrag til dette heftet. Artikkene står for forfatterne egen regning. Bioteknologinemnda har hatt mange og lange diskusjoner om bruk av genteknologi på mange forskjellige felter, men har ikke fattet vedtak når det gjelder bruk av f.eks genmodifisert fisk i oppdrett.

Genteknologi er tatt i bruk innen en rekke viktige områder som spenner fra analyser av arvestoffet til fremstilling av vaksiner. Havets ressurser når det gjelder spennende enzymer med helt spesielle egenskaper har man så vidt begynt å høste av. En av pionerene på området, professor Jan Raa, gir oss et innblikk i havets rike biologiske ressurser.

”Frisk som en fisk” – heter det. Men etter at oppdrettsnæringen ble etablert her til lands har vi lært at fisk kan bli angrepet av mange typer sykdomsfremkallende organismer – lakselus, bakterier og virus. Utviklingen av vaksiner mot bakterier og virus har hatt stor betydning for næringen. Genteknologi står sentralt i utviklingen av vaksiner mot virus, slik det fremgår av dr. scient Karen Elina Christies artikkel.

Fisk kan ikke spise hva som helst, kunnskap om fiskens metabolisme er nødvendig for å kunne utvikle et riktig fiskefôr. Bio- og genteknologi er blitt nødvendige arbeidsredskaper innen basal biologisk forskning. Seniorforsker Grethe Rosenlund skiver om fremstilling av fiskefôr og hvilke krav næringen setter til sine råvarer. Genkartlegging er blitt rutiner innen alt avlsarbeid, også når det gjelder oppdrettsfisk. Forskningsdirektør Geir Gogstad beskriver hvilken betydning genetiske markører og genkartlegging har fått innen havbruksnæringen.

Spørsmålet om bruk av genmodifisert laks har vært diskutert mange ganger, også på Bioteknologinemndas åpne møte i Tromsø i april 1997. Bruk av genmodifisert laks er ikke aktuelt i dag, men situasjonen kan endre seg dersom konkurrenter i andre land utvikler fisk som f. eks vokser bedre eller er mer motstandsdyktig overfor sykdom. Journalist Bjørn Tore Forberg har spurt sentrale personer innen forskning og fiskeoppdrett om deres syn på saken.

Bruk av genteknologi innen landbruk og havbruk eller bruk av genetiske tester av mennesker fører til etisk vanskelige valg. Hvor langt kan man gå i bruk av moderne teknologi uten at risikoen blir for høy? Og hvem skal sette grensene for enkeltindividers og enkeltnæringers bruk av ny teknologi? Disse spørsmål har journalist Geir Olav Melingen diskutert med Matthias Kaiser, sekretariatsleder for Den nasjonale forskningsetiske komite for naturvitenskap og teknologi (NENT).

Direktøren for det nye Sarssenteret for marin molekylær biologi i Bergen, Daniel Chourrout, er intervjuet av Dag Oscar Oppen-Berntsen om hva som skjer på forskningsfronten innen genteknologi og havbruk.

Bioteknologinemnda håper at dette heftet stimulerer til ettertanke og debatt om de mange vanskelige og viktige spørsmål omkring bruk av moderne bioteknologi rettet mot havbruk.

Med hilsen

Torleiv Ole Rognum

leder i Bioteknologinemnda

Oslo 1. juli 1998.

Innhold

Framtidsvyer – genteknologi og utnyttelse av marine ressurser

Professor Jan Raa

Ny teknologi og etikk

Intervju med Matthias Kaiser, sekretariatsleder for Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap

Journalist Geir Olav Melingen

Bruk av genteknologi som verktøy ved fiskeavl og kartlegging av fiskestammer

Forskningsdirektør Geir Gogstad, Biosoft AS

Fôr og førtilsetninger

Seniorforsker Grethe Rosenlund, Nutreco Aquaculture Research Centre AS

Havbruk og genteknologi - fiskehelse

Prosjektleder Karen Elina Christie, Intervet Norbio

Genmodifisert norsk laks - eller tilbake til naturen

Journalist Bjørn Tore Forberg

Med bioteknologi i verktøykassa

Intervju med Daniel Chourrout, direktør for Sarssenteret

Seniorforsker Dag Oscar Oppen-Berntsen, Norsk Hydro

Faktaboks om:

Produksjon av protein i genmodifiserte bakterier dyrket i fermentor

Arvestoff og gener

Genmodifiserte organismer

Encelleproteiner

Genetisk variasjon

Virus

Genmodifisert laks – langt frem til kommersielt bruk

Ordliste

Framtidsvyer – genteknologi og utnyttelse av marine ressurser

Professor Jan Raa

Utviklingen av norsk fiskeoppdrett har vært et av de mest bemerkelsesverdige eksempler på ny næringsutvikling i Norge i de siste 20 år. Denne næringen er vokst frem som resultat av en meget heldig kombinasjon av gunstige naturgitte forutsetninger, kompetanse hos kystbefolkningen, god infrastruktur, erfaring fra internasjonale markeder for fisk og entusiastisk støtte fra forskningsmiljøer innen alle de sektorer som blir berørt av moderne havbruk.

Interessen for bioteknologi og genteknologi er økende

Utnyttelse av biologiske ressurser i havet har frem til våre dager vært ensbetydende med fangst og bruk av viltlevende bestander. Foredling har stort sett dreid seg om å ta hånd om spiselige deler av matfisk og reker, og å produsere mel og olje av småfisk. Moderne bioteknologi har ennå ikke klart å vinne innpass i denne viktige sektor av norsk næringsliv, og det er de færreste i næringen som har noen formening om hvilken betydning genteknologi vil kunne få for utvikling av egen industri.

Det er imidlertid en merkbar økende nysgjerrighet hos fremtredende aktører i norsk fiskerinæring omkring marin bioteknologi, og etterhvert også en mer imøtekommende holdning til grunnleggende biokjemisk forskning. Denne positive holdningsendring henger sannsynligvis sammen med at bioteknologisk forskning i Norge kan vise til svært betydningsfulle resultater for fiskeri- og havbruksnæringen. Det er nok å minne om hva fiskevaksiner har betydd for norsk lakseoppdrett. Men en rekke andre nyvinninger innen marin bioteknologi har også bidratt, f.eks. produksjon av konsentrater av fiskeproteiner, utvinning av finkjemikalier fra fiskeavfall og bruk av marine enzymer som hjelpemidler i en rekke nye foredlingsprosesser. Dessuten er det sikkert mange som har blitt imponert over en raffinert bruk av genteknologi: Det nå er blitt mulig å fastslå med sikkerhet hva som f. eks. er opprinnelsen til hvalkjøtt i markedet (DNA-profiler av hval) og om fjordtorsken er egne biologiske bestander som kan forvaltes uavhengig av den norsk-arktiske torsken.

Bilde: Bilde nummer T4-1169 i NPS Stock Directory nr 4.

BØLGE

Fangst av gener

Folk som kjenner fiskerinæringen her til lands og ellers i verden, vet at totalverdien av den sjømat som blir omsatt, ikke kan økes gjennom økt fangst. Verdenshavene kan simpelthen ikke yte mer. Det er tvert i mot sannsynlig at yteevnen har blitt nedsatt fordi fangst med moderne båter og redskaper på alle verdenshav lenge har vært over det nivå som er biologisk forsvarlig. Økt verdiskaping innen den marine sektor er derfor bare mulig gjennom en videre utvikling av havbruk og gjennom en bedre og mer variert bruk av de biologiske ressurser som finnes i havet. Bioteknologi med innslag av de tilleggsmuligheter som genteknologien gir, vil kunne ha en sentral plass i denne utviklingen og bli en del av den kunnskapsbaserte industri som vi ønsker å skape i vårt land. Den industri man kan se konturene av er fremmed for dagens fiskeri- og havbruksnæring. Det kan synes uvirkelig for mange at den nye industrien vil være mer interessert i de gener som marine organismer er utstyrt med, enn å få rettigheter til fangstkvoter.

Marin bioteknologi gjør seg gjeldende allerede

Bioteknologi gjør seg allerede gjeldende i norsk fiskerinæring, men er likevel fremdeles et fremmedelement. Norske bedrifter produserer vaksiner til oppdrettsfisk etter de samme kvalitetsnormer som gjelder for andre husdyrvaksiner, og bioteknologiske metoder brukes i fiskeforedlingsindustrien. Det siste dreier seg først og fremst om bruk av marine enzymer, isolert fra fiskeavfall, som prosesshjelpemidler. Eksempler på dette er bruk av enzymer til å:

- fjerne skjell fra fiskeskinn
- frigjøre rogn fra bindevevshinnene i rognsekker som første trinn i produksjon av kaviar
- løse opp seige hinner på blekksprut til konsum
- modne sild
- fjerne parasitter på torskelever som brukes til hermetikk
- produsere peptider fra proteinråstoff

Alt dette er prosesser som faller innenfor den rådende definisjon av bioteknologi: "bruk av celler, eller deler av

celler (eks. enzymer), til å fremstille eller modifisere produkter.”

Marine enzymer har verdifulle egenskaper

Bak disse nokså særegne enzymatiske metodene til foredling av marine næringsmidler ligger det forskning på marine enzymer og deres egenskaper og virkemåte. Denne forskning har dokumentert at det biokjemiske maskineri og de enzymer som finnes i marine og varmblodige dyr, er svært forskjellig. Hadde f. eks. torsken vært utstyrt med de samme fordøyelsesenzymer som grisen, ville den fått forstoppelse og vært ute av stand til å fordøye sitt bytte.

Kunnskap om spesielle egenskaper hos marine enzymer har åpnet veien for mange interessante anvendelser, også innenfor områder som ligger fjernt fra den marine sektor. Noen av disse enzymene kan fremstilles fra avfallsstoffer i fiskeindustrien, fordi de der forekommer i så høye konsentrasjoner at det er mest lønnsomt å utvinne dem derfra. Andre enzymer finnes derimot i så lave konsentrasjoner at de bare kan fremstilles i kommersielle kvanta dersom genet for hvert enkelt av disse enzymene blir klonet i mikroorganismer som bruker genet som produksjonskode for å lage stoffet. Genteknologien gjør det med andre ord mulig å produsere verdifulle marine enzymer ved hjelp av kjent teknologi, ved fermentering.

Produksjon av protein i genmodifiserte bakterier dyrket i fermentor

Fermentoren, dyrkingstanken, inneholder en steril oppløsning av de næringsstoffene som trengs for vekst. Luft- eller oksygentilførselen er nøye kontrollert. Under slike betingelser vokser mikroorganismer raskt. Produksjonen starter i en liten beholder, for deretter å fortsette i en stor produksjonstank. Protein isoleres fra produksjonstanken.

skjematisk tegning av en fermentor (s. 31/32 Bioteknologi for alle)

Arvestoff og gener

Alle levende vesener (organismer) inneholder arvestoff – det er det som gjør det mulig for organismene å få avkom med liknende egenskaper. Arvestoffet består vanligvis av et kjemisk stoff som heter DNA.

I enkle encellede organismer som bakterier finnes DNA som en stor ring krøllet sammen som et nøste inni cellen. Mange bakterier har også små ringer med DNA som kalles plasmider.

I planter dyr og mennesker, som er organismer bygget opp av mange celler, er DNA omgitt av proteiner og fordelt på flere lange tråder som kalles kromosomer. Kromosomene ligger inne i kjernen i hver eneste celle.

Et *gen* er et område på en DNA-tråd som gir informasjon om oppbygningen av et bestemt protein. Proteiner finnes som byggematerialer og enzymer i cellene. Ikke alle proteiner trengs hele tiden eller i alle celler i kroppen. Bare fra gener som er "skrudd på" blir det laget protein. I celler med forskjellige funksjoner, f.eks. hudceller og leverceller, er forskjellige gener skrudd på. Foran genet, sitter det kontrollområder (promotere) som bestemmer når og hvor genet skal være av eller på.

Informasjonen i et gen, kodet i rekkefølgen av baser, overføres til mRNA. Fra mRNA oversettes informasjonen til en bestemt rekkefølge av aminosyrer i et protein.

En bakterie trenger rundt 3-4000 forskjellige proteiner for å kunne fungere, og har følgelig tilsvarende mange forskjellige gener. Flercellede organismer er mer kompliserte og trenger derfor flere proteiner. Planter, dyr og mennesker har opptil 100 000 gener.

Reidunn Aalen

Genteknologi – et hjelpemiddel

Genteknologi omfatter en rekke enkeltteknikker som gjør det mulig å isolere gener fra arvestoffet i en organisme, deretter mangfoldiggjøre isolerte gener utenfor levende celler, for så å føre genene inn igjen i en levende celle (bakterie, sopp, dyr, plante), og til slutt få cellene med det kunstig tilførte gen å lage det produkt som genet dikterer. Biokjemisk kunnskap om naturstoffene kommer først, og er en nødvendig forutsetning for å kunne ta teknologien i bruk. Fermenteringsteknologien er kjent og velprøvd, og renseteknologien er den samme enten man isolerer et stoff fra fiskeavfall eller fra celler som har vært dyrket i fermentor. På denne måten faller genteknologien naturlig inn i en eksisterende industriell tradisjon, og det er et lite sprang både faglig og teknologisk for den biokjemiske

industri som i dag utvinner finkjemikalier fra fiskeavfall, å innlemme genteknologien i virksomheten.

Marine organismer er lite undersøkt

Forutsetningene for at det skal kunne skapes en marin bioteknologisk industri i Norge, med genteknologi som et naturlig innslag, er at man har hellet med seg og oppdager molekyler med unike egenskaper og store kommersielle muligheter. De forutsetninger som naturen selv har skapt synes å være de aller beste, og firmaer i Norge er i full gang med å klonere og patentere gener som ikke tidligere har vært kjent.

Sammenlignet med utforskningen av planter, dyr og mikroorganismer på land, er marine organismer lite undersøkt. Det er nok å minne om at norske forskere nylig har oppdaget et kjempestort korallsystem på havdypet utenfor Norge, og at det sannsynligvis bare der er et utall ukjente organismer som lever sammen og samvirker biokjemisk med signalstoffer som er ukjente i dagens biokjemi. For forskere som vil gi seg inn på spennende oppdagelsesreiser i en ukjent verden, er det godt å vite at det marine økosystem er svært rikholdig når det gjelder artsmangfold og biologiske tilpasninger til mange ulike miljøforhold.

Marine organismer skiller ut kjemiske stoffer som oppløst i vannmassene påvirker andre organismer i samme økosystem. Slike kjemiske stoffer bidrar til å holde organismene i en form for innbyrdes økologisk likevekt ved å påvirke sentrale biologiske funksjoner som vekst, formering, utvikling, død, bevegelse, osv. Den årvåkne forsker som jakter på biologisk aktive stoffer, har her en rik kilde å utforske.

Studier av biokjemiske prosesser og stoffer i det marine miljø byr kanskje på de samme muligheter for vitenskapelige nyvinninger og kommersielle gevinster som de som i tidligere generasjoner fulgte i kjølvannet av oppdagelsesreiser og naturhistoriske undersøkelser i uberørt natur. Nåtidens ekspedisjoner vil imidlertid være utstyrt med biokjemikerens og genteknologens verktøy. En kommentar til slike vyer; store farmasiselskaper vender i økende grad oppmerksomheten mot det marine miljø på leting etter stoffer med biologisk virkning, særlig antibiotika og stoffer som kan tenkes å ha en virkning på utvikling av kreftceller.

Nye antibiotika og andre bioaktive stoffer

Det marine økosystem er på mange måter forskjellig fra livet på land. Alle organismene i det akvatiske økosystem "bader" i samme vann. Alle de synlige aktørene i dette økosystem -- fisk og skalldyr i ulike utviklingsstadier, plante- og dyreplankton, tang og tare -- må forholde seg til en flora av mikroorganismer som konkurrerer innbyrdes, og som i artssammensetning og totalmengde varierer sterkt i løpet av året. Ingen organisme i havet kan unngå den direkte følge av at sammensetningen av mikroorganismer og plankton forandrer seg radikalt som følge av sesongmessige svingninger i lys og temperatur, og de må justere sitt stoffskifte i takt med slike svingninger og tilgang på næring. Gjennom millioner av år har dyr i havet utviklet mekanismer til å mestre en varierende og periodevis meget farlig mikroflora som bokstavelig talt kommer dem direkte inn på livet. Det er derfor god grunn til å forvente at det i slike økosystemer finnes mange og svært varierte mekanismer for kontroll av vekst hos mikroorganismer og stoffer med antibiotisk virkning.

Det var i tråd med våre forventninger at skjell som i lange perioder av året livnærer seg av en variert blanding av bakterier på havdypet i nord, inneholder helt andre bakteriehemmende stoffer enn dem som har vært kjent fra før. Det er dokumentert at skjell i nordlige farvann har utviklet et meget raffinert system for drap av mikroorganismer, og de er utstyrt med bakteriedrepende enzymer som virker ved temperaturer helt ned mot frysepunktet.

De forskjellige antibakterielle stoffene i arktiske marine skjell, kan ikke utvinnes i kommersielle kvanta fra disse råstoffene. Men skjell er en kilde til gener som styrer produksjon av antibiotiske stoffer. Skal slike nye antibiotika noensinne kunne få noen praktisk nytte, må genteknologiens metoder tas i bruk. Norske forskere og norske firmaer er derfor i gang med å klonere genene for de mest lovende stoffene fra marine skjell, med tanke på å produsere dem kommersielt ved fermentering. Den biokjemiske del av denne forskningen åpner samtidig for spennende muligheter til å studere sammenhenger mellom immunologiske og bakteriedrepende mekanismer hos primitive dyr, og de mer spesialiserte mekanismer hos høyere.

Genmodifiserte organismer

Genteknologi gjør det mulig å sette arvestoff (DNA) sammen på nye måter og overføre DNA mellom organismer. Når DNA er kombinert på nye måter, kalles det ofte for rekombinant DNA. Organismer som har fått endret arvematerialet sitt ved hjelp av genteknologi kalles genmodifiserte organismer, ofte forkortet til GMO. Informasjonsinstruksen i genene, den koden som forteller hva slags protein som skal lages, er i prinsippet den samme i alle organismer. Dette er grunnen til at en bakterie er i stand til å lage et protein f. eks fra et rekegen, og at en fisk kan utnytte et gen f.eks. fra en annen type fisk.

Rent DNA kan isoleres fra celler som først er åpnet. DNA kan deretter "klippes opp" med biologiske sakser som kalles restriksjonsenzymmer, og "limes sammen" med annet DNA med enzymet ligase. Et rekegen kan f.eks limes inn i et plasmid isolert fra en bakterie, som deretter settes tilbake i bakterien. Hvis det sitter en bakteriepromoter (startsignal fra bakterier) foran et rekegen kan rekegenet bli skrudd på og bakterien lage rekeprotein.

Vil man sette inn et nytt enkeltgen i fisk og dermed genmodifisere den, kan man sprøyte inn mange kopier av genet inn i befruktede fiskeegg. Det nye genet kan da sette seg inn på tilfeldige steder i fiskens eget arvemateriale. Når fiskeegget utvikler seg til en fisk vil alle fiskens celler inneholde det nye genet. Genets promoter vil kontrollere i hvilke celler eller vev genet er skrudd på og protein blir laget. Med denne teknikken kan man både sette inn ekstra kopier av fiskens egne gener eller gener fra andre organismer.

Reidunn Aalen

Tilpasning til lav temperatur

Det marine miljø er kaldt, spesielt i våre farvann. Derfor har marine organismer fått tilpasset sitt biokjemiske maskineri til lave temperaturer. Enzymene i marine organismer har med andre ord utviklet seg slik at de virker bedre ved lavere temperaturer enn enzymer hos varmblodige dyr. Dessuten lar marine enzymer seg lettere ødelegge ved oppvarming. Begge disse særtrekk, høy virkningsgrad ved lave temperaturer og lav stabilitet ved høye, byr på mange interessante teknologiske muligheter. Marine organismer som lever i kalde nisjer rike på protein og fett, inneholder helt sikkert fremtidige "vaskemiddelenzymer" som virker ved lavere temperaturer enn dagens, og som lettere lar seg inaktivere etter bruk. Det ville være en betydelig miljøgevinst i den vestlige verden om temperaturen i vaskevann kunne senkes 10-20 °C uten at virkningen av enzymene ble mindre. I store deler av verden er man henvist til å vaske sine klær i så kaldt vann at dagens kommersielle vaskemiddelenzymer ikke er virksomme. Genene for

enzymene som virker ved lave temperaturer, kan høstes fra det marine miljø, og ved hjelp av genteknologiske metoder settes inn i en produksjonsorganisme som lager enzymene i fermentor.

Etterspørselen etter lavtemperaturenzymer viser seg også på mer sofistikerte områder. Marine enzymer produseres f.eks. allerede til bruk innen molekylærbiologi. Dette gjelder enzymet alkalisk fosfatase fra reke. Dette enzymet brukes til å fjerne fosfatgrupper i endene av DNA-fragmenter. Siden enzymet kan ødelegges igjen ved oppvarming, har det et stort fortrinn framfor det tilsvarende enzym fra varmblodige dyr, og det brukes derfor i molekylærbiologiske og genteknologiske sammenhenger. Marine organismer er kilde til gener for en rekke andre lavtemperaturenzymer som har åpenbare fortrinn innenfor molekylærbiologi og moderne diagnostikk, f.eks. nukleaser med ulik spesifisitet, som uracil-DNA-glykosylase. Genteknologien har gitt oss muligheten for å ta i bruk marine gener for stoffer med slike kommersielle fortrinn.

Biokjemiske studier er en forutsetning

Genteknologiens suverene metoder og resultater kan lett overskygge det faktum at det dreier seg om et teknologisk hjelpemiddel som ikke kan tas i bruk før man kjenner naturhistorien. Man kommer ikke utenom å gjøre studier av biokjemiske prosesser, produkter og biologiske tilpasninger i det marine miljø til en nasjonal hovedsak dersom marin bioteknologi og genteknologi skal kunne gi den uttelling som det er grunn til å forvente. Det er kunnskap om biokjemiske mekanismer og biologiske særtrekk som skaper idéer om praktiske anvendelser og kommersielle muligheter. Det er sjeldent fruktbart å starte i den andre enden og spørre "markedet" hva det er interessert i å utforske.

Biokjemikalier i fiskeavfall – konkurranse fra genteknologien?

Den moderne bioteknologi som bruker marine organismer som råstoff for gener, vil ikke fortrenge den bioindustri som bruker marine kilder, f.eks. fiskeavfall, som råstoff. Bioprodukter fra fiskeindustrien vil være den beste og billigste kilden til produksjon av verdifulle proteiner og peptider som kan anvendes i spesialfôrmidler og dyrkningsmedia for mikroorganismer. Bioteknologiske produksjonsmetoder vil heller ikke kunne bli noe alternativ til dagens industrielle utvinning av polysakkarider fra tang og tare, og kitin/kitosan fra rekeskall. Derimot vil genteknologien være et viktig redskap til å utvikle nye

anvendelsesområder for proteiner og polysakkarider og til modifisering av eksisterende produkter. Derfor vil den gryende bioteknologiske industri som i dag anvender marine avfallstoffer som kilde til utvinning av ulike spesialprodukter, herunder enzymer til bruk innen molekylærbiologi, være det naturlige industrielle grunnlag å bygge videre på når vi i Norge utvikler en moderne bioteknologisk industri knyttet til den marine sektor.

Genteknologi – nødvendig beredskap for oppdrettsnæringen

Utviklingen av norsk fiskeoppdrett har vært et av de mest bemerkelsesverdige eksempler på ny næringsutvikling i Norge i de siste 20 år. Denne næringen er vokst frem som resultat av en meget heldig kombinasjon av gunstige naturgitte forutsetninger, kompetanse hos kystbefolkningen, god infrastruktur, erfaring fra internasjonale markeder for fisk, og entusiastisk støtte fra forskningsmiljøer innen alle de sektorer som blir berørt av moderne havbruk. Da sykdomsproblemene i norsk lakseoppdrett meldte seg for fullt på 80-tallet, hadde man et faglig grunnlag for mottiltak i form av gode vaksiner mot bakteriesykdommene. Derimot ville man stått hjelpeløse overfor trusselen fra sykdommer forårsaket av virus, uten den genteknologiske revolusjon. Den første kommersielle vaksine mot virussykdom i akvakultur ble produsert her i landet ved hjelp av rekombinant DNA-teknologi. Dette er en form for faglig beredskap en så viktig næring som norsk fiskeoppdrett ikke kan være foruten. Derimot bør man her til lands, etter mitt skjønn, være noe mer tilbakeholden når det gjelder de mulighetene som genmanipulering av selve oppdrettsfisken utvilsomt byr på.

Før oss ikke inn i fristelsen!

Ordet genteknologi har negativ klang i manges ører. Dette henger framfor alt sammen med at de genteknologiske teknikkene har gitt mennesket et redskap som kan brukes til å tukle med selve skaperverket. Tanken på at vi kan manipulere med arvestoffet i en art, rører ved selve grunnfjellet under den etikk og moral som er en fellesnevner i vestlige samfunn, uansett om man bekjenner seg til en tro eller har frigjort seg fra de religiøse dogmer som preger oss alle. Det er uakseptabelt for svært mange at vi som mennesker skal kunne tillate oss å endre på arvemassen hos våre husdyr i den hensikt å få dem til å gi større kommersiell gevinst.

Det går an å møte slike følelsesmessige og moralistiske motforestillinger med faglig sunn fornuft, og prøve å oppdra den brede hop i biokjemisk rasjonalitet. Jeg tror

imidlertid at dette er dødfødt, fordi den moderne verden allerede har beveget seg så langt i retning av produksjonseffektivisering på dyrenes bekostning at et kvantesprang videre i samme retning ikke vil bli godtatt, selv ikke hos folk som er fascinert av genteknologiens finesser og enestående muligheter.

Min egen holdning er preget av disse overordnede forhold og av dagens utvikling innen moderne husdyrhold, også når det gjelder havbruk. Vi må selvsagt kunne faget og være på høyden innen genteknologisk forskning, men vi må ikke gjøre det til noen prioritert oppgave å ta genteknologiske metoder i bruk for å forbedre produksjonsegenskapene hos våre husdyr, enten de befinner seg i fjøs eller i notposer i sjø. Uansett hva man måtte mene om faglige og biokjemiske sider av dette spørsmålet, ligger det en risiko for å ødelegge et milliardmarked for oppdrettsfisk dersom vi skulle falle for fristelsen og utstyre fisken med "gode" gener ved hjelp av genteknologiske metoder.

Dette synspunkt kan virke bakstreversk og lite visjonært i forhold til morgendagens utfordringer i en beinhard konkurranse med produsenter som lar de økonomiske lover råde. Mitt svar til en slik eventuell innvending er at vi heller bør beholde genteknologiens suverene metoder til områder som kan gi store gevinster for Norge, f. eks den del av bioteknologien som omfatter bruk av verdifulle marine gener for å kunne lage stoffer som kan lindre og forhindre lidelser hos dyr og mennesker.

Ny teknologi og etikk

Intervju med Matthias Kaiser, sekretariatsleder for Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi (NENT).

Journalist Geir Olav Melingen

Det er viktig at alle berørte parter slipper til med sine synspunkter før vi bestemmer oss for å utvikle en genmodifisert fisk. Det er mye usikkerhet forbundet med genmodifisering, og for at vi skal ta en ansvarlig avgjørelse, må det ikke bli slik at markedskreftene alene bestemmer hvilke produkter som skal komme på markedet, sier Matthias Kaiser.

Matthias Kaiser poengterer at når vi snakker om genmodifisert fisk, er det viktig å komme inn på det faktum at vi har med en teknologi å gjøre hvor det hersker en god del usikkerhet. "Det er mye vi ikke vet, vi har mangelfulle data og utilstrekkelig kunnskap. Dette medfører at vi ikke har grunnlag til å forutse hva som kan skje," hevder Kaiser. "Uten denne usikkerheten kunne vi brukt modeller til å forutse ulike konsekvenser, noe som ville forenklet etikken mye. Med den usikkerhet som hersker rundt genmodifisert fisk, kommer etikken inn med en helt annen betydning og tyngde. Vi må ta ansvarlige beslutninger som samfunnet kan stå inne for. Det betyr egentlig to ting. For det første at vi må forholde oss til mulige konsekvenser. Forskere snakker ofte om at det er lite sannsynlig at uheldige konsekvenser vil inntreffe. I den etiske debatten må man imidlertid også ta hensyn til det usannsynlige."

Kaiser ser ikke noe galt i å ta slike sjanser, men problemet er at det alltid er noen parter som er villige til å ta større risiki enn andre. For eksempel vil gjerne en produsent være villig til å ta en større risiko enn en forbruker. I tillegg vil det som oppfattes som akseptabel risiko, eller etisk forsvarlig, være forskjellig for ulike grupper i samfunnet. Dette avhenger mye av den enkeltes verdigrunnlag.

Føre var-prinsippet

Den industrielle og økonomiske utviklingen har medført at en stadig større del av naturens ressurser blir underlagt menneskelig utnyttelse og styring. De tilsiktede virkninger av økonomisk velstand og økt livskvalitet i

del av verden er lett synlig. Mange naturinngrep har imidlertid skapt utilsiktede, negative miljøvirkninger som belaster nåværende og fremtidige generasjoner, og som kan bety varige endringer for det naturlige miljø.

Bilde: "LAKS I ELVA"

Vi har ikke kunnskaper om hva som kan skje hvis genmodifisert fisk rømmer. Føre var-prinsippet innebærer at man tar hensyn til denne usikkerheten.

"Med føre var-prinsippet mener vi at en skal handle på en slik måte at usikkerheten ikke skal gå på bekostning av naturen," sier Matthias Kaiser. "Vi må ikke ta beslutninger som skader naturen på en irreversibel måte. Selv om vi utvikler en genmodifisert fisk, må det ikke bli slik at den må tas i bruk og komme på markedet for enhver pris. Vi må ikke la markedet styre hvilke produkter som skal komme på markedet. Denne prosessen må være ledsaget av en omfattende etisk diskusjon, hvor alle berørte parter slipper til."

Vurderingene kan for eksempel variere i uland og iland. Uland sliter med helt andre og større problem enn tilfellet er i iland, noe som ofte medfører en vilje til å ta høyere risiko i uland. Genteknologien var tenkt å bidra til å løse store problemer den fattige del av verden stod overfor. Matthias Kaiser synes derfor det er skuffende å se at de genmodifiserte produktene som er kommet på markedet, ensidig har vært til fordel for produsentene, som er å finne i den rike del av verden. Produsentene i denne sammenheng er ikke bønderne, men store konsern som leverer industrielle produkter til landbruket. Argumenter som brukes for genmodifisering derimot, er at dette skal komme ulandene til gode. Det har vi ennå ikke sett noe til, sier Kaiser.

Konsistens i den etiske argumentasjon

Etiske argumenter må være konsistente og konsekvente. "Den endring i skaperverket som skjer i et laboratorium er ikke annerledes enn den endring som skjer på andre måter, for eksempel ved klassisk avl," sier Kaiser. "Så hvis man mener det er etisk forsvarlig å endre skaperverket ved klassisk avl, er det inkonsekvent å ikke godta genmodifisering med moderne metoder. Det er

problematisk å skulle etablere spesielle etiske regler for moderne genteknologi som ikke skal gjelde for annen teknologi.” Han viser her til andre forandringer av naturen, eksempelvis hva sur nedbør har gjort i en del områder hvor skaperverket er endret ved at arter har forsvunnet.

Han skynder seg imidlertid å poengtere en vesentlig forskjell mellom disse to metodene – hastigheten. Ved klassisk avl skjer mange små forandringer over lang tid, mens bruk av genteknologi kan gi store forandringer på kort tid. Det er en vesentlig forskjell. Ved små forandringer over lengre tid kan vi sakte men sikkert opparbeide kunnskap som bedre kan være med å forutsi konsekvensene av de forandringer en gjør. Men slik det er i dag, med den kunnskap vi har, er det fremdeles stor usikkerhet forbundet med begge metoder. I denne sammenheng ser Kaiser også viktigheten av å drive forskning innen fagfeltet genteknologi. Han synes det er viktig å se på hvilke muligheter genmodifisert fisk gir, og ser at dette kan tilføre oppdrettsnæringen både ny kunnskap og nye impulser. Etter Kaisers oppfatning er det like etisk uansvarlig å overse de positive muligheter genmodifisert fisk har, som å gjennomføre de negative. Derfor er det både riktig og viktig å drive forskning på området, poengterer Kaiser.

Kost-nytte-analyser er utilfredsstillende

Noe som Kaiser ser kan virke skremmende på mange er mulighetene som ligger i genteknologien. Skrekkvisjonen er en ”designet natur”, hvor alt er skreddersydd etter menneskets mål og mening. Denne bekymring har Kaiser stor forståelse for. Imidlertid ser ikke Kaiser at denne bekymring svarer helt til de konkrete muligheter en ser i bruk av denne teknologien. Det som Kaiser ser som mer aktuelle og konkrete problemstillinger, er å takle usikkerheten forbundet med teknologien. Det er viktig å ha i bakhodet at vi ikke vet noe med 100 % sikkerhet. Det som er en sannhet i dag, kan i fremtiden vise seg å ikke stemme.

Fagfolk flest er åpne for etiske problemstillinger, men avslutter ofte den etiske refleksjon alt for tidlig. De ser på konsekvenser, veier for og imot, og lager ut fra dette en slags kost-nytte-modell. Matthias Kaiser sier ikke at det er direkte galt med en slik type tenking, men det er etter hans oppfatning ikke tilstrekkelig å ta en slik moderne økonomisk tenkning i bruk som utgangspunkt for den etiske diskusjon. For det første er det stor usikkerhet knyttet til konsekvensene, og for det andre er det en

svakhet at disse kost-nytte kalkylene sjelden tar hensyn til hvem som får nytten, og hvem som får skaden.

Offentlig debatt er nødvendig

Matthias Kaiser mener at i tillegg til kost-nytte modeller, må selve beslutningsprosessen vektlegges mer. Ikke bare utfallet er viktig i en etisk vurdering, men minst like viktig er det hvordan man kommer frem til en avgjørelse. Som Matthias Kaiser sier det, vi vet egentlig ingenting med 100 % sikkerhet, og alle kan ta feil. Derfor er det ikke nødvendigvis bare viktig å komme frem til et godt utfall, men at det skjer via en prosess der alle involverte parter trekkes inn. Diskusjonen om genmodifisert fisk og etikk bør derfor ikke bare skje blant eksperter, men derimot åpnes opp mot brede samfunnsgrupper. Det er viktig at alle parter får mulighet til å markere sin mening i et forum der de blir hørt, og at en i prosessen så langt som mulig tar hensyn til de ulike interesser og verdier som finnes.

Om man i en slik prosess kan klare å komme fram til en konsensus, vil det være storartet, men dette er ikke nødvendig. Hensikten med debatten er å få fram alle syn og motforestillinger, slik at beslutningsgrunnlaget blir bredest mulig. I tillegg vil det bli mulig å i ettertid plassere ansvaret for beslutningen dersom negative konsekvenser skulle oppstå.

Ydmykhet

Matthias Kaiser synes også at enkelte grupper og eksperter ikke bør uttale seg så skråsikkert som de gjør. Han synes derimot at disse gruppene bør ha større ydmykhet overfor det vi vet eller ikke vet. Når det gjelder genmodifisering og fiskeoppdrett, bør vi stille oss spørsmålet om vi kan oppnå samme effekt med andre tiltak som er mer akseptable og tryggere.

Norge ligger noe etter land vi sammenlikner oss med når vi ser på debatten om genmodifisering. Folk har holdninger og synspunkter, men det er få som har særlig reflekterte holdninger om genteknologi. Kaiser savner også kunnskap og begrunnelse bak de ulike synspunktene. Dette har preget debattkulturen i Norge, hvor fokus har vært rettet for mye på standpunkt i stedet for argumenter. Det har rett og slett vært for lite formidling av relevant informasjon, hevder Kaiser. I tillegg må den etiske debatten drives på et mer profesjonelt grunnlag. Det krever imidlertid at næringen setter av midler til etikkdebatten. ”Vi må ikke ha det slik at vi sier at vi tar etikken alvorlig, mens vi samtidig ikke gjør noe,” avslutter Kaiser.

Fôr og fôrtilsetninger

Seniorforsker Grethe Rosenlund
Nutreco Aquaculture Research Centre AS

En grunnleggende innsatsfaktor i moderne oppdrett av fisk er tilgang på effektive fôr. Med dette menes fôr som gir god vekst og høy utnyttelse samtidig som det sikrer god fiskehelse og produktkvalitet til forbruker. Fôret må heller ikke inneholde komponenter som kan være skadelige for miljøet. For oppdretteren er det også viktig at fôret har en akseptabel pris.

Dagens situasjon og forventet utvikling

Et typisk vekstfôr til laks består idag av 46% protein, 34% fett, 12% karbohydrat og 8% aske på tørrstoffbasis. Fiskemel og fiskeolje spiller en dominerende rolle som henholdsvis protein- og fettkilde. I tillegg til disse kan råvarer fra planter og encelleorganismer samt biprodukter fra slakteriene inngå som protein- og/eller fettkilde i fiskefôr. Bruken av slike råvarer varierer mellom ulike land og fiskearter. Videre inneholder fiskefôr industrielt framstilte produkter som for eksempel vitaminer og fargestoff (i fôr til laksefisk). Denne gruppen fôrkomponenter omfatter en rekke livsviktige næringsstoffer som fisken må ha tilført gjennom fôret.

I følge FAO (FNs matvareorganisasjon) vil forventet vekst i verdens akvakulturindustri medføre at behovet for tørrfôr øker fra 3,6 millioner tonn i 1994 til 8,6 millioner tonn i 2010. Dette tilsvarer et behov for henholdsvis 25% og 100% av verdens totale produksjon av fiskemel og fiskeolje til fiskefôr, selv når en forutsetter økt bruk av andre proteinråvarer og bedre fôrutnyttelse (lavere fôrfaktor) enn hva som er praksis idag. Da verdens produksjon av fiskemel og fiskeolje ikke forventes å øke utover dagens nivå, betyr dette økende konkurranse om disse råvarene i neste tiårsperiode. I første omgang fører det til prisstigning, men det forventes også reell mangel på fiskeolje som råvare til fiskefôr. Økt bevissthet fra forbruker vil høyst sannsynlig bidra til en utvikling der fiskeoppdrett blir en nettopprodusent av fiskeprotein, det vil si en situasjon der mindre råstoff fra fisk brukes til fiskefôr. Samtidig er det økt skepsis blant en del forbrukere til at biprodukter fra husdyr brukes i fôr til fisk

(jfr. diskusjonen omkring kugalskap og eksklusjon av slike råvarer i norsk fiskefôr). Akvakulturnæringen trenger derfor flere alternative råvarer for å sikre videre vekst og utvikling, og det er naturlig å rette blikket mot det store potensialet som planter og mikroorganismer representerer. Genteknologien kan styrke råvaresituasjonen for akvakulturindustrien.

Et grunnleggende prinsipp ved formulering av fôr er at fisk, som andre dyr, ikke har behov for spesifikke råvarer, men for spesifikke næringsstoffer og energi. Dette er et prinsipp som, særlig når det gjelder å blande ulike proteinråvarer, brukes i økende grad i produksjonen av formulert fôr til fisk. Dette betyr også at genmodifiserte råvarer som er offentlig godkjente og aksepterte, og som videre tilfredsstiller de kravene fôrprodusenten stiller, bør kunne inngå i utvalget av råvarer som er aktuelle til fiskefôr. Med bakgrunn i den omfattende forskning som skjer internasjonalt, vil ulike planteråvarer (f.eks. soya, raps, mais, hvete) sannsynligvis være de første genmodifiserte råvarene som er aktuelle i norsk fiskefôr.

Planter som fôrvare

Sammenlignet med råvarer basert på fisk, kan ubehandlede vegetabiliske råvarer ha en lavere næringsverdi for fisk. Dette er knyttet både til innholdet av nødvendige næringskomponenter, som aminosyrer og fettsyrer, og til det faktum at mange planter inneholder antinæringsstoffer som hemmer fordøyeligheten og nedsetter utnyttelsen av råvaren. Genteknologi kan være et nyttig verktøy til å modifisere planter og mikroorganismer i en retning som tilfredsstiller behovene for råvarer til produksjonen av fiskefôr. Dette vil kunne styrke råvaresituasjonen, og derved på litt lengre sikt redusere avhengigheten av marint råstoff.

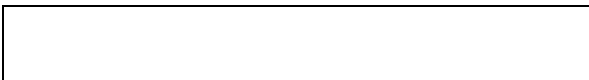
Genteknologi i planter har hittil stort sett vært brukt til å endre plantenes motstandskraft mot insekter og sprøytemidler, men vi ser etterhvert større interesse for å anvende denne teknologien til å endre plantenes næringsinnhold i forhold til et gitt behov. Vi kan også tenke oss å bruke genteknologiske metoder for å produsere spesifikke næringsstoffer (aminosyrer, fettsyrer) eller tilsetningsstoffer (enzymmer, pigment). Det er stor sannsynlighet for at raps eller andre oljefrøplanter i fremtiden også kan inneholde langkjedete, flerumettede n-3 fettsyrer i samsvar med ernæringsbehovene til fisk. Fraværet av slike fettsyrer i vegetabiliske oljer er kanskje den vesentligste forskjellen på planteoljer og fiskeoljer, og derved avgjørende for deres bruk i fôr til fisk. Det arbeides også med å endre proteinsammensetningen blant annet i raps. Generelt inneholder vegetabiliske proteiner

for lite av enkelte essensielle aminosyrer i forhold til ernæringsbehovene hos fisk. Dette må fôrproduzentene daglig ta høyde for i sitt optimaliseringsarbeid.

Genteknologi åpner videre for muligheten til å redusere eller fjerne innholdet av antinæringsstoffer samt for å øke tilgjengeligheten på ellers utilgjengelige forbindelser i vegetabiliske råvarer. Enten kan man modifisere selve planten, eller framskaffe spesifikke enzymer. For eksempel inneholder mange plantefrø fosfor i en form som ikke er tilgjengelig for enmagede dyr, som fisk. Tilsetning av enzymet fytase gjør fosforet mer tilgjengelig for fisken, slik at vegetabiliske råvarer som soya kan benyttes i fôret uten å måtte tilsette fosfor. Dette er positivt for det ytre miljøet.

Mikroorganismer som fôrproducenter

Allerede for 30 år siden var det svært aktuelt å bruke mikroorganismer til å produsere protein (encelleprotein) ved bruk av tradisjonelle bioteknologiske metoder der råstoffet var biprodukter fra oljeindustrien. Oljekrisen satte en effektiv stopper for denne utviklingen, men i dag er igjen denne typen produkter aktuelle. Dagens produksjon anvender naturlige mikroorganismer, men vi må anta at sammensetningen av protein produsert ved hjelp av mikroorganismer kan skreddersys ytterligere for bruk i fiskefôr gjennom genmodifisering av mikroorganismen. Forutsatt at produktet innfrir kravene til en trygg og akseptabel råvare, kan bruk av genmodifiserte mikroorganismer bidra positivt til å omdanne ressurser, som ellers kan være en potensiell forurensing, til høyverdige proteinkilder for eksempel for fiskefôr. Genmodifiserte mikroorganismer og moderne fermenteringsteknologi (se figur XXXX) åpner for utallige muligheter når det gjelder produksjon av produkter som kan være aktuelle som råvare eller tilsetningsstoff i fiskefôr. Mest aktuelt i denne sammenheng er sannsynligvis forskning rettet mot å øke tilgjengeligheten på astaxanthin (gir rødfarget laksekjøtt) fra ulike naturlige kilder, som for eksempel gjæren Pfaffia.



Encelleproteiner

Encelleorganismer som bakterier, gjær og alger kan være et supplement til tradisjonelt fremstilt fiskefôr. Prisen på det produserte encelleprotein vil avhenge av hvilke næringsstoffer mikroorganismene trenger for å vokse. Naturgass inneholder metan, et ideelt og billig utgangsmateriale for produksjon av bakterier, f. eks *Methylococcus capsulatus*, som nettopp trives og vokser på metangass. Med Norges rike ressurser på naturgass har vi et ideelt utgangspunkt for overføring av gass til proteiner som bl.a. kan brukes til fiskefôr. Produksjon av proteiner med utgangspunkt i en gass som metan krever helt spesielle tekniske anlegg. Et firma i Stavanger, Nordferm, arbeider med konkrete planer om konvertering av naturgass til encelleproteiner.

Norges muligheter

Norge har hittil hatt en svært restriktiv politikk når det gjelder å godkjenne genmodifiserte produkter. Utviklingen internasjonalt gjør det imidlertid stadig vanskeligere å garantere at en råvare som for eksempel soya, er fullstendig fri for genmodifiserte bønner. I framtiden forventer vi en høyere pris på råvarer som er garantert ikke genmodifiserte. Det betyr dyrere fiskefôr og høyere pris på fisken til forbruker. En ensidig restriksjon på bruk av genmodifiserte råvarer i norsk fiskefôr vil derfor også kunne gjøre denne viktige eksportnæringen mindre konkurransedyktig. En bærekraftig akvakulturindustri er avhengig av økt tilførsel av råvarer til framstilling av fôr. Dette bør i størst mulig grad søkes fra lavere trinn i næringskjeden. Genteknologi kan være et effektivt verktøy for å gjøre disse kildene mer egnet som råvarer i fiskefôr. Det er imidlertid avgjørende at genmodifiserte råvarer dokumenteres fri for andre utilsiktede effekter som for eksempel mulig overføring av antibiotikaresistens, utløsning av allergireaksjoner, toksiner, nedsatt fordøyelighet o.l. I dette ligger også generell evaluering av risiko ved produksjon og konsum av slike råvarer. Det vil videre være avgjørende at forbruker aksepterer bruk av genmodifiserte råvarer. En åpen dialog med god utveksling av dokumentert informasjon vil være viktig i det videre utviklingsarbeidet.

Bruk av genteknologi som verktøy ved fiskeavl og kartlegging av fiskestammer

Forskningsdirektør Geir Gogstad, Biosoft AS

Genteknologi assosieres ofte med biokjemisk manipulert flytting av gener mellom arter. Genteknologisk metodikk er imidlertid mest av alt et slagkraftig analytisk verktøy som kan anvendes blant annet i forbindelse med avlsarbeid og karakterisering av stammer innen landbruk og havbruk.

Fiskeoppdrett og avl

Utviklingen av akvakulturen har presset fram avlstilltak hos en del arter på grunn av de problemer man møtte når fisken ble overført fra sine naturlige biologiske miljø til oppdrettsanleggene. Mange av de egenskapene fisk i vill tilstand har tilegnet seg er langt fra optimale i en oppdrettssituasjon. For eksempel har laksen i naturlig tilstand en spesialisert livssyklus i vekselspill mellom hav og vassdrag. En stor tetthet av fisk i saltvann er ikke uten videre forenlig med laksens naturlige forhold, og kan ha vært en av årsakene til stor dødelighet som følge av stress og spredning av smittsomme sykdommer. Mange problemer har blitt løst ved hjelp av tiltak som vaksinerings, tilpasning av fôr, og røkt. Imidlertid sto man stadig igjen med en del fundamentale problemer eller ønsker om endrede egenskaper knyttet til for eksempel bedre sykdomsresistens, veksthastighet, fôrutnyttelse, tid til kjønnsmodning og kjøttkvalitet. Alle disse faktorene står under sterk genetisk kontroll.

Bilde: "GENKART" (nps)

Avlesning av gener

Konvensjonell avl på atlantisk laks har gitt gode resultater på bedring av veksthastighet, og kontroll av tiden til kjønnsmodning. Imidlertid er det mye igjen å hente. Vanlige avlsmetoder har begrensninger, ikke minst i hastigheten man kan forflytte egenskapene i en stamme

med. De egenskaper vi ønsker å påvirke er ofte styrt samtidig av flere gener som kan påvirke hverandre. Dette betyr at avl utført utelukkende på grunnlag av de ytre egenskapene (fenotypen) gir begrenset kontroll av de underliggende genetiske egenskaper hos foreldrene. Totalt sett nedsetter dette effektiviteten og forutsigbarheten i avlsarbeidet.

Genteknologi i avl

Det hjelpemiddel genteknologien tilbyr for å forbedre avlsteknikkene er å ta i bruk kart over gener for forskjellige egenskaper. Slike genkart kan nemlig benyttes til å velge ut de beste kombinasjoner av fisk som deretter krysses for å gi avkom med gode egenskaper for oppdrett, med en høy grad av forutsigbarhet.

En komplett kartlegging av genmaterialet i en art er en enorm oppgave. Et slikt arbeide pågår for tiden for menneskets genmasse (HUGO-prosjektet), og er kun mulig ved at et stort antall laboratorier samarbeider på internasjonalt nivå over en årrekke. Parallelt med Det human genomprosjektet kartlegges også genomer fra bakterier, en plante (vårskrinneblom) og dyr (rundorm, bananflue og mus). For de ulike dyr og planter man ønsker å kartlegge med henblikk på avl må man ty til andre og enklere metoder for at oppgaven skal bli overkommelig. Slike metoder kan best beskrives som tilnæringsmetoder der man leter etter spesielle markører i genmassen. Markørene er tilfeldig valgte små deler av DNA-kjeden. Disse markørene viser variasjoner mellom individene hos en art, og lar seg analysere på en enkel måte i hvert individ. Vi er altså ikke avhengige av å finne genene i seg selv, bare vi kan finne noe i DNA-kjedene som ligger så nær at vi kan si det representerer genet eller genene for en gitt egenskap. I griseavl tester man f. eks. for genet for stress.

Genetisk variasjon

Arvestoffet i høyerestående organismer som fisk er fordelt på mange kromosomer. I kroppscellene er det to kopier av hvert kromosom, mens kjønnscellene har ett sett kromosomer. Avkom, som oppstår etter sammensmelting av en kjønnscelle fra en hunn og en hann, får ett kromosomsett fra moren og ett fra faren.

Mange grunnleggende funksjoner, f.eks. nedbryting av næringsstoffer, er felles for ulike organismer og de har derfor en del liknende gener. På den annen side er det karakteristiske forskjeller i arvematerialet som gjør at organismer fra ulike arter er forskjellige. Innen en art har alle individer de genene som skal til for å være et eksemplar av nettopp denne arten. Men det finnes ulike varianter av hvert gen. Hvert individ er derfor utstyrt med sitt eget unike sett av genvarianter. Proteinene og de relative mengdene av disse vil derfor variere fra individ til individ. Dette er grunnlaget for variasjonen i egenskapene til individer av samme art.

Hos bakterier representerer nesten alt DNA gener, men hos fisk regner man med at bare ca. 2 % representerer DNA som koder for proteiner. Det øvrige DNA oversettes ikke til proteiner, men har til dels regulerende funksjon, og til dels ukjente funksjoner som muligens gir arvestoffet en struktur som påvirker dets funksjon. I tillegg til variasjon i selve genene som koder for proteiner finner man variasjon mellom individer i DNA med regulatorisk eller ukjent funksjon.

Reidunn Aalen

Bruk av markør-kartlegging i avl foregår etter følgende prinsipp:



Identifikasjon av områder i DNA som viser variasjoner, såkalte markører



Bestemmelse av hver markørs posisjon på kromosomene



Måling av hvordan de forskjellige markørene representerer biologiske egenskaper ved sammenligning av markører og egenskaper hos individene i et familiemateriale



Bestemme hvilke varianter av hver enkelt markør som representerer ønskede eller uønskede egenskaper

Samspillet mellom genene for å uttrykke det som blir et helt spesielt individ er en ytterst komplisert prosess vi bare fatter omrisset av. Om man skal utnytte kunnskapen om genene til avl, kan man derfor ikke basere dette på en eksakt viten om genenes funksjoner. Man må derimot kombinere analyse av DNA-materialet med observasjoner av de ytre biologiske egenskaper i de individene man studerer.

Dette skjer gjennom sammenligning av hvilke varianter av hver enkel markør som samsvarer med ytre egenskapene (fenotypene) i hvert av individene i et materiale som består av foreldre og 100-200 avkom. Typisk kan man måle variasjon i veksthastighet, og så finne hvilke markører som finnes hos individer med god vekst. Når man senere skal benytte disse opplysningene til avlsarbeid, leter man etter individer med tilsvarende "gode vekstmarkører", og bruker disse. Samtidig vet man også hvilke markører som gir dårlig vekst, og prøver å unngå individer som bærer disse.

Det er store mengder data som må behandles for å gjennomføre en slik analyse, og noe som forutsetter tilgang på stor datakraft og avanserte dataprogrammer. Man kan dessuten ikke begrense seg til å gjøre utvalg på enkelte genetiske egenskaper. I tillegg må man ha best mulig kontroll over at en ønsket egenskap ikke opptrer sammen med en annen uønsket egenskap.

Kunnskaper fra analysene kan siden anvendes når man vurderer hvilke fisk man vil bruke som stamfisk og velge ut de individene som gir de beste gener for egenskaper man ønsker i avkommet.

Denne typen analyse kan etterhvert utvides til å omfatte en rekke egenskaper slik at man skaffer seg kontroll over et sett av markører som representerer gener som styrer egenskaper med betydning for oppdrett.

De egenskaper man først og fremst ønsker å avle fram er som nevnt ovenfor god veksthastighet, god forutnyttelse, sykdomsresistens, kjøttkvalitet, tid til kjønnsmodning og i enkelte arter også salttoleranse, temperatortoleranse og farge. Et eksempel på egenskaper som er avhengige av mange faktorer, er veksthastighet. Dette styres både av fiskens appetitt, dens evne til å ta opp føret i tarmene, og dens evne til å utnytte det gjennom et effektivt stoffskifte.

Metoden med bruk av DNA-markører i avl har i noen grad blitt benyttet i dyrkning av korn og grønnsaker, i oppdrett av kyllinger og husdyr generelt. Imidlertid er utvikling av et genkart mest effektivt når det foreligger et stort antall individer i hver generasjon. Planter er gode objekter på grunn av det store antall avkom fra hver krysning. Storfe er mindre effektivt pga av det lave antallet avkom. Fisk befinner seg så absolutt i den ideelle delen av mulighetenes skala. En enkelt krysning kan gi opphav til fra noen hundre til titusener av avkom, avhengig av arten. Man skaffer seg derved meget raskt det nødvendige materialet for genetisk kartlegging. I avlsarbeidet analyseres et antall kandidater til stamfisk, og de med ønskede kombinasjoner av egenskaper krysses. Eggene fra krysningene dyrkes til yngel og videre til settefisk som gir opphav til matfisk og nye stamfisk.

Nye teknikker for å avlure de forskjellige genenes varianter og posisjon i artene er stadig under utvikling. Dagens teknikker er fremdeles arbeidskrevende, og involverer kostbart utstyr og dyre kjemikalier og enzymer. Nyere utviklede metoder er i ferd med å tas i bruk, med små følere som er i stand til å gjennomføre analysene på en langt raskere måte. Slike teknikker vil bli tilgjengelige om få år og vil uten tvil sette fart i bruken av genanalyse til avl.

Stammekarakterisering og kontroll av avlsfisk

En av forutsetningene for vellykket fiskeavl er at det holdes nøye kontroll på at avlsdyrene har forskjellig

genetisk opprinnelse. Manglende kontroll på stammene kan medføre innavl, dvs. at nære slektninger krysses med hverandre. Det vil alltid forekomme defekter i enkelte gener. Siden hvert gen forekommer i minst to kopier kan et defekt gen i det ene kromosomet kan derfor dekkes over ved at genet i det andre kromosomet fungerer normalt og produserer de proteiner som skal til. Individuer fra forskjellig genetisk opphav vil ha slike sporadiske feil på forskjellige steder, slik at det er ytterst liten sjans for at det skal dannes individer som har defekter i det samme genet på begge kromosomene samtidig. Krysser man derimot to nære slektninger vil denne sjansen øke betraktelig. Krysning av søsken gir f.eks. som oftest svekkede individer, og graden av svekkelse øker med graden av innavl.

Kontroll på avlsfiskenes opphav er altså meget viktig. Også stammekarakterisering kan utføres ved å benytte markørers variasjonsmønster, og benyttes til å avgjøre om et individ tilhører den ene eller den andre stammen. Med denne metoden trenger man bare små prøvemengder som for eksempel et fiskekjell eller et lite klipp av en finne.

Også innenfor kartlegging av de forskjellige ville fiskestammene kan de genetiske metodene være nyttige. Et økende fenomen forbundet med f.eks. lakseoppdrett er at oppdrettsfisk rømmer fra anleggene og blander seg med den ville fisken. Det har vært en kilde til debatt hvilke konsekvenser dette kan ha. Genetisk kartlegging av oppdrettslaks så vel som av de forskjellige ville laksestammene, kan øke vår kunnskap på området. På denne måten kan molekylærgenetisk analyse bli et viktig redskap til bedre kontroll og styring av utviklingen i våre vassdrag.

Fremtiden

Fiskeoppdrett er en ung næring i Norge. Den har imidlertid lange tradisjoner, for eksempel i Asia gjennom oppdrett av karpe. Verdens befolkning øker, og med den proteinbehovet. Fisk er en proteinkilde som vil øke sin betydning i fremtiden, men beskatningen gjennom fangst på villfiskstammer i verdenshavene er allerede svært nær sine yttergrenser. Økning i fangsten kan ikke påregnes dersom vi skal unngå å ta grunnlaget bort fra fiskestammenes fortsatte vitalitet. Veien videre er å videreutvikle kultivering av fisk på samme måte menneskene gjorde med landdyr da jordbruket ble etablert for noen tusen år siden. Skal vi skaffe den økende verdensbefolkningen mat nok i en overskuelig fremtid vil fiskeoppdrett være en helt nødvendig faktor. Faktisk må en større andel av fisken komme fra oppdrett enn fangst hvis vi ser tyve år fremover i tiden.

Men oppdrett er ikke alene nok. Man må også gjøre oppdrett mest mulig effektivt. Til dette kommer genteknologien inn som et verktøy til forbedring av og bedre utnyttelse av ressursene. Ikke ved genetisk modifisering, men gjennom analyse av de naturlig forekommende gener og en utvelgelse av dem som er best egnet for kultivering i oppdrettsanlegg.

figur som viser utplukking av fisk

Havbruk og genteknologi - fiskehelse

Prosjektleder Karen Elina Christie
Intervet Norbio

Genteknologi representerer et stort potensial for produktutvikling innen helse i havbruk. De siste 20 årene har produksjonen av oppdrettslaks i Norge økt fra vel ett til ca. tre hundre tusen tonn, og norsk oppdrettslaks er blitt en viktig matressurs. Oppdrettsnæringen er i dag en større matprodusent enn landbruket. Mens det trengs ca. 1,5 kg fôr for å produsere 1 kg laks, trengs det 20 kg fôr for å produsere 1 kg svinestjøtt. Den raske oppbyggingen i oppdrettsnæringen har imidlertid ikke vært uten problemer og et hovedproblem har vært sykdommer som skyldes parasitter, bakterier og virus.

Sykdomsbehandling og sykdomsforebygging

Sykdommer som skyldes bakterier kan behandles med antibiotika. I 1987 var forbruket av antibiotika til behandling av oppdrettsfisk i Norge kommet opp i 50 tonn. Antibiotika ble tilsatt fôret og store mengder antibiotika havnet i vannmassene rundt oppdrettsanleggene. De negative miljøeffektene, i form av påvirkning på naturlig bakterieflora og risiko for utvikling av antibiotikaresistente bakterier, var åpenbare. Dette førte til aktiv innsats for å bedre helsetilstanden. Vaksineutvikling og ulike forvaltningstiltak som generasjonsadskillelse og brakklegging, har ført til at forbruket av antibiotika er betydelig redusert. I 1997 var forbruket under 0,6 tonn på landsbasis og er nå ubetydelig sammenliknet med forbruket i human- og veterinærmedisin. I praksis betyr dette at omtrent all oppdrettsfisk som produseres aldri har vært behandlet med antibiotika.

Antibiotika er derimot ikke virksomt mot parasitter og virus. Mot virussykdommer finnes heller ikke andre behandlingsmetoder, og forebyggende tiltak som vaksinasjon må benyttes. De negative miljøeffektene ved antibiotikabehandling gjør at vaksinasjon også er langt å foretrekke ved bakteriesykdom. Vaksinasjon er velkjent fra human- og veterinærmedisin, og kan også brukes på

fisk selv om deres immunforsvar er mindre utviklet enn hos høyerestående arter.

Vaksinering

Fisken blir vaksinert med smittestoffet i en form som ikke fremkaller sykdom, men som gir immunitet mot den aktuelle sykdommen. På samme måte som mennesker kan vaksineres mot for eksempel influensa kan fisk vaksineres og opparbeide motstandskraft mot infeksjonssykdommer. Fisk kan vaksineres ved at den dyppes eller "bades" i vann som er tilsatt vaksine, ved injeksjon eller ved at vaksinen er blandet i fôret.

For å oppnå beskyttelse ved vaksinasjon er det ikke nødvendig at vaksinen inneholder hele smittestoffet. Det er bare bestemte komponenter av smittestoffet, vanligvis proteiner (såkalt beskyttende proteiner), som gir beskyttelse. Andre komponenter av smittestoffet kan ha uønskede bivirkninger. Ved hjelp av genteknologi er det mulig å

- analysere smittestoffene bedre og finne frem til de proteinene som er viktige for å gi god beskyttelse.
- kartlegge og isolere genene som koder for de beskyttende proteinene. I løpet av 80-årene ble det utviklet ny teknologi for produksjon av humane vaksiner basert på genteknologi. Tilsvarende metoder er tatt i bruk til utvikling av fiskevaksiner.

(Bilde av syk fisk)

Sykdom kan påføre fisken store lidelser – og oppdretteren store tap – dersom man ikke har et godt vaksinasjonsprogram

Ulike typer vaksiner

Helsmittestoff vaksiner kan inneholde levende svekket smittestoff eller inaktivert smittestoff. Tradisjonelle vaksiner både til mennesker og dyr består av bakterier eller virus som enten er svekket ved dyrkning og seleksjon i laboratoriet slik at de ikke forårsaker sykdom, eller inaktivert slik at de ikke kan formere seg. Mens produksjon av bakterier i fermentor er billig og enkelt, må produksjon av virus foregå i levende cellekulturer. Dette medfører at en vaksine basert på inaktivert virus derfor er betydelig dyrere i produksjon enn bakterievaksiner. Ved bruk av genteknologi er det mulig å produsere genmodifisert smittestoff som er svekket ved kontrollert genmodifisering, såkalt levende rekombinant vaksine. Videre kan virusvaksiner basert på genteknologi produseres i fermentor på samme måte som bakterievaksiner, noe som gjør produksjonen vesentlig rimeligere. Genteknologi er derfor særlig nyttig til produksjon av virusvaksiner.

En delkomponent vaksine består av beskyttende proteiner, for eksempel produsert i en mikroorganisme som har fått tilført genet som koder for slike proteiner eller syntetisert i laboratoriet.

De siste årene er det utviklet en helt ny vaksinestrategi som er basert på genet som koder for det beskyttende proteinet istedenfor proteinet selv. Ved injeksjon av arvestoff (DNA) under bestemte betingelser er det mulig å få verten til å produsere det beskyttende proteinet og reagere immunologisk på dette. *DNA-vaksiner* som er under utprøving i laboratorieskala, har flere fordeler som lengre holdbarhet og mindre bivirkninger. Men risikoen for ukontrollert spredning av gener vil måtte avklares før denne type vaksiner kan taes i bruk i felten.

(Bilde av vaksinasjon)

Vaksinasjon av smolt

Ulike typer vaksiner

Konstruksjon av en ideell vaksine avhenger av mange faktorer. For fiskens velbefinnende er det viktig at vaksinen har god effekt uten negative bivirkninger og at vaksinasjon ikke innebærer stress. For oppdretteren er det viktig at vaksinen er effektiv, billig og enkel å bruke. Det er snakk om å vaksinere mange 100.000 fisk, en vaksinedose må derfor ikke koste mer enn ca. en krone. For miljøet er det viktig at vaksinen ikke inneholder skadelige substanser eller medfører noen form for risiko. For vaksine- produsenten er det viktig at produksjonskostnadene ikke er for høye, at vaksinen har god effekt og god holdbarhet.

Levende vaksiner er ofte de mest effektive og kan gis i små doser, men de er forbundet med større risiko for miljøet og holdbarheten er ofte lavere enn for vaksiner basert på inaktivert smittestoff. Delkomponentvaksinene krever stort sett tilsvarende doser som inaktivert helsmittestoff vaksinen, men de er reinere og gir ofte mindre bivirkninger. DNA-vaksinen er en delkomponentvaksine som ligner de levende vaksinene ved at arvestoffet er bioaktivt i verten og kan gis i små doser uten tilsetning av hjelpestoffer.

Vaksiner produsert ved hjelp av genteknologi

De første fiskevaksinene som ble tatt i bruk i Norge var vannbaserte, de inneholdt inaktiverede bakterier og ble gitt ved dypp, dvs at fisken dyppes i vaksineløsning. Deretter kom de oljebaserte vaksinene som gis ved injeksjon. De siste årene har problemene med bivirkninger ved bruk av oljebaserte vaksiner vært økende og det er dessuten kommet til nye sykdommer som krever at det tas i bruk ny teknologi innen vaksineutvikling. Intervet Norbio har utviklet og kommersialisert verdens første virusvaksine for fisk basert på genteknologi, en vaksine som beskytter mot infeksjons pankreas nekrose (IPN).

Om virus

Virus er bygget opp av arvestoff (DNA eller RNA) omgitt av en proteinkappe. Virus kan ikke overleve og formere seg uten å invadere en celle. Det er svært mange former for virus og de er som regel spesialisert i forhold til bestemte organismer og celler - noen virus infiserer bakterier, mens andre kan gå på fisk. Viruset tar ofte over kontrollen av cellen den har kommet inn i og får den til å produsere nye virus, noe som ofte ødelegger cellen. De nye virusene kan spre seg til andre celler og komme ut i omgivelsene og smitte andre individer. Enkelte virus kan sette arvestoffet sitt inn i cellens eget DNA. Der kan virus-DNA ligge i lang tid uten at det skaper problemer, før virusproduksjon plutselig settes i gang igjen.

Reidunn Aalen

IPN virus ble trolig introdusert til Norge tidlig på 70-tallet med import av smolt fra Canada. I løpet av de siste 10 årene har denne sykdommen forårsaket stadig større problemer og betraktes nå som en av de viktigste smittsomme sykdommene hos oppdrettsfisk ved siden av lakselus.

IPN virus består av en kjerne av arvestoff og protein omsluttet av en proteinkappe. Analyse av viruspartikkelen ved hjelp av genteknologi har vist at virusprotein 2 (VP2), som inngår i viruskappen, er viktig for å indusere beskyttelse mot sykdom. Det er funnet frem til den delen av arvestoffet som inneholder genet for VP2. Dette genet er klippet ut og satt inn i en vektor som så er overført til en ufarlig tarmbakterie. Når så genet "skrues" på i bakterien blir det produsert VP2 i store mengder som dannet store krystaller i bakterien. Bakteriene kan masseproduseres i fermenter og produserer VP2 som kan renses opp. I 1991 ble det startet produksjon av en IPN-vaksine basert på rekombinant IPNV protein som ble testet i laboratorieskala. En testvaksine for feltforsøk var klar i 1993, vaksinen fikk midlertidig godkjenningfritak for registrering og ble sluppet på det norske markedet i august 1995. Etter at vaksinen ble tatt i bruk har antall rapporterte utbrudd av IPN i Norge gått ned.

Miljøeffekter

Alternativ til vaksinasjon som forebyggende tiltak er såkalt "stamping out" som betyr full nedslakting av smittet fisk ved utbrudd av alvorlige sykdommer. Dette gjøres ved enkelte virussykdommer som f.eks. Infeksiøs lakseanemi. Men stamping out har liten effekt ved

sykdommer som skyldes virus som er utbredt også hos symptomfri fisk slik som IPN. De siste årene er det kommet til flere nye virussykdommer hos oppdrettsfisk som trolig kan håndteres med vaksiner utviklet ved hjelp av genteknologi. Bruk av genteknologi gjør det mulig å produsere reinere vaksiner som gir mindre bivirkninger til lavere produksjonskostnader. Bedre definerte delkomponent vaksiner, spesielt DNA-vaksiner, vil også ha bedre holdbarhet enn tradisjonelle vaksiner.

Mange er opptatt av den miljømessige risikoen forbundet med bruk av genteknologi. Selv om motstanden mot bruk av genteknologi innen helse er mindre enn innen matproduksjon, kan det bli vanskelig for myndighetene å akseptere bruk av DNA-vaksiner til fisk i åpne systemer. Enkelte vil hevde at utvikling av stadig nye vaksinestrategier er unødige bruk av forskningsressurser, etter som disse vaksinene kanskje aldri vil bli godkjent for salg. Det er imidlertid viktig at norske forskere følger med i utviklingen og kan ta stilling til nytten og risikoen ved de ulike vaksinestrategiene. Dette kan bare oppnås ved at det foregår aktiv forskning innen dette feltet. Utvikling av fiskevaksiner basert på genteknologi foregår i dag i mange land, men så langt er IPN vaksinen den eneste som er i kommersielt salg. I løpet av de neste 10 årene vil vaksiner mot en rekke fiske sykdommer trolig være tilgjengelige. Om vaksinene vil bli godkjent for salg avhenger i stor grad av opinionen i de enkelte land. For at myndighetene skal kunne foreta saklige vurderinger av disse produktene er det viktig at både politikerne og befolkningen generelt er informert om nytten og risikoen ved bruk av genteknologi i utvikling, produksjon og bruk av vaksiner.

Konklusjon

Oppdrettsnæringen er en viktig industri i Norge og en betydelig matprodusent. Et problem forbundet med den raskt voksende næringen er infeksjonssykdommene. Den mest effektive og mest miljøvennlige strategi mot infeksjonssykdommene er vaksinasjon. Genteknologi er et nyttig verktøy til utvikling og produksjon av fiskevaksiner. Risikoen for miljøet forbundet med bruk av genteknologi er viktig og må vurderes nøye. Det er viktig at Norge følger med innen forskningen på dette feltet slik at vi kan ta stilling til nytte og risiko ved de ulike vaksinestrategiene. Utprøving av alle typer vaksiner bør derfor kunne tillates i lukkede systemer.

Genmodifisert norsk laks - eller tilbake til naturen

Journalist Bjørn Tore Forberg

Genteknologien har i bokstavlig forstand utviklet seg ned mot havkanten, og stiller også norsk oppdrettsnæring overfor et veivalg. I teorien vil oppdretts-Norge om ca 15 år kunne tilby en genmodifisert laks på markedet. Kanskje er den rødere i kjøttet, fastere i fisken og produsert på kortere tid. Men vi kan også velge alternativet, og heller satse på en «naturlig» norsk image: Norsk fisk slik naturen har skapt den, oppvokst i rent, arktisk havvann.

Skåret til beinet er dette problemstillingen for en fiskerinasjon som på kort tid har etablert seg som verdens største produsent av atlantehavslaks i oppdrett. Debatten om genteknologi anvendt i matproduksjon får en ekstra dimensjon når det blir snakk om fisk. Uansett stengsler, vil genmodifisert fisk (se faktaboks s.) på ett eller annet tidspunkt svømme fritt ut i havet. Forhåpentligvis vil dette ikke skade de naturlige systemene. For norsk fiskerinæring er det kanskje også et påtrengende spørsmål om transgen matfisk vil skade markedsposisjonen til norsk fisk.

Bilde: "FISKEKJØTT"

Genmodifisert fisk kan ha "bedre" egenskaper, for eksempel sunnere fettsammensetning. Men vil forbrukerne ha det?

Fiskeproduksjon blir viktigere

At problemstillingen er viktig, understrekes av perspektivene: Årsfangsten på verdens ressurser av vill fisk er på grunn av overfiske redusert fra knapt 100 millioner tonn på topp til 83 millioner tonn midt på 90-

tallet. Innen 2010 vil fisk være en mangelvare i verden (FAO). Veksten i den blå åkerens matproduksjon vil følgelig skje via bedre forvaltning, men først og fremst innen akvakultur og fiskeoppdrett. FAOs tall for verdens akvakulturproduksjon er følgende: 13 millioner tonn i 1970, 30 millioner tonn i 1995 og 80 millioner tonn i år 2025. Noen vil hevde at genteknologien vil bidra til at verdens akvakulturproduksjon kan nå disse målene.

For Norges del er det diskutabelt om framtida skal ligge i et kappløp om tonn. Våre kystfarvann har helt spesielle fortrinn, og med norsk fiskerinærings kompetanse, er Norges nisje kanskje først og fremst produksjon av høyt betalt kvalitetsfisk. Fisk er ikke bare mat for den som skal overleve, fisk er også mat med økende status. Fisk serveres som velsmakende festmat, og har i tillegg renommé for å være helsefremmende. Norsk fisk står i dag for en årlig eksportverdi nær 25 milliarder kroner og er landets største eksportnæring etter olje og gass. Med stort og selvfornyende produksjonspotensial og økende etterspørsel, forventes det at den norske fiskens relative verdi bare vil øke. Til sammenligning vil oljereservoarene tømmes før eller siden.

Tradisjon for restriksjoner

Det er norske fiskerier som har lagt grunnlaget for norsk fiskerinærings solide posisjon, og som også har lagt grunnlaget for norsk oppdrettsnærings raske framvekst. Til tross for en del dystre spådommer har alle kurver for norsk oppdrettslaks gått oppover. For eksempel fryktet noen at konsesjonsordninger og reguleringer skulle hemme næringa, og bidra til at konkurrentene stormet forbi. Neste hinder var sykdommene og deretter tollbarrierer og straff for påstått prisdumping. Men helseproblemene og handelsproblemene løste seg, og volumet har økt. Det første takket være betydelig forskningsinnsats, det siste kanskje nettopp på grunn av en lett restriktiv holdning og styrt næringsutvikling. Med andre ord trenger det ikke være noen hemsko for norsk fiskeoppdrett om vi er restriktive også med hensyn til anvendelse av genteknologiske løsninger.

I front av forskningen?

Det er likevel ingen tvil om at framskrittene innen genteknologisk forskning representerer en utfordring. I Canada, Skottland og på Cuba har man allerede utviklet genmodifisert matfisk som man hevder er egnet for kommersiell produksjon. Målet for denne utviklingen er fisk med forbedret matvarekvalitet, med raskere vekst (altså til lavere kostnad), og med større motstandsdyktighet mot sykdom og kulde. Selv om noen fagfolk advarer, kan det fremskaffes gode forklaringer på at genmodifisering ikke gir helseskadelig mat, og at skader på naturlige systemer kan unngås. Hvordan stiller vi oss om vi ikke henger med i utviklingen? Vi har forskerkompetanse som er fullt på høyden. Men hvor lenge vil våre forskere være i front om de ikke følger på? Og hvor vil næringa være om Chile, Canada, Skottland m.v. om ti år produserer høykvalitets laks i store volumer til halve kostnaden av den norske «naturlaksen»? Hvem hadde for eksempel trodd at laks oppdrettet på pellets i trange merder skulle utkonkurrere villaksen som rett nok var bleikere i rødfargen, men utvilsomt spenstigere i kjøttet?

Næringa ligger på været

Det er enkelt å stille spørsmålene. Men ikke like enkelt å gi svarene. Spør vi forskere får vi ulike svar. Noen advarer. Andre mener vi må holde tritt forskningsmessig og følge utviklingen i næring og marked. Også ute i næringa får vi ulike svar. Enkelte hevder at vi må følge utviklingen. Gjør vi ikke det kan vi bli regulært utkonkurrert. Andre mener vi må holde tilbake, og lytte til signalene fra markedet. Modifisering av fisk, dyr og planters arvemateriale er ikke nødvendigvis de argumentene som fremmer forbrukerens valg av middagsmat over supermarkedenes kjøledisker. Norske Fiskeoppdretteres Forening har følgelig sagt nei til genmodifisert fisk.

Man kan kanskje si at næringa ligger på været. Men vi kan med hånden på hjertet si at den norske offisielle holdningen så langt, er nei til genmodifisert fisk i oppdrett. Dette er en holdning som kan være gull verdt, nettopp fordi vi har helt spesielle muligheter til «naturlig» fiskeproduksjon.

Bilde: "MERDER"

Må holdes i nakkeskinnet

En sterk talsmann for dette er forskerveteranen, professor Jan Raa. Han har viet brorparten av sitt forskerliv til bioteknologisk forskning på fisk og marine organismer. Han var sentral i den fiskehelseforskningen som ble intensivert da fiske sykdommer truet norsk oppdrett. Blant annet ble det utviklet vaksiner og truffet tiltak som gjorde antibiotika overflødige i norsk fiskeoppdrett. Jan Raa er sannsynligvis den som sterkest har fokusert på hvordan det marine systems finkjemikalier ved bioteknologiske grep kan bidra til rasjonell produksjon, og hvordan konsentrater av marine enzymer kan ende opp som høyt betalte produkter i et internasjonalt marked.

En del av den bioteknologiske marine forskningen han applauderer, inkluderer også genteknologi. Det gjelder for eksempel ved framstilling av vaksiner, utvikling av alternativt fiskefôr, kartlegging av gener som verktøy i et mer effektivt avlsarbeid m.v. Men når man kommer til spørsmålet om manipulering av arvemateriale i produksjonsfisk, mener han det er grunn til å ta en tenkepause.

– Det kan godt tenkes at vi ikke gjør noe som helst galt ved å utvikle og ta i bruk genmodifisert fisk. Og som forsker ser jeg helt klart utfordringene og potensialet i å slå inn på en slik vei. Men også forskere har behov for å bli holdt noe i nakkeskinnet. Min skepsis går blant annet på det følelsesmessige, som også har å gjøre med de markedsmessige og de etiske sidene av saken. I norsk fiskeoppdrett har vi kanskje allerede tøyd en del grenser ved å konsentrere store fiskemengder i trange merder. Dette er en del av årsaken til at vi fikk utviklet en del miljøproblemer og problemer med fiske sykdommer. Denne situasjonen er vi nå på vei bort fra. Men om vi ytterligere skal tøyne fiskens produksjonspotensiale ved manipulering av arvestoffet, vil det kunne forsterke et negativt fokus på en allerede intensiv produksjonsform. Vi har langt mer å vinne på å fremme fiskens trivsel i merdene, og gjennom dette forbedre både image og fiskens kvalitet, sier Jan Raa, som ikke minst skjeler til markedet.

”Biodynamisk” norsk fisk

– Selv om genmodifisering skulle frambringe fisk med friskere farge, bedre holdbarhet og fastere kjøtt, vet man ikke om forbrukeren vil velge en slik fisk framfor en fisk som garantert er et rent naturprodukt. Ikke minst i EU,

som er det største og viktigste markedet for norsk fisk, er det en økende skepsis til genmodifisert mat og mat med kunstige tilsetninger. Med økende allergiplager og livsstilssykdommer, har forbrukerne en tendens til å ønske seg mer tilbake til naturen. Til tross for alle jordbrukets framskritt, er mange villig til å betale høyere pris for biodynamisk dyrket mat. Med andre ord er det økende marked for kjøtt og grønnsaker som er alet og dyrket fram slik norske småbrukere gjorde fram til slutten av 1950-tallet. Om denne trenden fortsetter, vil norsk fiskerinæring allerede ha «biodynamisk» ikke-genmodifisert fisk å tilby.

– La oss si at konkurrentene satser for fullt på genmodifisert fisk, så kan vi tilby villfisk og «naturlig» dyrket fisk som et særlig attraktivt alternativ. Vi har nemlig helt spesielle forutsetninger for å drive fangst og havbruk på naturens premisser. Vi har overflod av rent og næringsrikt ferskvann og sjøvann. I tillegg til at dette vannet fordeler seg og strømmer friskt i naturlige lokaliteter langs en skjermet kyst, har det en ramme av arktisk renhet. Det er også slik at vi har de gunstigste mulige temperaturforhold for stabilt helårig havbruk. Konkurrerende havbruksnasjoner har det enten for kaldt eller for varmt i sjøen i deler av året. Blir det for kaldt fryser fisken i hjel, blir det for varmt øker faren for sykdomsutvikling. Langs norskekysten fra Vestlandet til russegrensen sørger Golfstrømmen for en relativt stabil plusstemperatur på havvannet året rundt. Det teller også til vår fordel at det er ved de lave plussgradene at fisken har best holdbarhet ved overgangen fra slakting til kjøling/frysing, sier Jan Raa.

«Gener vil jeg aldri spise»

Norske Fiskeoppdretteres Forening har som nevnt inntatt et standpunkt mot genmodifisert laks i oppdrett. Men det finnes oppdrettere som ønsker en mer aktiv holdning til den transgene laksens framtid også i norsk oppdrett. Fiskeoppdretter Knut Altmann fra Alta, som tidligere i yrkeskarrieren har vært ansatt som forsker i genetikk på slutten av 70-tallet, har i foredrag og artikler framholdt at vi i framtidens fiskeoppdrett vil ha genmodifiserte organismer.

– Jeg forholder meg til at flertallet blant norske fiskeoppdrettere har vedtatt at genmodifisert laks ikke skal inn i norsk matfiskeoppdrett. Jeg respekterer og forstår et slikt standpunkt. Men jeg er opptatt av at denne holdningen ikke må bidra til redusert norsk forskning på dette området. Greier vi ikke å følge med i kunnskapsutviklingen innen genteknologi, risikerer vi negative effekter i forhold til vår kunnskap på områder som helse og miljø. Det er det viktigste. I tillegg får våre

utenlandske konkurrenter innen fiskeoppdrett et forsprang, sier Altmann.

Uavhengig av genmodifiserte organismer i matvareproduksjon viser han til genteknologien som et nyttig verktøy til kartlegging av laksens gener, til utvikling av fiskevaksiner, til utvinning av miljøvennlige medisiner, produksjon av fiskefôr (som vil bli en knapphetsfaktor) og isolering av immunstimulerende stoffer. Altmann mener ellers at holdningen til genteknologi vil endre seg ettersom kunnskapsnivået hos folk flest høynes. I et foredrag i Tromsø i 1997 refererte han til et utsagn fra en forbruker: «En ting er sikkert, gener vil jeg aldri spise». Tar man i betraktning at det i en okse er til sammen 0,1 gram DNA-tråder som lagt etter hverandre ville rekke mange tusen ganger fra jorda til sola og tilbake, ville det i følge Altmann bli litt av en jobb å rense alle genene ut av oksekjøttet.

Forskjellige forskersyn

Også blant framtrepende norske genforskere er det ulike synspunkter. Hovedskillet går på hvorvidt genmodifiserte organismer eller modifisert genmateriale kan komme på avveie, og i hvilken grad det kan skade naturen og eventuelt folks helse. Det reises blant annet spørsmål ved om genmaterialet dør sammen med organismen. Brytes alle kilometerne med DNA-trådene i oxen og laksen ned når maten er spist, eller lever de i noen grad videre? Undertegnede har fått kommentarer fra tre genforskere: Professor Terje Traavik ved Institutt for medisin og biologi ved Universitetet i Tromsø, professor Børre Robertsen ved Norges Fiskerihøgskole og professor Peter Aleström ved Norges Veterinærhøgskole.

Som DDT og dioxiner?

Terje Traavik er den av de tre som har sterkest kritiske innvendinger mot å anvende genmodifiserte organismer som mat, eller slik at arvemateriale fra disse kommer ut i naturen. I et intervju med tidsskriftet Legemidler og Samfunn i februar 1998, sier Traavik: »Fagfolk besitter for liten kunnskap om genmodifisering til at vi kan slippe genmodifiserte organismer ut i naturen. Det at en plante dør, betyr ikke nødvendigvis at plantens arvemateriale dør». Hittil har det vært en alminnelig oppfatning at arvematerialet blir brutt ned av enzymer etter at plantene dør. Traaviks forskning har imidlertid vist at store fragmenter av arvestoffet holder seg intakt mye lenger enn hva man hittil har trodd. Dersom resultatene fra kontrollerte laboratorieforsøk med planter kan gjentas i naturen eller i dyr – særlig hvis materialet kan tas opp i kjønnceller, betegner han det som en katastrofe.

– Jeg påstår ikke at det kan skje. Men hverken jeg eller andre kan si at det ikke kan skje. Derfor bør vi opptre i henhold til føre var-prinsippet, sier Traavik. I forsøk har han blant annet slått fast at deler av «nakent» virusarvestoff injisert i blodbanen til en kanin satte i gang full virusinfeksjon. Det dreide seg om et virus som i hel tilstand var ufarlig for kaninen.

Terje Traavik mener det er et betydelig misforhold mellom forskning på bioteknologisk bioproduksjon (700 millioner kroner per år i Norge) og forskning rettet mot miljø- og helsevirkninger av bioteknologi (3 millioner kroner). Han presiserer at det i årevis har vært drevet genteknologisk forskning under trygge forhold, som har frambrakt svært nyttige resultater. Under trygge betingelser mener han genteknologi vil bringe oss atskillig videre. Men problemet oppstår når genmodifiserte dyr, planter, mikroorganismer og virus slippes ut i naturen. Uhell, slurv eller bevisst utsetting av organismer med modifiserte gener kan representere en langt større risiko enn den kjemiske forurensingen som nå er akseptert som et problem. Ekspertene og forskere hevdet for eksempel for 40-50 år siden at DDT var til velsignelse og helt ufarlig. Tilsvarende skjedde med dioxiner og PCB. I dag er det akseptert at disse stoffene representerer en trussel mot både miljø og helse.

Man skal ikke bli for religiøs

Professor Børre Robertsen deler et stykke på vei Traaviks bekymring for at skadelige DNA-sekvenser skal komme på avveie og leve sitt eget liv. Det brukes i dag gener som koder for antibiotikaresistens og deler av virusgener i genteknologien. Dersom antibiotikaresistensgener plukkes opp av bakterier, kan man være på gale veier. Denne muligheten må helst helt bort før det er akseptabelt å sette inn genmodifisert fisk i matfiskproduksjon.

– Men man skal ikke bli for religiøs og se farer over alt. Det er viktig for Norge å jobbe eksperimentelt, og være med i utviklingen. Vi må ikke komme i en situasjon der vi på den ene siden blir sterkt økonomisk avhengig av fiskeoppdrett, og på den andre siden ikke greier å henge med kunnskapsmessig. Da kan vi bli nødt til å si ja til genmodifisert fisk på andres premisser. For min egen del mener jeg at vi i størst mulig grad bør forsøke å unngå genmodifisert fisk i oppdrett. En bør bruke vaksiner og økologisk kunnskap for å unngå sykdomsproblemer i fiskeoppdrett.

– På den annen side kan vi ikke forutse utviklingen i havet. Siden veksten i norsk lakseoppdrett begynte å ta fart på slutten av 70-tallet, har sykdomsproblemer og algeproblemer kommet overraskende på oss. Da

fiskehelses situasjonen langt på vei var under kontroll på begynnelsen av 90-tallet, var det ingen som forutså at lakselus skulle bli neste hovedproblem. Det er slett ikke utenkelig at vi i framtida vil få fiskeoppdrett med genmodifisert fisk som er helt uskadelig for miljøet, som er mer robust i forhold til sykdommer og parasitter og som vokser noe raskere. Da er det ikke snakk om monster, men om normal fisk. Vi har eksempler fra genmodifiserte planter, for eksempel tomater, der et enkelt gen er endret for å regulere modningstiden, sier Robertsen.

Hverdagen om 10–15 år

Professor Peter Aleström mener at det er vanskelig å spå den kommersielle framtid for genmodifisert fisk i matproduksjon. Men mye tyder på at det kan være en del av hverdagen allerede om 10-15 år. – I Norge produserer vi allerede mer laks i oppdrett enn landbruket produserer av kjøtt. Den forventede veksten innen havbruksnæringen skaper behov for foredlingstiltak for stadig å bedre produksjonseffektiviteten og produktkvaliteten. Dette vil kreve nye teknologiske – blant annet bioteknologiske – løsninger for å unngå sykdoms- og miljøproblemer og sikre god lønnsomhet. Her tilbyr ikke minst genteknologien nye muligheter.

I USA har et selskap allerede et par år markedsført en patentbeskyttet hurtigvoksende fisk som er genmodifisert med ekstra kopier av sine veksthormongener. På Cuba er det planen å markedsføre hurtigvoksende tilapia i løpet av 1998, og i Europa og Asia finnes tilsvarende prosjekter. Jeg tror interessen fra næringa vil øke for å få tatt i bruk genmodifisert fisk i oppdrett, sier Aleström.

Genmodifisert laks – langt frem til kommersielt bruk

Firmaet Aqua Bounty Farms har patentert en metode til fremstilling av genmodifisert laks. De har fisk som vokser ekstra hurtig fordi den har fått satt inn flere gener for laksens eget veksthormon. Det er imidlertid langt frem før man eventuelt vil ha denne laksen på bordet. Først må laksen prøves i stort antall i sjøbaserte anlegg. Vil genmodifiseringen være stabil over generasjoner? Egner den seg til kommersielt oppdrett, dvs er kvaliteten på kjøttet godt nok, er den motstandsdyktig mot sykdom, og hvordan er förutnyttelsen? Mange og viktige spørsmål som må besvares. Til sist, men ikke mindre viktig er spørsmålet om hvordan forbrukerne vil stille seg til genmodifisert laks, uten et marked – ingen kommersiell produksjon.

Aleström har drevet grunnforskning på genmodifisering av zebrafisk i kontrollerte laboratorieforsøk. Den teknologien som er brukt hittil, kan ikke styre transgenene til bestemte plasser i kromosomene. I den

sammenheng kan det oppstå uhell som i verste fall fører til at fisken dør. Uansett bør all genmodifisert fisk undersøkes for å bekrefte eller avkrefte om slike «uhell» har skjedd, sier Aleström.

Bilde: "ZEBRAFISK"

Transgen zebrafisklarve, 30 timer etter befruktning. Foto ved professor Anders Fjose.

Ved bruk av såkalt embryo-stamcelleteknologi og kloning ved kjernetransplantasjon til fiskeegg kan vi nå ha metoder som er presise nok. Nye metoder vil også kunne forkorte tiden fra grunnforskning til kommersialisering. De metodene som har vært benyttet hittil, krever tre generasjonssykluser før fisken er klar for markedet. For laks betyr dette 15 år, mens tilapia går langt raskere.

– I følge en OECD-rapport fra 1992 representerer ikke genmodifisert fisk noen helsefare i seg selv. Matsikkerheten er avhengig av karakteren til genet som blir overført og den effekten dette har på dyret.

For å forsikre seg mot eventuelle negative miljøeffekter mener Aleström at oppdrettsanlegg bør sikres mot rømming. Oppdrett i landanlegg og andre fysiske sperrer er én metode. Det er også mulig å gjøre fisken steril, endog arvbar steril der fisken blir avlsklar etter hormonbehandling. Det er også mulig å sette inn et «selvmordsgen» som gjør fisken avhengig av spesielle førkomponenter for å overleve. Ifølge Aleström har genmodifisering hittil ført til økte vekstrater hos fisk fra 2 til 5 ganger, uten at det er påvist bivirkninger. Hos fisk som er transgenstimulert til 10-30 ganger økt vekst, ser man deformert vekst som gjenkjennes fra veksthormonsyndromer hos mennesker. Målsetninger for bruk av genmodifisering av fisk i oppdrett er hurtigere vekst, bedre førutnyttelse, økt kuldetoleranse, forbedret sykdomsresistens, kontrollert reproduksjon og forbedret matvarekvalitet.

Fisk kan også være nyttige bioreaktorer for produksjon av kommersielt nyttige stoffer, for eksempel legemidler. Aleström mener at fisk også kan få betydning for bruk av organer fra dyr i humanmedisin, såkalt xenotransplantasjon. Det er grisen som er hovedkandidat for slike organer, men fisken tilapia har en bukspyttkjertel som er spesialisert til insulinproduksjon.

Hittil har fiskens organ fungert hos mus og rotter. Nå gjøres det forsøk med genet for humant insulin i tilapia.

Økt lønnsomhet?

Så langt forskerne. Forskere har i hele menneskehetens historie brakt utviklingen framover. Men framskrittene har også gitt alvorlige tilbakeslag i form av utilsiktede virkninger. Ved siden av mulighetene for «skadelig materiale på avveie», er det også en kjensgjerning at transgen laks med ekstrem veksthastighet (10 til 30 ganger normalen) til dels har resultert i eksemplarer av deformert fisk. Mer moderate vekstøkninger har hittil normalt utseende. Men selv om hurtigfisken blir normal, og det viser seg at fiskekjøttet blir like bra, eller bedre, gjenstår det å se hva som skjer med økonomien. Sikre fysiske rømningsstengsler innebærer betydelige kostander. Og selv om fisken vokser dobbelt så fort, vil førmengden per kilo matfisk være den samme. Gevinsten vil således ligge i økt omsetning og kortere tid for kapitalbinding pr. fiskegenerasjon. Men vil flere tonn gi flere penger? All erfaring hittil har vist at økt produksjonsvolum gir lavere kilopris.

Etikk/politikk/teknikk

Med hensyn til forskning er det utvilsomt slik at forskningsmaskineriet må være velsmurt og framtidsrettet. I spørsmålet om genmodifisering i matfiskoppdrett, blir det imidlertid vel så mye et spørsmål om etikk og politikk som teknikk. Som Knut Altmann understreker er forskning og anvendelse av genmodifisert fisk i matfiskoppdrett to sider av saken som man må skille mellom. Om man speilvender føre var-prinsippet kan man spørre seg om det vil være etisk forsvarlig ikke å ha nødvendig trykk i forskningen og en fullverdig beredskap på et område der man i årene som kommer kan vente en svært betydelig utvikling. Genmodifisering av fisk vil åpenbart skje uavhengig av hva slags politikk Norge velger for sin oppdrettsnæring.

Uansett peker Jan Raa på noe helt sentralt når han sier at «vi forskere har behov for å bli holdt i nakkeskinnet». I samme øyeblikk som økonomisk interessante resultater melder seg, må man vente et press fra næringa. I første omgang kommer ikke presset fra den norske næringa. Men når store internasjonale konserner investerer sine milliarder dollar i forskning og patenter på kvalitetsforbedret og raskt voksende fisk, vil det stille seg noe annerledes. Her vil også laksen og etikken kunne gå i «globaliseringsfella». Da blir det et spørsmål om vi kan holde flagget høyt for den relativt sett «biodynamiske» norske fisken.

Er det plass i havet?

I denne artikkelen er det gjort forsøk på å drøfte den politiske og markedsmessige siden av saken. I tillegg har forskere gitt synspunkter på mulighetene i positiv forstand, og på eventuell risiko for at uønsket arvemateriale kommer på avveie. Når det gjelder etikk og økologiske konsekvenser anvendes det her en romslig føre var-holdning. I den norske virkeligheten er det vel slik at eventuelt oppdrett av genmodifisert fisk vil måtte skje i landbaserte anlegg, som igjen har for store kostnader til å greie en presset markedspris. Dersom genmodifisert fisk skulle rømme, er det heller ikke nok å gjøre fisken steril. Rett nok vil rømt steril fisk være langt å foretrekke framfor rømt transgen fisk med mulighet til å formere seg, og sannsynligvis også å foretrekke framfor et milliontall rømt oppdrettsfisk. Men også rømt steril fisk vil ta plass i havets næringsfat, og følger den med laksen opp i elvene, kan den i det minste i teorien skape uro blant elvefiskere og på gyteplassen, på linje med dagens rømte oppdrettslaks.

I debatten om disse tingene er det allerede fra kompetent hold påpekt at forskning på villaks står svakt og er dårlig koordinert. Vi vet for lite om den minkende bestanden av villaksen, som er grunnlaget for oppdrettslaksen – Norges nye oljenæring. Vi kan også hente lærdom av invasjonen av en ny art fra øst, kongekrabben. Foreløpig vet vi ikke hvilken lærdom. Det er imidlertid slik at russerne under sovjetiske femårsplaner satte ut yngel av denne kjempekrabben fra Stillehavet i Murmanskfjorden ved Barentshavet. Nå har den krabbet vestover i tusentall og snudd noe opp ned også på norske kystfiskeres hverdag på strekningen Russegrensa-Nordkyn, både juridisk og økologisk. Dette illustrerer at nye arter – enten de er avlet naturlig og bare fysisk flyttet, eller arvemessig modifisert og rømt – også inngår i den totale forvaltningen av våre biologiske ressurser i havet. Vi kan kanskje snakke om en bærekraftig forvaltning som strekker seg helt fra forskernes reagensrør, ut til 200 nautiske mil og kanskje enda et stykke.

Med bioteknologi i verktøykassa

Intervju med Daniel Chourrout, direktør for Sarssenteret

*Seniorforsker Dag Oscar Oppen-Berntsen
Norsk Hydro*

I over tusen år har de verdier som våre kystnære farvann kan fremby vært av stor betydning for landets innbyggere. Marine råstoffer har i løpet av denne tiden vært dominerende eksportartikler. I 1997 eksporterte Norge sjømat for ti sammen ca. 20 mrd. NOK. Den økonomiske betydningen av de marine ressurser vil øke i tiden som kommer. Allerede ved inngangen til neste tusenår vil vi se nye og bedre anvendelser av marine ressurser, ikke bare som mat, men innen matprosessering, farmasi, legemidler, immunologi og tekniske anvendelser.

Dette krever økt forståelse av marine organismers biologi og økologi helt ned til molekyl- og gennivå. Denne viten må baseres på en økt forskningsinnsats, og det kommer derfor godt med at Norges forskningsråd har blinket ut marin forskning som ett av sine store satsningsområder. Sarssenteret i samarbeid med andre marine forskningsinstitusjoner er tenkt å skulle trekke verdifull forskningskompetanse fra resten av verden til Norge. Sarssenteret er en selvstendig forskningsinstitusjon lokalisert til Høyteknologisenteret i Bergen. Nylig ble en av Europas ledende forskere, Daniel Chourrout, utnevnt til direktør for Sarssenteret.

En internasjonal kapasitet

Den franske molekylærbiologen Daniel Chourrout er utpekt som direktør for det nyetablerte Sarssenteret lokalisert til Høyteknologisenteret i Bergen. Sarssenteret er etablert på anbefaling fra en rådgivende komité oppnevnt av Norges forskningsråd etter at det ble kjent at European Molecular Biology Organization (EMBO) var interessert i å utvide sine forskningsinteresser inn i den marine sfære. Sarssenteret representerer en viktig satsing for Norge. Senteret skal – med sine mange tilgrensende marine forsøksfasiliteter over hele Norge – være med på å gjøre landet til en mer attraktiv samarbeidspartner for Europa. På denne måten vil senteret kunne trekke

forskningskompetanse til Norge på områder som er strategisk viktig for landet.

For temaet som behandles her er det kanskje av større betydning at Sarssenteret setter den marine organisme i sentrum for sine studier og benytter molekylære metoder for å studere dem - dvs. forskningsteknikker som gir kunnskap om biologiske prosesser helt ned til molekyl- og gennivå i organismen. Vi skal se litt nærmere på hva dette innebærer.

Hvor er potensialet?

"Hvor vil du si at bioteknologi og molekylærbiologi har sitt største potensial innenfor de marine disipliner i Norge?"

Jeg ser at han tygger litt på spørsmålet – og så begynner han å prate tilsynelatende om noe helt annet! Jeg hadde forventet et kort og greit svar som for eksempel: "Innen akvakultur eller immunologi", eller noe sånt, med en påfølgende forklaring på hvorfor han mener det.

I stedet så begynner han: "Langt de fleste dyrerekker er marine. Det er i havet livet hadde sin spede begynnelse – det er her vi finner det største mangfoldet. Det er bare noen ganske få dyrerekker som er eksklusivt landlevende. Dette til tross, finner vi langt de fleste arter på landjorden, men det er fordi biotoper på land gir mer rom for spesialisering av dyr som egentlig er 'bygget over de samme plantegningene'. Selv om artsmangfoldet er større på landjorden enn i havet er altså graden av mangartethet større i havet. For meg så representerer de mange marine dyrerekker et enormt potensial for ulike livsformer – noe jeg anser for langt mer interessant enn et stort artsmangfold som bare er resultatet av en seleksjonsprosess som har pågått i lang tid. Bioteknologi og molekylærbiologi representerer for meg i denne sammenheng bare et verktøy for å forstå grunnleggende prosesser i dette enorme mangfoldet....." Jeg begynner å innse at jeg faktisk har stilt spørsmålet på hodet!

For Chourrout representerer ikke bioteknologi og molekylærbiologien som sådan et potensiale i seg selv, de er bare verktøy. Potensialet for ham ligger i naturen selv, i de marine organismer og kunnskapen om grunnleggende prosesser. Siden bioteknologi og molekylærbiologi er såvidt konkrete i sin angrepsform, er også kunnskapen generert ved slike studier ofte eksakt og avgrenset. "Sarssenteret vil kunne spille samme rolle overfor akvakultur og forvaltning av de marine ressurser, som medisinske grunnforskningslaboratorier gjør overfor klinikken", sier Chourrout.

På spørsmål om hva han mener om bioteknologiens muligheter for å lage transgene organismer og de moralske betenkeligheter og farer som måtte være forbundet med dette, svarer han: "Jeg anser ikke min personlige mening som spesielt interessant i denne sammenheng, men jeg synes de retningslinjene og anbefalinger som er utarbeidet av 'The Biomolecular Engineering Commission' i Frankrike er interessante. Der blir det slått fast at teknikkene ikke er farlige eller umoralske i seg selv. Disse teknikkene åpner imidlertid for muligheter som ville være vanskelig å oppnå ved vanlig konvensjonelle teknikker som f.eks. avl. Det er vanskelig å fastsette generelle retningslinjer for hva som er etisk forsvarlig og hva som ikke er det. Jeg tror det er riktig å foreta en 'fra sak til sak-vurdering'. Ut fra Chourrouts tidligere avgitte svar tolker jeg at transgenteknikker ikke vil være et veldig sentralt tema for forskningen ved Sarssenteret.

Industriens rolle

Hvis du fikk velge, hvilken rolle skulle du ønske norsk industri skulle spille for å gjøre Sarssenteret til en vitenskapelig suksess?

"Fra mitt hjemland er jeg ikke vant til at industrien finansierer forskning i det hele tatt. Kanskje 1 – 2 % av landbruksforskningen er finansiert av landbruket, og det er stort sett utviklingsarbeid det dreier seg om. Sarssenteret er et grunnforskningssenter, det må være mest naturlig at dette senteret har en frittstående status med bevilgning fra myndighetene. Sarssenteret vil i første rekke utføre forskning for å forstå basale prosesser. Slik kunnskap vil være viktig for Norges strategi med hensyn til forvaltning av marine ressurser på sikt. Hva som er kommersielt viktige arter om 20 eller 50 år kan være helt andre arter enn de vi anser som kommersielt interessante i dag! Grunnleggende forskning har i tillegg den iboende egenskap at den bidrar gjerne til økt forståelse av prosesser og fenomener som kan ligge innenfor et vidt

spekter av ulike fagfelt fra f.eks. marinressursforvaltning til medisin.

Et eventuelt samarbeid med norsk industri vil kunne være prosjekter der Sarssenteret utfører den grunnleggende forskningen, og industrien tar ansvar for de mer anvendte aspekter og utviklingsarbeid. Alternativt kan industrien satse på forskning for etter noen år å høste anvendelser av denne kunnskapen. Som regel vil det bare være en liten andel som vil være anvendbar, kanskje 10 %. Til gjengjeld er kunnskapen generert ved slik forskning vi her snakker om ofte av slik grunnleggende og betydningsfull karakter at den er anvendbar over lengre tid. Anvendt forskning og utviklingsarbeid flytter ofte ikke kunnskapsgrensene så radikalt, til gjengjeld er kanskje hele 50 % av den forskningen anvendbar, men kanskje bare for en kort tid før kunnskapsbehovet er der igjen."

Kunnskapsgrensene må flyttes

"Molekylærbiologi og bioteknologi er verktøy som for de fleste biologiske og medisinske disipliner representerer unike muligheter til virkelig å flytte kunnskapsgrensene slik at vi kan nå nye erkjennelser om viktige biologiske prinsipper", sier Chourrout.

Det er viktig å føye til at en molekylærbiolog anser et biologisk fenomen som forstått når han vet hvilke molekyler som er involvert i den prosessen han forsøker å forstå. Det vil si: Hva slags molekyl(er) er involvert? Hva gjør disse molekylene, eller på hvilken måte er de involvert i prosessen? Hvor kommer disse molekylene fra, kommer de fra utsiden av organismen eller er de dannet inne i kroppen? Hvis de er dannet inne i kroppen, hvor er de da dannet? Hvordan er i så fall produksjonen av dette molekylet igjen regulert? osv.

Immunologi (immunlære) og allergi, endokrinologi (hormonlære), embryologi (fosterlære) og utviklingsbiologi er noen typiske felt hvor disse teknikkene har bidratt radikalt til en dypere forståelse. I løpet av de siste årene har molekylærbiologiske angrepsmåter også vist seg å være svært effektive verktøy innen evolusjonsstudier og økologi. Det er kanskje først og fremst innen fagfelt som har et tradisjonelt biologisk fundament at molekylærbiologi og bioteknologi kan bidra til å etablere fundamentale og nye erkjennelser fordi de kan settes inn i en biologisk sammenheng – og det er nok av problemer å ta fatt på ...

ORDLISTE:

Aminosyre:

Byggestenene i proteinmolekyler. Det finnes 20 forskjellige aminosyrer.

Antibiotika (entall antibiotikum):

Kjemiske forbindelser som i lave doser hindrer vekst av mikroorganismer.

Antistoffer:

Proteiner som hjelper til med å uskadeliggjøre virus og bakterier som har invadert kroppen vår.

Bioteknologi:

Bruk av plante- og dyreceller eller mikrober til produksjon av nyttige stoffer.

Celle:

Den minste enheten i en levende organisme. Alle organismer er bygget opp av celler.

DNA:

Deoxyribonucleic acid (eng. for deoksyribonuklein syre). En polymer, en lang kjede, bygget opp av fire forskjellige mononukleotider. DNA er det genetiske materialet (arvestoffet) i alle celler.

DNA-prober:

(DNA-følere). Små biter DNA som er laget slik at de kan binde seg nøyaktig til andre, komplementære DNA. DNA-prober kan bl.a. brukes til å påvise infeksjoner, gener og arvelige defekter.

Enzym:

Protein som katalyserer en kjemisk reaksjon.

Fermentor:

Et dyrkingskar for bakterier hvor næringssalter og oksygen er nøye kontrollert for å gi maksimal vekst.

Gen:

En del av et kromosom som kan gi produksjon av en funksjonell enhet, f.eks. et enzym.

Genspleising, gensløyd, genmodifisering:

Endring av arvestoffmolekylet. Vanligvis overføres DNA fra en organisme til en annen for å gi cellene en helt bestemt ny egenskap.

Kromosomer:

Trådformede strukturer som er bærere av arvelig informasjon og som er bygget opp av lange, oppkveilede DNA-molekyler omgitt av proteiner.

Mikrober, mikroorganismer:

Den minste form for levende liv, inkludert bakterier, virus, muggsopp (som f.eks. gjærceller) og encellede planter og dyr.

Mutasjon:

Endring i arvestoffet.

Organisme:

Et levende vesen (plante, dyr, muggsopp, bakterier).

Parasitt:

En organisme som lever inne i, eller på en annen organisme (kalt verten) som gir den næring og beskyttelse. Det er viktig å holde mennesker og husdyr fri for parasitter fordi de kan føre til sykdom hos vertsorganismen.

Plasmider:

Små, sirkulære DNA-molekyler som finnes i bakterier. Bioteknologer bruker plasmider som vektorer for å føre gener fra en organisme til en annen.

Protein:

En organisk forbindelse bygget opp av sammenkjedete aminosyrer. Den store bredden i form og funksjon vi ser i cellene viser variasjonsbredden i proteinene i dem.

RNA:

Ribonucleic acid (ribonuklein syre). En sammensatt gruppe kjemiske molekyler. En gruppe kalles messengerRNA, mRNA (budbringer RNA) og bærer en kopi av den informasjonen som koder for et bestemt protein molekyl. De er et viktig ledd i kjeden: DNA lager RNA som lager proteiner.

Transgen:

Gen som er overført til en organisme ved genmodifisering.

Vaksine:

Inaktiverte eller drepte sykdomsfremkallende mikrober. Disse kan sprøytes inn i kroppen for å starte produksjon av antistoffer og på den måte beskytte (immunisere) pasienten mot å utvikle sykdom ved senere smitte.

Virus:

En liten ikke-cellulær partikkel som bare kan formere seg inne i levende celler.

Til siste side, omslaget

Bioteknologinemnda

Bioteknologinemnda er et regjeringsoppnevnt, frittstående, rådgivende organ. Nemndas hovedoppgaver er:

- å vurdere generelle og prinsipielle spørsmål i forbindelse med utviklingen av moderne bioteknologi, og fremme forslag til etiske retningslinjer for slik virksomhet.
- å gi uttalelser om, og fremme forslag til saker som behandles etter genteknologiloven og bioteknologiloven.
- å bidra med informasjon til publikum, og bidra til kommunikasjon mellom offentlige myndigheter, fagfolk og interesseorganisasjoner.

Nemnda gir ut bladet *Gen-i-Alt* som kommer med fem nummer i året. Nemnda arrangerer to åpne debattmøter hvert år om ulike temaer innen moderne bioteknologi. Foredragene fra de åpne møtene samles i rapporter. Alle nemndas publikasjoner er gratis.

Bioteknologinemnda har også sin egen hjemmeside på internett. Her finnes en oversikt over nemndas sammensetning og mandat, i tillegg til alle nemndas uttalelser, pressemeldinger og rapporter.

Hjemmesiden finner du på <http://www.bion.no>

Adresser:

Postadresse: Postboks 8027 Dep, 0030 OSLO

Besøksadresse: Prinsensgt. 18. Oslo

E-post: Bioteknologinemnda@online.no

Telefon: + 47 22 24 87 91

Fax: + 47 22 24 27 45