

Genetisch Gemodificeerde Zalm

COGEM stagerapport

Sandrine Verduijn
Juli 2003

Commissie Genetisch Modificatie (COGEM)

De COGEM heeft tot taak de regering op haar verzoek of uit eigen beweging te adviseren over de risicoaspecten van handelingen met genetisch gemodificeerde organismen (ggo's) en te signaleren over ethische en maatschappelijk aspecten samenhangend met genetische modificatie. De taak van de COGEM is vastgelegd in de Wet Milieubeheer.

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding	3
2. Doel van genetische modificatie	5
2.1 Groei en grootte	6
2.2 Ziekteresistentie	9
2.3 Plantaardig voedsel	9
2.4 Koudetolerantie	9
2.5 Techniek	10
3. De risico's van het kweken van genetisch gemodificeerde zalm	12
3.1 Uitkruising	13
3.2 Ziektes	14
3.3 Competitie	14
3.4 Biodiversiteit	15
4. Inperkingsmogelijkheden	17
4.1 Kweken van steriele vis	17
4.2 Recirculatiesystemen	18
4.3 Haalbaarheid van inperkingsmogelijkheden	18
5. Conclusies	21
6. Maatschappelijke aspecten	23
6.1 Sociaal-economisch	23
6.2 Ethisch	24
6.3 Milieuorganisaties	25
6.4 Vooruitzicht	25
Referenties	27

1. Inleiding

Over de gehele wereld worden al jarenlang verschillende soorten vis gekweekt. De oudste referenties wijzen op het bestaan van visvijvers 3000 jaar geleden in China, Japan, het Romeinse Rijk, Egypte en bij de Maya's in Zuid Amerika. Het opslaan van vis om te kweken vond al meer dan 100 jaar geleden plaats. In de jaren '60 is men pas begonnen met het kweken van zalm. Tegenwoordig is het kweken van zalm een belangrijke industrie geworden in onder andere Noord Amerika en Europa en de vraag naar zalm neemt nog altijd toe. Cijfers van wereldvoedselorganisatie FAO laten zien dat de productie van zalm de afgelopen tien jaar meer dan verdubbeld is (1). In vergelijking met alle andere dierlijk voedsel producerende sectoren, heeft de aquacultuur sinds 1970 een zeer hoog gemiddelde samengesteld stijgingspercentage van 9,2% per jaar. Bij de visvangst is dit percentage 1,4% en bij landdieren gekweekt voor vleesproductie is dit percentage 2,8% (2). De zalmindustrie is in de landen waar zalm gekweekt wordt een waardevolle industrie. In Noorwegen is de kweekzalm de belangrijkste gekweekte diersoort, wat betreft geproduceerde hoeveelheid en de opbrengst die de export oplevert.

In Europa wordt de Atlantische zalm, *Salmo salar*, gekweekt. De Atlantische zalm kan een maximale lengte van anderhalve meter bereiken bij een gewicht van 40 kilo. De rug is blauwgroen met zilverkleurige flanken en de zalm heeft een witte buik. Over het lichaam komen verspreid donkere vlekken voor. Wilde Atlantische zalm komt voornamelijk voor in de wateren nabij Groenland en IJsland. Vandaar uit trekken ze op de geslachtsrijpe leeftijd van ongeveer vier jaar, tussen oktober en december naar de Noordegropese rivieren om te paaien. Dit gebeurt in heldere en snelstromende beken met een grindbedding en een diepte van 30 tot 60 centimeter. In de bovenloop van deze rivieren leggen de vrouwtjes oranje- of roze-achtige eitjes met een grootte van vijf tot zeven millimeter in twee tot drie meter lange paaigeulen, die 15 tot 50 centimeter diep zijn. Per kilogram lichaamsgewicht worden ongeveer 2000 eieren gelegd, die daarna bevrucht worden door de mannetjes. Na de bevruchting worden de paaigeulen bedekt met grind om de eitjes te beschermen. Slechts vier tot zes procent van de zalmen slaagt erin om meer dan één keer te paaien als gevolg van de uitputtende trektocht die ze af leggen. Tijdens deze trektocht voedt de zalm zich namelijk niet, maar leeft op reserves.

Als de jonge zalm de zogenaamde smoltleeftijd heeft bereikt, trekt deze weer terug naar zee om zich verder te ontwikkelen tot een volwassen zalm. Zalm is een

anadrome vissoort, aangezien deze zowel een deel van zijn leven in zout- als in zoetwater doorbrengt. In kwekerijen wordt de levenscyclus van de zalm nagebootst. In het beginstadium wordt de zalm tot de smoltleeftijd in recirculatiesystemen op land gehouden en daarna wordt de vis zee verplaatst. Met name in Noorwegen, Chili, Schotland, Canada, Ierland, Australië en Nieuw-Zeeland wordt veel zalm gekweekt. De zalmen worden gekweekt in kooien in beschutte baaien (fjorden) in zee. De kweek is een tijdrovend proces, doordat zalmen langzaam groeien. Het duurt ongeveer 3 jaar voordat de zalm het marktgewicht heeft bereikt. De langzame groei komt met name door de lage temperatuur van het zeewater waarin zalmen gekweekt worden.

Om het proces van de viskweek te versnellen zijn wetenschappers in de jaren '80 begonnen met het genetisch modifieren van vissen. Wetenschappers in China hebben voor het eerst succesvol een gen voor groeihormoon in vissen ingebracht. Sindsdien zijn biochemici, genetici, aquacultuurwetenschappers, zelfstandige ondernemers en milieuintanties bijzonder geïnteresseerd in het al dan niet ontwikkelen en kweken van genetisch gemodificeerde vissen.

Vissen zijn voor wetenschappelijk onderzoek zeer interessant. Dit komt in de eerste plaats doordat vissen zeer grote hoeveelheden eieren leggen, waar relatief eenvoudig mee te werken is. Daarnaast is de aquacultuur een van de belangrijkste en snelst groeiende takken van voedselproducerende sectoren. Nog steeds is er een groeiende vraag naar producten afkomstig uit de aquacultuur.

Het genetisch modifieren van zalm en vissen in het algemeen, heeft echter ook geleid tot kritiek. Deze kritiek is voornamelijk gericht op de invloed van de transgene vis op het milieu als deze uit de kwekerijen ontsnapt. Transgene zalm zou mogelijk een bedreiging kunnen vormen voor de wilde zalmpopulatie, de ecologie en het natuurlijke evenwicht in de oceanen en rivieren.

De mogelijke gevaren die het kweken van genetisch gemodificeerde zalm met zich meebrengt heeft de COGEM doen besluiten een algemeen onderzoek te doen naar de problemen en de risico-analyse van genetisch gemodificeerde zalm. Op dit moment is zalm de meest bekende commerciële vissoort waar genetische modificatie bij plaatsvindt, vandaar dat dit onderzoek voornamelijk gericht is op de zalm. Tevens zal kort aandacht besteed worden aan andere vissoorten waar genetische modificatie bij plaatsvindt.

2. Doel van genetische modificatie

Vissen worden op verschillende manieren en met verschillende doelen genetisch gemodificeerd. Een belangrijk doel van het genetisch modificeren van vis, is het behalen van economisch voordeel voor producenten. Dit kan bereikt worden door verbetering van groei en groeisnelheid van de vis. Genetische modificatie van vis kan ook uitgevoerd worden met als doel de negatieve impact die de viskweek heeft, te verminderen.

In tabel I wordt een aantal voorbeelden gegeven van mogelijke verbeteringen bij vissen door middel van genetische modificatie (3).

Tabel I: Wat kan transgene technologie voor vissen doen?

<p>1. <i>Verbeteren van opbrengst in de viscultuur</i></p> <p><i>Verbetering van groeisnelheid</i></p> <p><i>Vergroting van de gehele groei</i></p> <p><i>Verhoging van de voedselconversie</i></p> <p><i>Gebruik maken van lage kosten diëten (carbohydraten in plaats van proteïnes)</i></p> <p><i>Verbetering van koudetolerantie</i></p> <p><i>Verbetering van bevriezingstolerantie</i></p> <p><i>Verbetering ziekteresistentie</i></p> <p><i>Verbeteren van de vruchtbaarheid</i></p> <p><i>Controle van het proces van smoltificeren en reproductie</i></p> <p><i>Verminderen van agressiviteit</i></p>
<p>2. <i>Eigenschappen voor de markt</i></p> <p><i>Uiterlijk voor voedsel of voor sier</i></p> <p><i>Kleur van het vlees, smaak en samenstelling</i></p> <p><i>Vetzuurcompositie</i></p>
<p>3. <i>Vissen als bioreactoren</i></p> <p><i>Productie van medisch belangrijke bestanddelen</i></p> <p><i>Productie van commercieel nuttige, medische bestanddelen</i></p> <p><i>Fundamenteel onderzoek met als doel</i></p>
<p>4. <i>Fundamenteel onderzoek met als doel het beschrijven van de groei, voortplantingsprocessen en ontwikkeling van de vis.</i></p>

Bron: Garth L. Fletcher and Peter L. Davies, (1991), Transgenic fish for aquaculture Genetic Engineering, Vol. 13.

2.1 Groei en grootte

De belangrijkste en meest bekende modificatie van zalm heeft betrekking op de groeifactorgenen. Zalm groeit langzaam, doordat het voornamelijk in water leeft waarvan de temperatuur rond het vriespunt ligt. Bij deze lage temperatuur maakt het lichaam van de zalm weinig of geen groeihormoon aan, waardoor deze langzaam groeit. Regulerende eiwitten in de cellen van de zalm kunnen de aanmaak van groeihormoon stimuleren. Deze eiwitten werken als een promotor voor het aanmaken van groeihormoon. Waar de zalm normaal gesproken bij koude temperaturen geen signalen krijgt om groeihormoon te produceren, zorgt het inbrengen van een antivrieseiwit ervoor dat de zalm het gehele jaar door groeihormoon aanmaakt, waardoor deze zalm sneller kan groeien dan een normale zalm. De groeisnelheid kan op deze manier drie tot tien keer verhoogd worden (3). In tabel I is weergegeven welke groeihormonen in verschillende vissen kunnen worden ingebracht. De snellere groei zorgt ervoor dat de zalm eerder het marktgewicht bereikt, en dus eerder klaar is voor consumptie. Hierdoor kunnen zalmkwekerijen in dezelfde tijd meer zalm produceren in vergelijking met traditionele kweekmethode.

Tabel II Groeiverbetering in transgene vis door middel van groeihormoongenegen.

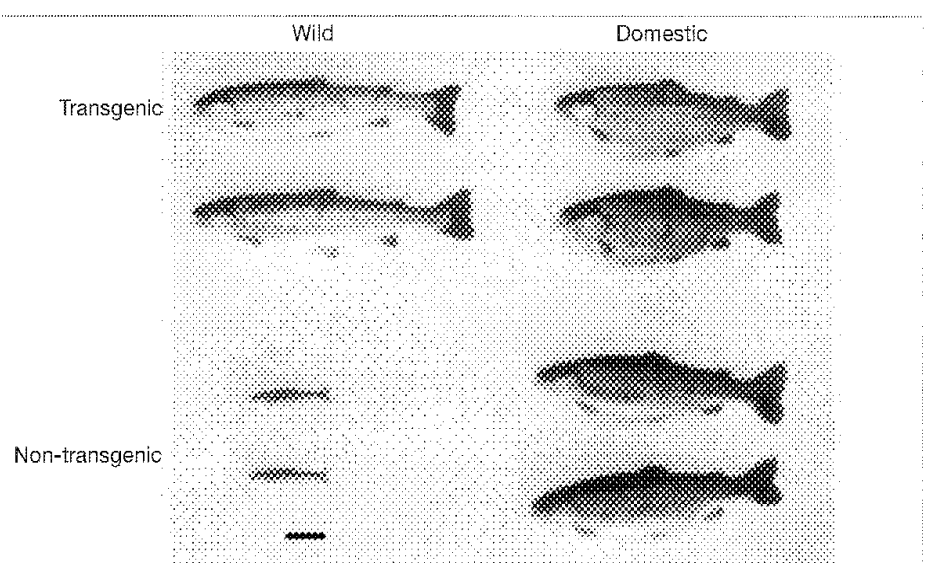
Soort	Promotor	Bron groeihormoon	Groeiverbetering ¹
Karper	mMT	Menselijk GH gen	1,1
Snoek	RSV	bGH cDNA	1-1,1
Meerval	RSV	Coho GH, cDNA	1,2
Karper	RSV	Regenboogforel GH cDNA	1,2-1,4
Tilapia	CMV	Tilapia GH cDNA	1,8
Modderkruiper	MMT	Menselijk GH gen	2
Tilapia	AFP	Chinook zalm GH cDNA	2
Modderkruiper	AFP	Chinook GH cDNA	2,5
Atlantische zalm	AFP	Zalm GH cDNA	3-10
Atlantische zalm	AFP	GH mini-gen	3-10
Pacifische zalm	AFP	Zalm GH cDNA	3-10
Pacifische zalm	Blauwruzgalm MT	Zalm GH gen	6-11
Pacifische zalm	Blauwruzgalm histone	Zalm GH gen	11

Bron: Waelbers, K. (1998), Transgenic fish for food and science, p. 26

¹ Groeiverbetering vergeleken met niet gemodificeerde soort.

Naast het feit dat de zalm eerder het marktgewicht heeft bereikt, kan het ingebrachte gen voor groeihormoon gekoppeld aan antivrieseiwit, er ook voor zorgen dat de zalm groter wordt. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat vissen een zogenaamd 'open groei systeem' hebben. Dit houdt in dat vissen hun gehele leven blijven groeien. Onderzoekers hebben de groei van transgene Coho zalm, met een groeihormoon aangestuurd door een antivriespromotor geanalyseerd. Uit deze analyse bleek dat de transgene zalmen na de eerste keer voeden, 21% zwaarder en 12% groter waren dan de niet transgene zalmen. Het voordeel voor de producent is hierbij dat één genetisch gemodificeerde zalm meer vis oplevert dan een normale gekweekt zalm (4).

Het kweken van genetisch gemodificeerde vis, levert in de eerste instantie voor de producent economische voordelen op. Doordat de vissen sneller groeien, eerder het marktgewicht bereiken en groter kunnen worden, wordt de opbrengst verhoogd. Viskwekerijen kunnen met het kweken van transgene zalm de opbrengst minimaal verdubbelen als ze de tijd halveren die normaal gesproken nodig is voor een vis om marktgewicht te bereiken. Dit verdubbelt de potentiële productiecapaciteit van de viskwekerijen. In figuur 1 is te zien welke resultaten bereikt kunnen worden door het genetisch modifieren van vis en de resultaten die al bereikt zijn met traditionele selectiemethoden.



Figuur 1. Resultaat van genetische modificatie door middel van inbrengen van gen voor groeihormoon op wilde en op gekweekte vis.

Bron: Sin, F.Y.T, (1997), Transgenic fish, Fish Biology and Fisheries 7, p. 429

Een ander belangrijk voordeel dat te maken heeft met het verlagen van de productietijd heeft te maken met de veranderingen in de vraag naar producten. Gebruik makend van de hedendaagse kweekmethoden, duurt het minimaal 3 tot 4 jaar voordat een zalm marktgewicht bereikt heeft. Dat betekent dat nu begonnen wordt met de kweek van vissen die over vier jaar op de markt komen. Een probleem hierbij is dat de in de tussentijd de marktvraag naar zalm kan veranderen. Aan het einde van de jaren negentig hebben visproducenten in Chili hun productie verdubbeld, om in de toekomst te kunnen blijven voldoen aan de sterk stijgende vraag naar zalm vanuit de Amerikaanse markt. De vraag bleef echter niet zo sterk stijgen als verwacht, wat een overproductie van zalm in 2001 tot gevolg had, waardoor de zalmprijs sterk is gedaald. Als de productietijd verlaagd kan worden, dan kan beter ingespeeld worden op de marktvraag, omdat prognoses maar over een beperkte tijdsperiode gedaan hoeven te worden.

Verhoogde voedselconversie

Uit het eerder genoemde onderzoek naar de groei van Coho zalm kan bovendien opgemaakt worden dat de voedselconversie van transgene zalm hoger is dan van niet transgene zalm. Er is dan minder voedsel nodig voor een zalm om te groeien. Onderzoek bij transgene rode karper, heeft aangetoond dat de efficiency van de voedselconversie ongeveer 20% hoger was bij de transgene vissen dan bij de niet-transgene vissen. Bovendien was de energie die gebruikt werd om te groeien 8,9% hoger dan die van de normale vissen (5). Voor de viskwekers heeft dit economische voordelen. Lagere kosten en meer opbrengst betekenen een grotere efficiency. Naast deze economische voordelen voor viskwekerijen, zou het kweken van genetisch gemodificeerde zalm ook positieve gevolgen voor het milieu kunnen opleveren. Door de verhoogde voedselconversie hebben de vissen minder voedsel nodig. Viskwekerijen zorgen net als andere vormen van bio-industrie, voor de productie van grote hoeveelheden afval, bacteriën en chemicaliën. Het gaat hierbij met name om de vissen die in openwatersystemen gekweekt worden. Het produceren van 1000 ton zalm, levert tussen 270 en 1080 ton afval op (6). Vooral voedingsstoffen, ontlasting en dode vissen zorgen voor aanzienlijke vervuiling. Een grote hoeveelheid voedingsstoffen kan ervoor zorgen dat de algengroei toeneemt en het zuurstofniveau afneemt, waardoor er geen waterdieren en planten meer in kunnen leven. Genetische modificatie zou er voor kunnen zorgen dat deze hoeveelheid afval die in het milieu terecht komt, afneemt. Er is minder voedsel nodig en er komt minder ontlasting vrij als gevolg van de verhoogde voedselconversie.

2.2 Ziekteresistentie

Vissen die in grote hoeveelheden dicht bij elkaar leven, zoals zalm, zijn gevoelig voor besmettelijke ziektes. In de aquacultuur zorgen ziektes zoals het besmettelijke zalmanemie, infectieuze hematopoïetische necrose, virale hemorrhagische septikemie, maar ook de parasiet zeeluis voor grote verliezen in de opbrengst. Om te voorkomen dat ziektes en parasieten zich onder de gekweekte zalm verspreiden, wordt vaak antibiotica verwerkt in de voeding. Onderzoekers zijn bezig met het plaatsen van een ziekteresistentiegen van een regenboogforel in de zalm, waardoor de zalm resistent wordt voor bepaalde ziektes. Door het inbrengen van dit genconstruct, hoeft geen antibiotica meer in het voedsel verwerkt te worden, en komt dit ook niet meer in het milieu terecht. Bovendien zou de ziekteresistentie ervoor kunnen zorgen dat er minder vissen vroegtijdig doodgaan en voor vervuiling kunnen zorgen. Daarnaast zorgt de introductie van ziekte-resistente vissen ervoor dat de kosten voor het gebruik van antibiotica lager worden.

2.3 Plantaardig voedsel

Het inbrengen van het elongasegen in de zalm, kan ervoor zorgen dat zalm niet meer afhankelijk is van vismeel en visolie als fosfaatbron. Hierdoor zouden deze nu nog essentiële bestanddelen van het voer van de zalm vervangen kunnen worden door plantaardig voedsel. De steeds intensiever wordende aquacultuur heeft de afgelopen jaren gezorgd voor een enorme toename in de vraag naar visolie en vismeel. Visolie en vismeel wordt gemaakt van verschillende soorten kleine vis die in de oceanen wordt gevangen. Voor de productie van één kilo zalm, is drie kilo aan andere vis nodig. Natuurorganisaties waarschuwen voor de gevaren van de overbevissing van de oceanen als gevolg van de stijgende vraag naar visvoer.

2.4 Koudetolerantie

Koudetolerantie van vissen zorgt ervoor dat er ook viskweek industrieën opgezet kunnen worden in subarctische gebieden. Hierdoor kunnen de gebieden waar zalm gekweekt wordt uitgebreid worden naar koudere gebieden, zoals delen van de Canadese, Noorse en Zweedse kust. Het water in deze gebieden is te koud voor de meeste vissoorten om te kunnen overleven. Door het inbrengen van een antivrieseiwit in bijvoorbeeld zalm, kan de bevroeringstemperatuur van het bloedplasma verlaagd worden, zie tabel II (9), waardoor deze in koudere wateren zou kunnen overleven. Hierdoor kan de zalminindustrie uitgebreid worden en kunnen andere landen ook een zalminindustrie opzetten.

Tabel II Antivrieseiwitten in Atlantische vissoorten

Type antivrieseiwit	Soort	Bevriezingstemperatuur bloedplasma (°C)	Thermale hysteresis (°C)
AGFP	Atlantische kabeljauw (<i>Gadus morhua</i>)	-1,23 ± 0,02	0,375 ± 0,019
AGFP	Kousebandvis (<i>Microgadus tomcod</i>)	-0,973 ± 0,038	0,239 ± 0,026
AFP type I	Platvis (<i>Pseudo pleuronectus americanus</i>)	-1,73 ± 0,04	0,78 ± 0,049
AFP type II	Atlantische haring (<i>Clupea harengus harengus</i>)	-1,47 ± 0,02	0,29 ± 0,01
AFP type III	Zeewolf (<i>Anarhichas lupus</i>)	-1,63 ± 0,09	0,80 ± 0,07

Bron: Hew, C.L., P.L. Davies, G. Fletcher, (1992), Antifreeze protein gene transfer in Atlantic Salmon. *Molecular Marine and Biotechnology* 1 (4/5), p. 310.

2.5 Techniek

De eerste stap in het genetisch modificeren van vis, is het construeren van de kunstmatige genen, ook wel genconstructen genoemd. Deze genen zijn ontwikkeld om een bepaald fenotype te verkrijgen. Dit gen wordt in dit geval in de visseneitjes geplaatst of in een embryo en deze zal zich daarna ontwikkelen.

Zalm behoort tot de *salmoniden*. Het interessante aan deze diersoort is dat ze afstamt van tetraploïde dieren. In de loop van de geschiedenis is echter diploïdisatie opgetreden, waardoor de zalm nu diploïd is (10). Er zijn verschillende methoden om nieuwe genen in visseneitjes in te brengen; microinjectie, ‘particle bombardment’, electroporatie, lipofectie of door gebruik te maken van zaadcellen als vector.

Microinjectie

De meest gebruikte methode is de microinjectie. Hierbij wordt het recombinant DNA in het cytoplasma van de embryo's geïnjecteerd tijdens de 1-, 2- of 4 cellige fase van de ontwikkeling. De geïnjecteerde embryo's hebben een overlevingsgraad van 16 % in zebravis tot 85% in zalm (7). Microinjectie is echter een tijdrovende

methode. In één uur tijd, kunnen zestig zalmeieren geïnjecteerd worden. Vandaar dat onderzocht wordt of andere methoden, waarbij meerdere eitjes tegelijkertijd geïnjecteerd kunnen worden, efficiënter zijn.

Lipofectie

Bij lipofectie wordt gebruik gemaakt van de positief geladen lipide moleculen en de negatief geladen DNA moleculen. Doordat de oppervlaktes van biologische membranen negatief geladen zijn, kunnen liposomen zich met negatieve plasma membranen verenigen en op deze manier de nucleïnezuren de cel in transporteren. De snelheid waarmee de liposoom aan het plasmamembraan bindt, bepaald de opnamehoeveelheid. Daarnaast speelt de gevoeligheid van de cel voor specifieke lipiden een belangrijke rol bij de opname van de nucleïnezuren. Deze methode is echter nog niet zonder meer een succesvolle methode om genen tot expressie te brengen, omdat het transgen in de loop der tijd verdwijnt.

'Particle bombardment'

Bij 'particle bombardment', wordt het DNA dat de cel in getransporteerd moet worden, op wolframen of gouden deeltjes geplaatst met een diameter van ongeveer 0,1 tot 3,5 μ m. Deze deeltjes worden onder een vacuüm met een beschietingsapparaat in de deeltjes geschoten. De efficiency van het overbrengen is afhankelijk van de afstand tussen de eitjes en het beschietingsapparaat, welke gemiddeld tussen 10 en 25 centimeter is. Deze methode is nog volop in ontwikkeling, maar zou een potentieel nuttige oplossing kunnen zijn bij soorten waar microinjectie niet uitgevoerd kan worden.

Electroporatie

Bij electroporatie worden cellen aan een elektrisch veld blootgesteld, zodat de delen van de cel gepolariseerd worden en zich een spanningsverschil binnen het membraan ontwikkelt. Als het potentiaalverschil een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, breekt het membraan op sommige plaatsen af, waardoor tijdelijke openingen ontstaan. Door deze openingen kunnen moleculen de cel binnendringen. Deze verandering van het membraan is weer terug te draaien, mits de duur van de elektrische puls niet de kritische grens overschrijdt. Ook bij deze methode neemt het aantal embryo's die het transgen bevatten af in de loop der tijd, wat betekent dat het niet geïntegreerd is in de gastheerchromosomen.

Zaadcellen als vector

Ook kunnen zaadcellen als vector dienen. Hierbij worden niet de eicellen gebruikt om de genconstructen in te brengen, maar zaadcellen. Als eicellen met deze zaadcellen worden bevrucht, bevat het embryo het transgen. Toch blijkt deze methode ook niet 100% effectief en zelfs als het gen aanwezig is in het nageslacht, wil dit nog niet zeggen dat het transgen succesvol is geïntegreerd.

3. De risico's van het kweken van genetisch gemodificeerde zalm

De mogelijke risico's die het kweken van genetisch gemodificeerde zalm met zich meebrengt, hangen nauw samen met de risico's van het kweken van niet gemodificeerde zalm in het algemeen. Het risico dat het kweken van genetisch gemodificeerde zalm met zich meebrengt is afhankelijk van de kans op verspreiding en de gevolgen van deze verspreiding. De definitie van risico kan ook als een mathematische formule gezien worden; risico is de kans op verspreiding maal de kans ongewenste effect (8). De kans op verspreiding van transgene zalm kan vergeleken worden met de kans dat niet gemodificeerde zalm ontsnapt uit de kwekerijen, indien de transgene zalm in de toekomst op dezelfde manier gekweekt gaat worden.

Het ontsnappen van vissen uit de aquacultuur zorgt ervoor dat grote hoeveelheden gekweekte vis in het milieu terecht komen. Deze ontsnapte vissen kunnen zich zeer snel verspreiden. Daarnaast hebben de vissen een hoog voortplantingspotentiaal en een aanzienlijke kans om zich in het wild te vestigen, door de relatief korte geschiedenis van domesticatie (9). De aquacultuur is momenteel wereldwijd de grootste bron voor de introductie van een nieuw genotype in het milieu. Een studie naar wilde zalmpopulaties in Noorwegen, toonde grote aantallen gekweekte vis onder de wilde populaties aan. Hierbij werd gevonden dat tussen 34% en 54% van de gevangen vis langs de kustgebieden gekweekte vis was. In de rivieren waar de zalm paart, waren het percentages van tussen 21% en 38% die uit gekweekte zalm bestonden (10). In 2002 was de ontsnappingsgraad uit Marine Harvest farms van Nutreco 0,03%. Dit komt overeen met 15000 tot 16000 jonge vissen die alleen al uit de kwekerijen van Nutreco ontsnappen en in het milieu terecht komen (11).

De gekweekte vis en dus ook de transgene vis kan gezien worden als een vreemde soort in een bepaalde omgeving. Accidentele ontsnappingen en ook het opzettelijk uitzetten veroorzaken 'biologische vervuiling' met niet terug te draaien en onvoorspelbare ecologische gevolgen. Vooraf is vaak niet te bepalen wat de risico's of gevaren zijn van de verspreiding van de vreemde soort voor de omgeving, door de grote hoeveelheid directe en indirecte biologische relaties.

Er zijn in het algemeen twee manieren waarop ontsnapte zalm uit de aquacultuur genetische invloed kan hebben op wilde soortgenoten. Dit kan direct zijn door middel van kruisen, of indirect door het introduceren van ziektes, competitie of

predatie. Bij de indirecte manier van beïnvloeding van de populatie, zal dit tot gevolg hebben dat de grootte van de wilde zalmopulatie achteruit gaat en uiteindelijk de genetische variatie verminderd wordt.

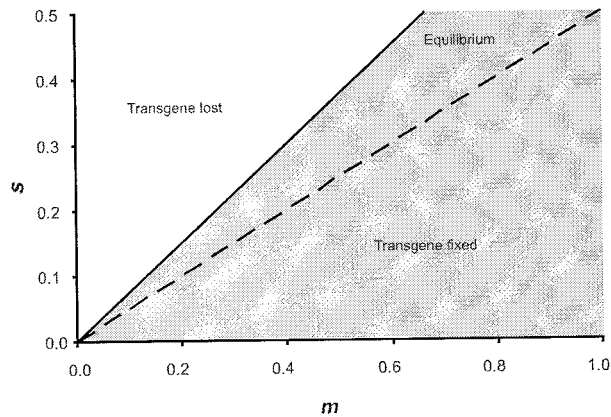
3.1 Uitkruising met wilde soort

Als de gekweekte zalm nog in voldoende mate op de wilde variant lijkt, dan kan deze succesvol kruisen onder natuurlijke omstandigheden. Het kruisen van een gekweekte (transgene) soort en de wilde variant kan een aantal gevolgen hebben voor de wilde populatie. De wilde Atlantische zalmopulatie bestaat uit een groot aantal lokale en genetisch verschillende populaties, die zich hebben aangepast aan de omstandigheden van hun plaatselijke habitat. De gekweekte populatie van Atlantische zalm is daarentegen juist zeer homogeen. Dit is het gevolg van het selecteren van zalm op bepaalde eigenschappen, zoals bijvoorbeeld groei en van het feit dat een grote hoeveelheid nakomelingen maar van een selecte groep ouders afkomstig is. Tenslotte hebben deze vissen zich aangepast aan de kweekomstandigheden en zijn ze voor een groot gedeelte gedomesticeerd (12). Als deze soort succesvol zou kunnen kruisen met de wilde verwanten, dan zal het gevolg zijn dat er homogenisatie van de wilde zalmopulaties optreedt. Homogenisatie brengt gevaren met zich mee, omdat populaties hierdoor meer vatbaar zijn voor bijvoorbeeld besmettelijke ziektes. Aan de andere kant bezitten de nakomelingen van deze uitkruising veelal niet de eigenschappen die noodzakelijk zijn voor overleving in het wild, wat kan leiden tot een uitkruisingsdepressie. De verminderde levenskans wordt als gevolg van de uitkruising verspreid over de gehele populatie, wat ervoor zorgt dat de gehele zalmopulatie een verminderde overlevingskans heeft.

Er zijn verschillende modellen opgesteld om de uitkruisingsdepressies te beschrijven als transgene organismen wilde populaties binnendringen. Eén daarvan is het model van P. W. Hendrick (13). Deze beschrijft de gevolgen voor een wilde populatie als er kruising tussen een wilde soort (AA) en homozygote (A_tA_t) en hemizygote (A_tA) transgenen plaatsvindt. In dit model wordt rekening gehouden met een mogelijke voortplantingsvoordeel als gevolg van een toegenomen lichaamsomvang, en een verlaagde overlevingskans van de transgenen. De verlaagde levenskans van transgene organismen wordt veroorzaakt doordat transgene organismen beschouwd kunnen worden als mutanten, waarbij de historie van selectie ontbreekt die de negatieve fitness effecten doet verdwijnen. Aan de andere kant ontstaat een voortplantings-voordeel door de toegenomen lichaamsomvang als gevolg van het transgeen maken voor groeihormoon. Grotere

mannetjes hebben voordeel bij de competitie om vrouwtjes en ze krijgen bovendien de voorkeur van grotere vrouwtjes. In figuur 2 is weergegeven wat de invloed is van de introductie van een transgeen in een wilde populatie.

In de situatie van transgene vis kan de gemiddelde fitness van de populatie juist achteruit gaan, doordat de transgenen een voortplantingsvoordeel hebben en daarnaast een fitnessachterstand. Als het transgeen in de populatie toeneemt, dan neemt de fitness van de populatie af met dezelfde snelheid.



Figuur 2. Gevolgen van een voortplantingsvoordeel (m) op horizontale as en verminderde levenskansen (s) op verticale as in vergelijking met de natuurlijke populatie van transgenen. De gemiddelde fitness van de populatie wordt hierbij verminderd van 1 voor de introductie van de transgenen, naar $1-s$ nadat de transgenen zich hebben gevestigd.

Bron: Report of the working group on the application of genetics in fisheries and mariculture, La Rochelle and La Trablade, France, March 10-12-2003, p. 9.

3.2 Overdracht van ziektes

De intensieve kweekcultuur is gevoelig voor de overdracht van ziektes en parasieten. De vissen leven in grote hoeveelheden dicht bij elkaar en kunnen daardoor gemakkelijk infectieuze ziektes of parasieten op elkaar overbrengen, en bij ontsnapping ook op wilde soortgenoten. Het kweken van genetisch gemodificeerde zalm zal ervoor zorgen dat de zalmkweek intensiever wordt. Als deze dieren ook kunnen ontsnappen, dan wordt het risico van de overdracht van ziektes en parasieten verhoogd.

3.3 Competitie

Ontsnapte, gekweekte zalm kan leiden tot een nieuwe concurrent voor natuurlijke populaties. Gekweekte zalm voedt zich hetzelfde voedsel als wilde soortgenoten. Door de grotere lichaamsomvang, zal de transgene zalm meer voedsel tot zich nemen dan de wilde soort. Daarnaast heeft de transgene zalm ook dezelfde voortplantingsmethoden als de wilde zalm en kan dus competitie voeren om paaiplaatsen en de wilde zalm verdrijven van de natuurlijke paaiplaatsen.

3.4 Biodiversiteit

Een goed voorbeeld van de gevaren van de introductie van vreemde soorten in een bepaalde omgeving is het uitzetten van de nijlbaars in het Victoriameer. In de jaren '60 is in het Victoriameer in Afrika de nijlbaars uitgezet. Binnen tien jaar was de lokale populatie van meer dan 400 verschillende, kleinere vissen, verminderd van 80% naar 2% van de totale hoeveelheid vis in het meer. Ongeveer 50% van de oorspronkelijke soorten verdwenen uit het meer, door de komst van de vreemde soort (14).

Als de transgene zalm in het milieu terechtkomt, kan een soortgelijk scenario optreden. De transgene zalm heeft eigenschappen die van nature niet in een bepaalde omgeving voorkomen, waardoor deze gezien kan worden als een invasieve, exotische, soort. Invasie van gebieden door exotische soorten, brengt veel bezorgdheid met zich mee over mogelijke risico's voor het milieu. Een invasieve soort kan een plaag worden, afhankelijk van de eigenschappen van deze soort. Als de transgene zalm een grote kans heeft om te overleven in bepaalde gebieden in het wild, zich kan voortplanten, in een aanzienlijke hoeveelheid aanwezig is en de ingebrachte genconstructen bovendien zorgen voor een grotere invasieve capaciteit, dan kan de transgene zalm uitgroeien tot een plaag. Het gevolg hiervan is dat de hoeveelheid aanwezig voedsel snel achteruit gaat. Bovendien worden bedreigde diersoorten die in dezelfde omgeving leven en als prooi dienen of zich met hetzelfde voedsel voeden als de transgenen ernstig bedreigd.

Indien de transgene zalm een verhoogde competitieve capaciteit of een verhoogd predatiesucces heeft, dan is een verandering in de aanwezigheid van minimaal één van de andere soorten in een ecosysteem onvermijdelijk. Of dit de veerkracht van een ecosysteem aantast, is afhankelijk van het aantal soorten dat bedreigd wordt, de rol die de bedreigde soorten in het voedselweb spelen en de impact die een verandering in hun aanwezigheid heeft (15).

Door de introductie van transgene zalm in het wild, kunnen gehele niches aangetast worden. Wilde zalm leeft in een niche, waar allerlei zichtbare en onzichtbare verbanden tussen verschillende organismen zijn. In de rivieren waar zalm nog van

nature voorkomt, is zalm een belangrijke pion in het ecosysteem. De vissen die de rivieren optrekken, worden door predatoren gevangen en de vissen die de trektocht niet overleven en op de oevers aanspoelen, dienen als mest voor de vegetatie aan de oevers van de rivieren. De gekweekte zalm en dus ook de transgene gekweekte zalm, vertoont totaal ander gedrag in de rivieren, waardoor het natuurlijke evenwicht verstoord kan worden

3.5 Gevolgen voor de vis zelf

Tenslotte zijn er ook gevolgen voor de vis zelf. Een aantal transgene vissen vertoont abnormale fenotypes, waaronder misvormingen aan schedel of kaak door de versnelde groei. Een aantal van deze dieren stierf vroegtijdig als gevolg van deze misvormingen (16).

4. Inperkingsmogelijkheden

Ontsnapping van de transgene zalm uit de aquacultuur is een belangrijk aspect van zalmkweek dat ingeperkt dient te worden. Op dit moment zijn de kweekmethoden nog niet dusdanig veilig dat gegarandeerd kan worden dat vissen niet kunnen ontsnappen. Volgens Nutreco bereikt slechts een zeer beperkte hoeveelheid (3-4%) van de wilde zalm de volwassen leeftijd en trekt daarna naar de rivieren om zich voort te planten. Een ontsnapte zalm zal bovendien ook nog moeten kunnen overleven in het wild voordat het eventueel naar de rivieren kan trekken. In de rivieren zal de gekweekte zalm nog de paaiplaatsen moeten kunnen bereiken en succesvol kunnen concurreren met de wilde soortgenoten.

Het treffen van maatregelen om ontsnappingen in te perken blijkt echter lastig, omdat meerdere factoren hierbij een rol spelen. Vissen kunnen ontsnappen doordat de netten van de kwekerijen stuk zijn. Netten kunnen kapot gaan als gevolg van slijtage, weersomstandigheden en incidentele ongelukken. In 2001 is een schipper in de netten van een Noorse zalmkwekerij gevaren, wat heeft geleid tot de ontsnapping van rond de 40000 zalmen. Verder ontsnapt ook een aanzienlijk aantal zalmen tijdens het binnenhalen van de netten.

Naast het milieuaspect dat de gekweekte zalm in het milieu terechtkomt, is het ontsnappen van vis ook voor de producenten een belangrijk punt. Zij missen door de ontsnapping een deel van hun opbrengst en besteden daardoor steeds meer aandacht aan het zoeken naar oplossingen.

4.1 Kweken van steriele vis

Het kweken van steriele vissoorten in het algemeen, zou een belangrijke oplossing kunnen zijn voor de bescherming van wilde soorten als gevolg van ontsnappingen uit aquacultuur en voor het garanderen van inperking van transgene organismen.

Er is een aantal manieren om een steriele kweekvis te krijgen. Dit kan door een populatie van één geslacht te kweken, zodat onderling niet gekruist kan worden, door middel van het kweken vrouwtjes zalm en deze te behandelen met mannelijke geslachtshormonen of door het kweken van een triploïde populatie (17). Triploïde organismen kunnen zich niet voortplanten, doordat deze niet de normale geslachtskenmerken ontwikkelen.

Triploïdie wordt in vissen geïnduceerd door middel van temperatuurschokken, hydrostatische drukschokken of het toevoegen van chemicaliën. Vlak na de bevruchting worden de eitjes behandeld, om de extrusie van het tweede polaire

lichaam te verhinderen, waardoor de cel drie sets chromosomen heeft (18). Een andere methode om vis triploïd te maken is door het kruisen van diploïden met tertraploïden.

4.2. Recirculatiesystemen

Naast het kweken van steriele vissen, zou een andere inperkingmogelijkheid het kweken van zalm in recirculatiesystemen op land zijn. Verschillende vissoorten worden nu al op die manier gekweekt, zoals paling en meerval. Zalm wordt echter nu nog altijd alleen in recirculatiesystemen gekweekt tot de smoltleeftijd en wordt daarna in openwatersystemen in zee geplaatst. Als ontsnapping kan worden voorkomen, dan kan de genetisch gemodificeerde zalm niet in het milieu terechtkomen. Ook houden de recirculatiesystemen negatieve externe invloeden die beperkende gevolgen hebben voor kwekerijen, zoals ziektes, parasieten en weersinvloeden buiten. Bovendien heeft het kweken in een recirculatiesysteem nog een aantal voordelen (19):

- Vermindering van het aantal meststoffen die in het milieu terechtkomen, doordat de het water continu wordt gereinigd en gerecirculeerd.
- Complete controle over het productiemilieu.
- Controle over ziekte-uitbraken
- Controle over de vis-biomassa, waardoor vis in elke gewichtsklasse en van dezelfde kwaliteit gedurende het gehele jaar af te leveren

4.3 Haalbaarheid van inperkingsmogelijkheden.

Het werken met steriele kweekpopulaties is nooit 100% veilig. In het algemeen is er een zeer grote variatie in het aantal triploïden dat bereikt wordt, afhankelijk van de verschillende technieken en de soort vis. De hogedruk methode wordt gezien als de meest succesvolle methode, waarbij percentages van 80% tot 100% van de vissen triploïd zijn. Een monoseks populatie is alleen veilig als alle dieren hetzelfde geslacht hebben en er in het wild ook geen dieren van het andere geslacht voor zouden komen. Bij het kweken van hybriden en triploïden blijft ook altijd de kans bestaan dat niet alle dieren onvruchtbaar zijn. Hierdoor blijft altijd de mogelijkheid bestaan dat de gekweekte populatie, in ieder geval op de korte termijn, ecologisch kan interacteren met de wilde populatie en andere populaties (20). Zalmkwekers kweken geen steriele zalm. Onder zoetwater condities groeit en steriele zalm sneller dan een niet-steriele zalm, maar in zoutwater is dit niet het geval. De steriele zalm groeit dan minder snel dan de niet-steriele (21). Daarnaast vertoont een aantal triploïde diersoorten, waaronder de Atlantische zalm, een verlaagde overlevingskans (20). Een ander gevaar is dat in sommige soorten vis, triploïde

mannetjes, wel secundaire geslachtsorganen en zelfs testosteronniveaus bereiken die gelijk zijn aan die van diploïde mannetjes, zoals bijvoorbeeld bij de platvis. Hierdoor kunnen de steriele mannetjes paren met vrouwtjes, zonder dat er levensvatbare nakomelingen ontstaan. Als grote hoeveelheden triploïden in een wilde populatie terechtkomen, kan dit de natuurlijke reproductie van de wilde soort onderdrukken, als de triploïde mannetjes succesvol kunnen strijden met de diploïde mannetjes om vrouwtjes.

Het opzetten van een viskwekerij met uitsluitend afgesloten recirculatiesystemen is een kostbare investering, waarbij de locatie een zeer belangrijke factor is. Er moet een mogelijkheid zijn om voldoende zeewater van een goede kwaliteit aangeleverd worden. Ook moeten er zeer veel veiligheidsmaatregelen genomen worden, om te kunnen garanderen dat geen transgene vis kan ontsnappen en dat er geen afvalstoffen in het milieu terechtkomen. Tenslotte is het belangrijk dat er een goede infrastructuur rond de kwekerij is om het transport van vis, voer en materiaal mogelijk te maken.

5. Conclusies

Gezien de manier waarop zalm nu gekweekt wordt, is er een grote kans dat de genetisch gemodificeerde zalm ontsnapt en in het milieu terechtkomt. Het kweken van zalm zorgt momenteel voor grote hoeveelheden kweekzalm die in het milieu terechtkomen en wilde zalmpopulaties, maar ook andere populaties bedreigen.

Een belangrijk aspect daarbij is de dreigende homogenisatie van de wilde zalmpopulatie. Dit wordt veroorzaakt als gekweekte, transgene zalm een voortplantingsvoordeel heeft en zich kan voortplanten. Bij vissen speelt de lichaamsgrootte een belangrijke rol in het selecteren van een partner. Hoe groter het mannetje, hoe meer kans op een partner. Genetische modificatie wordt met name uitgevoerd om de zalm sneller te laten groeien en om de zalm groter te laten worden. Als deze grote zalm in het milieu terechtkomt, heeft deze een voordeel ten opzichte van kleinere soortgenoten. Dit voortplantingsvoordeel zorgt ervoor dat het transgen en de eigenschappen van de genetisch gemodificeerde zalm zich verspreiden over de wilde populatie. De wilde populatie heeft zich langzaam aangepast aan allerlei, lokale, omstandigheden. De gekweekte, transgene zalm heeft dit proces echter niet doorlopen en is daardoor meer vatbaar voor verschillende gevaren in de natuur.

Daarnaast kan genetisch gemodificeerde zalm na ontsnapping gezien worden als een vreemde soort binnen een bepaald gebied, door de nieuwe eigenschappen die deze met zich meebrengt. Dit kan ertoe leiden dat deze soort een concurrent voor voedsel en paaiplaatsen wordt voor de wilde soort, maar ook voor andere soorten die van nature in bepaalde gebieden voorkomen.

Op grond van de beschikbare literatuur en na raadpleging van verschillende deskundigen, kan gesteld worden dat de wilde zalmpopulatie ernstig bedreigd zou worden in het voortbestaan als gekweekte, transgene zalm uit de zalmkwekerijen ontsnapt.

Om de kans op verspreiding van de genetisch gemodificeerde zalm te beperken en de verspreiding van het transgen te voorkomen, is het kweken van steriele, transgene zalm in recirculatiesystemen op land, de veiligste methode. Er moeten hierbij strenge veiligheidsmaatregelen getroffen worden, die de kans op ontsnapping onmogelijk maken en die ervoor zorgen dat geen levend materiaal in het milieu terecht kan komen. Te denken valt aan volledig afgestoten tanks. Indien aangetoond kan worden dat er geen transgene zalm, of afvalmateriaal van de

kwekerijen in het milieu terechtkomt, dan is er een mogelijkheid tot het kweken van genetisch gemodificeerde zalm.

6. Maatschappelijke aspecten

Het kweken van genetisch gemodificeerde zalm en vis in het algemeen, roept economische, ethische en maatschappelijke vragen en bezwaren op.

6.1 Sociaal- economisch

Als voordeel van het kweken van genetisch gemodificeerde zalm, wordt vaak het economisch voordeel aangedragen. Binnen de aquacultuur heerst sinds enige tijd het gevaar van marktverzadiging. Hierdoor is de prijs van veel producten laag en valt er weinig winst te maken voor bedrijven. Om te kunnen blijven concurreren zullen de productiviteit en innovaties moeten toenemen. Dit is niet zo eenvoudig voor bedrijven in deze sector, omdat de winstmarges vaak maar klein zijn, waardoor niet veel in onderzoek geïnvesteerd kan worden en productontwikkeling en marketing zeer beperkt zijn. Daarnaast staat de vissector bekend als ‘gezonde’ sector. Nog altijd wordt het eten van vis als gezond beschouwd. Omdat de ideeën van de maatschappij in sterke mate maakbaar zijn, zijn bedrijven in de vissector zeer voorzichtig met de introductie van nieuwe producten. Het produceren van genetisch gemodificeerde vis, zou de beeldvorming negatief kunnen beïnvloeden, waardoor de opbrengst zou kunnen dalen. In Noorwegen heeft er ongeveer tien jaar geleden een grote maatschappelijke discussie plaatsgevonden over het kweken van genetisch gemodificeerde zalm. Onderzoekers waren op dat moment bezig met het verbeteren van de groei van zalm door het inbrengen van menselijke groeihormonen. Dit wekte bij de bevolking, milieuorganisaties, maar ook bij de zalmkwekerijen veel weerstand op. In Noorwegen, waar de zalmkweek een zeer belangrijke industrie is, waren mensen zuinig op het gezonde imago van de zalm. Mensen zijn trots op de kwaliteit van de Noorse gekweekte zalm. Ook wordt in Noorwegen strikt toegezien op de manier waarop zalm gekweekt wordt, omdat gezonde zalm het beste groeit en de beste kwaliteit vlees oplevert. Voor de Noorse maatschappij was het dan ook van groot belang dat het imago in stand gehouden werd en transgene technieken dus niet in de zalmkweek gebruikt zouden worden.

Een ander belangrijk gegeven is het feit dat de gebruikte selectiemethoden tot nu toe al zeer succesvol geweest blijken te zijn. Het resultaat van genetische modificatie van vis lijkt net zo effectief als de selectiemethoden die tot op heden zijn gebruikt. Genetische modificatie zou wat groeihormoon alleen nog effectief zijn, als gewerkt wordt met wilde soorten, maar dan nog wordt slechts het effect

bereikt wat tot nu toe al bereikt is met de gebruikte selectiemethoden, zoals te zien is in figuur 1 op pagina zeven van dit rapport .

Verder lijken inperkingsmogelijkheden die er op het moment zijn vooralsnog niet economisch rendabel. Het ontwikkelen, bouwen en het gebruik maken van een gesloten kweekstelsel op land is zeer kapitaalintensief.

Aanvullend zouden bedrijven die overgaan op de productie van transgene zalm, ook voor hogere kosten kunnen komen te staan. Naast het betalen voor of het ontwikkelen van transgene eitjes, zullen bedrijven moeten investeren in extra veiligheidsmaatregelen en in aanpassingen als gevolg van een verhoogde productie. Verder zal het economische effect niet voor alle bedrijven hetzelfde zijn. Als grote bedrijven overgaan op het kweken van genetisch gemodificeerde zalm, dan kunnen kleinere bedrijven nadeel ondervinden als gevolg van een lagere prijs door een verhoogde productie van de grote bedrijven

6.2 Ethisch

Over het algemeen heeft vis een lage zogenaamde ‘aaibaarheidfactor’. Hierdoor voelen veel mensen zich niet erg nauw betrokken bij de problematiek rond viskweek en de genetische modificatie van vis. Toch wekt het kweken van transgene zalm vanuit ethisch perspectief veel problemen op. Onderzoek heeft aangetoond dat vissen ook pijn kunnen lijden en hier zou rekening mee gehouden moeten worden (22). Onderzoekers van de Universiteit van Wageningen hebben aangetoond dat vissen een ervaringswereld kennen. De belangrijkste ethische vragen die het kweken van genetisch gemodificeerde vis oplevert hebben te maken met de gevolgen voor de zalm zelf, wat betreft gezondheid, welzijn en integriteit en met het doel, de menselijke consumptie, waar de zalm wordt gekweekt.

Het welzijn van de vis kan door de genetische modificatie achteruit gaan. Eerder genoemd onderzoek heeft aangetoond dat er door de snelle misvormingen aan de zalm kunnen optreden. Daarnaast zorgt het kweken van transgene zalm voor aantasting van de integriteit van de zalm. De zalm wordt aangetast in zijn integriteit doordat deze nieuwe eigenschappen bevat en niet meer in de natuurlijke omgeving leeft.

Genetisch gemodificeerde zalm wordt gekweekt met als doel dat de zalm voor menselijke doeleinden dient. Een belangrijke vraag is of dit wel ethisch aanvaardbaar is. Mogen andere organismen genetisch aangepast worden enkel om als consumptie voor de mens te dienen. Daarnaast is ook een belangrijke vraag of fundamenteel onderzoek bij vissen wel geoorloofd is, als er nog geen specifiek doel voor het onderzoek is aangedragen.

Vanuit ethisch oogpunt is het maken van en werken met genetisch gemodificeerde zalm alleen geoorloofd als er geen alternatief is en geen grote aantasting van het welzijn van de vis is.

6.3 Milieuorganisaties

Milieuorganisaties zijn belangrijke tegenstanders van (het kweken van) genetisch gemodificeerde zalm. Volgens Greenpeace mogen dieren niet onnodig pijn lijden of op een andere manier ongerief ondervinden voor menselijke doeleinden. Daarnaast is het kweken van genetisch gemodificeerde zalm overbodig. De kweek is oorspronkelijk begonnen omdat zalm een duur product was, maar tegenwoordig is dit niet meer zo. Ook wordt zalm niet gekweekt met het oog op het oplossen van de voedselproblematiek in de wereld, dus dient kweken van transgene zalm niet om belangrijke problemen op te lossen. Daarnaast is Greenpeace van mening dat alle transgene veranderingen die toegepast worden, oplossingen zijn voor problemen die de mens zelf gemaakt heeft. Problemen dienen bij de oorsprong aangepakt te worden.

6.4 Vooruitzicht

In de toekomst zullen genetische technieken naar alle waarschijnlijkheid een belangrijke rol kunnen gaan spelen in de viskweek.

Genetische modificatie in de aquacultuur kan in de toekomst wel een belangrijke rol gaan spelen. Experts zijn vooral geïnteresseerd in merker geassisteerde selectie. Door onderzoek te doen naar het genoom van vissen, kunnen bepaalde kenmerken gemerkt worden, waardoor selectieve kweekmethoden verbeterd kunnen worden.

Referenties

1. Website FAO: <http://www.fao.org/fi/statist/summtab/default.asp>. (16/06/2003).
1. Website FAO: http://www.fao.org/docrep/005/y7300e/y7300e04.-htm#P1204_53110 (16/06/2003).
2. Waelbers, K. (1998), Transgenic fish for food and science, p. 26.
3. Devlin, R. H., C.A. Biagi, T.Y. Yesaki, D.E. Smailus, J.C. Byatt, Growth of domesticated transgenic fish, 23 Nature, Vol. 409, 2001, p. 781.
4. Sin, F.Y.T, (1997), Transgenic fish, Fish Biology and Fisheries 7, p. 429.
5. Website seaweb: Michael L. Weber, Farming Salmon: A briefing book. www.seaweb.org/resources/sac/forward.html (22/04/2003).
6. Slegtenhorst, C., (1990), Genetische Aspecten van Visteelt, p. 24-25.
7. Muir, W. M. , R.D. Howard, (2002), Assessment of possible ecological risks and hazards of transgenic fish with implications for other sexually reproducing organisms, Transgenic Research 11, p. 101-114.
8. Knibb, W., (1997), Risk from genetically engineered and modified marine fish, Transgenic Research 6, p. 59.
9. Directorate for Nature Management, (1999), Environmental objectives for Norwegian aquaculture. New environmental objectives for 1998-2000, p. 15.
10. Nutreco Social and Environmental Report 2002, p.52.
11. Report of the working group on the application of genetics in fisheries and mariculture, La Rochelle and La Tramlade, France, March 10-12-2003, p. 9.
12. Hendrick, P.W., (2001), Invasion of transgenes from salmon or other genetically modified organisms into natural populations, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58, p. 842.
13. Website: www.cichlidae.be/lake_victoria.htm (17/06/2003)
14. Future Fish, Issues in Science and Regulation of Transgenic Fish, A report prepared for the Pew Initiative on Food and Biotechnology, (2002), p.25-26.
15. Sin, F.Y.T. (1997) Transgenic Fish, Fish Biology and Fisheries 7, p. 417-441.
16. Bartley D.M., Genetics and breeding in aquaculture: Current status and trends, Rapport van CIHEAM, p. 22.
17. Slegtenhorst, C., Genetische Aspecten van Visteelt, (1990), p. 36-37
18. Paling- en meervalteelt in recirculatiesystemen. Brochure uitgegeven door Universiteit Wageningen en Universiteit van Gent, <http://allserv.rug.ac.be/~anaessen/5badp/Paling-%20en%20meervalteelt%20in%20recirculatiesystemen.pdf>, 04/06/2003

19. Boundry, P. and B. Chatain, (1999), Triploïdy in Mariculture: Status and perspectives.
20. Report of the working group on the application of genetics in fisheries and mariculture, La Rochelle and La Trablade, France, March 10-12-2003, p. 12.
21. New Scientist, (3 mei 2003), p. 15

Geraadpleegde deskundigen

- | | |
|----------------------------|--|
| - Dr. R. Hole | Nutreco Holding B.V. |
| - Prof. dr. J. Verreth | Wageningen Universiteit |
| - Dr. H. Komen | Wageningen Universiteit |
| - Prof. dr. F. Volckaert | Universiteit Leuven, België |
| - Dr. H. Schellekens | Universiteit Utrecht |
| - Prof. dr. W. van Delden | Universiteit Groningen |
| - Prof. dr. M. v. Montagu | Universiteit van Gent, België |
| - Prof. dr. ir. P. Bossier | Universiteit van Gent, België |
| - Prof. dr. M. Korthals | Wageningen Universiteit |
| - Dr. S. Schalk | Greenpeace |
| - Dr. H. Lommers | CBD |
| - Dr. D. Ensing | Marlab Aberdeen, Verenigd Koninkrijk |
| - Dr. S. Rogne | Norwegian Biotechnology Advisory Board |