

Bionica voor viskwekers: leren van de natuur

deel 1

Door Prof. Dr. John Videler emiritus van de Rijksuniversiteit Groningen

Er zijn talrijke dagelijkse technologische toepassingen te bedenken, waarbij de natuur het voorbeeld gaf. Honinggraatstructuren in een bijenkorf waren het voorbeeld voor karton, kreukelzones van een raceauto en zelfs voor de blokken van een biofilter gebruikt in aquacultuur. Het waterafstotend vermogen van lotusbladeren wordt toegepast als vuilafstotende deklagen op ramen en vliegtuigvleugels en klittenband is gebaseerd op het hakend vermogen van de vrucht van de Klit (of Klis). Het onderzoek en toepassen van de werking van systemen in de natuur voor menselijk nut, noemt men bionica.

BIONICA

(ook wel biomimetica, biotechniek, bio-elektronica)

onderzoek naar de werking van systemen in de natuur en de technologische toepassing daarvan.

Professor Dr. John Videler heeft hierover een boek geschreven ("Bionica. Leren van de natuur"; 2015). Hierin bevinden zich relevante secties voor eventuele toepassingen (of tenminste interessant gedachtengoed...) voor de viskwekerij. Hoofdstuk 4 van dit boek zal in twee delen worden overgenomen in "Aquacultuur".

Het aantal mensen op aarde nadert de zeven miljard en groeit gestaag door. Voedselproductie en -distributie voor de wereldbevolking is een groeiend probleem. Voedsel wordt op grote schaal geteeld en gekweekt en het ziet ernaar uit dat er voldoende zal zijn zolang we het op een goede manier

kunnen verdelen. Met één soort voedsel is er echter een groot probleem: vis; die komt voornamelijk uit het wild en wordt nog maar mondjesmaat gekweekt. De oceanen worden in hoog tempo leeggevist. Wereldwijd dalen de vangsten ondanks hogere visserijinspanningen en verdere verbetering van de technieken. Bij favoriete soorten zijn de aantallen in de populaties de afgelopen vijftig jaar met 90 procent gedaald. Herstelprogramma's lijken soms te werken, zoals bij de kabeljauw waarover berichten verschijnen dat de populaties zijn verdubbeld door beschermende maatregelen. In werkelijkheid zijn de aantallen toegenomen van 1 procent naar 2 procent van die uit 1950. Kweken lijkt de juiste oplossing. Bij deze tak van de voedselindustrie worden de problemen echter ook steeds groter. De kweekmethoden zijn toe aan vernieuwing want de kwaliteit van het eindproduct en de duurzaamheid van de methode laten te wensen over. Op een internationaal congres in Barcelona op 2 juli 2010 werden oplossingen aangedragen. Hier volgt een samenvatting van mijn bijdrage.

Natuurlijk gekweekte vis

De natuur gebruikt voortplanting als een dekmantel voor voedselproductie. Nageslacht is houdbaar voer dat leeft en groeit. Een eik draagt elk jaar tienduizenden zaden, maar slechts heel af en toe ontstaat er een nieuwe boom uit zo'n eikel. Veruit de meeste noten, zaden en vruchten worden gegeten. Bij veel dieren is het niet anders. Slechts tien van elke honderdduizend eieren die een schol afzet, is een jaar later nog in leven als klein visje. De rest is opgegeten door Jan en alleman, inclusief iets oudere larven van de eigen soort. Kannibalisme is een volstrekt normaal en noodzakelijk verschijnsel in de natuur. Vanuit het gezichtspunt van de eik en de schol lijkt dit een enorme verspilling. Maar elke voortplantingsstrategie is het gevolg van natuurlijke selectieprocessen die de kans op gezonde en dus vruchtbare nakomelingen zo groot mogelijk maken binnen de ecologische beperkingen van een soort. Leven op aarde is georganiseerd in voedselpiramides. Fotosynthese in planten vormt de basis. Alle planten, van eencellige algen tot woudreuzen, maken met bladgroen en zonne-energie, koolhydraten van kooldioxide en water. Dit is het primaire productieproces. Planten gebruiken de opbrengst om te groeien en zich voort te planten. Zij worden massaal begraasd door dieren die geen bladgroen hebben en plantaardig voedsel eten om zelf te kunnen groeien en zich voort te planten. Sommige dieren zijn hun hele leven vegetariër, andere tijdens larvale of juveniele stadia. Plantenetters dienen op hun beurt als voedsel voor vleeseters. Voor elk dier valt te berekenen hoeveel primaire productie er nodig is om het in leven te houden door op te tellen hoeveel het eet, hoeveel zijn prooien consumeren en uit hoeveel plantaardig materiaal het voedsel van de prooien bestaat. Daarbij is de efficiëntie per stap ongeveer 10 procent. Dus voor één gram snoek, heb je tien gram voorn, honderd gram watervlooiën en één

kilogram algen nodig.

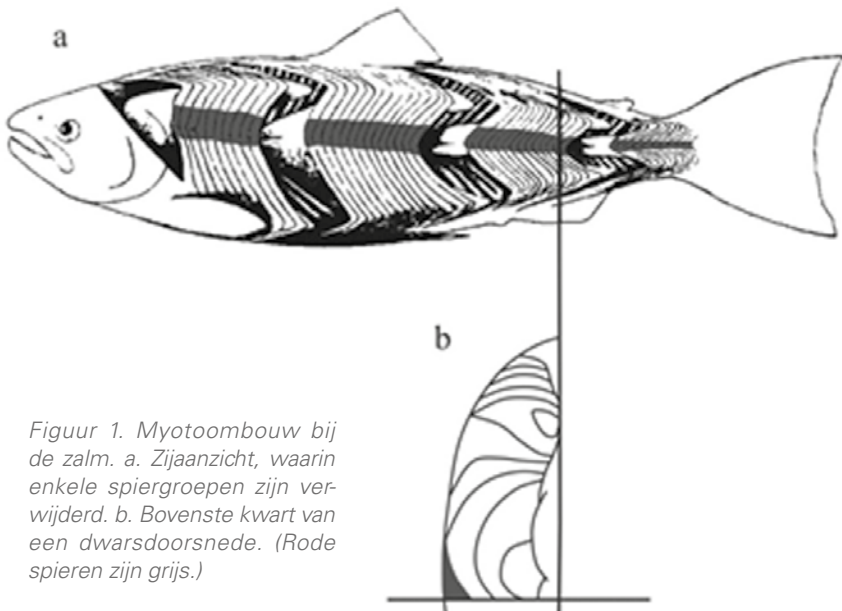
Elk volwassen dier is als ei begonnen en heeft zich door alle gevaarlijke larvale en juveniele stadia heen weten te onttrekken aan predatie. Zelfs de meest gevreesde toppredator is tijdens zijn vroegste levensstadia kwetsbaar en dient meestal als prooi. Individuen die overleven en zelf tot voortplanting over kunnen gaan hebben geluk of eigenschappen die dat geluk afdwingen. De mens is een omnivoor; hij eet plantaardig en dierlijk voedsel en heeft een plek in de voedselpiramide ergens halverwege de top. Ook voor de mens valt uit te rekenen hoeveel primaire productie er nodig is om hem in stand te houden. Dat is een aanzienlijke hoeveelheid en daarom is de mens in gaan grijpen in het productieproces van zijn lievelingsvoedsel: van jager-verzamelaar werd hij boer. Landbouw, tuinbouw, veeteelt, pluimveehouderij en viskwekerijen zijn specialisaties die daar het gevolg van zijn. Wereldwijd zijn er nog maar weinig mensen die leven van wat de natuur biedt. Tenminste op het land, want in het aquatische milieu jagen en verzamelen we nog steeds op grote schaal met zeer efficiënte apparatuur. Sinds kort dringt het besef door dat dit gezien het groeiend aantal visetende mensen op aarde niet duurzaam is en stijgt de interesse in het kweken van de soorten die het meest in trek zijn. Bij de meeste viskwekerijen worden dezelfde principes gehanteerd als bij de voedselproductie op het land. Het gaat er heel anders aan toe dan in de natuur. Kwekers proberen alle nakomelingen in leven te houden ter vergroting van de opbrengst. Predatie en kannibalisme worden niet getolereerd. Door kunstmatige selectie wordt een ras of type gekweekt dat veel opbrengt. We hebben granen met onnatuurlijk grote zaden, plofkippen voor snelle vleesproductie en varkens met meer wervels in hun rug-gengraat zodat er meer karbonaadjes uit gesneden kunnen worden. Vleesrunderen hebben enorm dikke billen en kunnen alleen

via een keizersnee bevallen, melkvee torst gigantische uiers. Het zijn kweekproducten die in de vrije natuur niet kunnen overleven. Ook bij het kweken van vis gaat het om maximale productie in de kortst mogelijke tijd. Aan de kwaliteit van het gewenste product wordt weinig aandacht besteed.

We eten meestal de spieren van dieren en in het geval van de vissen betreft het de grote zwemspieren die aan weerszijden van de wervelkolom tussen kop en staart zitten. De grootste massa daarvan wordt gevormd door witte spieren; die vindt de consument het lekkerst. De kleine hoeveelheid rode spier net onder de huid gebruiken vissen om rustig mee te zwemmen. De witte spier is een noodmotor die wordt ingezet bij een snelle sprint om een prooi te pakken of om te ontsnappen aan een vijand. Witte spieren verzuren erg snel en hebben dan tijd nodig om te herstellen. Anders dan landdieren kunnen vissen het zich permitteren om zo'n extra motor voor noodgevallen mee te

zeulen, want die is onder water gewichtloos en bevordert de stroomlijn. De overlevingswaarde ervan is hoog.

De kwaliteit van het vlees van gekweekte vis is meestal niet zo goed als dat van de wilde soortgenoten. Dat kan aan de kweekmethoden liggen, aan het voer, aan het gebrek aan beweging, we weten het niet. Voer is een probleem omdat het voornamelijk bestaat uit visolie en vismeel dat afkomstig is van in het wild gevangen vis. Haring van prima kwaliteit bijvoorbeeld wordt tot visvoer verwerkt om zalm te kweken die het qua smaak en textuur niet haalt bij wilde zalm. Scheepsladingen goede consumptievis worden gevoerd aan tonijnen. Dit systeem is niet duurzaam en zal op een gegeven moment instorten. Veel viskwekers zien dat al aankomen en vragen om oplossingen. Door te onderzoeken hoe de natuurlijke topkwaliteit tot stand komt zou er een beter product op de markt kunnen komen. Dit is ook bionica, want we kijken hoe vissen



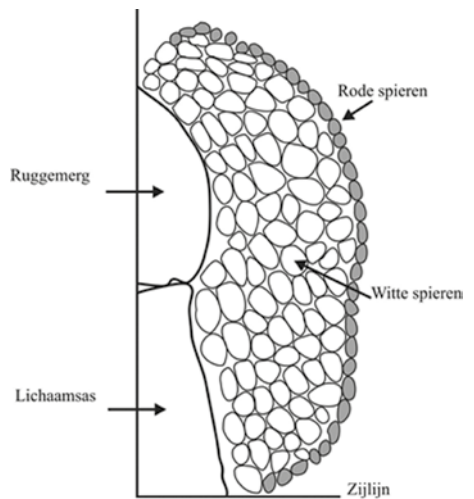
Figuur 1. Myotoombouw bij de zalm. a. Zijaanzicht, waarin enkele spiergroepen zijn verwijderd. b. Bovenste kwart van een dwarsdoorsnede. (Rode spieren zijn grijs.)

zich van nature voortplanten, voeden en uitgroeien tot lekkere prachtexemplaren en kunnen die methode of belangrijke delen daarvan toepassen. Dat vraagt wel om een cultuuromslag bij viskwekers.

Eetbare zwemspiers

We gaan de witte spieren van vissen nader bekijken om te zien hoe ze ontstaan, hoe ze groeien en waar hun kwaliteit van afhangt. Zwemspiers van vissen zitten ingewikkeld in elkaar. De spiervezels zijn kort en zitten in plakken, myotomen genoemd, achter elkaar. De plakken worden van elkaar gescheiden door peesplaten, de myosepten. (Ze vallen gemakkelijk uit elkaar bij een gare vis). De myotomen en myosepten zijn complex gevormd, ze zitten als friteszakken in elkaar geschoven. Aan één zijde vinden we van boven naar beneden vier friteszaksystemen. De punten van de bovenste en onderste zakken wijzen naar achteren, die van de middelste twee naar voren. De functie van deze complexe bouw is nog niet bekend, maar heeft waarschijnlijk met het efficiënt doorgeleiden van krachten van doen. De spiervezels in het myotoom lopen ongeveer in de lengterichting van de vis. Afhankelijk van de plaats in het lichaam wijken ze er wat van af. Die afwijkingen zorgen ervoor dat alle vezels evenveel arbeid verrichten tijdens het zwemmen. De meeste spiervezels zijn wit van kleur (bij zalmachtigen zijn ze door kleurstoffen in het voedsel roze). Rode vezels liggen bij de meeste vissen oppervlakkig over de hele lengte in het midden tussen rug en buik; ze maken deel uit van de myotomen. Op een dwarsdoorsnede van het achterste deel van het lichaam voorbij de anus zien we vier onderling gespiegelde kwarten. In elk kwart zijn de myosepten te zien als min of meer concentrische cirkels van wit bindweefsel. Dat zijn de doorsneden friteszakken.

Bij sommige vissen scheidt een horizon-



Figuur 2. Spiervezels in een dwarsdoorsnede door een bovenste kwart van een karperlarve.

tale bindweefselplaat de bovenste kwarten van de onderste. Elk kwart heeft een klein hoekje gevuld met rode spiervezels aan de buitenzijde. Het grootste oppervlak van de dwarsdoorsneden wordt ingenomen door witte spieren. Rond de buikholte is de bouw van de spieren aangepast en liggen de myotomen en myosepten als een plaat aan de buitenkant van de ribben. De bovenste kwarten in dat deel zijn vergelijkbaar met die in het staartgedeelte.

Actieve vissen die constant zwemmen hebben het hoogste percentage rode spieren, van de makreel is bijvoorbeeld 15 procent van de spieren rood. Predatoren die hun prooi met een korte snelle beweging vanuit een hinderlaag grijpen en het grootste deel van de tijd stil liggen te wachten, hebben voornamelijk witte spieren.

De rode spiervezels trekken langzaam samen maar zijn vrijwel onvermoeibaar. De zuurstofvoorziening houdt gelijke tred met het verbruik. De rode kleur is het gevolg van een zeer goede doorbloeding, en dat maakt het uithoudingsvermogen groot. Rode spiervezels hebben een hoog metabolisme en verzuren niet. Een dicht net van zenuwen zorgt voor een goede aansturing en ze reageren op een enkele prikkel. Bij

sommige soorten - grote snelle tonijnen en haaien - liggen de rode spieren diep in de massa witte spieren. Bij het zwemmen wordt de temperatuur van de witte spieren door de piep liggende rode spieren verhoogd met wel 10 °C waardoor de witte spieren tweemaal zo snel samentrekken en de maximale zwemsnelheid verdubbelt. De diameter van rode spiervezels is kleiner dan die van de witte.

Witte spiervezels verkorten snel maar zijn ook vlug uitgeput. De bloedvoorziening is slecht en witte spieren verzuren gemakkelijk. Door de slechte bloedvoorziening duurt het wel een dag voor alle melkzuur uit de spier verdwenen is na een uitbarsting van activiteit. Verzuurde spieren zijn minder smakelijk. Dat is mogelijk de reden dat sportvissers hun buitgemaakte karpers meestal niet eten. Het is de sport om karpers aan een dunne lijn te vangen en ze zo uit te putten dat ook het zwaarste exemplaar uiteindelijk gemakkelijk met een net uit het water geschept kan worden zonder dat het tegenspartelt. Om die karper vervolgens te kunnen eten zou hij een dag lang moeten bijkomen in zuurstofrijk water.

De minder gewaardeerde smaak van rode spieren hangt mogelijk samen met de sterke doorbloeding. Viskwekers zouden het liefst vis kweken met zoveel mogelijk witte spiervezels, maar hoe groeien die?

De ontwikkeling van witte vezels

In het ei ontstaan witte spiervezels al in een heel vroeg stadium, het aantal is afhankelijk van de zuurstofvoorziening en de temperatuur. Al in het ei oefenen de embryo's de witte vezels door heel wild te bewegen. Na het uitkomen, gaan ze daarmee door en stimuleren zo de ontwikkeling van nieuwe vezels. Tegen de tijd dat vislarven hun dooier op hebben en zelf voedsel gaan zoeken zijn de lichaamsdelen gevuld met witte vezels met daaromheen aan de buitenkant een enkele laag rode vezels. De spiervezels groeien

heel snel in het begin, de aantallen nemen toe en ze worden ook dikker. De groeisnelheid hangt mede af van het voer.

Kunstmatig voer geeft lagere groeisnelheden dan levend voer. Bij een vergelijkende proef hadden witte spieren van karperlarven die met levend dierlijk plankton werden gevoed de hoogste groeisnelheden, waarbij het volume in twee weken tijd dertig maal zo groot werd. 64 procent van deze groei werd veroorzaakt door de toename van het aantal cellen, de rest was groei in de dikte. Het is geen wet van Meden en Perzen dat dit voor alle vissoorten geldt; de relaties tussen de groei van witte spieren en variabelen als voedsel, dienen voor elke soort opnieuw te worden onderzocht. Zwembewegingen zijn in het eerste larvale stadium belangrijk voor de ontwikkeling van de witte spieren. We zullen zien dat bij de kleinste larven rode spieren bij het zwemmen geen rol van betekenis spelen.

Die zwemmen namelijk totaal anders dan volwassen vissen. We verdiepen ons in het zwemmen van vissen om te begrijpen waarom.

Zwemmen van larve tot volwassen vis

De wervelkolom van vissen kan in de lengterichting niet samengedrukt worden maar wél soepel naar links en rechts buigen. De spieren aan de linker en rechterkant zorgen voor de zijdelingse buigingen van het lichaam die nodig zijn om te zwemmen. Daarbij drukt het bewegende lichaam tegen het water; de reactiekrachten stuwen de vis voort.

Tijdens de ontwikkeling van larve tot volwassen vis verandert de aard van de interactie met het water drastisch. Voor de kleinste larven voelt het water aan als stroop, terwijl de groteren er zich steeds gemakkelijker in kunnen verplaatsen. De lichaamslengte en de zwemsnelheid bepalen de aard van de interactie. Het gaat om de verhouding tussen



Figuur 3. Het stroompatroon als gevolg van een staarts slag van een vislarve.

traagheidskrachten en viskeuze krachten: het getal van Reynolds. Bij pas uitgekomen vislarven overheerst de stroperigheid en is die verhouding ongeveer een op tien. Het Reynoldsgetal is 0,1. Het loopt op tot honderd miljoen voor een groot verkeersvliegtuig of een drieëndertig meter lange walvis op topsnelheid; daarbij speelt viscositeit geen rol meer en is de traagheid de bepalende factor. Larven kunnen aan het stroperige milieu ontsnappen door te groeien en sneller te zwemmen. De kleinste larven zwemmen met één enkele staarts slag gevolgd door een kort uitdrijfmoment. Die slag produceert twee wervels in het water en de stroming tussen die wervels duwt de larve vooruit. De vier millimeter lange larve van een zebra vis bijvoorbeeld kan daarmee een snelheid bereiken van 16 mm/s met een gemiddelde versnelling van 200 mm/s². De actieve slag duurt ongeveer 0,1 seconde en de afgelegde afstand is één millimeter. De aanvankelijke snelheid neemt na de slag onmiddellijk drastisch af door de grote viskeuze massa water die door de larve wordt meegesleurd. Na iets minder dan een seconde ligt de larve stil. De totale afgelegde afstand is ongeveer twee millimeter. Met die prestatie is het moeilijk

om aan een predator te ontsnappen die groter is en minder last heeft van de viscositeit. De staarts slagen waarmee larven predatie trachten te voorkomen, worden uitgevoerd met snelle en kortdurende contracties van witte spiervezels. Zo trainen ze die spieren en bevorderen verdere ontwikkeling daarvan. Volwassen vissen zwemmen ook vaak met een korte reeks staarts slagen, gevolgd door een uitdrijffase waarbij ze het lichaam gestrekt houden. Een volwassen, vijfendertig millimeter lange zebra vis kan met zestienhonderd millimeter per seconde in het kwadraat versnellen tot honderddertig millimeter per seconde in ongeveer dezelfde tijd als de larve van vier millimeter. Daarna drijft het volwassen dier wel dertig millimeter in plaats van één millimeter uit omdat hij naar verhouding veel minder water meesleept, langer is, een grotere beginsnelheid heeft en zijn trage massa groter is. Het aantal predatoren dat in staat is om zo'n visje te vangen is aanzienlijk lager. Bij deze 'kick and glide'-methode van zwemmen zijn de witte spieren actief. Grotere vissen vanaf tien millimeter lengte kunnen ook met ononderbroken bewegingen zwemmen waarbij ze continue zijdelingse golfbewegingen met het lichaam maken. Die golven lopen met toenemende amplitude van voor naar achteren over het lichaam tegen de zwemrichting in. De snelheid ervan is hoger dan de zwemsnelheid. Bij het undulerend zwemmen met een constante snelheid tot enkele lichaamslengten/s worden uitsluitend de rode spieren gebruikt en zijn vissen praktisch onvermoeibaar. Witte spieren worden ingezet wanneer er sneller gezwommen moet worden en daarbij treedt vermoeidheid op. Boven een snelheid van vier lichaamslengten per seconde neemt het uithoudingsvermogen drastisch af tot minder dan een minuut.

In Deel 2 van deze serie de ecologische aspecten van de voortplanting van vissen en tevens mogelijke praktische oplossingen.