

## 5.4

## Diett etter eget ønske – ny strategi for ernæring av oppdrettsfisk

F.J. Sánchez-Vázquez, Department of Physiology, Faculty of Biology, University of Murcia

J.A. Madrid, Department of Physiology, Faculty of Biology, University of Murcia

D. Raubenheimer, School of Biological Sciences, University of Auckland

S.J. Simpson, Department of Zoology, University of Oxford

Fisk, i likhet med mange andre dyr, viser en bemerkelsesverdige “ernæringsvisdom” med hensyn til å velge sin egen, velbalanserte diett, sammensatt av føremner som hver for seg ikke gir tilstrekkelig næring. En uheldig komponert diett kan gi seg utslag i dårlig vekst og utvikling hos fisken, i tillegg til førspill. En geometrisk analyse av førpreferanser representerer et nytt og lovende konsept i dyreernæring. Den tar hensyn til vekselvirkninger mellom mekanismer som regulerer opptaket av ulike næringsstoffer. Prinsippet om å kunne velge før etter eget ønske fremstår som spesielt interessant i arbeidet med å sette sammen dietter for fisk i ulike fysiologiske stadier (vekst, reproduksjon), og i særlig grad mht. nye oppdrettsarter. Det siste er et felt der det foreløpig mangler mye kunnskap. Med et slikt redskap vil førindustrien raskt kunne skaffe seg en oversikt over hva fisk selv ønsker å spise hvis den får velge fritt.

I tradisjonelle studier av ernæring hos oppdrettsfisk går det med mye tid og krefter til å komponere en så gunstig diett som mulig. Det gjelder å finne en balanse mellom næringsemner som proteiner, lipider og karbohydrater, og å sørge for at fisken får dekket sitt behov for energi og essensielle aminosyrer, fettsyrer, vitaminer og mineraler. De fleste studier som er siktet inn mot å definere næringsbehovet for oppdrettsfisk har basert seg på undersøkelser der man tester én variabel av gangen, dvs. varierer nivået på én komponent, mens andre variabler blir holdt konstante. Slike testserier kan være praktisk talt endeløse. Årsaken er at man trenger å teste ut mange kombinasjoner, og ikke legger nok vekt på hvordan de ulike næringsemnene kan samvirke med hverandre. I tillegg er resultatene i klassiske ernæringsstudier gjerne basert på fiskens vekst og utvikling, mens de i liten grad bygger på fiskens respons i føringsituasjoner.

### UTSTYRSUTVIKLING

Etter den første lanseringen av selvføringsautomater, som fisken kunne håndtere når den ville bli belønnet med mat, ble et nytt “verktøyskrin” av metoder gjort tilgjengelig for å undersøke fiskens egne preferanser. Denne typen undersøkelser var fullt ut utviklet sent på 1990-tallet, da flere laboratorier verden over i utstrakt grad begynte å benytte selvføringsapparat for å kunne studere føringsatferd hos ulike fiskeslag.

Det finnes flere typer føringsanordninger som kan styres av fisken selv. De omfatter alt fra mekanisk pendelapparat, som er enkel i drift, men ofte har vist seg upålitelig og lite egnet, til høyt utviklede, datastyrte automater som raskt gjør

det mulig å justere mattilbudet etter endringer av både miljømessig (f.eks. lysforhold og temperatur) og biologisk karakter (f.eks. biomasseøkning og føringsrestriksjoner). Det eksisterer også ulike typer av utløsermekanismer (triggere), som fisken opererer for å kunne aktivere føringsautomaten og slik skaffe seg mat. De første utgavene bestod av en hengende stav, omgitt av en rigg som fungerte som en kontaktbryter. Senere ble det utviklet utløsere som ikke var basert på direkte kontakt med fisken, og der det var en magnetisk bryter eller en fotocelle som styrte føringsprosessen. Utløsere som nå brukes virker bare når fisken biter på dem, for å unngå tilfeldige kontakter forårsaket av vind eller bølger.

Til tross for det etter hvert betydelige antall vitenskapelige artikler som tar for seg ernæring hos fisk, er overraskende få viet bruken av selvføringsautomater som et ledd i å teste ut ernæringsmessige preferanser hos fisk. Da de begynte å komme, inneholdt enkelte av dem rapporter om “multiple choice experiments” (flervalgsekspesimenter), dvs. forsøk der oppdrettsfisk kunne velge blant før fra flere enn én selvføringsbeholder. Slike forsøk, som brukte nyutviklede teknikker basert på selvføringsautomater, kan sies å representere et landemerke i moderne fiskeernæringsstudier.

### “ERNÆRINGSVISDOM” HOS DYR

Dyrs evne til å velge mellom flere føremner for å velge en riktig sammensatt diett har vært undersøkt hos pattedyr helt siden pionerarbeidet til Richter o.a. i 1938. Han og hans medforfattere observerte at rotter tilbød opp til 17 næringsstoffer vokste normalt, sammenlignet med rotter som ble føret på ensidige dietter. Senere påviste andre forskere at rotter selv var i stand til å sette sammen en komplett og velbalansert diett når de fikk mulighet til å velge fritt mellom a) dietter med en eneste kilde til protein, fett og karbohydrater og b) dietter som inneholdt to hovednæringsstoffer i forskjellige kombinasjoner, eller dietter som inneholdt tre slike med ulike blandingsforhold. Det samme fenomenet har også vært observert hos mange oppdrettede dyr, som kyr, sauer eller fjærfe. Dette viser deres evne til å velge den best mulige dietten eller en kombinasjon av dietter for å skaffe seg alle nødvendige hoved- og mikronæringsstoffer.

Observasjonene beskrevet ovenfor viser tydelig hvordan dyr evner å vise ernæringsmessig visdom, noe som gjør dem i stand til å velge blant flere tilbudte føremner. Resultatet er at de “komponerer” en ernæringsmessig tilfredsstillende diett, bestående av næringsstoffer som hver for seg ville vært utilstrekkelig som før.

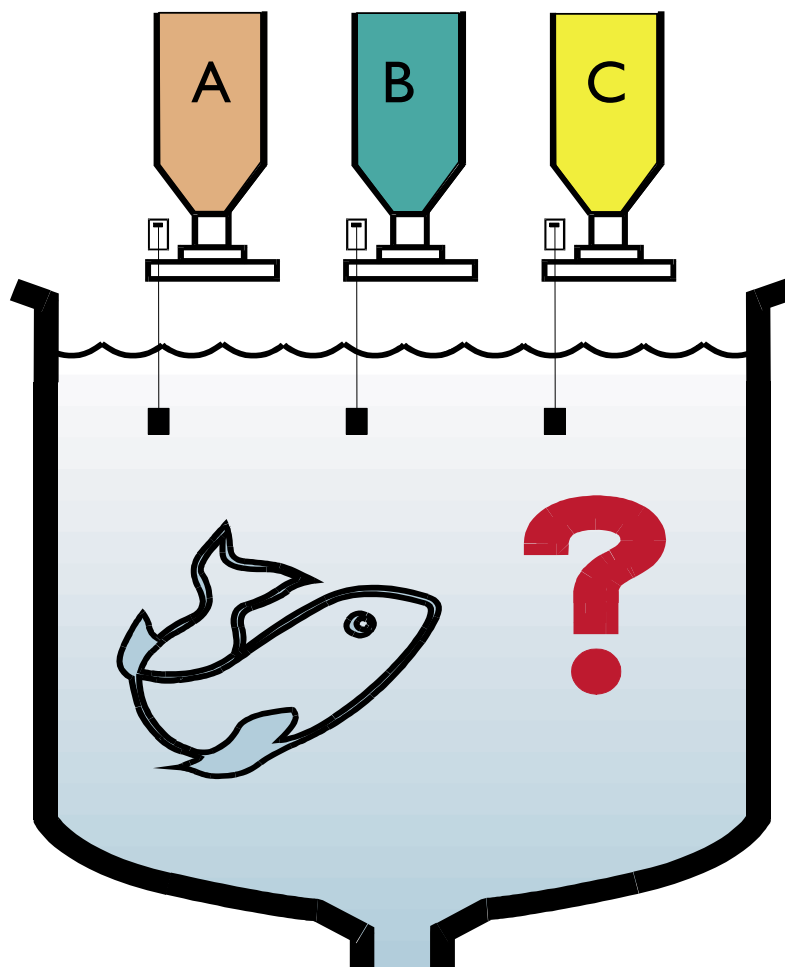
Den geometriske analysen av dyrs evne til å velge riktig kost representerer et nytt ståsted og et stort fremskritt i arbeidet med fiskeernæring, ved å fokusere på hvordan fisken selv aktivt reagerer på ernæringsmessige utfordringer. Dette “geometriske rammeverket” betrakter ernæring som et flerdimensjonalt fenomen og tilbyr teknologi som gjør det mulig å teste om og i tilfelle i hvilken grad fisken forsvarer et mål for opptaket av spesifikke næringsstoffer. Videre undersøkes hvordan fisk balanserer overspising av noen næringsstoffer opp mot det å spise for lite av andre, når de blir gitt en diett som ikke holder fullt mål, og endelig vurderes effektene av slike “balanserende tiltak” fra fiskens side på kroppsutvikling og føringseffektivitet.

Spørsmålet som nå reises er hvorvidt også fisk, på samme måte som virveldyr av høyere grad, vil vise en slik ernæringsmessig visdom, eller om de tvert om vil spise hva som helst de måtte komme over.

#### NÅR FISKEN SELV VELGER HOVEDNÆRINGSSTOFFER

Selvvalgt diett er en teknikk som allerede har bevist sin styrke når det gjelder landdyr. Med akvatiske dyr kan imidlertid denne teknikken, av åpenbare årsaker, ikke la seg overføre direkte: Fiskefôr kan ikke bli liggende igjen i vann over lengre tid. Derfor kunne det ikke satses på eksperimenter med fiske-diettpreferanser, inklusiv frivillig matsелеksjon, før det var blitt utviklet teknologi og metoder der fisken selv kunne skaffe seg mat etter behov. Et slikt “ad libitum” – etter behag – føringssystem må etter vårt syn vurderes som det ideelle verktøy for å kunne undersøke fôrpreferanser sett i forhold til fiskens ernæringsmessige behov.

Et videre skritt i uttestingen av fisks preferanser ble tatt ved at forsøksfisk fikk velge mellom tre hovednæringsstoffer, basert på enkeltstående kilder av protein, fett og karbohydrater, slik at den kunne sette sammen sin egen, foretrukne diett. (Figur 1). Tre forsøksfôr ble produsert til pellets som inneholdt 50 % av hvert hovednæringsstoff: protein, (kasein + gelatin), fett (fiskeolje og soyaolje) og karbohydrater (dekstrin). Hver diett omfattet miksturer av vitamin og mineraler, et bindemiddel (Na-alginat), og med cellulose som fyllmiddel. Både gullfisk og regnbuørret lærte seg raskt å velge fra de tre selvføringsbeholderne med henholdsvis protein, fett og karbohydrat, og tok en bestemt mengde fra hver av dem for å komponere sin egen komplette diett.



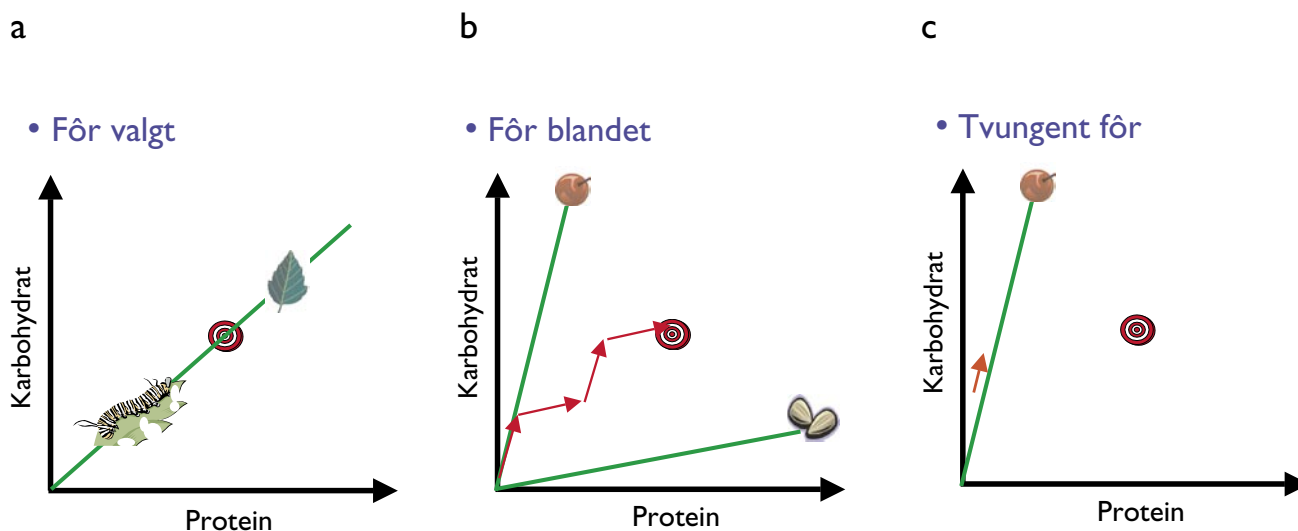
**Figur 1**

Skissen viser tre selvføringsautomater benyttet i flervalgseksperimenter. Testene kan omfatte ulike makroernæringsmessige dietter som inneholder f.eks. protein (A), fett (B) og karbohydrater (C).

*Schematic arrangement of three self-feeders as used in multiple-choice experiments for macronutrient self-selection. Different macronutrient diets containing for instance protein (A), fat (B) and carbohydrate (C) may be tested.*

#### FORSØK MED HAVABBOR

Havabbor (sea bass), en høyt verdsett oppdrettsart som blir produsert i stort omfang i middelhavslandene, viste gjennom ulike selvføringsmetoder at mht. fordøyelig energi, foretrakk denne kjøttende arten en diett med 51–57 % protein, 27–34 % fett og 12–16 % karbohydrat. Det er påfallende hvordan en slik selvvalgt diett skiller seg fra det fôret som brukes kommersielt i seabassindustrien i dag, vanligvis med mye mer fett og mindre protein og karbohydrater. Dette funnet peker på et misforhold mellom fiskens egne matpreferanser og det fôret som tilbys fisk i intensivt oppdrett, der det ofte er slik at fisken blir gitt en eneste diett i så godt som hele sin biologiske syklus. En uheldig førsammensetning, som ikke tar i betraktning at oppdrettsfisken har ulike behov i ulike perioder (f.eks. vekst og reproduksjon), kan som nevnt innledningsvis ha uheldige effekter med tanke på både fôrspill og fiskens vekst og utvikling. Med andre ord er det behov for mer viten omkring selvvalgt diett som en indikator på fiskens ernæringsmessige behov.



**Figur 2**

“Ernæringsrommet” representerer tre fôrings-scenarier: a) balansert kost, b) dårlig balansert kost og c) komplementære (utfyllende) dietter. *Nutrient space representing three feeding scenarios: a) balanced food, b) imbalanced food, and c) complementary foods.*

For ytterligere å undersøke hva som regulerer havabborens valg av hovednæring, ble det sett nærmere på hva som skjedde når fisken måtte gjennomgå en sulteperiode. Etter to perioder der forsøksfisken ikke ble tilbudt mat før etter enten seks eller 15 dager, ble den første dagen da havabboren igjen fikk anledning til å spise alltid preget av hyperphagia – dvs. en markant økning i opptaket av fordøyelig energi, som for den lengste sulteperiodens vedkommende varte i to dager. Fisken økte opptaket av alle hovednæringsstoffer i tilsvarende proporsjoner og “forsvarte” på denne måten sin selvvalgte diett, bortsett fra en svak tendens til å velge mer protein før næringsopptaket etter to dager igjen var blitt normalisert. Det ble også testet hvordan selektert sulting (fravær av enten protein eller fett) påvirker valg av hovednæringsstoffer. I eksperiment hvor fisken bare hadde tilgang på fett og karbohydrater, ble fôret knapt rørt, og fisken greide ikke å kompensere for fordøyelig energiopptak. Men også når fisken bare fikk tilbud om protein og karbohydrat mislyktes den i å kompensere for energiopptaket. Resultatene viser at havabbor har behov for alle de tre hovednæringsstoffene for å kunne sette sammen en balansert diett og sikre det daglige energiopptaket, noe som ikke lar seg oppnå dersom fôret mangler protein eller fett.

#### GEOMETRISKE RAMMER FOR DIETTSELEKSJON

Den geometriske analysen av diettvalg representerer et nytt prinsipp i ernæring av dyr, fordi den inkluderer ulike interaksjoner mellom mekanismene som regulerer opptaket av de forskjellige næringsstoffene. Det mest interessante er at konseptet gjør det mulig å gi en klar beskrivelse av hvilke utbytter av næringsutveksling (“trade-offs”) fisken kan oppnå når den blir gitt en ernæringsmessig balansert diett, eventuelt to eller flere ubalanserte dietter som til sammen sikrer den fullgod ernæring. I den geometriske rammen blir en modell av dyrets ernæringsmessige samspill med miljøet konstruert rundt et flerdimensjonalt “ernæringsrom”, der hver dimensjon representerer et næringsstoff. Dyrets nåværende ernæringsmessige tilstand representeres med et punkt i “ernæringsrommet”. Et tilsvarende punkt represente-

rer fiskens optimale tilstand, som er selve målet for næringsopptaket, og er punktet det homeostatiske systemet prøver å regulere seg inn mot. Føremnene er representert som lineære baner som går ut fra kilden, gjennom ernæringsrommet, i en vinkel bestemt av forholdet mellom de aktuelle komponentene i fôret (ernæringsmessige spor).

Ved å spise endrer fisken sin næringsmessige tilstand langs en vektor som faller sammen med sporet som representerer den valgte maten. En ernæringsmessig utfordring for konsumenten er å velge et fôr der sporet passerer gjennom punktet for opptaks målet (med andre ord ernæringsmessig velbalansert mat) og dermed gjør det mulig å fjerne enhver uoverensstemmelse mellom den nåværende tilstanden og den optimale tilstanden (Figur 2, til venstre). Med en næringsmessig ubalansert kost vil det derimot ikke la seg gjøre for fisken å få tilfredsstilt sine optimale krav for alle næringsstoffer på samme tid, men den tvinges inn i et kompromiss mellom å overfordøye noen næringsstoffer og underfordøye andre (Figur 2, til høyre). Ikke desto mindre kan fisken nå sitt regulatoriske mål når den gis en ernæringsmessig ubalansert kost, men da må dette kombineres med næringsopptak av fôr som inneholder en utfyllende ubalanse av næringsstoffer. (Les: Der næringsinnholdet er slik at “sporet” krysser ernæringsrommet på motsatt side av opptaks målet.) I dette tilfellet kan overskuddet av næringsstoffer inntatt fra én type mat bli brukt til å rette opp underskuddet i en annen, og vice-versa (Figur 2, i midten).

Når verken ernæringsmessig velbalansert eller komplementær mat er tilgjengelig for fisken kan den ikke oppnå et balansert næringsopptak, men likevel benytte den ubalanserte maten ved å velge å skille ut overskuddet. Skulle graden av ubalanse derimot overskride fiskens utskillingskapasitet, vil fisken være tvunget til å godta overskudd på noen næringsstoffer og underskudd på andre. Utfordringen i dette tilfellet er å komme frem til en balanse mellom over- og under-spising, noe som er viktig for å sikre at fisken i minst mulig grad skal bli skadelidende på grunn av den negative situasjonen

som har oppstått (*Kompromissregler*, se Figur 3). Den geometriske rammen sikrer dermed en analysemetode som gjør det mulig å sammenligne, langs flere akser, dyreorganismers ernæringskrav, førets relative verdier i forhold til disse kravene, og fiskens respons på opptak, vekst, utskilling og lagring når den blir gitt fôr (og førkombinasjoner) med ulike sammensetninger.

Det geometriske rammeverket, som opprinnelig hadde sitt utspring i insektstudier, har brakt ny kunnskap om fôr, regulering og fordøyelse i virveldyr, inklusive pattedyr, fugler og fisk. Forholdsvis nylig er den også utvidet til å gjelde mennesket, og denne analysemetoden er blitt brukt til å utvikle en ny, samlendende hypotese for utviklingen av fedmeepidemien i den vestlige verden.

### PERSPEKTIVER

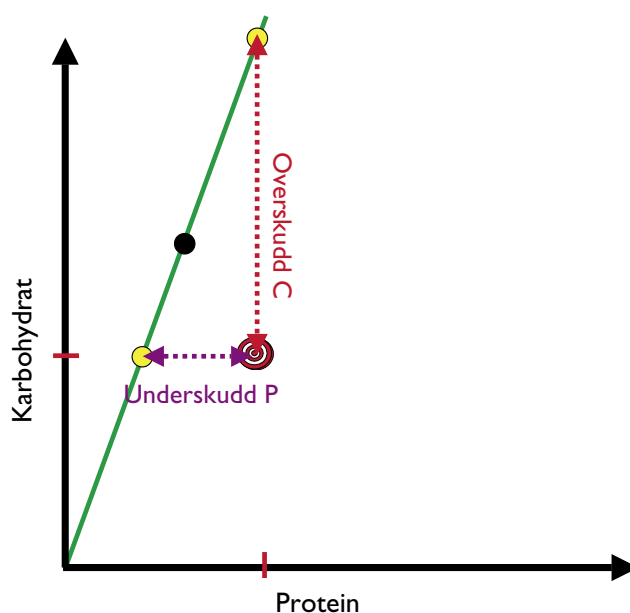
Prinsippet med å la fisken selv velge sin egen diett ser ut til å være spesielt interessant i arbeidet med å komponere dietter for fisk i ulike fysiologiske stadier (vekst, reproduksjon), og i særlig grad hva angår nye arter i oppdrett. På dette området har man i dag for lite kunnskap, og alternativet – mange og omfattende eksperimenter som går ut på å teste en og en variabel – har vist seg både tidkrevende og lite hensiktsmessig.

For å kunne unngå at fisken lar seg påvirke av smak og tekstur når den skal finne frem til de hovednæringsstoffene som utgjør det mest balanserte føret, blir den tilbudt de ulike hovednæringsstoffene i form av en kapsel uten smak, med innhold av enten protein, fett eller karbohydrat. Dette er en metode som bare i liten grad har vært tatt i bruk tidligere. Denne nye tilnæringsmåten lar oss teste stoffskifteeffekter som inntreffer etter at næringsstoffene er absorbert. En nyere

studie av havabbor har avslørt deres evne til å skille mellom kapsler farget ulikt, avhengig av hvilket av de tre hovednæringsstoffene de inneholdt. Følgelig kan havabboren regulere opptaket slik at den selv setter sammen en balansert diett, der forholdet mellom de valgte hovednæringsstoffene er i god overensstemmelse med resultatet da fisken håndterte selvføringsautomater.

Konklusjonen må være at det ser ut til å være klare bevis for at fisk, som mange andre dyr, har en evne til selv å finne frem til en balansert diett, og til å skille mellom hovednæringsstoffer. Dette gjør det mulig for dem å komponere en diett etter eget ernæringsmessig behov, avhengig av hvor de befinner seg i livssyklusen. Resultatene viser at diett etter eget valg er et hensiktsmessig redskap i arbeidet med å lære mer om fiskeernæring, og likeledes et mulig redskap for oppdrettsindustrien. Ved hjelp av slike teknikker kan forprodusentene enten raskt skaffe seg oversikt over preferansene hos oppdrettsfisk i forhold til et stort antall pre-komponerte forsøksfôr, eller også gjøre føret så godt og attraktivt som mulig gjennom å teste ut det samme næringsstoffet fra ulike kilder.

I de siste årene har det i flere europeiske laboratorier vært gjort betydelige fremskritt i studiet av diettvalg etter fiskens eget behov. Dette har nylig resultert i etableringen av et EU-finansiert prosjekt (Concerted Action) med tittelen: *On dietary self-selection in fish: a geometrical approach for optimising aquaculture production*. Prosjektet har som mål å bringe sammen ekspertise fra seks relevante europeiske forskningsmiljøer for å begynne å utforske potensialet ved det geometriske rammeverket, samtidig som man drar nytte av pågående nasjonale forskningsprogrammer på kommersielt oppdrettede fiskearter.



**Figur 3**  
Kompromissregler – hvordan fisken balanserer mellom overskudd og underskudd på næringsstoff.  
*Patterns of balancing excesses and deficits = "rules of compromise".*