

## **Naturlik sättfisk (slutrapport)**

### ***Projektdeltagare***

*Projektdeltagare,  
Göteborgs Universitet:  
Jörgen Johnsson  
Torgny Bohlin*

*Doktorand:  
Sofia Brockmark*

*Projektdeltagare,  
Fiskeriverket:  
Erik Petersson  
Torbjörn Järvi  
Jonas Dahl  
Johan Dannewitz  
Anna-Carin Löf  
Ana Valencia Camargo*

## ***Bakgrund och problemställning***

När man tar in ett djur i fångenskap hamnar det i en onaturlig miljö. Djuret kan vänja sig vid den nya miljön, men det är långt ifrån säkert att det trivs, hela dess organism är ju anpassad till den naturliga miljön. Denna tillvänjning är det första steget i en biologisk process som kallas domesticering. Ett sådant djur hålls i syfte att ge människan någon form av utbyte, oftast ekonomiskt utbyte i vid mening. Människan har kontroll över djurets fortplantning, livsmiljö och födotillgång. Långt ifrån alla arter kan dock leva och fortplanta sig om de hamnar i fångenskap. Anpassningen till den artificiella miljön (t.ex. en zoologisk trädgård eller en fiskodling), kommer att innebära vissa förändringar i djurets morfologi och beteende.

Arter, eller populationer, som är hotade eller som delvis berövats sin naturliga miljö, räddas kvar till eftervärlden genom att man förökar dem i fångenskap och försöker återetablera individer till vilda förhållanden. Detta förfarande har en lång tradition, men dras med flera problem, såsom sjukdomar, administrativa defekter, dåliga resultat vid återetableringar, man bortser från andra alternativ, dålig reproduktion, höga kostnader och domesticering. De individer som sätts ut i det vilda har med sig ett genetiskt och/eller erfarenhetsmässigt bagage som inte till fullo är anpassat till förhållandena i det vilda. Domesticeringen blir således ett problem bland många när det gäller att odla/föda upp djur i fångenskap i syfte att bevara arten eller stammen till eftervärlden. Kompensationsodlingen är ett exempel på detta. Denna typ av fisk lever i två världar, en artificiell och en naturlig. Med anledning av att det sätts ut stora mängder odlad fisk i naturen, har fauna- och fiskevårds-intresserade forskare börjat bli oroad för vilka konsekvenser dessa utsättningar har för både odlade och vilda bestånd.

Den fisk som odlas produceras främst för två användningsområden: (1) Ren konsumtionsodling där fisken hålls i odling tills den färdig för slakt. (2) Kompensationsodling där fisken sätts ut i naturen, antingen som ersättning för bortfall p.g.a. kraftverksbyggnader eller för att förstärka ett svagt naturligt bestånd. I det första fallet är anpassningen till odlingsmiljön en önskad effekt. Fisken blir lättare att hantera och mår bättre ju bättre anpassad den är till odlingsmiljön. Fiskens välbefinnande förbättras allteftersom selektionen i odling gynnar de individer som bäst klarar av denna nya miljö. I det andra fallet är situationen mer komplicerad. En fisk som är bra anpassad till odlingen blir ofta sämre anpassad till ett liv i det vilda. Det paradoxala inträffar då att en fisk som mått bra i odlingen mår dåligt när den kommer ut i det vilda. Detta innebär ökad stress för fisken och därmed större dödlighet. Dessutom har inte den fisk man tar in för avel en helt naturlig uppväxt, men är inte heller riktigt anpassad till odling. Den har odlad bakgrund, men har selekterats till vild miljö under livet till havs. Detta innebär att den fisk man använder är inte bra anpassad till odlingsmiljön. En mer naturlig odlingsmetod är således inte bara önskvärd ur djuretisk synvinkel, utan kan även medföra att ett mindre antal fiskar behöver odlas och sättas ut för att få önskad återfångst. Priset per utsatt fisk skulle öka, men troligtvis skulle den ökade kostnaden kompenseras med reduktionen av antal fiskar i odling. En huvudsaklig effekt är dock fisk som mår bättre, både i odling och efter utsättning.

Senare tids forskning har visat på betydelsen av lokal anpassning hos fiskbestånd, vilket lett till att främmande stammar används mer sällan. Även om älv-eget genetiskt material (föräldrafiskar) används kvarstår dock problem orsakade av den artificiella odlingsmiljön.

Dessa miljöeffekter kan minimeras om fisken sätts ut redan som romkorn. Detta är dock ofta inte möjligt i reglerade vatten som ofta saknar lekplatser och/eller vandringsvägar för lekfisk. Den enda möjlighet som kvarstår är då att förbättra miljön så att den odlade fisken blir bättre förberedd för livet efter utsättningen.

Miljön i en konventionell fiskodling skiljer sig från naturmiljön i flera avseenden som är centrala för en god anpassning till livet i naturen:

(1) I odlingen har fisken generellt större och mera förutsägbar tillgång på föda än i naturen. Denna föda är av en enda typ (pellets) medan naturen erbjuder en större diversitet av födoorganismer. Dessutom innehåller kommersiellt fiskfoder generellt en högre andel fett än naturlig diet. Studier har visat att odlad öring är mindre skicklig i att fånga levande byten jämfört med vild fisk. Den odlade fisken blir dock skickligare på detta om de får öva.

(2) Tätheten av individer är mycket högre i odlingen än i naturen, vilket kan påverka fiskens beteende. Ung öring och lax är t.ex. territoriella i naturen, ett beteende som inte kan uttryckas vid den höga tätheten i odling. Hög täthet kan också orsaka stress och minskad tillväxt.

(3) Den strukturella komplexiteten är lägre i odlingen. Fisken odlas i regel i tankar utan bottenstruktur eller annat skydd som ofta erbjuds i naturen, vilket påverkar utvecklingen av beteendet. Studier visar att fisk (regnbåge) som odlats i berikad miljö, med bottenstruktur och skydd, får högre konkurrensförmåga och social status än fisk från konventionell odlingsmiljö.

(4) Odlad fisk exponeras inte för predatorer under uppväxten vilket kan påverka deras möjligheter att överleva efter utsättning. Flera studier har visat att fisk kan konditioneras till att bättre undvika/undkomma predatorer.

Till dessa specifika faktorer ska läggas det generellt lägre selektionstrycket i odlingen. Ägg- och yngelöverlevnad är normalt mycket högre i odlingen än i naturen. Mot denna bakgrund är det inte förvånande att utsatt odlad fisk generellt har lägre tillväxt och överlevnad i naturen än vild fisk. Detta gäller både internationellt och vid svenska utsättningar. Man kan sammanfatta kunskapsläget i tre punkter: (1) Forskningen har identifierat ett antal nyckelfaktorer i odlingsmiljön som påverkar fiskens beteende och fysiologi och därmed potentiellt dess förmåga att klara sig i naturen. (2) Odlad fisk är plastisk och kan lära sig ett mer adaptivt beteende om den ges möjlighet. (3) Konventionellt odlad fisk har generellt lägre fitness i naturen än vild och ger därför ofta låg avkastning.

I nuläget saknas, både i Sverige och internationellt, kunskap om vilka förändringar i odlingsmiljön som ger den effektivaste förbättringen av fiskens anpassning till ett liv i naturen.

## ***Projektbeskrivning***

För att kunna utvärdera de metoder som listas i litteraturen har vi försökt driva ett brett upplagt forskningsprojekt, som huvudsakligen har inriktat sig på: (1) Manipulering av relevanta miljöfaktorer. (2) Replikerade utsättningar och återfångststudier av behandlad utsatt fisk i naturliga och/eller seminaturella vattendrag. (3) Statistisk analys av resultat och utvärdering: är förbättringen i avkastning tillräcklig för att motivera eventuella merkostnader för odling? (4) Förslag till åtgärds paket för odling av naturlig sättfisk.

### ***Manipulering av miljöfaktorer: födokonditionering***

Den föda som används vid kompensationsodling är framtagen för att maximera tillväxt. Mycket tyder emellertid på att maximal tillväxt inte är det optimala i naturen. Det finns en balans mellan tillväxthastighet och risktagande; för att kunna inta en större mängd föda måste en individ vara mer aktiv, ägna mer uppmärksamhet åt födosök och mindre åt att spana efter rovdjur. Individer som satsar på att maximera sin tillväxt kan därför ha ett alltför riskfullt beteende mot predatorer. Initialt hade vi tänkt angripa detta problem eftersom vi antar att det kan ha stor betydelse för fisken. Men p.g.a. nedskärning av vår ursprungliga budget i ansökan strök vi detta helt och hållet från försöken. Vi har dock gjort en del korrelativa studier och ämnet togs upp på den workshop som vi anordnade i Älvkarleby 14-16 september 2005. Resultaten från denna och den korrelativa studien sammanfattas längre fram i rapporten.

### ***Manipulering av miljöfaktorer: predatorkonditionering***

Vi kombinerade olika typer av stimuli för att sedan göra laboratoriestudier för att undersöka hur länge effekten sitter i.

1. Levande predator
2. Levande predator + byteslukt
3. Predatorlukt
4. Predatorlukt + byteslukt

De minst arbetskrävande metoderna användes på fisk som ska sättas ut. Predatorlukt kan presenteras för fisken på två olika sätt, dels med levande predator, dels med substanser som samlats in från diverse rovdjur, t.ex. hudslim från gädda (vi använde oss inte av denna metod). Den levande fisken sänks ned i ett odlingstråg i en bur som predatorn inte kan lämna, men som laxen/öringen kan simma in i. Initialt hade vi tänkt oss att även använda predatormodeller eftersom dessa kan göras mer standardiserade. Men eftersom tiden och pengarna var begränsande inriktade vi oss på riktiga djur eftersom det är det som den kompensationsodlade fisken möter i naturen. När det gäller predatormodeller använde vi oss av hägermodeller. Byteslukt var en nyligen avlivad lax eller öring. Till största delen berörde dessa försök öring, eftersom vi har mest erfarenhet av den arten.

### ***Manipulering av miljöfaktorer: habitatstruktur och täthet***

Manipulering av täthet och habitatstruktur utfördes vid E-ons fiskodling i Laholm på laxungar från Smedjeån (2003-4) samt på öring från Norumsån och Jörlandaån (2004-5). Dessa faktorer manipulerades samtidigt i en 2 x 2 faktoriell design, alltså totalt fyra behandlingar:

1. Hög täthet utan struktur (standardodlingsförhållanden).
2. Låg täthet (50 % av standardtäthet) utan struktur.

3. Hög täthet med struktur.
4. Låg täthet med struktur.

Strukturen utgjordes av plastremsor som hänger ned i odlingstanken och därmed upplevs som skyddande, samt begränsar fiskens synfält. Strukturen kan enkelt lyftas upp när tanken behöver rengöras. Varje behandling (tank) replikerades minst tre gånger för att möjliggöra analys av tankeffekter. Under odlingsperioden mättes fiskens tillväxt i de olika behandlingsgrupperna.

### ***Utsättning och återfångst av utsatt fisk***

För att undersöka skillnader i "performance" under naturliga betingelser mellan de olika odlingsregimerna (predatorconditionering eller manipulering av habitatstruktur och täthet) höll vi fisken i odling under dess första sommar tills den var stor nog att individmärkas (transpondrar). Utsättningarna skedde i två typer av miljöer: (1) I naturliga laxfiskbiotoper (Smedjeån och Dalälven), (2) I experimentbäckarna i Älvkarleby och Kärlarne.

## ***Projektets resultat***

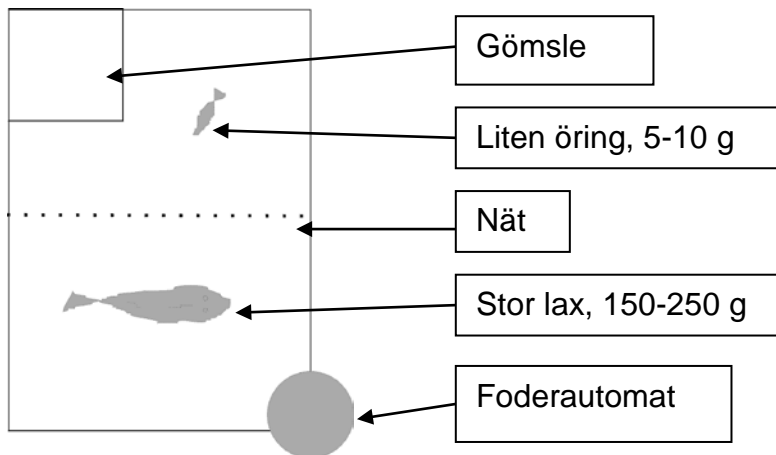
### ***Predatorconditionering. Laboratieförsök I.***

**Sammanfattning:** Dessa laboratieförsök bestod av två delar. I delförsök 1 jämförde vi vild och odlad fisk och i den andra predatorconditionerad och naiv fisk. Dessa försök visade att vild och odlad fiskes beteende skiljer sig åt när en predator finns närvarande. Det skulle kunna betyda att odlad fisk, om den kunde tränas att komma i närheten av den vilda fiskens beteende, förmodligen skulle ha större sannolikhet att överleva när den sätts ut. I delförsök två undersökte vi huruvida detta är möjligt. Resultatet blev att fiskens beteende gå att korrigera, men i det upplägg vi hade blev utfallet att den konditionerade fisken inte betedde sig som den vilda. Man kan uttrycka det så här, vild fisk håller sig borta från predatorn, konditionerad fisk gömmer sig.

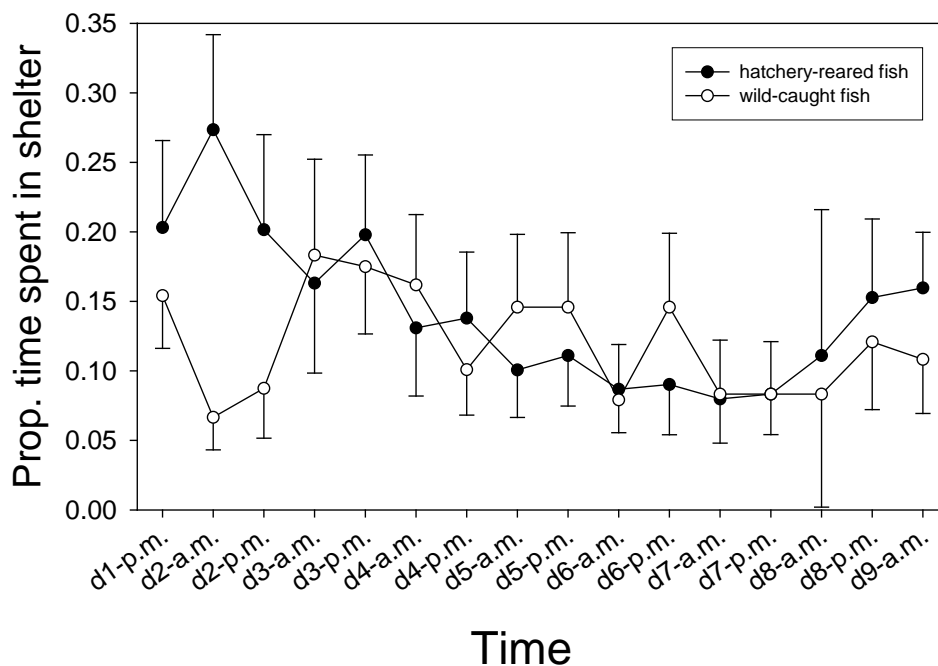
Försöket bestod av två delar: (1) I det första jämfördes fisk från odlingen med fisk som fångats med elfiske i den invallade delen av Kungsådran. Både fisken i Kungsådran och fisken från odlingstrågen härstammar från samma föräldrauppsättning, men en del av romkornen sattes ut i Kungsådran och en del gick till odlingen. Således hade fisken i detta försök samma genetiska bakgrund, men olika uppväxt. (2) Fisk från odlingen användes, där hälften sattes ut i strömakvariet (35000 liter, 0.5 m/s) tillsammans med åtta stora (0.238-1.670 kilo) laxar och öringar. Försöksfisken vägde 60-110 gr. Den andra hälften hölls kvar i odlingstråg tills experimentet började.

Försöken följde en enkel beprövad modell för att utröna hur riskbenägna olika individer är. Maten ges i ett riskfyllt område (där predatorn är) och det finns ett säkert område med gömsle (Figur 1). I båda försöken videofilmades åtta akvarier med en time-laps-videoutrustning. Sammanlagt användes 44 försöksfiskar. Varje försök varade i en vecka. Sekvenserna från inspelningarna gicks igenom. Från varje timme under dygnet utvaldes slumpmässigt två sekvenser. För varje sekvens noterades, förutom tidpunkten på dygnet, var fisken befann sig (säkert område/riskfyllt område) och i gömsle/utanför gömslet. För varje individ samlades

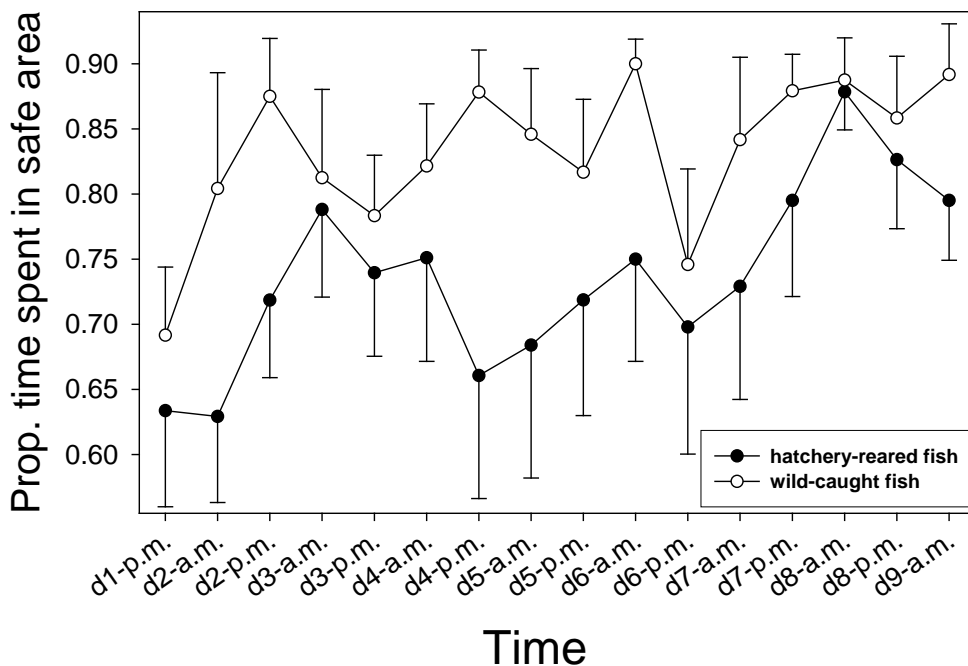
7x24x2=336 datapunkter in. Dessa datapunkter användes för att räkna ut ett medelvärde för 'förmiddag' och 'eftermiddag' för varje dag och individ. Beteendet analyserades med s.k. repeated ANOVA och tillväxten, storlek etc. med t-test.



**Figur 1.** Försöksupställningen för att undersöka skillnaden mellan vild och odlad öring och skillnaden mellan predatorconditionerad och naiv fisk. Akvariet avdelades på mitten med ett nät som öringen kunde simma igenom, men inte laxen. Gömslet var placerat i det säkra området. I försöket hade vi i varje replikat åtta likadana akvarier.



**Figur 2.** Proportion tid som tillbringades i gömslet för vild och odlad fisk.



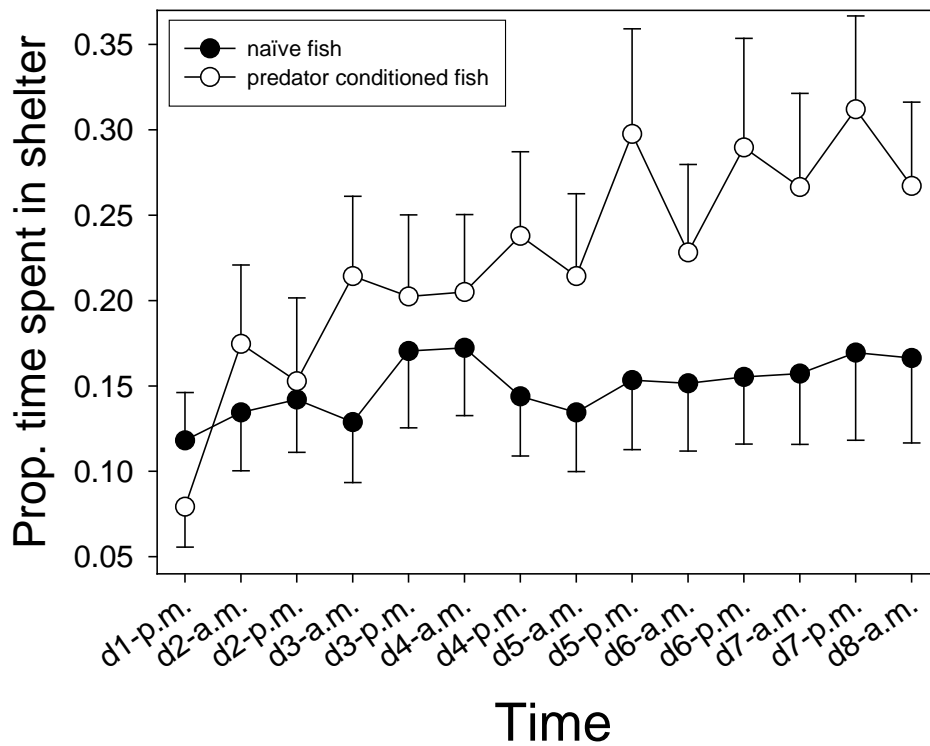
**Figur 3.** Proportion tid som tillbringades i det säkra området (det utan predator) hos vild och odlad fisk.

I det första delförsöket (vildfångad kontra odlad fisk) skiljde sig inte vild och odlad fisk åt med avseende på initiallängden ( $t=0.44$ ,  $p=0.669$ ), predatorns längd ( $t=1.19$ ,  $p=0.248$ ), eller tillväxt ( $t=0.97$ ,  $p=0.351$ ). Vild fisk hade dock större variation i tillväxt än odlad fisk ( $F_{10,11}=5.29$ ,  $p=0.011$ ). Det kan vara en effekt av att den vilda fisken har vuxit upp i en mer komplex miljö, och därför uppvisar ett mer komplext beteende i förhållande till försökssituationen.

Vild och odlad fisk använde gömslet i samma utsträckning, sett över hela försöksperioden ( $F_{1,20}=0.24$ ,  $p=0.628$ ). Det fanns en klar tidseffekt, där utnyttjandet av gömslet minskade under försökets gång ( $F_{15,300}=1.84$ ,  $p=0.029$ ). Interaktionen (d.v.s. om de två grupperna av fisk hade skilda "banor" under försökets gång) tenderade till att vara signifikant ( $F_{15,300}=1.68$ ,  $p=0.055$ ; se Fig. 2). Vild och odlad fisk tillbringade olika mycket tid i säkra området, sett över hela försöksperioden ( $F_{1,20}=4.50$ ,  $p=0.047$ ). Vild fisk tillbringade mer tid där än odlad fisk (Fig. 3).

I det andra delförsöket (predatorconditionerad kontra naiv fisk) skiljde sig inte kategorierna åt med avseende på initiallängden ( $t=0.04$ ,  $p=0.971$ ), predatorns längd ( $t=0.32$ ,  $p=0.749$ ), eller tillväxt ( $t=0.43$ ,  $p=0.668$ ). Det fanns en klar tidseffekt där utnyttjandet av gömslet ökade under försökets gång ( $F_{13,533}=2.13$ ,  $p=0.012$ ). Sett över hela försöksperioden använde conditionerad fisk gömslet i samma utsträckning än naiv fisk, ( $F_{1,41}=1.92$ ,  $p=0.174$ ), men interaktionen (d.v.s. om de två grupperna av fisk förändrade beteendet olika under försökets gång) var signifikant

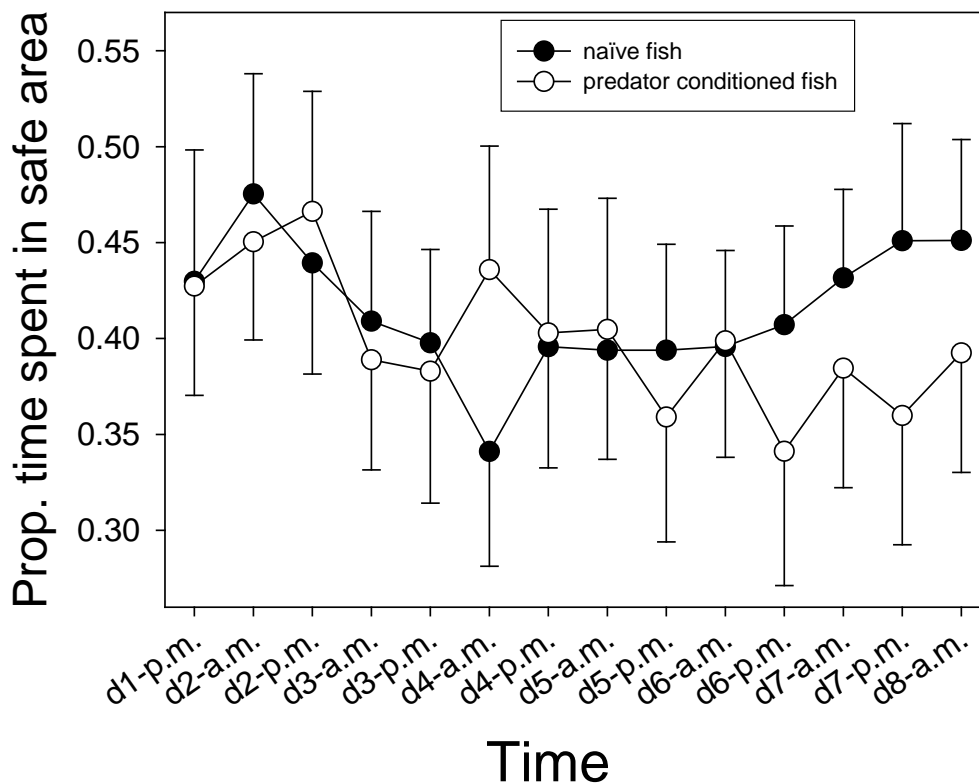
( $F_{13,533}=1.91$ ,  $p=0.027$ ). Den naiva fisken låg på samma nivå hela tiden, medan den konditionerade fisken ökade sitt nyttjande av gömslet ( Fig. 4).



**Figur 4.** Proportion tid som tillbringades i gömslet för predator-konditionerad och naiv fisk.

Predator-konditionerad och naiv fisk tillbringade lika mycket tid i det säkra området, sett över hela försöksperioden ( $F_{1,41}=0.04$ ,  $p=0.844$ ). Det fanns ingen tidseffekt, totalt sett tillbringade fiskarna lika mycket tid det säkra området under försökets gång ( $F_{13,533}=0.99$ ,  $p=0.427$ ; Fig. 5)).





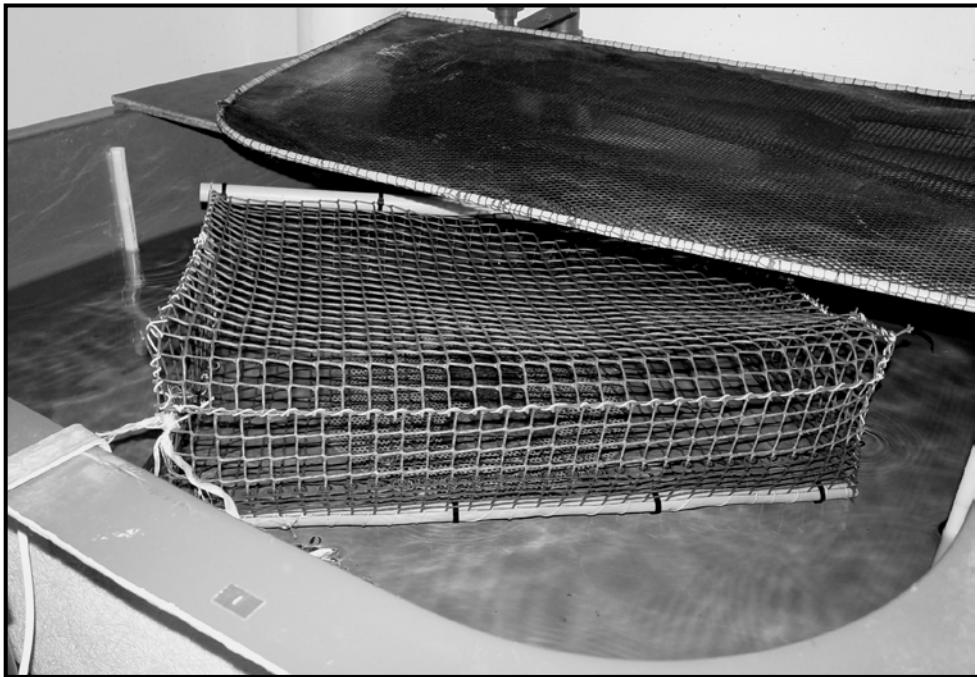
**Figur 5.** Proportion tid som tillbringades i det säkra området (det utan predator) hos predator-konditionerad och naiv fisk.

### ***Predator-konditionering.***

#### ***Laboratorieförsök II (för ytterligare information se lic. avhandling, bilaga 3).***

**Sammanfattning:** Meningen med det här försöket var att testa huruvida predator-konditioneringen fungera i en mer realistisk odlingssituation. Fisken ”skrämdes” i tråg med en levande gädda i bur, (Fig. 6) i vissa replikat förstärkt med skinnextrakt från avlivad öring. Försöket gjordes på öringar som härstammade från fyra olika populationer. Resultaten visade att öringen har en nedärvd respons att undvika gädda, men ingen effekt av konditioneringen kunde påvisas. Dock fanns det skillnader mellan populationer i beteende, vilket är väl värt att beakta i andra sammanhang (t.ex. förstärkningsutsättningar).

Tidigare studier har visat att fisk kan lära sig undvika/undkomma predatorer efter konditionering med levande predatorer eller predatormodeller tillsammans med avskräckande stimuli (t.ex. lukt från en skadad fisk av den egna arten). Här använde vi oss av nyss dödad öring som mosats och frusits in i ”iskuber”. Flera laxfiskarter uppvisar en mängd anti-predator



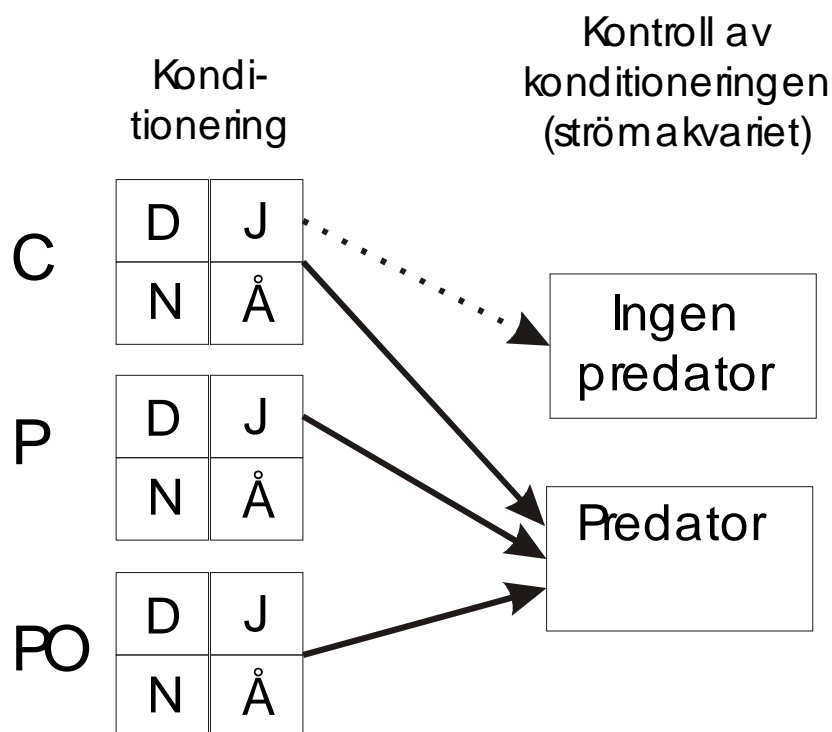
**Figur 6.** En av de nätburar som användes vid predatorconditioneringen.

beteenden då de utsätts för byteslukt från artfränder. Studier har visat att regnbåge även kan lära sig associera byteslukt med lukten från en potentiell predator. Ettårig öring, som vuxit upp i odlingsmiljö i Älvkarleby, härstammande från fyra olika populationer (Dalälven, Åva-, Jörlanda- och Norumsån) konditionerades i tre olika behandlingar: (1) Kontroll, (2) Levande gädda i bur, (3) Levande gädda i bur samt byteslukt (iskuber) (Fig.7). Effekten av behandlingen studerades i seminaturell miljö i strömakvariet i Älvkarleby. Öringen exponerades i åtta timmar. Gädda sänktes ned i trågen i en nätbur (65 x 30 x 90 cm), öringen kunde simma in, men gäddan kunde inte simma ut.

Därefter överfördes fisken till strömvattenakvariet. Akvariet var avdelat i fyra sektioner, varje sektion bestod av en uppströmsdel där gädda (om den var med) sattes, och en nedströmsdel där öringen sattes. Återigen kunde öringen simma in till gäddan, men gäddan var fast där den var.

Konditioneringen hade ingen effekt på födointaget. Under försökets andra ( $p < 0.0001$ ,  $F = 22.40$ ) och tredje dag ( $p < 0.0001$ ,  $F = 36.59$ ) åt fisken mer när ingen gädda fanns. Öring från Jörlandaån åt mer än öring från de andra populationerna under försökets första dag ( $p = 0.018$ ,  $F = 6.87$ ), men det var ingen skillnad mellan populationerna de följande två dagarna.

Gäddans närvaro minskade aktiviteten under experimentets alla tre dagar, men det fanns ingen skillnad i beteendet mellan konditionerad och naiv fisk. Simaktiviteten i replikaten utan gädda skiljde dock mellan populationerna. Öring från Jörlandaån var mer aktiv under försökets första dag ( $p = 0.048$ ,  $F = 3.70$ ), men det var ingen skillnad de följande två dagarna.



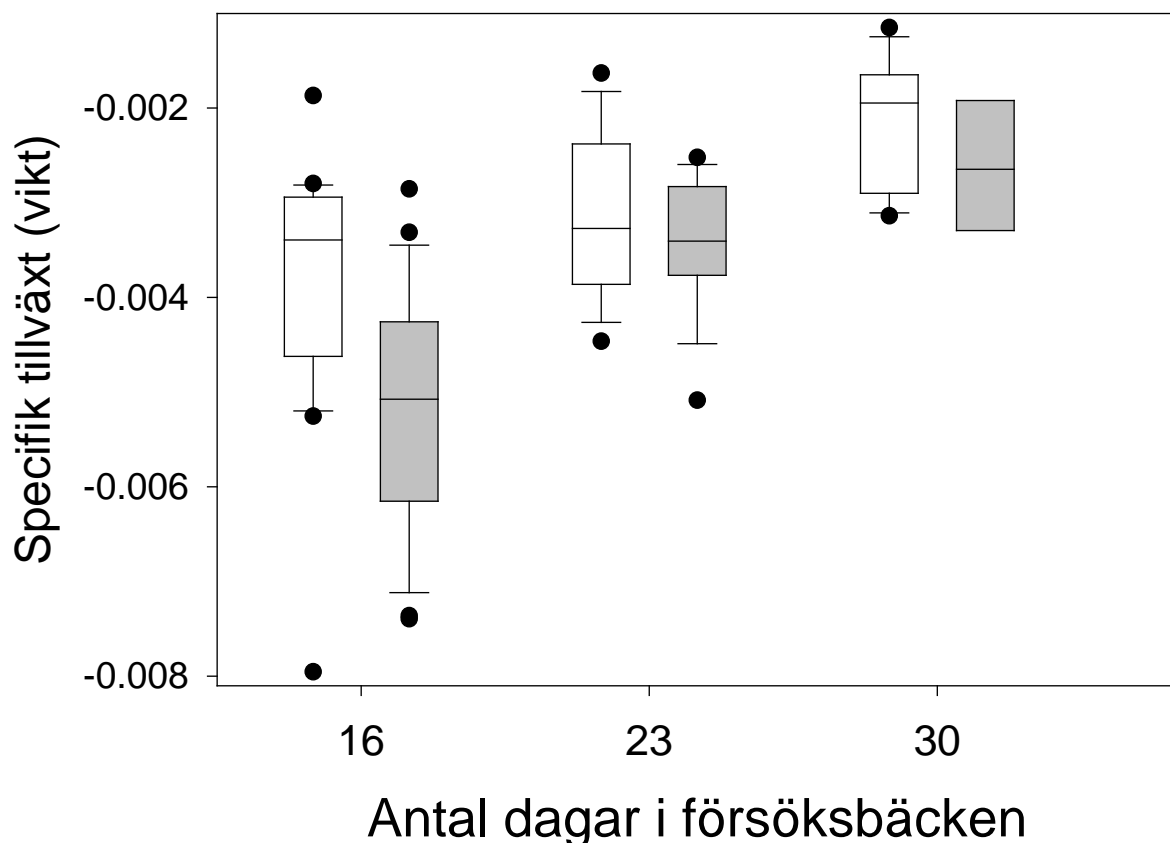
**Figur 7.** De fyra populationerna: Dalälven (D), Jörlandaån (J), Norumsån (N) och Åvaån (Å) exponerades antingen till inget stimuli (C), en levande gädda (P) eller gädda plus öringlukt (PO). Försöksfisken testades sedan i strömvattenakvariet, antingen med levande gädda (36 replikat) eller ingen gädda (12 replikat).

Öring från Norumsån var mer aggressiv än öring från de andra populationerna, särskilt de som inte konditionerats med kontroll-iskuber (endast vatten, ingen gädda), och särskilt markant under försökets tredje dag ( $p=0.0003$ ,  $F=4.58$ ). I övrigt hade inte konditioneringen någon effekt på aggressiviteten.

***Predatorkonditionering. Utsättningsförsök i experimentbäcken.***

Ettårig öring, som vuxit upp i odlingsmiljö i Älvkarleby, härstammande från fyra olika populationer (Dalälven, Åva-, Jörlanda- och Kävlingeån), konditionerades i två olika behandlingar: (1) Kontroll, (2) Levande gädda i bur samt byteslukt (iskuber). Effekten av behandlingen studerades i seminaturell miljö i experimentbäcken i Älvkarleby. Fisken hade individmärkts med s.k. PIT-tags. Exponeringen varade i 24 timmar. Försöket upprepades tre gånger, varje gång med 40 fiskar i vardera behandlingen. Fisken i den första omgången fick var i bäcken 30 dagar innan den togs upp, andra omgången 23 dagar, och det tredje 16 dagar. Det var ingen skillnad mellan populationerna i överlevnad (G-test:  $p=0.765$ ), och det var ingen skillnad mellan behandlingarna i överlevnad (G-test:  $p=0.891$ ). I genomsnitt överlevde 42 % av fiskarna. En intressant sak kan dock noteras: I genomsnitt minskade all fisk i vikt under försökets gång, mycket beroende på att försöket gjordes på hösten (okt-nov). Av den fisk som

överlevde minskade den predatorconditionerade fisken mer i vikt än kontrollfisken (0,37 % /dag respektive 0.30 %/dag,  $t=2,28$ ,  $p=0.0253$ ). Detta antyder att conditioneringen ändå haft en viss effekt. Eftersom fisken conditionerades och sattes ut i ett svep, d.v.s. utan återhämtning däremellan kan man tänka sig att detta är en effekt av stress. Detta styrks av att skillnaden var störst efter en vecka, men mindre därefter (Fig. 8). Detta beror sannolikt på att den conditionerade fisken återhämtar sig och kommer ifatt.



**Figur 8.** Tillväxt (ungefär procent per dag) för öringyngel som antingen conditionerades med gädda och öringslem (grå) eller kontroll (vit). Som synes minskade fisken som bara var 16 dagar i bäcken mer än de som var där längre tid. Likaså minskade conditionerad fisk mer än kontrollen efter 16 dagar. Dessa minskningar kan vara en effekt av stress.

### ***Predatorconditionering. Utsättningsförsök i Dalälven.***

I slutändan är det överlevnaden från smoltutsättning till återmigration som avgör hur många individer som måste odlas respektive sättas ut. Därför märkte vi predatorconditionerade och predatornaiva fiskar med Carlin-märken (som vid vanlig driftsmärkning) och satte ut dem i Dalälven. Conditioneringen gick till som ovan i experimentbäcken, men det hela gjordes i odlingsstråk med laxsmolt. Storlek vid märkning noterades före utsättning. Fisk som fångats i havet inrapporteras av yrkesfiskare och fritidsfiskare till Fiskeriverket. Återvändande fisk

noteras vid Centralfisket i Älvkarleby. En sådan utsättning gjordes, men inga återfynd har ännu rapporterats.

### ***Slutsatser predatorkonditionering.***

Vissa av våra resultat tyder på att man kan ”justera” beteendet hos odlad fisk. I noggranna laboratoriestudier kan effekten avläsas, men frågan är om den respons man konditionerat fram hos fisken är adekvat för ett liv i det vilda. De påföljande mer storskaliga försöken med kontroll i mer naturlig miljö visar ingen effekt i form av ökad överlevnad. Däremot visar tillväxten hos den överlevande fisken från försöksbäcken att en effekt kan finnas initialt i tillväxten. Kanske hade vi fått en bättre effekt på överlevnaden om fisken fått återhämta sig efter exponeringen innan den sattes ut. Resultaten från det kontrollerade laboratorieresultat antyder att det skulle kunna vara bra att fortsätta studera predatorkonditioneringen, för att försöka optimera metoden. Men å andra sidan visar alltså våra storskaligare försök att det förmodligen ger mycket liten utdelning. Därför kan predatorkonditionering inte rekommenderas i dagens läge.

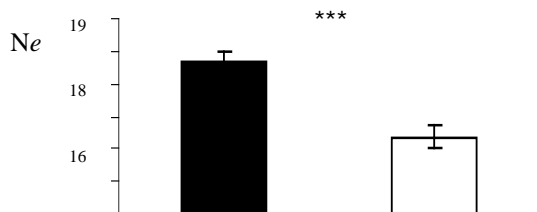
### ***Habitatstruktur och täthet***

**Sammanfattning:** Avsikten med dessa försök ( i Laholm och Kälarne 2004 och 2005) var att undersöka hur fisken tillväxer, hur pass mycket ”odlingsskador” (fenskador) den får, hur genetisk variation påverkas och hur den klarar sig efter utsättning i det vild beroende på hur tätt fisken odlats och hur trägen är utformade. Från ett av försöken kan vi konstatera att den genetiska variation hos fisken i ett odlingstråg av negativt täthetsberoende, d.v.s. ju tätare fisken odlas, desto mindre blir den genetiska variationen. Detta är, så vitt vi känner till, den första experimentella studie på fisk som visat att populationstäthet kan påverka effektiv populationsstorlek (=genetisk diversitet). I odlingen hade fisk som odlats i låga tätheter med struktur en högre tillväxt än konventionellt odlad fisk. Fisk i låga tätheter hade dessutom lägre andel fenskador, vilket ur djuretisk synpunkt är positivt. Fisk i låga tätheter hade i våra försök högre konkurrensförmåga än de som odlats i konventionella tätheter. Detta är oss veterligt den första experimentella studie som påvisar ett sådant samband. Låga tätheter påverkade inte fiskens överlevnad efter utsättning, men väl dess tillväxt. Däremot hade inte struktur i odlingstrågen någon inverkan på tillväxt eller överlevnad efter tillväxt.

### ***Habitatstruktur och täthet: försök i Kälarne 2004.***

*(för ytterligare information se lic. avhandling, bilaga 3)*

Öring från tolv familjer odlades i modifierade tråg för att testa förutsägelsen att homogena miljöer och höga populationstätheter leder till en lägre effektiv populationsstorlek ( $N_e$ ), ett mått som speglar graden av inavel och förlust av genetisk variation i en population. Resultaten visar att  $N_e$  är negativt täthetsberonde (Figur 9) ( $p < 0.001$   $F_{1,23} = 2.78$ ). Hög täthet gynnade några familjer medan andra missgynnades, vilket medförde en relativt hög variation i framgång bland familjer under tidiga livsstadier. Däremot fanns det inget samband mellan strukturell komplexitet och genetisk diversitet.

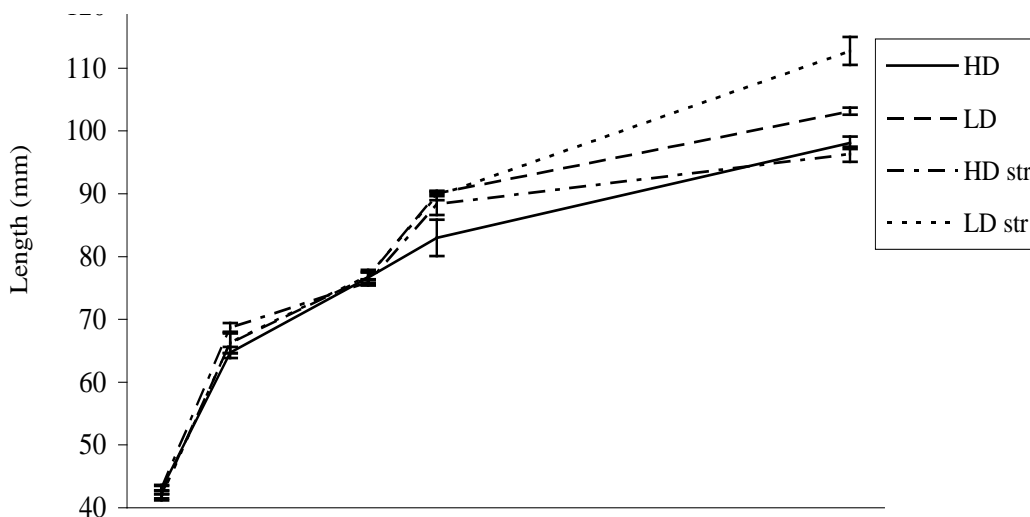


**Figur 9.** Den effektiva populationsstorleken ( $N_e$ ), (medel $\pm$  SE) hos öring odlad i hög täthet (vit stapel; 120/m<sup>2</sup>) och låg täthet (svart stapel; 60/m<sup>2</sup>).

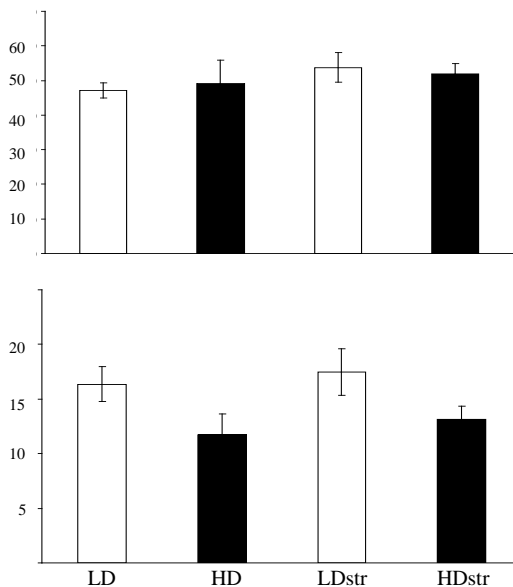
### **Habitatstruktur och täthet: försök i Laholm.**

(för ytterligare information se lic. avhandling, bilaga 3)

Lax odlades i olika tätheter med och utan struktur i en fullskalig odlingsmiljö. En andel laxungar sattes ut efter 135 dagar medan resten behölls på odlingen till nästa vår. Fisk som hade odlats i låga tätheter växte snabbare under de första månaderna efter utsättning, en skillnad som inte fanns kvar då fisken återfångades efter ytterligare ett halvår (Figur 11). Behandlingarna hade dock ingen effekt på överlevnad efter utsättning. I odlingen hade fisk som odlats i låga tätheter med struktur en högre tillväxt än konventionellt odlad fisk (Figur 10). Fisk i låga tätheter hade dessutom klart lägre andel fenskador (efter 301 dagar).



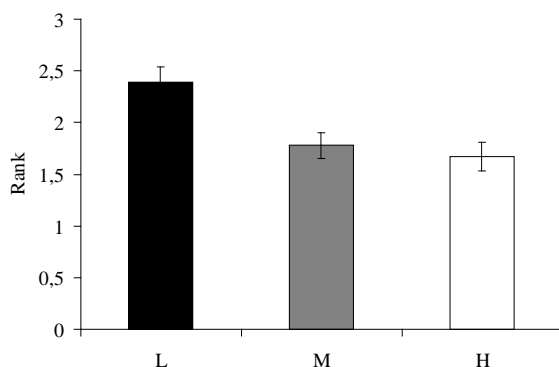
**Figur 10.** Medel längd ( $\pm$  SE) och hur den förändrades hos ung lax från juni 2004 till april 2005. Fisken odlades under fyra olika förhållanden; hög täthet (HD; standard tätheten på odlingen 3,75 kg/m<sup>3</sup>) låg täthet (LD; ca en tredjedel av standardtäthet 1.35 kg/m<sup>3</sup>), hög täthet med struktur (HDstr) och låg täthet med struktur (LDstr). Strukturen bestod av plastremсор som svajade i vattnet. Efter ca 135 PITtagmärktes 1200 fiskar och sattes ut i Smedjeån, söder om Göteborg.



**Figur 11.** Längdtillväxt efter 75 dagar (nederst) och efter 279 dagar (överst) hos lax som sattes ut. Fisken hade behandlats enligt det som anges i figur 7.

#### ***Täthet: försök i Kälarne 2005***

Öring odlades i tre tätheter, där den högsta tätheten motsvarar standardförhållande i odling och den lägsta motsvarade tätheten i en naturlig miljö. Efter fyra månaders behandling jämfördes fisk i från de olika tätheterna i förmåga att konkurrera om föda. Vi samma tillfälle sattes även fisk ut i en experimentbäck där den fick tillväxa under en månad. Resultat från beteendestudierna visar att fisk som odlats i låga tätheter har en konkurrensfördel pga ett snabbare och därmed högre födointag än fisk som odlats i höga tätheter (Fig. 12). Denna effekt var oberoende av fiskens storlek. Detta är oss veterligt den första experimentella studie som påvisar direkta samband mellan täthet och konkurrensförmåga (dominans) i odling. Höga tätheter visade sig även ha en negativ effekt på fiskens tillväxt i fält ( $p=0.004$   $F=6.53$ ).



**Figur 12.** Fisk som tillväxt i tankar med låga tätheter (L) har en högre rank, dvs de har ett högre födointag och är aggressivare än fisk som odlats i högre tätheter (M & H).

### ***Slutsatser Habitatstruktur och täthet.***

Eftersom tidigare forskning har visat att smoltens marina överlevnad är storleksberoende, samt att fenskador ökar känsligheten för infektioner. Det är därför sannolikt att struktur och reducerade tätheter i odling kan öka smoltens marina överlevnad. Höga populationstätheter leder till en lägre effektiv populationsstorlek ( $N_e$ ), ett mått som speglar graden av inavel och förlust av genetisk variation i en population. Det är således ingen bra idé att försöka tränga ihop mer fisk i ett tråg. Även om det är möjligt med hänsyn till tillväxt, fenskador, syrehalt, föroreningar i vattnet, produktionsmål, etc. så minskar den odlade populationens genetiska bas. Dels är resultaten från våra studier så pass uppmanande att vi kan rekommendera att minska odlingstätheterna, dels bör man fortsätta att göra storskaliga försök och följa fisken under hela dess livscykel.

### ***Födokonditionering: korrelativ studie.***

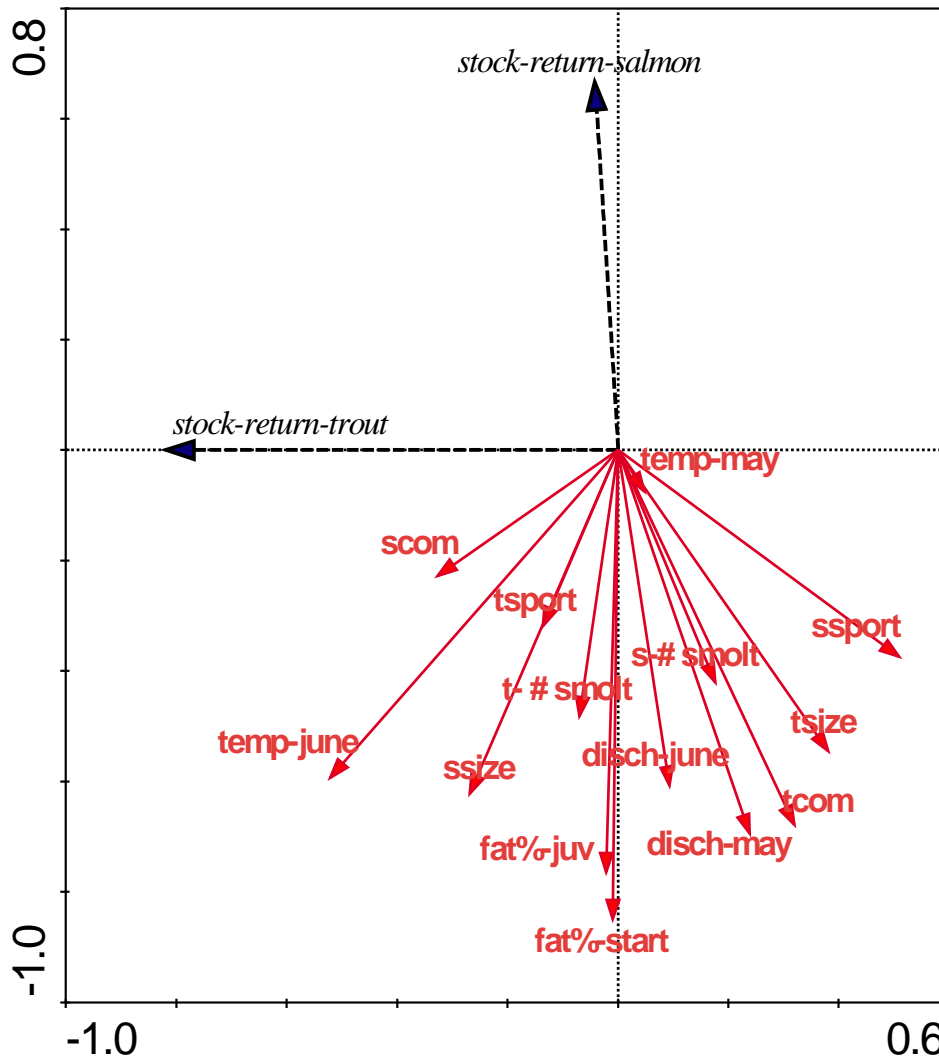
Den föda som getts till laxen och öringen i Älvkarleby har inte varit densamma under åren. Under 1960-talet låg fetthalten i fodret på 5 %, under 1970-talet 8-10 %, och under 1980- och 90-talen 18-20 %. Under samma tid har antalet smolt som satts ut ökat, men antalet återvandrande vuxna fiskar har inte ökat. En hypotes är då att födans fettinnehåll kan påverka fiskens överlevnadsmöjligheter efter utsättning. Vi samlade in data på yrkesfiskets fångster, älvtemperaturen i maj och juni, vattenföringen i maj och juni, sportfiskets fångster och smoltstorlek. Data av detta slag är besvärligt att analysera. Det vi valde var en s.k. ordinationsanalys. Som man ser i figur 12 finns ett negativt samband mellan födans fettinnehåll (både startfodret och yngelfodret) och andel återvandrande laxar. För öringen är inte bilden lika klar.

Detta ska endast ses som en översikt över vad vi kan samla ihop för data i dagsläget, det kan finnas många andra faktorer som påverkar fisken överlevnad ute i havet. Eftersom många av de variabler som ingår i analysen ökar med tiden, finns det en samvariation som är svår att korrigera för.

### ***Slutsatser födokonditionering***

Resultaten är väl värda att följa upp. Från gruppdiskussionerna (se bilaga 4) framkom det att en metod kan vara att variera hur födan ges. Man bör således dels variera födans sammansättning i försöken, dels presentera den på olika sätt för fisken. I dagens läge kan vi dock inte ge några rekommendationer, eftersom frågan inte är tillräckligt undersökt.





**Figur 12.** Ordinationsanalys (*redundancy analysis*) för data om lax och öring från Dalälven. Data är från 1964 fram till 2003. De heldragna pilarna representerar beskrivande variabler, och de streckade de två responsvariablerna (andel återfångade laxar och öringar). Denna analys har tagits fram för att "koka ned" en komplex information som annars skulle kräva många diagram för att ge en förklaring. I det senare fallet skulle man då missa hur variablerna förhåller sig till varandra. Varje pil pekar i den riktning som anger hur variabeln den beskriver ökar med respektive axel. Exempel: I diagrammet ovan ökar fat%-start nästan identiskt med faktor 2 (vertikal axeln), medan den inte ökar något alls med faktor 2 (horisontella axeln) ssport ökar ung. lika mycket med ökande värde för båda faktorerna, medan scom ökar ung. lika mycket med minskande värde för båda faktorerna. Ju längre en pil är desto mer förklarar den av det totala variationen i hela datasetet. Ju närmre två pilar är varandra desto mer korrelerade är de med varandra, d.v.s. om ena variabeln ökar i värde ökar den närliggande proportionellt ung. lika mycket. Och omvänt, ju mer motsatta de är, desto mer negativt korrelerade är de, d.v.s. om värdet ökar för den ena variabeln, minskar den proportionellt ung. lika mycket för den andra.

De beskrivande variablerna uttyds som följer: scom=yrkesfiskets fångster av lax; tcom=yrkesfiskets fångster av öring; ssport=sportfiskets fångster av lax; tsport=sportfiskets fångster av öring; ssize=medelstorleken för utsatt laxsmolt; tsize=medelstroleken för utsatt öringsmolt; fat%-juv=fettinnehållet (%)i yngelfodret; fat%-start=fettinnehållet (%) i startfodret; disch-may=medelvattenföring i maj; disch-june=medelvattenföring i juni; t-#smolt=antal utsatta öringsmolt; s-#smolt=antal utsatta laxsmolt; temp-may=älvmedeltemperatur i maj; temp-june=älvmedeltemperatur i juni.

### ***Kort slutsats för hela projektet***

I dagen läge kan vi rekommendera att odlingstätheterna för sättfisk minskas. På sikt kommer det att innebära att den genetiska variationen blir större, vilket motverkar inavelseffekter och ökar populationens anpassningsmöjligheterna till förändringar i utsättningsmiljön. Effekterna av struktur i odlingstrågen liksom födans sammansättning och hur den presenteras för fisken bör studeras vidare. Predatorkonditionering kan inte rekommenderas, enligt våra försök och en del försök gjorda på andra platser i Europa och Nordamerika ger det oftast ingen eller endast marginella resultat.

## **Projektets mål och måluppfyllelse**

Vissa förändringar mer vad som sagts i ansökan har gjort under arbetets gång, de viktigaste är dessa tre:

1. Vi använde oss inte av predatormodeller, eftersom det är en alltför standardiserad metod. Rent laborativt är det relevant och intressant, men sett ur ett vilt perspektiv är det inte.
2. Vi strök initialt allt som har med föda att göra, eftersom neddragningen av anslaget inte gav utrymme för sådana studier. Detta meddelades i en reviderad projektbeskrivning. Vi har ändå gjort en korrelativ studie, vilken genererat intressanta frågor. I kombination med det som kom fram under seminariet (se ovan) ger detta uppslag för framtida studier.
3. Utsättningar av fisk som konditionerats på olika sätt har gjorts, men inte i den utsträckning som sades i ansökan. Efter neddragningen med 20 % hade vi inte medel för en storskalig märkning. Vi fick dock en del extra finansiering och kunde genomföra en större utsättning. Detta skedde dock senare än tänkt. Därför har vi inte hunnit få in märkningsresultat inom projektets tidsram.

Från projektbeskrivningen kan man extrahera tre mål.

(1) *Öka kunskapen om hur fisken påverkas av odlingsmiljön och hur odlingsmiljön kan anpassas efter hur fisken ska användas, i detta fall till utsättning.* Detta har vi gjort, vi har studerat en del metoder och funnit att odlingsmiljön påverkar fisken. Den enda faktor som genomgående har varit betydelsefull är täthet, där vi funnit att sänkta tätheter ökar tillväxt efter utsättning och i odling samt reducerar fenskadorna på smolt. Kunskapen har ökat, men samtidigt har många nya frågor och problem blivit uppenbara.

(2) *På basis av resultaten i detta projekt och annan befintlig information ska vi utvärdera om förbättringarna i avkastning är tillräckliga för att motivera eventuella merkostnader.* Eftersom vi inte funnit direkta effekter på överlevnad, är det tveksamt om det i dagsläget är möjligt att säga om det är lönsamt att använda sig av de mer komplicerade konditioneringsmetoderna. Resultaten indikerar snarare att enklare åtgärder som att reducera tätheter kan vara väl så effektiva, men mer studier behövs för att få en klarare bild av alternativa åtgärders effekter.

(3) *Vi ämnar också göra utsättningar och återfångststudier av behandlad utsatt fisk i naturliga och/eller seminaturliga vattendrag.* Detta har gjorts, i flera olika vattendrag, experimentbäckar och helt naturliga vattendrag.

På det hela taget anser vi att måluppfyllelsen varit mycket god.

## ***Projektets resultat i förhållande till programmets övergripande mål och syfte***

Strategiska mål:

- *att pröva och utvärdera hypoteser och teoretiska modeller i försöks- och pilotanläggningar samt i naturliga vatten.* Detta har vi lyckats bra med. Våra studier har innefattat en god teoretisk bas och vi har gjort försöken både på lab och i naturliga vatten.
- *att vid högskolor och universitet och företag långsiktigt öka kompetensen inom programmets prioriterade områden samt att främja samarbetet mellan högskolor, universitet, forskargrupper och företag nationellt och internationellt.* Arbetet har varit ett synnerligen fruktsamt samarbete mellan tre odlingar (Laholm, Älvkarleby och Kälarne), Fiskeriverket och Göteborgs universitet. Under projektets gång har vi kontinuerligt haft informella kontakter med olika forskargrupper, främst utomlands. Seminariet som hölls i Älvkarleby gav oss möjlighet att presentera våra resultat, knyta internationella kontakter och få del av nationella och internationella ståndpunkter i frågan.
- *att stärka samarbete mellan olika vetenskapliga discipliner samt industrin då flertalet frågeställningar är av tvärvetenskaplig karaktär.* Industrin i vårt fall är fiskodlingarna och projektet har på många sätt bidragit till att en mer ömsesidig förståelse har upprättats, även om det inte är fullbordat på långa vägar. Projektet har inte varit särskilt tvärvetenskapligt, det var tänkt från början då fisknutrition och fysiologi skulle komma in mer. Med det föll bort pga den begränsade finansieringen (se ovan). Projektet har mestadels rört beteende, genetik och livshistoria, vilket deltagarna i projektet är mer eller mindre väl förtrogna med allihop. Framtida samarbete med andra discipliner, bl.a. neuroendokrinologi (Universiteten i Göteborg, Uppsala och Oslo) har dock initierats.
- *att projekten skall ha sådan vetenskaplig kvalitet att resultaten publiceras i vetenskapligt granskade tidskrifter.* Sådana publikationer har inte gjorts än, men det är ett realistiskt mål är att så ska ske (ca. 4-6 publikationer), särskilt inom ramen för Sofia Brockmarks doktorsavhandling. Sofia avlade en licentiatavhandling 6 december, 2005, vilken godkändes. Detta får ses som ett gott betyg åt det arbete som hittills lagts ned.

I programbeskrivningen står det specifikt om kompensationsodling att syftet är (1) *att utveckla funktionella och kostnadseffektiva metoder för odling av mer naturanpassad fisk.* Detta har vi påbörjat, men vårt projekt har också visat på problemen. (2) *Befintlig och ny kunskap används för att utforma och utvärdera kompensationsutsättning av fisk i reglerade vatten.* I vårt projekt har vi berört detta. Utan arbetet i detta projekt hade inte en rapport till regeringen haft den stringens den fick. Rapporten finns på Fiskeriverkets hemsida ([www.fiskeriverket.se](http://www.fiskeriverket.se) under publikationer/övriga rapporter, regeringsuppdrag). (3) *Ett viktigt syfte är att säkerställa bevarandet av befintlig genetisk variation i vildlevande populationer.* Detta har vi berört, vi har visat att minskade tätheter ökar den genetiska variationen. Ämnet var också hett debatterat på seminariet.

### ***Nationellt och internationellt samarbete***

*Nationellt:* Projektet har stärkt samarbete mellan Göteborgs universitet och Fiskeriverkets Sötvattenslaboratorium. Dessutom har samarbete med Universiteten i Uppsala och Oslo initierats. Samarbetet mellan odlingar och forskare har också stärkts. Det senare är det som kan utvecklas mer i framtiden.

*Internationellt:* Det internationella samarbetet har stärkts, inte minst genom workshopen i Älvkarleby där ytterligare samarbete t.ex. i form av doktorand- och forskarutbyte och andra samarbetsprojekt, t.ex. EU-projekt, diskuterades. Ett annat resultat av samarbetet är en gemensam reviewartikel (inviterad) om odlingseffekter på odlad och vild fisk i *Appl. Anim. Behav. Sci.* av I. Fleming., E. Petersson och J.I. Johnsson (in prep) som publiceras under 2006.

## **Vetenskapliga resultat**

### **Licentiatavhandling**

Brockmark, S. (2005). 'Nature-like fish for release – environmental effects on pre- and post-release performance in brown trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*)', Licentiate Thesis in Animal Ecology, Göteborg University

### **Artiklar i editorgranskade vetenskapliga tidskrifter**

Brockmark, S., Petersson, E., Johnsson, J.I., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A. Effects of predator conditioning on the behaviour of hatchery-reared brown trout in a nature-like stream. *submitted* J. Fish. Biol.

### **Konferensbidrag**

1. Brockmark, S., Johnsson, J.I., Petersson, E., Bohlin, T., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A., 'Production of nature-like fish for release – environmental effects on development (summary of 2003-2004)', Vattenkraft, åtgärder och kostnader i nu reglerade vattendrag", Elforsk, Stornorrfors, 17-18 juni 2004
2. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T., 'Free at l(e)ast', Doktoranddagen, Zoologen, Göteborg, 12 november 2004
3. Brockmark, S., Dannewitz, J. and Bohlin, T. 'Environmental effect on phenotypic and genetic expression in brown trout', Nordic Workshop for PhD students on Anadromous Salmonid Research, Agdenes, Norge, 7-10 April 2005
4. Brockmark, S., Johnsson, J.I., Petersson, E., Bohlin, T., Dahl, J., Dannewitz, J. & Löf, A., 'Nature-like fish for release - environmental effects on development (summary of 2003-2005)', Vattenkraft, åtgärder och kostnader i nu reglerade vattendrag, Elforsk, Oskarshamn, 16-17 juni 2005
5. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T. 'Can the post-release performance of hatchery fish be improved by environmental alterations?', FSBI, "Fish habitat Ecology and Conservation", Bangor, Wales, 17-22 July 2005
6. Brockmark, S., Dannewitz, J. and Bohlin, T. 'Environmental effect on phenotypic and genetic expression in brown trout', Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking, Älvkarleby, Sverige, 14-16 September, 2005
7. Brockmark, S., Johnsson, I.J. and Bohlin, T. 'Can the post-release performance of hatchery fish be improved by environmental alterations?', Evaluating of methods for improving the quality of fish reared for stocking, Work-shop, Älvkarleby, Sverige, 14-16 September, 2005

### **Examensarbeten**

Jönsson, A. (2003). Smedjeån – en inventering av lämpliga biotoper för utsättning av lax inom projektet *Produktion av naturlig sättfisk*. Examensarbete för filosofie magisterexamen, Zoologiska Institutionen, Göteborgs Universitet

Lindberg, S. (2005). Is it possible to obtain a more wildlike hatchery fish by manipulating the rearing environment? Examensarbete för filosofie magisterexamen, Zoologiska Institutionen, Göteborgs Universitet

## **Workshop i Älvkarleby 14-16 september 2006**

Vi anordnade detta seminarium (workshop) för att få ta del av utländska och inhemska erfarenheter på området och få tillfälle att diskutera inte bara våra egna resultat utan även de olika metodernas för-och nackdelar, eventuella effekter, etc. Deltagarlistan finns i Bilaga 1, abstract är samlade i Bilaga 2, och sammanfattning av gruppdiskussionerna i Bilaga 4..

## **Övrigt (proceedings, populärvetenskapliga artiklar, rapport m.m.)**

I regleringsbrevet för 2004 fick Fiskeriverket uppdraget att i samverkan med berörda myndigheter utreda möjligheter och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar. Uppdraget skulle redovisas senast den 1 december år 2004. 2004-11-29 översändes en rapport till regeringen med titeln: ”Analys av möjligheter för och konsekvenser av en förändrad inriktning på kompensationsåtgärder avseende fiske i nuvarande och kommande vattendomar”.