



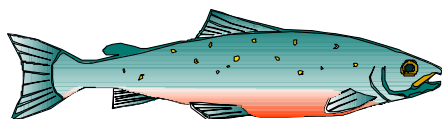
Rödingavel

En summering av det Svenska Avelsprogrammet
från 1982-2006

Eva Brännäs, Jan Nilsson & Lars-Ove Eriksson



Vattenbruksinstitutionen
Rapport 57
Umeå 2007



Rödingavel

En Summering av det Svenska avelsprogrammet från 1982-2006

Av Eva Brännäs, Jan Nilsson & Lars-Ove Eriksson

Vattenbruksinstitutionen, SLU, 901 83 Umeå.

© SLU
Vattenbruksinstitutionen
901 83 Umeå
Tel. 090 – 786 84 83
Fax. 090 – 12 37 29
E-post. vabr@slu.se
Hemsida. <http://www.vabr.slu.se/>

Rapport nr 57, 2007.

ISSN 1101-6620
ISRN SLU-VBI-R--57 --SE

Innehåll

Inledning.....	4
Varför odlar vi fisk, och varför avlar vi dom?.....	5
Vad är avel?	6
Avelsmål.....	7
Val av stam.....	7
Beräkning av genetiska parametrar.....	7
Urvalsmetoder.....	8
Individbaserad avel.....	8
Familjebaserad avel.....	8
Ny teknik i Avelsarbetet.....	11
Avelsprogrammet på röding.....	12
Viktiga egenskaper för avelsarbetet.....	12
Urval av stam.....	12
Beräkningar av genetiska parametrar.....	13
Genetiska korrelationen.....	15
Jämförelse mellan tillväxt på avels- och testanläggningar	15
Individ och familjeurval.....	17
Summering av uppnådda förbättringar genom aveln	17
.....	17
Övriga mätningar.....	19
Avelsmaterialets bakgrund/ stamtavla.....	19
Tillväxten av honor respektive hanar.....	20
Specifika forskningsinsatser inom avelsprojektet.....	22
Test av "releasing hormones"	24
Äggkvalitet.....	25
Genetiska markörer.....	26
Beteendedtudier.....	30
Avelsprogrammets finansiering.....	31
Avelsprogrammets logistik.....	33
Kvarstående problem.....	33
Tack.....	34
Referenser.....	34
Publikationer.....	35

INLEDNING

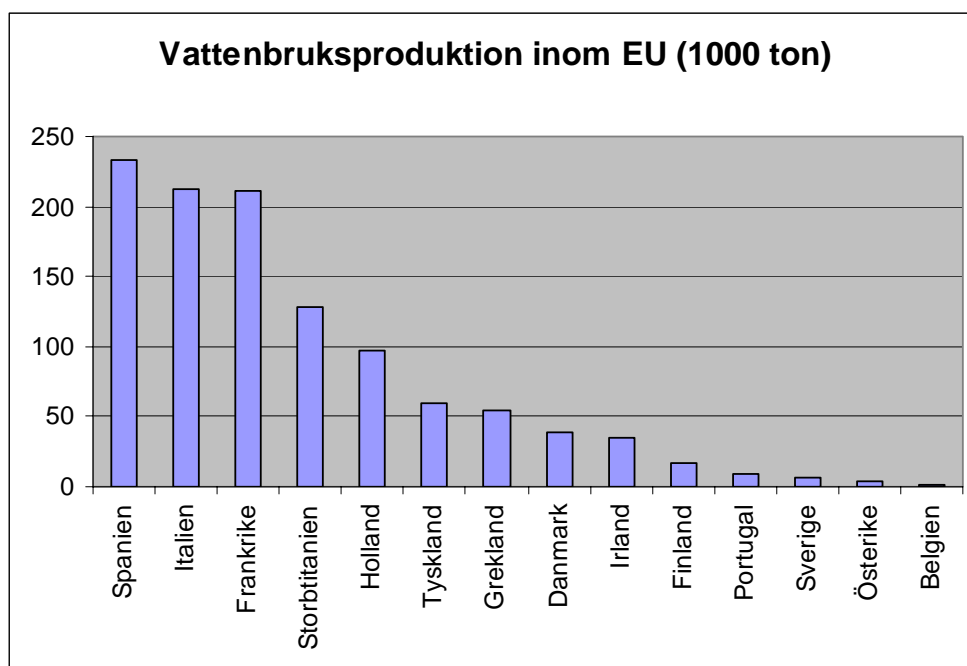
Avelsprogrammet på röding startades egentligen redan åren 1982-1985 då intresset för att odla röding för konsumtion började visa sig i Sverige. Efter en 3-årig försöksperiod kunde den mest lämpade rödingstammen väljas ut. Det 1985 startade avelsarbetet pågår fortfarande år 2006 och är nu inne på den 6:e generationens avelsfiskar, vilka redan från 2:e generationen fick beteckningen "Arctic superior". Arctic superior av 2005 års modell växer dubbelt så snabbt som de ursprungliga, icke avlade rödingarna från Hornvavan, något som visar att avelsarbetet har varit mycket framgångsrikt. Avelsarbetet och även intresset för rödingodling initierades av Professor Lars-Ove Eriksson, då vid Institutionen för Ekologisk Zoologi, Umeå Universitet och som 1987 startade vattenbruksinstitutionen inom SLU, fortfarande i Umeå. Finansieringen, liksom det praktiska genomförandet av avelsarbetet har genom åren emellanåt varit osäkra och ibland har hela projektet varit nära katastrofens rand. Trots problem med produktionsstörningar och kortsiktig finansiering har avelsarbetet varit mycket konstruktivt. Arbetet har gjorts av forskare vid Vattenbruksinstitutionen vid SLU i Umeå tillsammans med Fiskeriverkets försöksstation i Kälarne. Finansieringen har huvudsakligen skett genom regionala medel från de 4 nordliga länen till Stiftelsen Vattenbruksutveckling samt av EU's strukturfondmedel genom Fiskeriverket. Sverige var länge det enda landet som hade en speciellt utvecklad och framavlade rödingstam för matfiskodling, något som våra konkurrentländer Norge och Island saknade. Numera har främst Island hunnit ifatt oss, efter en målmedveten satsning i betydligt större skala än vad som varit möjligt i Sverige.

Forskningsintensiteten liksom inriktningen inom avelsprogrammet har även den varierat och förändrats genom åren. I början av avelsprogrammet var själva selektionsarbetet på fisk huvudtemat med ett nyhetsvärde som resulterade i vetenskapliga publikationer, de flesta från Jan Nilsson som är genetiker vid institutionen. Under senare år har medlen huvudsakligen täckt kostnaderna för själva avelsarbetet och fiskhållningen i Kälarne. Från år 2002 kunde en del forskning finansieras inom avelsprogrammet. Då satsade vi på två, för avelsprogrammet viktiga områden. Det ena handlar om att förstå varför äggöverlevnaden är så mycket sämre hos odlad röding jämfört med t.ex. öring och att förhoppningsvis förbättra denna. Den andra satsningen har gått ut på att förenkla avelsarbetet genom att lokalisera genetiska markörer för viktiga egenskaper hos odlad fisk. Sådana markörer kan göra avelsarbetet mycket effektivare. Beteendegenetik är ett annat område som vi har börjat arbeta med vilket i princip innebär att egenskaper som stresstålighet och aggressivitet kan, om de är ärvbara, ingå i selektionsarbetet.

Denna sammanställning är en sammanfattning av hela avelsprogrammets verksamhet och utgör också en rapportering till avelsarbetets olika finansiärer. Vi har valt att sammanställa hela avelsprogrammet eftersom allt avelsarbete förutsätter kontinuitet och därför skall ses som en helhet och inte uppdelat i de olika kortsiktiga finansieringsformerna som av olika skäl långt ifrån alltid varit synkroniserade med själva avelsarbetet.

Varför odlar vi fisk, och varför avlar vi dom?

Fiskodling som matproduktion har länge varit kontroversiell i Sverige men får alltmer acceptans eftersom det blir allt tydligare att behovet av fisk inte täcks upp genom att beskatta naturliga fiskpopulationer. Att avskjutningen av vilda djur inte täcker vår efterfrågan av kött är accepterat sedan länge och vi föder därför upp djur för köttproduktion. Lika naturligt måste vi se på odling av fisk för människoföda. Alternativet är att konsumtionen av fisk måste minska avsevärt. Den globala konsumtionen av fisk har ökat från 45 miljoner ton under 1973 till mer än 130 miljoner ton under 2000 och behovet förväntas öka kraftigt även framöver.



Figur 1. Produktionen av vattenbruksprodukter år 2000 inom EU (OBS ej Norge, där det producerades c:a 500.000 ton).

Samtidigt är 75 % av världens mest eftertraktade marina fiskpopulationer på gränsen till att vara utfiskade eller redan där. Vi vet ju alla vad som har hänt med torsken, både runt Sveriges hav och inte minst i Kanada där populationen har kraschat. För att säkra kontinuitet, kvaliteten i tillgången samt de naturliga beståndens fortlevnad är det därför nödvändigt att öka fiskodlingen. Fiskens höga kvalitéer som livsmedel förstärker också behovet. Nyttan med fettsyror som omega-3 som framförallt finns i fet fisk som laxfiskar har belysts i pressen under senare år. Vattenbruket har också ökat kraftigt och kunnat förse oss konsumenter med fisk, bland annat i Europa (Figur 1). För närvarande överstiger den globala produktionen av lax (*Salmo salar*) 1 miljon ton, och laxodling rankas som en av de viktigaste affärsverksamheterna i västvärlden med en omsättning på 3.4 billion USD (FAO, 2004).

Odlingen av andra arter än lax är på stark frammarsch både som slaktfärdig fisk för att direkt förse konsumenterna men också för utsättningar. Utsättningar av odlad fisk görs bland annat för att rehabilitera naturliga populationer som har minskat eller utplånats t.ex. genom överfiske. Put-and-take fiske av utplanterad fisk är en annan viktigt verksamhet som i huvudsak avser att rehabilitera människor genom ökade sportfiskemöjligheter.

De största invändningarna mot fiskodling har varit att utsläpp från odlingar belastar miljön och att fisk fiskas för att utfodra annan fisk i odling. Utvecklingen går dock framåt t.ex. när det gäller utfodringstekniken för att minska spillet, olika beräkningsmodeller för att minimera när盐tsbelastningen från fiskodling och vad olika vattenområden kan tåla i form av fiskodlingar. Det sker också ett riktat avelsarbete för att förbättra foderkonverteringen, dvs. hur mycket torrfoder som behövs för att producera ett kilo matfisk. Det sker ett stort utvecklingsarbete med att hitta för fisken och konsumenten hållbara ersättningsnivåer av andra proteinkällor än industrifisk i fiskfoder. Redan idag kan c:a 50% av proteinet i fiskfoder utgöras av vegetabiliska proteiner. Dessutom går utvecklingen mot att ersätta en del av fiskoljan i fodret med växtoljor, t.ex. soja och rapsolja. Utvecklingen följer här ett mönster, som är väl känt från t.ex. produktionen av kyckling och gris.

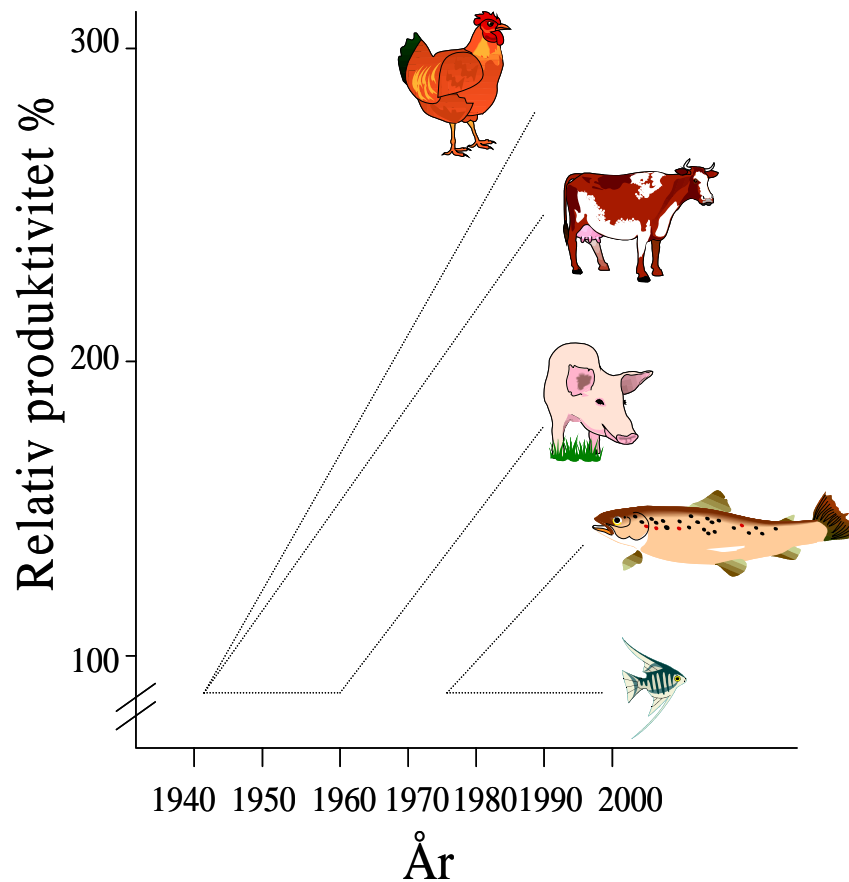
Motsvarande jämförelser mellan kött-och-fiskproduktion gäller även behovet av ett långsiktigt avelsarbete (Figur 2). Tamgrisen, värphönan, mjölkkon etc. är resultat av ett målinriktat avelsarbete. Dessa djur har avlats fram för att göra produktionen lönsammare och är anpassade till konsumenternas efterfrågan. Lika irrationellt som det vore för en kött- eller äggproducent att föda upp de vilda stamfäderna till djuren är det för en fiskodlare att odla fisk med enbart "vilda" egenskaper. Fiskaveln syftar därför till att förbättra de egenskaper hos fisken som är viktiga för en ekonomisk och etiskt sund fiskodling.

Ett målmedvetet avelsarbete är mycket lönsamt! Enligt norska erfarenheter motsvarar vinsten av ett långsiktigt avelsarbete 1 kr per kilo producerad fisk för varje generation i avel. För tusen ton odlad fisk betyder det alltså en vinstökning på 1 miljon kronor, som naturligtvis även kan avspeglar sig i ett lägre pris för oss konsumenter.

Vad är avel?

Det finns flera definitioner på avel, beroende på ändamålet; enbart förökning, förökning inriktad på att bevara naturliga egenskaper och förökning som avser att förbättra vissa egenskaper som tillväxt. I vårt fall är avsikten med avel att förbättra rödingens egenskaper för matfiskodling. Fisk har en stor fördel vid avelsarbete jämfört med t.ex. kor när det gäller avel som avser att förbättra egenskaper. Detta beror på att det antal avkommor, som man kan göra urval från är så många fler hos fiskar jämfört med kor! Att kunna välja bland 5000 individer i stället för 1-2 snabbar upp processen. Med många avkommor och yttre befruktning går det att testa ärvbarheten på viktiga egenskaper hos både på hel- och halvsyskon inom samma generation. Den Norska genetikern Trygve Gjerdem beskriver att de flesta undersökta egenskaper, som är viktiga för odling har en stor variation hos fisk och är ärvbara. Även egenskaper med låg ärvbarhet kan selekteras genom att man kan mäta egenskaper från både hel- och halvsyskon, vilket stärker urvalsmöjligheterna. Detta tack vare de många avkommorna från varje hona.

Ett standardiserat avelsprogram utgör stegvis process med specifika mål (Gjedrem 1995; Refstie 1990).



Figur 2. Produktionsutvecklingen av våra vanligaste husdjur, inklusive lax som en effekt av aveln. Motsvarande utveckling av en akvariefisk finns med som jämförelse. (Modifierad efter Gjedrem 1995)

Avelsmål

Det första steget är att fastställa, vilka som är de viktigaste egenskaper hos fisken som både odlare och konsumenter vill ha. Dessa egenskaper måste vara av både kvalitativ och ekonomisk betydelse och måste ha en fenotypisk (mätbar) så väl som genetisk (ärfdig) variation i populationen.

För laxfiskar har följande egenskaper bedömts vara viktigast:

- Tillväxthastighet – hur snabbt kan en fisk av marknadsstorlek produceras under givna betingelser?
- Foderkonvertering – hur effektivt omvandlas fodrets innehåll till fiskkött?
- Överlevnad- hur stor andel av en starbesättning överlever normalt fram till slakt?

- Ålder och storlek för könsmognad- tidig könsmognad innebär tillväxtförlust, stress, risk för skador och sjukdomar
- Köttkvalitet- hur matchar fiskköttets struktur och smak konsumentens preferenser?

Val av stam

Laxfiskar, inklusive vår röding (*Salvelinus alpinus*) består av geografiskt och ekologiskt skilda populationer med egenskaper som är utmejslade av sin speciella miljö, men som kan vara mer eller mindre lämpliga i odlingsmiljö. Det finns flera exempel på olikheter i tillväxt och könsmognad mellan stammar (sammanfattning av Kinghorn 1983). Vid starten av ett selektionsprogram är det därför också viktigt att jämföra hur dess olika stammar uppträder i odling, så att urvalet i aveln kan utgå från det lämpligaste materialet.

Beräkning av genetiska parametrar

Ett avelsprogram kräver egentligen bara att egenskapen uppvisar en genetisk variation som urvalet kan utgå från. Skillnader i tillväxt mm, som beror direkt av odlingsmiljön (fenotypisk variation) är inte intressanta. För att göra avelsarbetet mer effektivt måste dock effekten av selektionen kunna förutsägas genom pålitliga fenotypiska såväl som genotypiska egenskaper eller parametrar. Data måste därför samlas in från den selekterade individen, dess syskon, halvsyskon samt föräldrar. De viktigaste fenotypiska parametrarna som då samlas in är; medelvärden av det insamlade datat, standardavvikelsen och fenotypiska korrelationer mellan "släktingarna" samt det relativa ekonomiska värdet av varje egenskap. Genetisk korrelation och ärvbarhet kan sedan räknas ut som de viktigaste genetiska parametrarna för varje egenskap som testats. Den genetiska korrelationen avgör hur effektivt ett avelsprogram kan bli.

Det är vanligt att flera ekonomiskt viktiga egenskaper ingår samtidigt i ett avelsprogram, eftersom beräkningar visar att den största avelseffekten uppnås genom att selektera för flera egenskaper samtidigt. Detta förutsätter dock att sambandet mellan samverkande och icke samverkande ärvbarhet av olika egenskaper undersöks. Om egenskapernas ärvbarhet är samverkande kan selektionsarbetet startas men om ärvbarheten inte är samverkande så måste avelsarbetet ske genom en kombination av selektion och korsbefruktnings för att säkerställa att de önskade egenskaperna "hänger med" i nedärvningen.

Dessutom är det viktigt att undersöka sambandet mellan miljö och genotyp. Om miljön påverkar en viss egenskap, t.ex. att vissa familjegrupper växer dåligt vid låg (eller hög) temperatur medan andra grupper växer mycket bra vid samma temperatur bör man ta ställning till om man bör driva två eller fler avelslinjer.

Beräkningarna av genetiska parametrar ger upphov till ett ärvbarhetsvärde mellan 0-1 för varje utvald egenskap där 0 är en egenskap som saknar ärvbarhet och 1 är en egenskap där 100% av den uppmätta variationen kan förklaras av ärvbara (genetiska) faktorer. Avelsvärdet hos varje djur kan beräknas om individens prestanda kombineras med syskonens, halvsyskonens och föräldrarnas prestanda i ett s.k. BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) index. Hur beräkningarna av ärvbarhet och BLUP-index finns beskrivna i fackböcker om avelsarbete. Det finns även

program tillgängliga gratis på nätet (t.ex. <http://www-personal.une.edu.au/~bkinghor/pedigree.htm>).

Urvalsmetoder

Individbaserad avel och *familjebaserad* avel är de två viktigaste urvalsmetoder hos fisk.

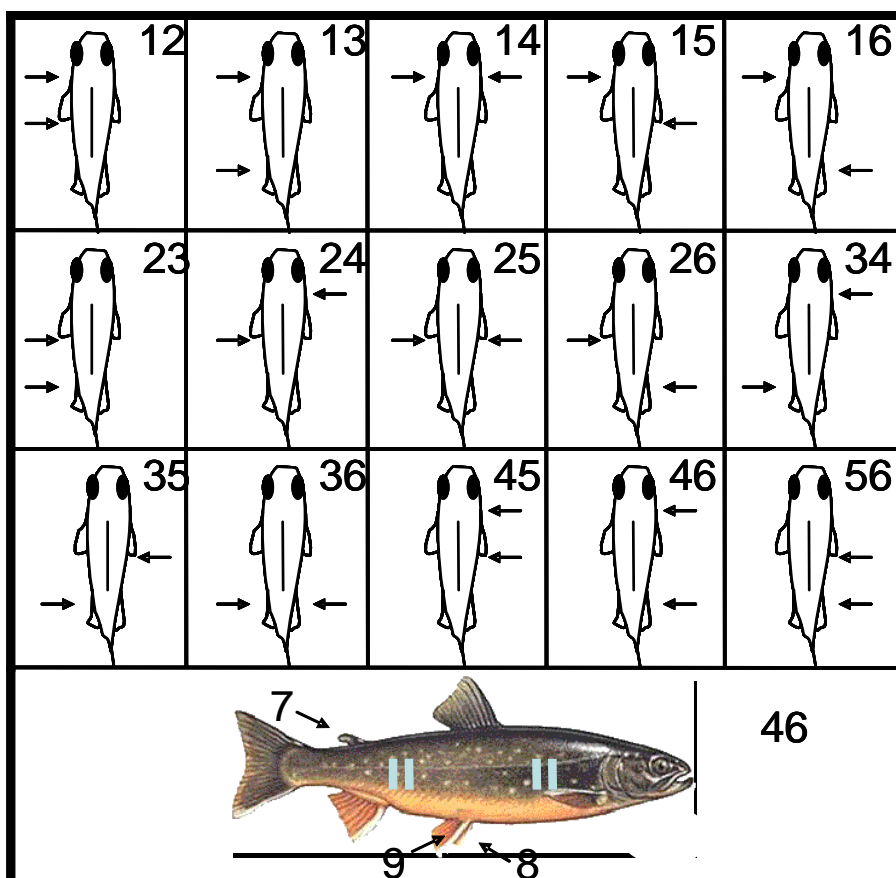
Individbaserad avel eller masselektion baseras på att enskilda fiskar väljs ut utifrån dess önskade egenskaper och prestanda. Detta var den vanligaste metoden för avelsarbete innan det nationella avelsprogrammet på lax startade i Norge på 60-talet. Individbaserad selektion kräver att ärvbarheten för de egenskaper man vill selektera för är hög och att egenskaperna är mätbara på det levande djuret. Fördelarna med en individbaserad selektion är den jämförelsevis låga kostnaden. Tillväxt är en egenskap som lämpar sig väl för individbaserad selektion eftersom ärvbarhetsfaktorn är hög (0.20-0.30) och lätt kan mätas på levande fisk.

Egenskaper som sjukdomsresistens, ålder och storlek för könsmognad eller köttkvalitet är inte lika lätta att mäta på levande fisk. De är därför inte lämpliga urvalskriterier i ett individbaserat avelsarbete men utgör ändå lika ekonomiskt viktiga egenskaper som tillväxt för ett avelsprogram.

Ett effektivt individbaserat avelsprogram är också beroende av standardiserade odlingsbetingelser som ljus, temperatur, täthet, utfodringsrutiner, o.s.v. Om en avelsbesättning kommer från flera odlingar eller om sättfisk säljs från sättfiskodling till matfiskodling kan skillnader i odlingsbetingelser minska effekten av avelsarbetet. Detta beror på att individer i sådana fall kan reagera olika på olika betingelser som t.ex. temperatur. En väsentlig ytterligare risk med individbaserad avel är risken för inavel eftersom man inte vet det inbördes släktskapet i en stor grupp fiskar.

Det kan finnas familjer vars individer växer speciellt bra och därför blir överrepresenterade när föräldrafiskarna ska väljas ut. Inavel leder till minskad tillväxt och överlevnad, s.k. inavelsdepression (Gjerdrem *et al.* 1983).

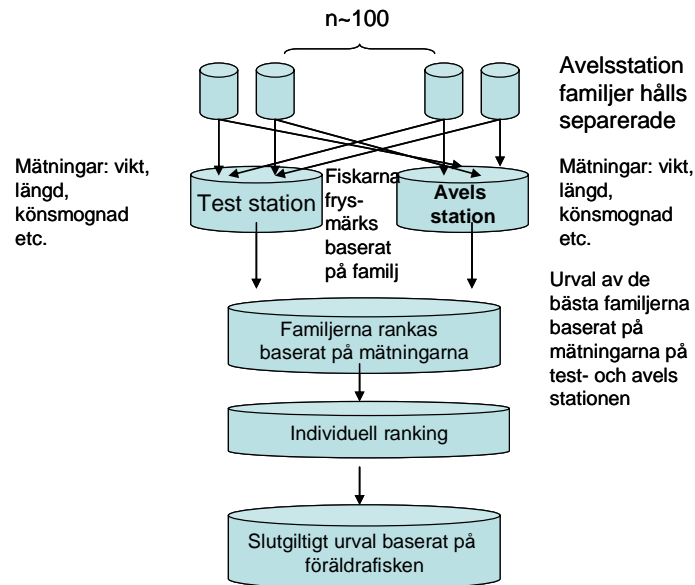
Familjebaserad avel baseras på att mäta kriterier och prestanda hos halvsyskon och syskon för att styrka beräkningarna av den genetiska ärvbarheten hos olika egenskaper. Fisk har stora "familjer", en laxhona kan t.ex. ge upphov till 10.000 ägg som kan delas upp i delar och befruktas med olika hanar som då ger upphov till halvsyskongrupper.



Figur 3. En kombination av frysmärkning och fenklippning kan användas för att märka fisk i familjegrupper. Genom att frysmärka varje fisk på två ställen på varje sida av kroppen kan 15 grupper skapas. Genom att dessutom fenklippa fettfenan eller antingen höger eller vänster bukfena ökas de möjliga kombinationerna till 120. Om fettfenan klipps på fisken i figuren tillhör den familj nr 746. Om vänster bukfena klipps tillhör den familjen nr 846 och 946 om höger bukfena klipps i stället (modifierad efter Gjedrem 1995).

Effekten av släktskap på en egenskap är i medeltal 50 % lika hos helsyskon och 25 % hos halvsyskon. Förekomsten av en viss egenskap kan då mätas i olika andelar beroende på om det är syskon eller halvsyskon. Familjebaserad avel är speciellt effektivt för egenskaper som sjukdomsresistens och ålder för könsmognad. Ingen av dessa egenskaper lämpar sig för individbaserad selektion eftersom de antingen har en ganska låg ärvbarhet eller är svåra att mäta då odlingsbetingelserna har en stor betydelse. Könsmognad påverkas t.ex. av utfodringsmönstret, samt både

temperatur och ljus. Nackdelen med ett familjebaserat avelsprogram är att det är mycket dyrare än ett individbaserat eftersom familjerna måste hållas åtskilda fram tills dess att fiskarna är tillräckligt stora för att märkas. Den metod som oftast används för att kunna separera fiskarna utifrån familj är frysmärkning och fiskarna kan därefter släppas ihop i stora grupper (Figur 3).



Figur 4. En summering av en generations avelsprogram där både familjebaserad och individbaserad avel har använts. Mätningar av viktiga egenskaper bör ske åtminstone i på en testodling förutom på avelsstationen.

Den effektivaste avelsmetoden är en kombination av ett individ- och familjebaserat avelsprogram (Figur 4) eftersom urvalet av individer **efter** familjeurvalet gör att beräkningarna av ärvbarheten blir säkrare. Familjeurvalet minskar också effektivt risken för inavel.

Ny teknik i avelsarbetet

För närvarande sker det mesta av avelsarbetet på traditionell väg, vilken beskrivits ovan. Utvecklingen av DNA-tekniker kan i framtiden förenkla och förbättra avelsarbetet och är på stark frammarsch. Målet är att lokalisera en grupp gener som medverkar i att styra utvecklingen av en viss egenskap och som därför kan användas som genetiska "markörer".

Målsättningen för vårt och andras arbete har i första hand varit att lokalisera DNA markörer för "traditionella" egenskaper som tillväxt och könsmognad. När detta är gjort skulle föräldrafiskar med bra tillväxt kunna väljas ut genom ett genprov från en liten del kroppsvävnad t.ex. fettfenan i stället för att vägas vid ett flertal tillfällen. Urvalet skulle också ske snabbare vilket minskar behovet av antalet potentiella föräldrafiskar som måste hållas i odling fram till könsmognad. Markörer för tillväxt och konditionsfaktor har nu identifierats hos lax, regnbåge och röding (Reid *et al.* 2004; Tao & Boulding 2003).

Identifieringen av andra viktiga egenskaper hos röding och regnbåge pågår, ett exempel är genetiska markörer för temperaturlönsans (Ildiko *et al.* 2003). Ökad temperaturlönsans kan bli en allt viktigare egenskap med tanke på den globala uppvärmningen, eftersom längre perioder med högre temperaturer än c:a 15 °C leder till ökad dödlighet hos främst röding. Hela rödingens genom håller för närvarande att kartläggas av Kanadensiska forskare (www.genomebc.ca).

AVELSPROGRAMMET PÅ RÖDING

Från Hornavanröding till Arctic superior - en sammanfattning

Avelsarbetet på röding är ett bra exempel på effekter som är möjliga att uppnå genom ett målmedvetet selektionsarbete på en ny art i vattenbruket. Sex generationers avelsarbete på röding har gett mycket goda resultat. Planer att använda röding för odling av konsumtionsfisk i Sverige väcktes i början av -80 talet. Det odlingsmaterial som då fanns var av direkt vilt ursprung och fiskarna var inte på något sätt anpassat till odling. Vårt avelsprogram på röding strukturerades därför enligt den modell som utvecklats för lax i Norge.

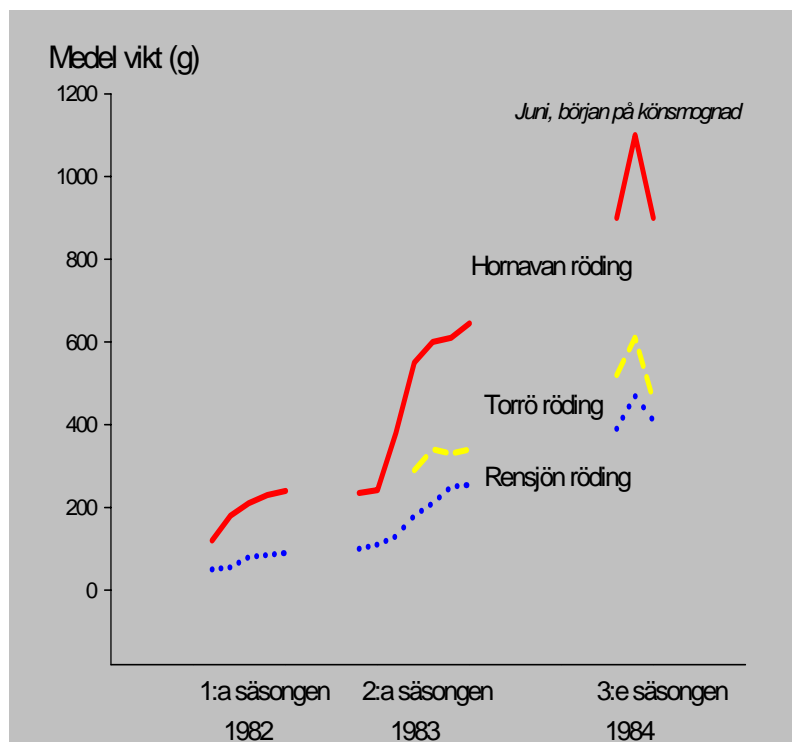
1. Viktiga egenskaper för avelsarbetet

Följande egenskaper bedömdes vara viktigast:

- Storlek
- Könsmognad
- Sjukdomsresistens
- Köttfärg
- Fetthalt i filén

2. Urval av stam

Under 1982-1985 genomfördes jämförande försök med ett antal stammar i kassodling för att testa vilket stammaterial som var lämpligast för avel med avseende på tillväxt (hög) och tidig könsmognad (låg). Hornavanröding, Rensjöröding och Torröröding odlades i kassar i Storumanmagasinet i Umeälven under 3 säsonger. Resultatet av detta försök var att Hornavanröding hade den klart högsta tillväxten och lägre andel könsmogna vid samma ålder. Hornavanrödingen valdes därför som utgångsmaterial för det fortsatta avelsarbetet (se figur 5).



Figur 5. En jämförelse av tillväxten av 3 rödingstammar odlade i kassar under 3 säsonger i Storumanmagasinet 1982-1985.

2. Beräkningar av genetiska parametrar

Under perioden 1985-92 genomfördes en rad skattningar av genetiska parametrar som var nödvändiga för att ge avelsprogrammet en lämplig utformning. Ärvbarhetsskattningar har gjorts av de egenskaper som är intressanta att förändra genom urval:

- tillväxt längd
- tillväxt vikt konditionsfaktor
- könsmognad vid åldern 2+ år
- resistens mot svampinfektion
- fetthalt i filé
- köttfärg
- könsmognad vid åldern 1 +år

Tillväxt: för denna egenskap har en ärvbarhet i intervallet 0.27-0.55 skattats vilket visar på en relativt stor betydelse av den genetiska sammansättningen för tillväxt. Möjligheterna att förbättra tillväxten genom urval är därför mycket goda.

Konditionsfaktor: Denna egenskap är ett möjligt mått på kroppsform hos fisken. Skattningar av ärvbarheter har dock gett mycket varierande resultat. Egenskapen används för att hålla en viss kontroll av kroppsform så att inte oönskade bieffekter av urval på tillväxt förekommer, till exempel alltför hög rygg ("dasslocksmodellen")

Könsmognad vid 2+: skattningar av ärvbarheten ger att även denna egenskap till mycket stor del (0.9) påverkas genetiskt. Att förändra könsmognads-ålder genom urval är därför genomförbart.

Resistens mot svampinfektion: dödlighet till följd av svampangrepp har varit ett problem i vissa odlingar. Ärvbarheten för resistens skattades till vilket tyder på att möjligheten finns att förbättra motståndskraften. Av framförallt kostnadsskäl är ett urval för detta dock inte genomförbart i likhet med resistens mot andra sjukdomar. Det finns även indikationer på att angreppen är kopplade till frekvensen könsmognad, varför angreppen har minskat under åren.

Fetthalt i file': i motsats till övriga egenskaper har inte några genetiska effekter av betydelse kunnat påvisas för fetthalt. För att förändra denna egenskap bör därför med fördel odlingstekniska åtgärder (ändrad fodersammansättning, mängd osv.) vidtas.

Köttfärg: Ärvbarheten för köttfärg (vid två års ålder) är relativt hög. Detta medför att egenskapen bör kunna förbättras genom avel.

Könsmognad vid 1 +. Tidig könsmognad förekommer i det närmaste enbart hos hannar. Tidig könsmognad hos fisk i avelsbesättningen förekom inte förrän hos årsklass 1991 då den uppträdde i 10% av fisken. Ärvbarhetsskattning visade på en mycket hög grad av genetisk påverkan. Det kan uteslutas att tidigare urvalsarbete har orsakat förekomst av tidig könsmognad då en kontrollgrupp bestående av oselekerat material uppvisade en något högre frekvens tidigt könsmogna hannar (12%). Sannolikt orsakas tidig könsmognad delvis av goda tillväxtbetingelser under det första levnadsåret. Som framgår av tabell 1 drabbades årsklass 1991 av tidig könsmognad samtidigt som den hade den dittills snabbaste tillväxten fram till 1 års ålder. Årsklass 1988 växte mycket bra mellan 1 och 1,5 års ålder och nådde en vikt vid 1,5 år som var högre än för årsklass 1991. Trots detta fanns inga tidigt könsmogna i denna årsklass.

Detta tyder på att könsmognads- frekvensen avgörs av tillväxten under det första året. De senaste generationerna av Arctic superior i Kälarne har 2 % könsmogna vid 500alls fram till slaktvikten på cirka 800 g förutsatt att de då är 1+.

Tabell 1. Andel köns mogna rödingar från avelsbesättningar i Kälarne fram till och med 1993.

Årsklass	köns mogna 1,5 år %	Vikt 1 år (g)	Vikt 1.5 år (g)
1986	0.0	29.1	165.7
1988	0.0	22.8	393.1
1989	0.0	38.6	143.6
1991	9.6	65.6	361.4

Korsningar av Hornavanrödingen med andra stammaterial har gjorts för att testa om det kan ge positiva effekter av att skapa stamhybrider. Resultaten visade dock entydigt att ingen korsning visade bättre, eller ens lika bra tillväxt som den rena Hornavanstammen.

Genetiska korrelationer

Gener påverkar ofta mer än en egenskap. Detta medför att urval för en egenskap indirekt kan påverka andra egenskaper i positiv eller negativ riktning. De beräkningar som gjorts för rödingen i avelsprogrammet har inte påvisat några negativa samband. Tvärtom finns det ett positivt genetiskt samband mellan ökad tillväxt och högre halt av astaxanthin i köttet och mellan ökad tillväxt och resistens mot svampinfektioner. Något påvisbart genetiskt samband mellan ålder för köns mognad och tillväxt har inte kunnat bevisas.

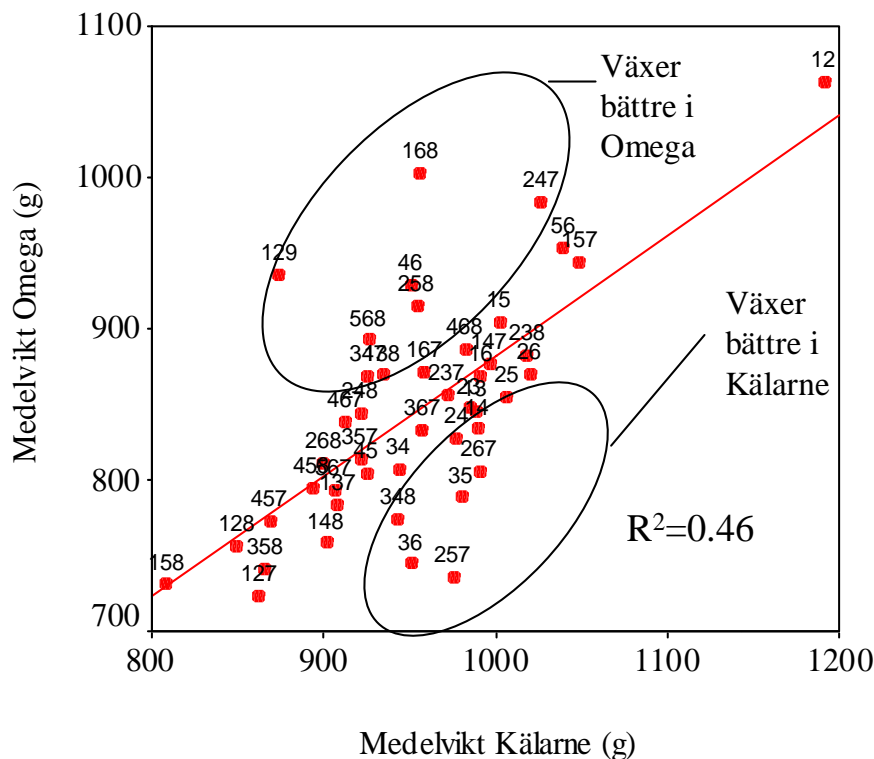
Sjukdomsresistensen är en annan viktig egenskap för avelsarbete, liksom att fisken inte blir köns mogen för tidig. Köns mognad innebär att fiskfodret omvandlas till rom eller mjölke istället för tillväxt. Köttfärgen hos laxfiskar är en annan, för konsumenten, viktig egenskap.

Laxfiskar anrikas karotenoider i muskulaturen vilket ger en för laxfiskar karakteristiskt röd färg. Variationen i köttfärgen beror av två faktorer, tillskott av färgämnet/ vitaminer i födan och en ärvbar förmåga att ta upp ämnet.

Jämförelse mellan tillväxt på avels-och testanläggning

Varje generations utvalda föräldrafiskar bör baseras på mätningar på minst 2 stationer, avelsstationen och en odling i en annan miljö, helst en kassodling för att jämföra tillväxt under olika betingelser. När det gäller avelsprogrammet på röding har detta inte alltid varit möjligt beroende på en rad omständigheter (se Figur 6). Det har däremot alltid varit möjligt att hålla en reservbesättning, vilket även har bidragit till att rädda avelsprogrammets existens vid flera tillfällen under årens lopp. Vid två tillfällen (årsklass 1996 och 2000) har dessutom parallella mätningar av familjer

kunnat utföras, båda gångerna på avelsstationen i Kälarne och teststationen (reservgruppen) i Omega, norr om Sundsvall. Båda odlingarna är landbaserade men har drastiskt olika temperaturförhållanden. Omega försörjs med grundvatten som håller en temperatur mellan 5-8 °C året runt och Kälarne med sjövattnen som varierar mellan nära 0 °C under vintern och ca 20 °C under sommaren. Sambandet (korrelationen) mellan familjernas tillväxt i Kälarne och reservbesättningarna blev nästan exakt lika vid båda tillfällena; $R=0.62$ respektive $R=0.68$. Några familjer faller utanför linjen och växer bättre eller sämre i Kälarne eller i reservbesättningen i Omega (Figur 6). Om det finns ekonomiska möjligheter och odlingar med mycket skilda odlingsbetingelser borde man ha flera avelslinjer där selektionen baseras på att vissa egenskaper gör sig bättre i olika odlingsmiljöer. Det är troligt att de olika temperaturbetingelserna missgynnar/gynnar egenskaper hos vissa av familjerna i exemplet ovan. Tyvärr har det inte varit möjligt att genomföra en motsvarande jämförelse av familjer under kassodlingsbetingelser. Det skulle vara mycket värdefullt för att göra ett urval av de optimala familjerna för kassodling respektive trågodling och dessutom avelslinjer med olika temperaturtolerans. I avsaknad av möjligheter att hålla flera avelslinjer har vi valt ut familjer som växer lika bra på båda ställena, en allroundröding!



Figur 6. Medelvikten av familjerna i den 4:e generationens Arctic superior som vuxit upp i avelsstationen i Kälarne och reservbesättningen i Omega. Fiskarna vägdes våren 2003. De inringade familjerna har inte valts ut för fortsatt avel.

Individ- och Familjeurval

Selektionsarbetet har skett under varje period som en ny generation bildats (3-4 år). Förutom valet av ursprungsföräldrarna till Arctic superior har nya selekterade familjer skapats vid fem tillfällen; år 1985-86, 1991, 1996, 2000, 2004. Mätningarna av egenskaperna har skett kontinuerligt.

År 1985-86, 1991, 1996 skedde ett negativt urval mot tidig könsmognad. Resultat: Minskning av andelen *tidigt könsmogna* från i genomsnitt 40% (1985) till 0-10% (1996).

År 1985-86, 1991, 1996, 2000, 2004 skedde en selektion för *ökad tillväxt*. Resultat: Ökad tillväxthastighet med ca 50-75 % tom 600-800g (10-15% per generation)

År 1991 skedde ett negativt urval mot *sjukdomskänslighet* (familjeurval, svampinfektion.). Resultat: Ökad sjukdomsresistens

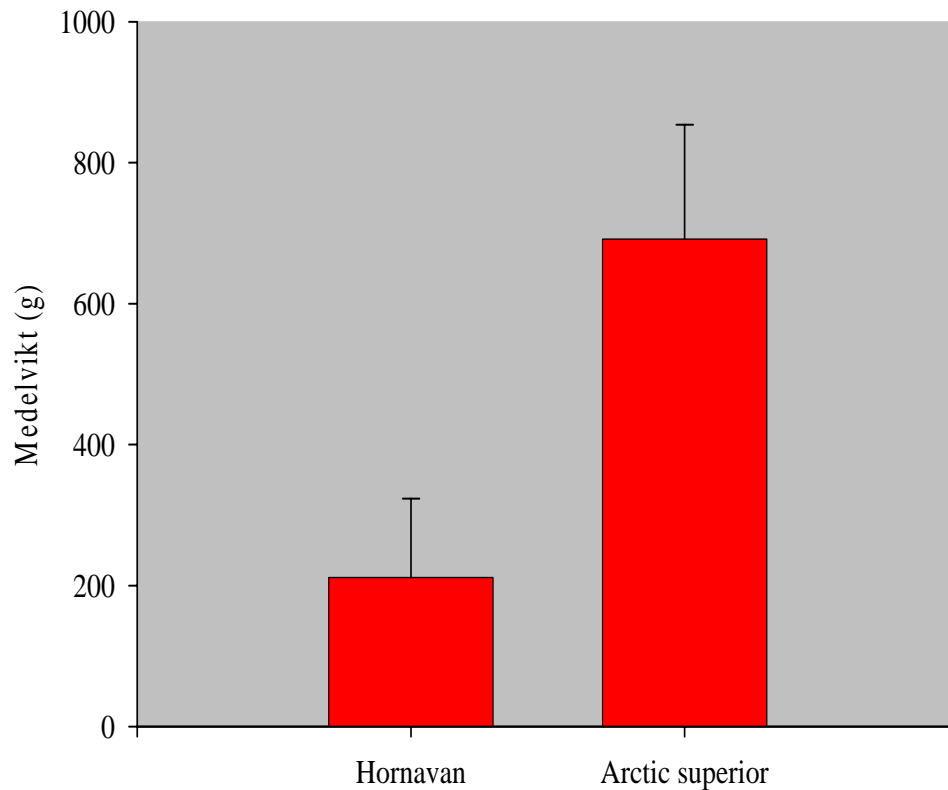
År 1989 och 1996 skedde urval för bättre och tidigare infärgning. Resultat: Infärgningskoefficienten förbättras med ca 5% (per selektionsomgång?). Dessutom finns en genetisk samvariation mellan ökad tillväxt och bättre infärgning. Tillfredställande infärgning beräknas därför idag uppnås vid 350-450 g storlek jämfört med hittillsvarande 400-500g, vid i övrigt jämförbara betingelser. Större fisk blir rödare i köttet än hittills.

Summering av uppnådda förbättringar genom aveln

Tillväxten är den egenskap som har varit prioriterat vid varje urval av nya föräldrar, speciellt under de tre senaste generationerna då andra egenskaper inte selekterats för. Tidig könsmognad (innan 2 års ålder, eller innan fisken väger ett kilo) är en egenskap som i princip är bortselektad. Infärgningen som tidigare varit ett problem har också förbättrats avsevärt. En praktisk utvärdering av avelsarbetets effekt på infärgningen av muskulaturen kunde inte utvärderas då försöksfiskarna dog. Avelsarbetets faktiska resultat på tillväxten är inte så enkelt att mäta som det verkar. Att jämföra tillväxten av Hornavanröding år 1986 med tillväxten på Arctic superior år 2006 är missvisande då både foderkvaliteter och odlingsteknik har förändrats.

En exakt jämförelse skulle kräva att en parallell besättning av Hornavanröding hållits under identiska betingelser under samma tidsperiod som avelsprogrammet (t.ex.1985-2004) men utan målmedveten selektion. Alternativt att samma grundmaterial togs in till odling och föds upp på exakt samma sätt under en tillväxtperiod. Detta skulle kräva en mycket större budget och hade knappast varit möjligt med tanke på de problem med katastrofdödligheter och användandet av reservbesättningar som präglade avelsprogrammets första generationer. I stället har vi jämfört storleken av Hornavanröding och Arctic superior hos besättningar av samma åldersklass som varit storlekssorterade och odlats i bassänger i samma tråghall.

Denna jämförelse gjordes 2005 och är inte exakt enligt de argument som redovisats ovan men tillräckligt tydliga för att visa att prognosen med att ett riktat avelsarbete ger en minst 10 % -ig tillväxtökning per generation. Arctic superior var som 1+ dubbelt så stor som den oselektade Hornavanrödingen efter 5 generationer, dvs. 100 % tillväxtökning (Figur 7).



Figur 7. Medelvikten av 1+ Hornavan-röding och den avlade Arctic superior. Båda besättningarna var osorterade och hade odlats under identiska betingelser i Kälarne.

Den praktiska betydelsen för odlarna är betydande och kan sammanfattas så här:

Rödingodlingen 1985

- Odlingscykel på 3-4 år (2-årig sättfisk, 50 g)
- Långsam tillväxt, dåligt foderutnyttjande
- Tidig könsmodnad (40-100 % innan 500 g)
- Ojämn kvalitet
- Teoretisk produktionskostnad 40-60 kr / kg

Rödingodling 2006

- Odlingscykel 2-3 år
- Snabb tillväxt, utvecklad utfodringsteknik, bra foderutnyttjande
- Låg frekvens av tidigt köns mogna (0- 10 % innan 500 g)
- Teoretisk produktionskostnad 25-35 kr / kg

Övriga mätningar:

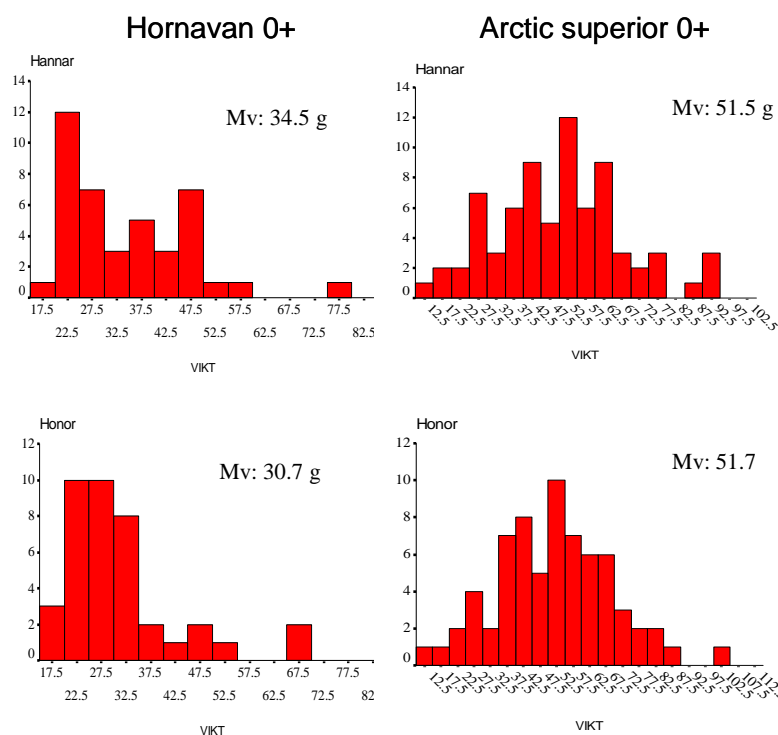
Avelsmaterialets bakgrund/ Stamtavla

Avelsmaterialet härstammar från avelsfisk som fångades i Hornavan, BD, 1979. En uppskattning av antalet honor respektive hanar som användes som föräldrar från detta fiske för att bilda denna avelsbesättning har gjorts av Ring & Hanell (1991). De beräknar att den effektiva populations- storleken för denna generation uppgick till 10-12 individer. Detta kan verka som ett lågt antal men förlusten av genetisk variation under denna generation uppgick inte till mer än c.a 5 procent. Från avkomman av årsklass -80 togs till avelsprogrammet 65 honor och 65 hanar fördelade på två årsklasser (-85 respektive -86). Från dessa bildades årsklassen 1991 med 50 honor och 20 hanar. Till årsklass 1991 infogades även ett mindre antal avkommor från ett senare fiske i Hornavan. Från årsklass -91 bildades årsklass -96 från 50 honor och 20 hanar. Antalet föräldrar till årsklasserna -91 och -96 är lägre än önskvärt beroende på att för årsklass -91 måste reservmaterial som fanns i en kassodling i sjön Rappen (Nb) utnyttjas då avelsfisken i Kälarne var sjukdomsdrabbad. För årsklass 1996 beror antalet på dåligt befruktningsresultat vid romtagningen hösten 1995. Detta problem har kvarstått under de två sista årsklasserna år 2000 och 2004 som bygger på 48 respektive 47 familjer. År 2004 fick dessutom familjerna förstärkas med 20 familjer från Omega lax där parallellbesättningen av årsklass 2000 odlats och selekteras på samma sätt. En summering av antalet honor och hanar finns i tabell 2.

Tabell 2. Antalet honor, hanar, respektive familjer som grundat generation 1-5 av Arctic superior.

Generation	År	Antal honor	Antal hanar	Familjer
1	85/86	65	65	65
2	1991	50	20	50
3	1996	50	20	50
4	2000	43	25	43
5	2004	47	25	47

I avelsprogrammet för röding tar vi alltså hänsyn till släktskap vid urval för att hålla nere inavelsnivån. En viss grad av inavel är dock ofrånkomlig vid urval för avel. Inavelsökningen från avelsprogrammets start t.o.m. årsklass 2005 är beräknad till 0.048 %, vilket är mycket litet.

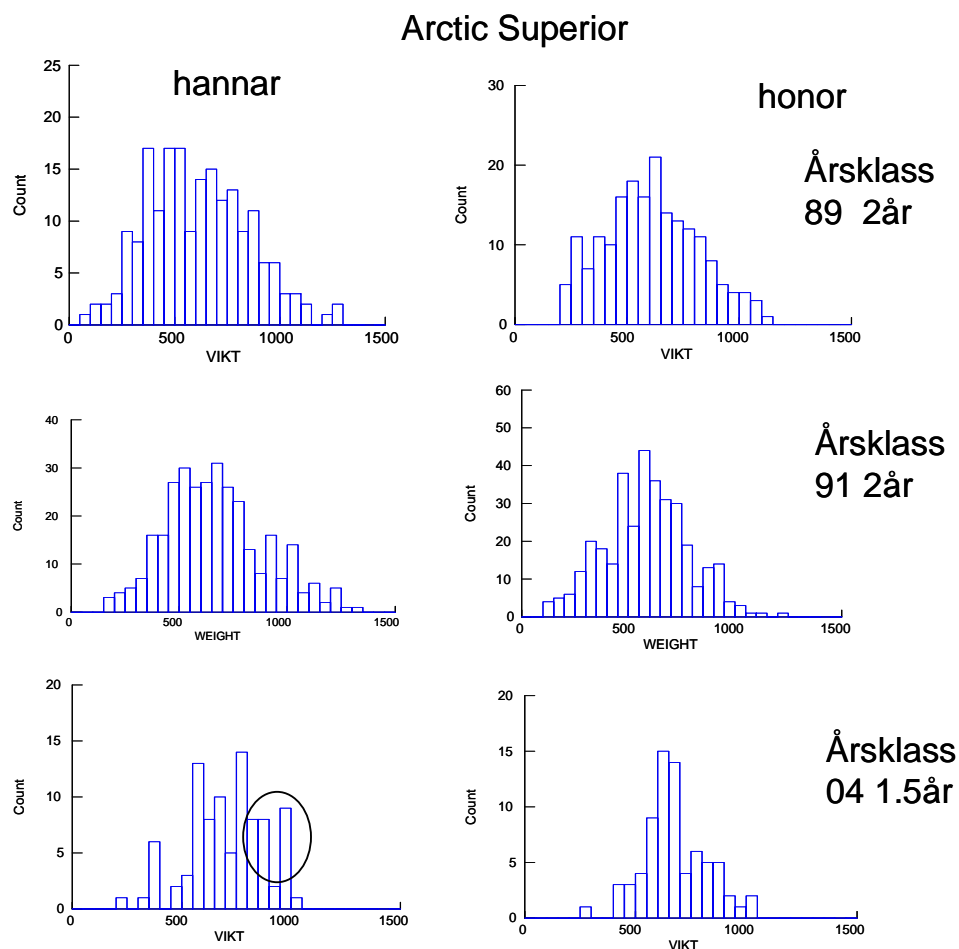


Figur 9. Histogram över viktfordelningen av oselektad Hornavanröding och Arctic superior av årsklass 2003

Tillväxten av honor respektive hanar av Arctic superior och hos oselektad Hornavanröding.

Vid de tidiga urvalsprocesserna då avsikten är att reducera antalet fiskar (se Figur 8) har de minsta individerna regelmässigt gallrats bort. Eftersom honor och hanar ursprungligen växte lika bra, honor t.o.m. något bättre, skulle en sådan utgallring inte resultera i en senare skev könskvot. De senare föräldragenerationernas besättningar har dock präglats av en större andel hanar. Eftersom honor och framför allt honor som ger dugliga ägg är detta en begränsande faktor både för avelsprogrammet och för de odlare som vill producera rom. Vikt och längd samt kön mättes därför på två åldersklasser av Arctic superior och oselektad Hornavanröding (0+ och 1+) som vuxit upp under likartade förhållanden.

Avsikten var att utreda om selektionsarbetet resulterat i en snabbare tillväxt hos hanar. Om så är fallet kan inte de första utgallringarna i framtiden baseras på storlek utan måste ske slumpvis.



Figur 10. Histogram av viktfordelningen hos honor respektive hannar av Arctic superior från olika årsklasser. Ökningen av andelen stora hannar är markerad längst ner till vänster. Medelvikten Årsklass 04 var 705.2 (± 176.96) hos hannarna och 674.5 (± 142.9) hos honorna.

Storleksfördelningen av de båda rödingstammarna påvisade ingen skillnad mellan könen. Däremot var skillnaden mellan stammarna tydlig. Medelvikten var nästan dubbelt så hög för Arctic superior som för Hornavanrödingen. Dessutom var storleksfördelningen skev med en överrepresentation av små individer hos Hornavanrödingen. Det mönstret fanns också i den första generationen av Arctic superior (se Figur 10).

Storleksfördelningen av honor respektive hanar av Arctic superior har förskjutits från att vara lika de första generationerna till att förskjutas till större andel stora hanar än honor (Figur 10).

Tabell 2. Effekten av storleksurval vid första vägningen av ihopslagna familjegrupper på andelen honor och hannar. 1989 var den första generationens vägning och 2005 den senaste. Tre nivåer av urval finns exemplifierade år 2005.

Urval (Största %)	MV (Käl)	Hannar (%)	Honor (%)	Anm
10	600g	c.a 40	60	År 1989 (2år)
10	900g	71	29	År 2005 (1,5 år)
25	800g	65	35	D:o
50	700g	64	36	D:o

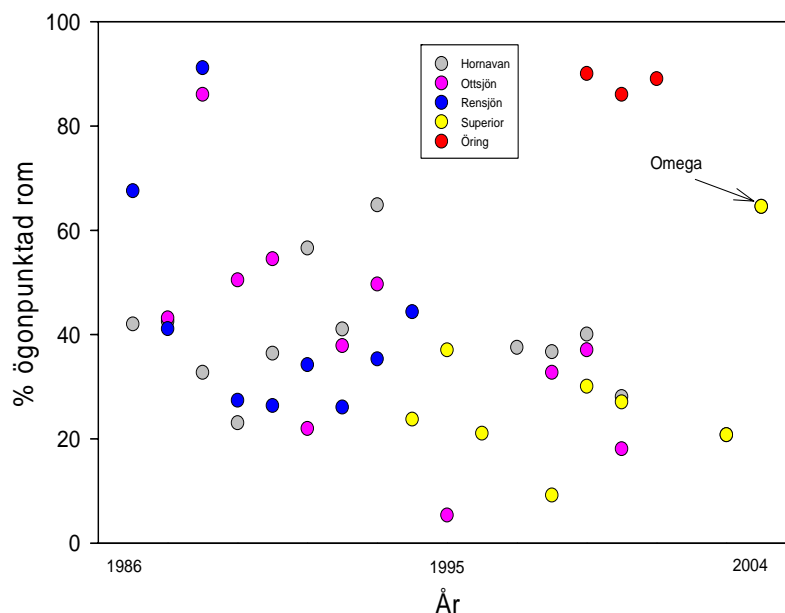
Vi har ingen förklaring till varför hanarna har blivit större än honorna. Det ställer dock till med problem vid urvalet. Ett visst storleksurval har skett tidigare när avelsbesättningarna har kullats ner, framför allt vid den första mätningen då familjerna har blandats ihop till större grupper efter frysmärkningen och vuxit under identiska förhållanden från första våren till hösten då fiskarna är 0+. Hanarnas ökade tillväxt verkar dock ske efter 0+ stadiet eftersom hanar och honor var lika stora då (se Figur 9) men effekten av storleksurval på en ökad andel hanar sker redan då. Storleks- urvalet i samband med avkullningar måste ske med försiktighet framledes eftersom man riskerar att få en alltför stor andel hannar. Det är ofta brist på honor och en hane används för att befrukta ägg från flera honor för att skapa halvsyskongrupper.

Därför måste alla åtgärder som riskerar att minska andelen honor minimeras. Urvalet måste istället baseras på faktisk tillväxt och familjeegenskaper. I tabell 2 nedan är effekten av storlekssortering vid avkullningar exemplifierade från 1:a avelsgenerationen till den senaste.

Specifika forskningsinsatser inom avelsprojektet

Problem med dålig och opredikterbar romkvaliten har utvecklats den mest begränsande faktorn för en kraftfull utveckling av volymerna av odlad röding.. En klart skriftligt dokumenterad definierad beskrivning av kramningsutfall av Arctic superior i Kälarne finns inte förrän 1994. Innan dess kramades avelsröding dels i Norrbyn i havet söder om Umeå dels i Kläppen vid Arjeplog. I Norrbyn som var starten på avelsprojektet var romkvaliteten mycket god, nästan 80 % överlevde till

kläckning. En sammanställning av andelen rödingägg, som överlevt till ögonpunktstadiet i



Figur 10. Statistik från Kälarnes kramningsresultat (% ögonpunktad rom) från 1986 till 2003. Tre olika populationer av röding finns representerade samt den avlade Arctic superior. Resultatet av kramningen av parallellbesättningen i Omegalax år 2003 finns markerad liksom % ögonpunktad öringrom i Kälarne 1999-2001.

Kälarne under åren 1986 -2006 från avelsfisk av Hornavanröding (ej avlad), Rensjöröding, Ottsjöröding samt Arctic superior Finns i Figur 8. Samtliga av dessa har hållits i odling under uppväxten fram till kramningen. Detta gäller rom som tillvaratagits och befruktats. Andelen kasserad rom finns ej med i statistiken, men kan vara betydande vissa år. En jämförelse med andelen ögonpunktade ägg under 3 år har inkluderats i figuren. En generell försämring av överlevnaden verkar ha skett av äggkvaliten av samtliga rödingstammar. Arctic superior har den lägsta överlevnaden.

Avelsfiskarna inom Arctic superior är dock minst ett år yngre vid kramningen än fiskarna i de andra stammarna, eftersom tillväxten har fördubblats. Det är ett välbekant fenomen bland fiskodlare, att yngre, framförallt honor, oftast har sämre kvalitet på sina könsprodukter.

Sammanställningen visar framförallt att bara mellan 20 % och 25 % av alla ägg som kramas lever fram till ögonpunktstadiet. Om romöverlevnaden vore lika hög som hos öring i odling (>90%) skulle dessutom antalet honor som resulterar i romproduktion öka. Avelstationerna skulle inte heller behöva hålla lika många avelsfiskar för en bestämd romproduktion vilket idag innebär en stor fördyring! Antalet kasserade rom från vissa honor har inte räknats in i denna sammanställning. Dessa uppskattas utgöra 10-30 % bland honorna i en avelsbesättning. I Omegalax,

som försörjs med grundvatten mellan 5-8 °C rapporteras en ungefär fördubblad överlevnad fram till ögonpunktstadiet. Det är en klar förbättring men fortfarande inte i närheten av den överlevnadsnivå som man har hos t.ex. öringrom.

Det finns många möjliga orsaker och spekulationer till varför just röding har en dålig romkvalitet. Analysen ger inget stöd för att dålig romkvalitet skulle vara en effekt av aveln, eftersom alla stammar som hålls i odlingen under hela livscykelns förefaller drabbas på samma sätt. Höga sommar- och hösttemperaturer är en trolig delförklaring eftersom överlevnaden är högre i Omegalax, som har tillgång till vatten av konstant låg temperatur jämfört med Kälarne, som inte har grundvatten och får klart riskabla temperaturer (upp mot 20 °C) för röding under sommaren.

Temperaturförhållandena kan dock inte utgöra den enda orsaken till problemen. Överlevnaden hos rödingrom fram till ögonpunktstadiet i Omegalax borde i så fall vara i nivå med den för öring i odling. De två arterna är båda salmonider, har ungefär lika stora ägg och är båda höstlekare. Kvaliteten på rödingromen kan uppenbarligen variera betydligt mellan honor och år även i odlingar som har ideala temperaturförhållanden, som i Omegalax. Liknande problem rapporteras även med odlad röding på Island, där man förvisso har bättre romöverlevnad än i de flesta odlingar i Sverige, men även har problem med oförklarliga variationer i överlevnaden.

Fodrets sammansättning, speciellt vad beträffar fettsyresammansättningen, har förts fram som en annan orsak till kvalitetsproblemen. En annan kvalitetsförsämrande orsak kan också vara att synkroniseringen av ägglossningen mellan honor ofta är dålig. Det är inte ovanligt att kramningsproceduren varar upp till en månad. Då måste honorna tas upp kontrolleras minst 2 ggr per vecka vilket kan försämra honans och rommens status. Det finns också risk att rommen blir övermogen och därmed dålig om inte honan kramas vid rätt tillfälle. Inte heller är rom som kramas från honor som infångats vilda alltid av bra kvalitet.

Orsakerna bakom den dåliga romkvaliteten som framgår ovan en komplex historia och är med stor sannolikhet resultatet av en kombination av flera faktorer. Det skulle krävas stora resurser och framför allt en stor tillgång på avelsfisk för att snabbt hitta orsakssammanhangen och skapa åtgärder som leder till en hög och förutsägbar romtillgång. Inom avelsprojektet har vi gjort en del preliminära försök på avelsfisk och rom som inriktats på följande frågeställningar: a) att testa om injektioner av "releasing hormones" på honor ger en mer synkroniserad ägglossning och bättre romkvalitet, b) att jämföra fettsyresammansättningen hos rom från vilda och odlade föräldrar genom insamlingar från en rad anläggningar c) att jämföra överlevnad och fettsyresammansättning hos ett antal familjer inom Arctic superior och d) att jämföra romkvalitet hos honor som utfodrats med ett specialtillverkat foder med hög andel arkidonsyra vilket bidrar till en förmodad "rätt", d.v.s. naturlig fettsyresammansättning.

c) och d) finansieras genom en tilläggsansökan från Mål 1, Södra Skogsregionen genom Fiskeriverket och pågår fram till 2007. Dessa studiers resultat redovisas först senare.

a) Test av "releasing hormones"

År 2000 injicerades 10 avelshonor med "releasing hormones" (dvs FSsH) för att kontrollera om a) synkroniseringen av ägglossningen ökar och b) om äggkvaliteten förbättras. Resultaten blev en ökad synkronisering (alla 10 honor kunde kramas inom

en vecka) men äggkvalitén förbättrades inte. Tyvärr hade vi inte tillgång till fler honor varför resultaten bara kan ses som preliminära. Avsaknaden av förbättrad äggkvalité gjorde dock att vi inte ansåg att denna metod skulle leda till någon avsevärd förbättring av äggkvalitén, men möjligtvis kan den förenkla kramningsarbetet.

b) Äggkvalitet

En av teorierna bakom den dålig äggkvalitet är kombinationen hög vattentemperatur och "fel = kortkjedjade" fettsyror. En testserie gjordes på fettsyrasammansättningen i odlade ägg från Omegalax och Kälarne samt ägg från vildkramade rödingar från Hornavan och Vättern. Resultaten är tydliga, ägg från odlade fiskar har betydligt lägre frekvens långa fettsyror än ägg från vildfisk. Eftersom långa fettsyror anses vara viktiga som antioxidanter kan fodrets innehåll och sammansättning av fettsyror ha betydelse för bl.a. tolerans mot höga vattentemperaturer (Tabell 3).

Specifikt är den största skillnaden i fettsyrasammansättning mellan de två ursprungen att andelen arakidonsyra är 15 gånger högre i ägg från vilda honor jämfört med odlade honor. Dessutom är det större skillnader i kvoten mellan långkedjade fleromättade fettsyror av n-3 och n-6 grupper än kvoten av n-3 och n-6 fleromättade fettsyror. Skillnaderna tyder på att förmågan att förlänga fettsyror och att skapa omättade fettsyror från mättade är låg hos just denna laxfiskart, vilket väntas försämra skyddet mot t.ex. fria radikaler. Detta kan betyda att fettsyrasammansättningen i foder och som en direkt följd i rommen från odlade honor kan leda till en sämre förmåga att tolerera höga temperaturer under romutvecklingen i honans äggstockar vilket i sin tur leder till låg äggkvalitet. En naturlig fortsättning av dessa resultat blir därför att testa ett avelsfoder med högre andel av arakidonsyra för att se om detta kan leda till en bättre fettsyrasammansättning i odlade ägg och därmed bättre överlevnad.



Tabell 3. Fettsyrasammansättning som % av totalt

Fettsyrasammansättning	Rom från vilda honor	Rom från odlade honor Kälarna	Rom från odlade honor Omegalax	Avelsfoder
14:0	2.6	1.2	1.4	7.5
16:0	20.8	18.0	17.2	17.8
18:0	8.1	6.4	3.4	3.1
18:1 n-9	9.9	11.3	9.2	9.9
18:1 n-7	7.4	4.6	3.8	2.6
18:2 n-6	1.6	1.4	2.1	4.5
18:3 n-3	0.9	0.3	0.3	1.2
20:1	2.0	6.6	6.6	5.6
20:4 n-6	8.0	1.3	1.7	0.5
20:5 n-3	9.6	7.2	8.1	10.4
22:5 n-3	3.5	2.1	1.8	1.1
22:6 n-3	19.1	31.4	35.2	11.3
AA/EPA	0.83	0.18	0.21	0.05
PUFA n-3	33.1	41.0	45.4	24.0
PUFA n-6	9.6	2.7	3.8	5.0
PUFAn-3/ PUFAn-6	3.45	15.2	11.9	4.8
LCPUFA n-3	32.2	15.2	11.9	22.8
LCPUFA n-6	8.0	1.3	1.7	0.5
LCPUFA n-3/ LCPUFA n-6	4.0	31.3	26.5	45.6

AA: arakidon syra, EPA: eicosapentaen syra, PUFA: fleromättade fettsyror, LCPUFA: lång kedjade fleromättade fettsyror.

Genetiska markörer i avelsarbete

a). Utvärdering av markörer

Sammanlagt har 38 markörer utvärderats med avsikt att finna markörer som är variabla hos Arctic superior. Två typer av markörer har använts: EST-mikrosatelliter, vilka är mikrosatelliter som är kopplade till aktiva gener (expressed sequences) samt vanliga mikrosatelliter. Endast ett fåtal markörer finns publicerade för europeisk röding och de flesta av dessa fungerar ej bra på svensk röding. För att få fram användbara markörer för Arctic superior har vi därför tvingats utvärdera markörer som tagits fram för lax och för Nordamerikansk röding.

I tabellen 4 nedan redovisas dessa markörer.

Av de testade markörerna befanns 18 (9 EST och 9 mikrosatelliter) vara användbara, dvs ge variation som är av god tolkbarhet, de är markerade med + i kolumnen för variation. För vissa av dessa är tillhörighet till kopplingsgrupp känd. De markörer som visade användbar variation har analyserats på ett större material. För att kontrollera att de är oberoende av varandra gjordes en analys av kopplingsojämvikt dvs av eventuella korrelationer mellan markörer. Resultaten visade att kopplingsojämvikter förekom systematiskt i alla parvisa kombinationer av IGF2, SSOsl32 och omy6DIAS. Anledningen till detta är att alla dessa tre markörer är könsbundna, dvs återfinns på den kopplingsgrupp som bär på den könsbestämmande genen. För de andra markörerna erhöles inga resultat som tyder på nära koppling.

Tabell 4. Markörer testade för variation hos Hornavan och Arctic superior.

Markör	typ	var	kopplingsgrupp
CAO47146	EST	+	?
CAO42613		+	?
CAO38592		-	?
CAO62844		-	?
CAO54565		+	?
CAO53480		+	?
CAO55301		+	?
CAO50376		-	?
MHC1		+	?
TAP2B		+	?
CAO57924		-	?
CAO63337		-	?
CAO62377		+	?
CAO54346		-	?
CB507783		-	?
CB515126		-	?
CB504868		+	?
CAO55301		-	?
CAO63337,		-	?
CAO53293		-	?
CAO54538		-	?
IGF2		+	4
OMY6DIAS	Mikrosatellit	+	4
SSOSL32		+	4
OMYFGT19TUF		-	27
BHMS130		-	28
BHMS211		+	20
BHMS356		+	15
BHMS373		-	23
BMHS330		-	8
OMYRGT30TUF		-	20
SSA77NUIG		-	1
BHMS331		-	40
OMY27DU		-	1 alt 21
OMY301		+	7
SSA85		+	13
Ssa408		+	?
STR60-1		+	12 alt 27
Str60-2		+	27 alt 12

Jämförelse mellan Arctic superior och Hornavan för att finna egenskapsrelaterade markörer:

För att finna markörer som är relaterade till egenskaper som selekteras för i avelsprogrammet har vi jämfört Arctic superior med en linje av Hornavanröding som ej varit föremål för riktad avel men som hållits i odling i flera generationer. Tanken bakom denna jämförelse är att de markörer som är kopplade till en egenskap som utsätts för selektion bör uppvisa större skillnad mellan de två stammarna än markörer som inte visar sådan koppling. Vi förväntar oss att de allra flesta markörer inte har någon egenskaps koppling och enstaka 'outliers' dvs markörer som påtagligt avviker genom att uppvisa markant större olikhet (högt Fst värde) betraktas som markörkandidater. I denna studie ingick de 18 markörer som i tabell 1 angetts ha god tolkbarhet.

Ett sätt att definiera outliers är att jämföra erhållna Fst värden med den teoretiskt förväntade spridningen. Den förväntade spridningen av Fst värden erhålls från simuleringar under antagande av att ingen koppling till selekterade egenskaper förekommer. Figur 11 visar resultatet med en metod för detta som utarbetats av Beaumont & Nichols (1996). Fst värden ovan den övre 95% gränsen är att betrakta som outliers och därmed markörer som är relaterade till selektion. Tre markörer (Omy301, Str60-2, Cao42613) är tydliga outliers. Ytterligare en markör (BHMS356) ligger strax ovan 95%gränsen och två (Cao53480, Cb504868) strax under den undre gränsen.

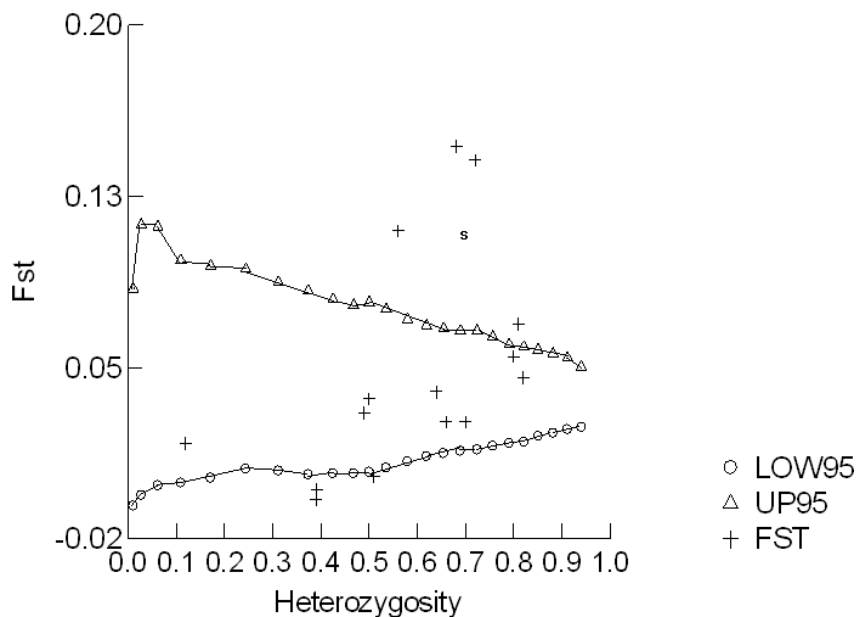


Fig 11. Observerade Fst värden (+) i relation till förväntad spridning (övre och nedre 95% gräns) plottad mot variationsnivå (heterozygoti). Könslänkade markörer markerade med s.

För de könsbundna markörerna gäller att dessa inte är oberoende varför ett medelvärde av F_{st} respektive heterozotigrad är lämpligare att använda. Erhållna värden blir då för F_{st} 0.109 och heterozygoti 0.68. I figur 11 hamnar då de könsbundna bland outliers.

I Fig 12 visas jämförelsen uppdelad på kön. Hannar har i genomsnitt ett högre F_{st} värde (0.11) än honor (0.05).

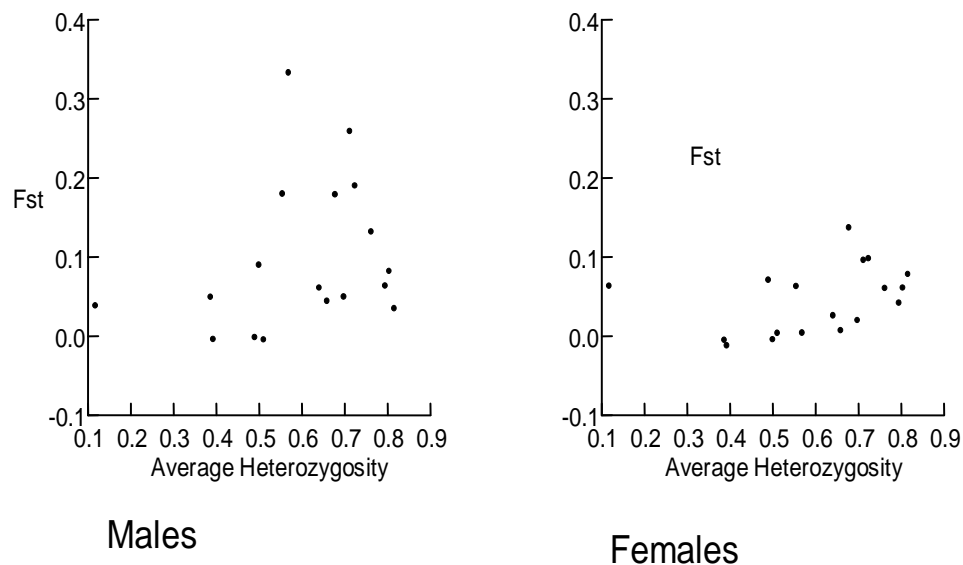


Fig12. F_{st} i relation till populationsheterozygoti för Hornavan vs Arctic Superior för 18 loci för honor respektive hanner.

Det finns även en skillnad mellan markörtyper, vanliga mikrosatelliter visar högre F_{st} värden (0.090) än EST markörer (0.046). Med andra ord så är Arctic superior och Hornavan mer differentierad för mikrosatelliterna. När skillnader mellan markörtyper vägs in tillkommer emellertid inga nya outliers.

De identifierade kandidatmarkörerna (outliers) bör fortsättningsvis utvärderas med avseende på deras relation till egenskaper i avelsprogrammet. I synnerhet bör betydelsen av de könsbundna markörerna utvärderas då starka indikationer finns att avelsprogrammet har haft olika effekt på könen, något som

skulle kunna relateras till just den kopplingsgrupp på vilken den könsbestämmande genen återfinns.

De fem högsta Fst värdena hos hannar gäller i två fall könsbundna markörer (SSOs132 samt 6-Dias) men i tre fall (Omy 301, Cao42613, Str60-2) vanliga autosomala markörer.

b) Könsbestämning

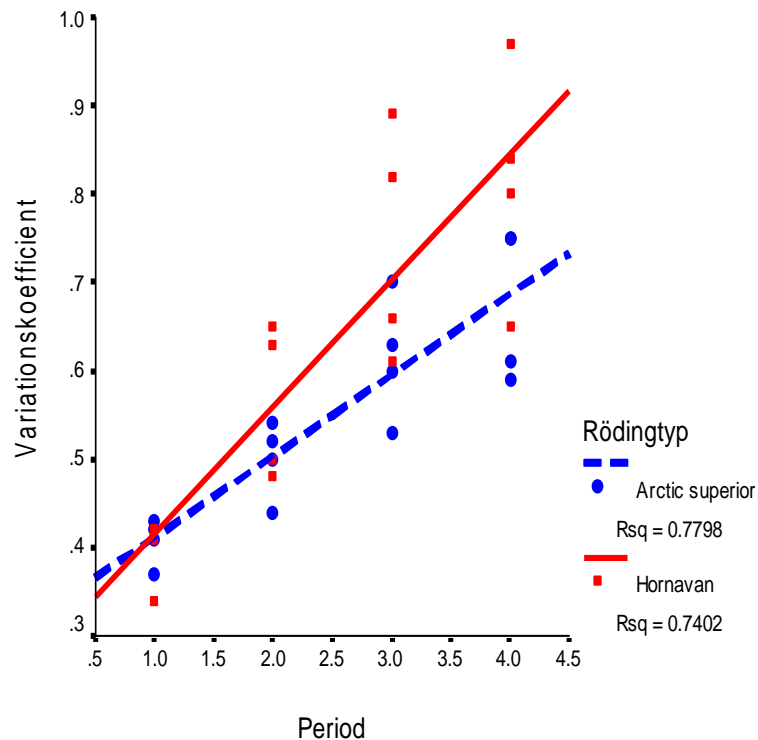
Det är inte möjligt att bestämma kön för röding utifrån externa karaktärer, förutom under lekperioden. Säkerheten i könsbestämning med hjälp av de könsbundna markörerna har testats på Arctic superior (48 fiskar, 24 av vardera könet) varvid en träffsäkerhet på 88% erhöles.

c) Stamidentifiering.

Möjligheten att använda markörer för att identifiera individer till stam har utvärderats genom att testa ett dataset bestående av genotypade (för 18 markörer) Hornavan respektive Arctic superior individer. Av 73 testade individer kunde 72 klassificeras till rätt stam, dvs. en säkerhet av 98.6%. Det är mycket osannolikt att det existerar en stam som har större likhet med Arctic Superior än Hornavanröding och alltså bör all röding med annan härkomst än Hornavan med mycket stor säkerhet kunna separeras på individnivå från Arctic superior. Som visat bör även andra Hornavanlinjer än Arctic superior också kunna särskiljas från denna på individnivå. Med ett visst optimeringsarbete kan antalet markörer som är nödvändigt troligen reduceras avsevärt.

Beteendestudier

Våren 2001 gjordes en beteendestudie på jämförelse av avkomman från avlad (Arctic superior) och vildfångade (Hornavanröding) föräldrar. Under 5 månader mättes tillväxt, storleksvariation och aggression inom grupper av 12 individer som hölls i akvarier. Det var en markant skillnad i variationen av tillväxt mellan A. superior och Hornavanröding efter 5 veckors försök med en betydligt mindre variationskoefficient hos den avlade formen (Figur 13).



Figur 13. Variationskoefficienten av tillväxthastighet (gw) efter 5 månaders tillväxt av Arctic superior respektive Hornavanröding.

Avelsarbetets finansiering kan sammanfattas som följer:

Som redan antytts har finansieringen varit brokig och oftast inte synkroniserad med avelsgenerationerna. Vanligtvis har finansieringsperioderna varit kortare än Arctic superiors' generationstid, vilket omöjliggjort långsiktig planering. Finansieringen har sett ut som följer:

1982-85 testodling av stammar, tillväxt, livshistoria, i Storuman (LST AC Län 1982-84, Unikum, UmU (1985))

1986-89 Avelsgenetisk forskning (SJFR), avel- och odlingsförsök (4-länsmedel 1986-87, Uminova Vattenbruksutveckling AB (Norrlandsfonden). Avel mm FiV (Kälarne))

1990-1996 Avelsgenetisk forskning t.o.m. 1993 (SJFR). Avelsprogrammet, bas+ viss utveckling 1992-96 (Stiftelsen Vattenbruksutveckling, Fosam, Unikum, UmU)

1997-1999 RödingGenetisk forskning (EU-FAIR), Avelsprogrammet (EGU mål 6, Pilotprojekt Lst AC+Z). Beslut om finansiering erhöles 1998-07-06!

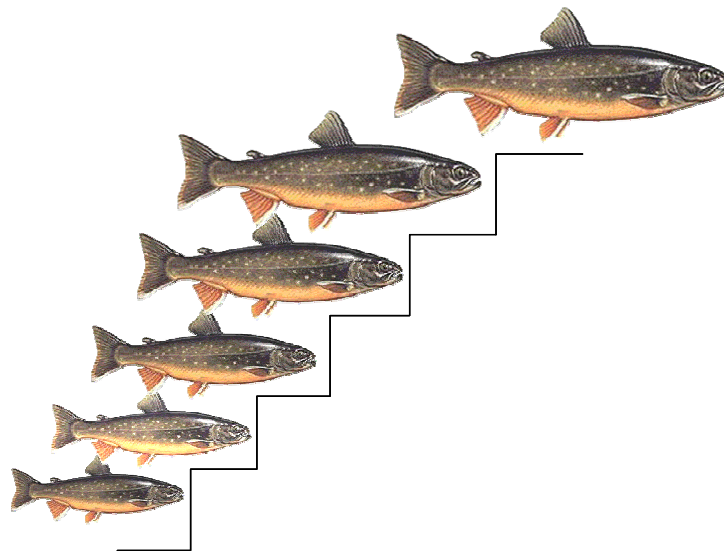
2000-maj 2001 Avelsprogrammet upprätthålls på miniminivå. Ingen FoU. EU mål 6. Beslut 991229,

Juli 2001-juli 2003. "Uppgradering av avelsprogram för röding". EU mål 1. Beslut 20021218! Avelsprogrammet på låg nivå, Ingen FoU.

Juli 2003- Juli 2005. Uppgradering av avelsprogram för röding. EU mål 1 Norra Norrland inland, motfinansiering av 5 länsstyrelser (BD, AC, Z, W, Y).

Avelsprogrammet på låg nivå men vissa medel för forskning.

Juli 2005-Juni 2007 EU mål 1. Södra Skogslänsregionen/Inlandet med Nationell motfinansiering huvudsakligen från Fiskeriverkets avdelning för forskning och utveckling samt till en del av stödmottagaren SLU. Stödet innebär huvudsakligen medel för fiskhållning och selektion.

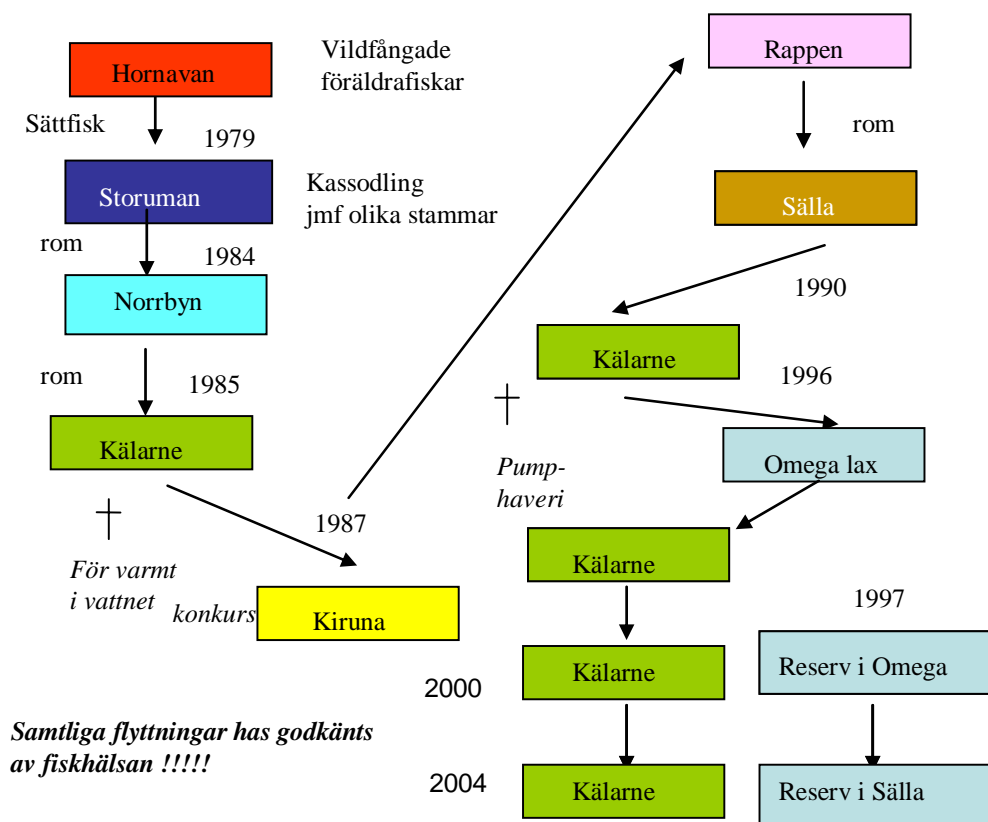


Avelsarbetets logistik kan sammanfattas enligt följande:

Avelsmaterialet har under hela uppväxten normalt hållits vid Fiskeriverkets försöksstation i Kälarne. Det har ansetts som angeläget ur smittskyddssynpunkt att material inte tillförs utifrån. För att ge en viss säkerhet mot eventuella olyckor och sjukdomar som kan drabba avelsbesättningen i Kälarne har en eller flera reservbesättningar placerats vid andra anläggningar.

Avelsbesättningen bedömdes ha ett avsevärt ackumulerat värde (avelsframsteg, stamtavla) som är mycket viktigt att skydda. Detta har visat sig vara en klok försiktighetsåtgärd då ett flertal katastrofincidenter har slagit ut avelsbesättningarna, men en ny generation ändå kunnat åstadkommas med hjälp av reservbesättningen (se Figur 14).

Arctic Superiors' resa



Figur 14. Avelsprogrammetts lokalisering från start till nuvarande lokalisering

Kvarstående problem

Under de senaste generationerna är det framför allt den låga andelen ägg (20-

40%) som utvecklas efter befruktning är ett påtagligt hinder i avelsprogrammet då många honors rom går helt till spillo och värdefullt avelsmaterial försvinner. Det leder också till att fler honor måste sparas vilket fördyrar arbetet. Själv sagt innebär detta också stora planerings- och kapacitetsproblem för sättfiskodling av röding.

Det dåliga befruktningsresultatet är inte något som kan förbättras genom avel. Det torde snarare handla om att finna de mekanismer som styr slutskedet av könsmognadsprocessen och/eller vilka förhållanden (foder, temp. etc.) som påverkar kvalitén i rombildningsprocessen för att därigenom kunna vidta odlingstekniska åtgärder som stegvis förbättrar läget.

Finansieringen av avelsprogrammet är ett annat viktigt problem. Denna modell med kortsiktig och knappt tilltagen finansiering har hittills gjort att avelsprogrammet bara har kunnat hållas igång på en låg nivå från ett internationellt perspektiv. Arbetet med olika avelsmål och uppförökning har inte kunnat bli så bra som önskat.

Licensavtal

Rödingodlarna i landet har geom åren alltmer upptäckt fördelarna med att nyttja odlingsmaterialet "Arctic superior". I dagsläget har alla större rödingodlare i landet tecknat licensavtal med oss om rätten att nyttja och uppföröka avelsframstegen i sin produktion. Avtalen innebär idag mycket små finansiella transfereringar, men skall ses som ett tydligt bevis och stöd från de närmast berörda näringsidkarna för behovet av ett avelsprogram för odlad röding.

Tack

Vi vill tacka alla aktörer som möjliggjort att avelsprogrammet trots allt har kunnat fortgå utan avbrott och hoppas att vi har kunnat namnge de flesta. Vi vill gärna särskilt nämna de odlare som tagit (och tar) hand om reservbesättningarna (Sälla fiskodling, Omegalax och Rappens fiskodling). Mest vill vi dock tacka personalen på Kälarnes fiskförsöksstation för ett fantastiskt arbete trots svårigheten med äggöverlevnad och den egna osäkerheten när det gäller stationens framtid. Det har inte heller alltid varit lätt, varken för oss eller handläggarna vid FIV och alla inblandade länsstyrelser att lotsa varandra genom den ibland tämligen snåriga administrativa delen för EU:s strukturstöd. Allt har dock till slut gått att lösa och Sveriges enda fungerande nationella avelsprogram för fiskodling pågår alltjämt! Ingela Lindberg på vår institution är värd många hurrarop! Vi hoppas och tror på att avelsprogrammet ska kunna fortsätta och ges långsiktig och bättre finansiering för att säkerställa ett allt bättre material som främjar utvecklingsmöjligheterna för landets rödingodlare!

REFERENSER:

- Gjedrem, T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. *Aquaculture* 33: 51-72.
- Gjedrem, T. 1995. Genetics and breeding in aquaculture (In Norwegian). ISBN 82-529-1526-49, Landbruksforlaget, Norway
- Somorjai, I.M.L, Danzman, R.G. & Ferguson, M.M. 2003. Distribution of temperature tolerance quantitative traits loci in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and

- inferred homologies in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Genetics 165: 1443-1456.
- Kinghorn, B. P. 1983. A review of quantitative genetics in fish breeding. Aquaculture 31:283-304.
- Nilsson, J. 1992. Genetic parameters of growth and sexual maturity in Arctic char (*Salvelinus alpinus*). Aquaculture 106: 9-19.
- Nilsson, J. 1992. Genetics of growth in Juvenile Arctic charr. Transactions of the American Fishery Society 123: 430-434.
- Nilsson, J. 1994. Genetic variation in resistance of Arctic char to fungal infection. Journal of Aquatic Animal Health 4: 126-128.
- Reid, D.P., Szanto, A. Glebe, B., Danzman, R.G. & Ferguson, M.M. 2004. QLT for body weight and condition factor in Atlantic salmon (*Salmo salar*): comparative analysis with rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). Heredity: 1-7.
- Tao, W.J. & Boulding, E.G. 2003. Associations between single nucleotide polymorphisms in candidate genes and growth rate in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Heredity 91:60-69

A. Vetenskapliga publikationer direkt från avelsprogrammet:

- Pickova, J., Brännäs, E. & Andersson, T. Importance of fatty acids in broodstock diets with emphasis on Arctic char (*Salvelinus alpinus*) eggs. Accepted in Aquaculture International.
- Pickova, J. & Brännäs, E. 2006. Egg quality in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Archives of Animal Breeding 49: 86-90. Special issue. COST Action 925, The importance of prenatal events for postnatal muscle growth in relations to the quality of muscle based foods. 2nd Work group meeting 29-30 September 2005, Volos, Greece.
- Brännäs, E., Chaix, T., Nilsson, J. & Eriksson, L.-O. 2005. Has a 4-generation selection program affected the behaviour of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)? Journal of Applied Animal Behaviour Sciences 94: 165-178.
- Nilsson, J. & Schmitz, M. 1995. Random amplified polymorphic DNA in Arctic charr. Nordic Journal of Freshwater Research 71: 372-377.
- Nilsson, J. 1994. Genetics of growth in Arctic char. Transactions of the American Fishery Society 123: 430- 434.
- Elvingsson, P & Nilsson 1. 1994. Phenotypic and genetic parameters of body and compositional traits in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L). Aquaculture and Fishery Management 25: 677-685.
- Nilsson, J. 1993. Arctic char strain crosses: effects on growth and sexual maturity. Journal of Fish Biology 43: 163-171.
- Eriksson, L.-O., Alanärä, A., Brännäs, E. Nilsson, J. & Kiessling, A. 1992. Arctic charr farming in Sweden. Bulletins of the Canadian Aquaculture Association 93-1.
- Nilsson, 1. 1992. Genetic parameters of growth and sexual maturity in Arctic char. Aquaculture 106: 9-19.
- Nilsson, J. 1992. Genetic variation in resistance of Arctic char to fungal infection. Journal of Aquatic Animal Health 4: 126-128.
- Nilsson, 1. 1990. Heritability estimates of growth related traits in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Aquaculture 84: 211-217.
- Nilsson, J. 1989. Selective breeding of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) EAS Special Publication No. 10.

B. Övriga publikationer och rapporter om rödingbiologi och odling av röding från institutionen för Vattenbruk:

Internationella publikationer

- Byström P., Andersson J., Kiessling A. & Eriksson L-O. 2006.** Size and temperature dependent foraging capacities and metabolism: consequences for winter starvation mortality in fish. *Oikos* 115: 43-52.
- Andersson J., **Byström P.**, Persson L. & De Roos A.M. **2005.** Plastic resource polymorphism: effects of resource availability on Arctic char (*Salvelinus alpinus*) morphology. *Biological Journal of the Linnean Society* 85: 341 – 351.
- Brännäs E., Berglund U., & Eriksson L-O. 2005.** Time Learning and Anticipatory Activity in Groups of Arctic charr. *Ethology* 111: 681 – 692.
- Byström P. & Andersson J. 2005.** Size-dependent foraging capacities and intercohort competition in an ontogenetic omnivore (Arctic char). *Oikos* 110: 523 – 536.
- Larsson, S., Forseth, T., Berglund, I., Jensen, A.J., Näslund, I., Elliot, J.M. & Jonsson, B. 2005.** Thermal adaptation of Arctic charr: experimental studies of growth in eleven charr populations from Sweden, Norway and Britain. *Freshwater Biology* 50: 353 – 368.
- Larsson S. & Berglund I. 2005.** The effect of temperature on the energetic growth efficiency of four Swedish Arctic charr populations (*Salvelinus alpinus* L.). *Journal of Thermal biology* 30: 29 – 36.
- Larsson S. 2005.** Thermal preference of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, and brown trout, *Salmo trutta*-implications for their niche segregation. *Environmental Biology of Fishes* 73: 89 – 96.
- Pickova J. & Brännäs E. 2005.** Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) fatty acid composition in relation to food composition. *European Aquaculture Society, special publication* 36: 400 - 403 .
- Carton M.W., **Schmitz M.**, Cutts C.J., Kelly A.K., Hill J.A., Brabazon E.D., Adams C.E. & Byrnes L. **2002.** Expressed sequence tags in larval Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) *Fish Physiology and Biochemistry* 26: 231 – 238.
- Persson L., De R.am., Claessen D., **Byström P.**, Lövgren J., Sjögren S., Svanbäck R., Wahlstrom E. & Westman E. **2003.** Gigantic cannibals driving a whole-lake trophic cascade. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 100: 4035 – 4039.
- Brännäs E., Linnér J. & Eriksson L-O. 2002.** Aggression and growth as an effect of size composition in groups of Arctic Charr. *Journal of Fish Biology* 60: 1331 – 1334.
- Linnér, L & Brännäs, E. 2001.** Growth in Arctic charr and rainbow trout fed their daily meals concentrated or spread in time. *Aquaculture International* 9: 35-44.
- Bailey, J., Alanärä, A. & Brännäs, E. 2000.** Methods for assessing social status in Arctic charr. *Journal of Fish Biology*: 57, 258-261.
- Brännäs, E. 1999.** Switching versus non-switching as a strategy when utilising feeding habitats; characteristics of individual fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 1068-1077.

- Thyrel, M., Berglund, I., Larsson, S. & I. Näslund. 1999. Upper Thermal Limits for feeding and growth of 0+ Arctic charr. *Journal of Fish Biology* 55: 199-210.
- Alanärä, A., Winberg, S., Brännäs, E., Kiessling, A., Höglund, E. & Elofsson, U. 1998. Feeding behaviour, brain serotonergic activity and energy reserves of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) within a dominance hierarchy. *Canadian Journal of Zoology* 76: 212-220.
- Brännäs, E. 1998. Individual variation in distribution, activity and growth rate of Arctic charr kept in a three tank system. *Journal of Fish Biology* 53:795-802.
- Larsson, S. & Berglund, I. 1998. Growth and food consumption of 0+ Arctic charr fed pelleted or natural food at six different temperatures. *Journal of Fish Biology* 52: 230-242.
- Alanärä, A. & E. Brännäs. 1997. Diurnal and nocturnal feeding activity in Arctic char and rainbow trout. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 2894-2900.
- Alanärä, A. & Brännäs, E. 1996. Dominance in demand-feeding behaviour in Arctic charr and rainbow trout: the effect of stocking density. *Journal of Fish Biology* 48: 242-254.
- Alanärä, A. & Kiessling, A. 1996. Changes in demand feeding behaviour in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., caused by differences in dietary energy content and reward level. *Aquaculture Research* 27: 479-486.
- Näslund, I. & Henricsson, J. 1996. Growth of five landlocked Arctic charr stocks under hatchery conditions. *Aquaculture International* 4: 105-116.
- Schmitz, M. 1995. Seasonal changes in hypoosmoregulatory ability in landlocked and anadromous populations of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, and Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Environmental Biology of Fishes*, 42: 401-412.
- Linnér, J. & Brännäs, E. 1994. Behavioral responses to commercial food of different sizes and self-initiated food size selection by Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Transactions of the American Fishery Society* 123: 416-422.
- Nilsson, J. 1994. Genetics of growth of juvenile in Arctic char. *Transactions of the American Fishery Society* 23:430-434.
- Alanärä, A. 1993. Significance of substrate and the timing of start-feeding in alevins of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture* 116:47-55.
- Brännäs, E. & Alanärä, A. 1993. Monitoring the feeding activity of individual fish with a demand feeding system. *Journal of Fish Biology* 42: 209-215.
- Näslund, I., Milbrink, G., Eriksson L.O. & Holmgren, S. 1993. Importance of habitat productivity differences, competition and predation for the migratory behaviour of Arctic charr. *Oikos* 66: 538-546.
- Schmitz, M. & Mayer, I. 1993. Effect of androgens on osmoregulation in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Fish Physiology and Biochemistry* 12: 11-20.
- Brännäs, E. & Alanärä, A. 1992. Feeding behaviour of the Arctic charr in comparison with the rainbow trout. *Aquaculture*, 105: 53-59.
- Brännäs, E. & B-S. Wiklund. 1992. Low temperature growth potential of Arctic charr and rainbow trout. *Nordic Journal of Freshwater Research* 67: 77-81.
- Mayer, I., Schmitz, M., Borg, B. & Schulz, R. 1992. Seasonal endocrine changes in male and female Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) I. Plasma levels of three androgens, 17 α -hydroxy-20 β -dihydroxyprogesterone and 17 β -estradiol. *Canadian Journal of Zoology* 70: 37-42.
- Näslund, I. 1992. Upstream migratory behaviour in landlocked Arctic charr. *Environmental Biology of Fishes*. 33: 265-274.

- Schmitz, M. 1992.** Annual variations in rheotactic behaviour and seawater adaptability in landlocked Arctic char (*Salvelinus alpinus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 49: 448-452.
- Eriksson, L-O. 1991.** Arctic charr rearing in Sweden. In: Arctic Charr workshop proc (1991; Chilliwack, B.C.) Prov B.C., Victoria. No 91-03 ISBN 0-7718-9081-8 pp 8-11.
- Näslund, I. 1991.** Effects of temperature, season and feeding conditions on the rheotactic behaviour of two stocks of land locked Arctic charr. Nordic Journal of Freshwater Research 66: 108-114.
- Linnér, J., Brännäs, E., Wiklund, B.S. & H.Lundqvist. 1990.** Daily and seasonal locomotor activity patterns in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Journal of Fish Biology 37:675-685.
- Näslund, I. 1990.** The development of regular seasonal habitat shifts in a landlocked Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L., population. Journal of Fish Biology 36:4 01-414.
- Brännäs, E. & Alanära, A. 1989.** Feeding behaviour of Arctic charr compared to Rainbow trout. EAS Special Publication No. 10
- Eriksson, L.-O. 1989.** The present status of Arctic charr rearing in Sweden. EAS Special Publication No. 10.

Avhandlingar:

- Larsson, S. 2002.** Thermal Performance of Arctic Charr: Intraspecific Variation and Competitive Ability. Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquaculture, Umeå, Sweden. (ISBN 91-576-6335-1).
- Larsson, S. 2001.** Thermal performance of Arctic charr. Ph. Lic. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå, Sweden. (ISSN 1101-9158).
- Linnér, J. 2000.** Arctic Charr Growth Regulators: Implications for aquaculture. Ph. D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquaculture, Umeå, Sweden. 48 p. (ISBN 91-576-5778-5).
- Linnér, J. 1995.** Feeding behaviour and seasonal locomotor activity in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Ph. Lic. Thesis, University of Agricultural Sciences. Umeå, Sweden. (ISBN 91-576-5063-2).
- Schmitz, M. 1993.** Anadromy versus residency: development and regulation of hypoosmoregulatory ability in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquaculture, Umeå, Sweden. (ISBN 91-576-4670-8).
- Elvingson, P. 1992.** Studies on body and compositional traits in rainbow trout and Arctic char. Agr.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquaculture, Umeå, Sweden. (ISBN 91-576-4644-9).
- Näslund, I. 1991.** Partial migration and the development of seasonal habitat shifts in a landlocked Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) population. Ph.D. thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Aquaculture, Umeå, Sweden. (ISBN 91-576-4244).

Examensarbeten

- Berglund, Ulf. 2001.** Självutfodringsaktivitet med fri och tidsbegränsad fodertillgång. Studie av inläring av utfodringsteknik genom självutfodringsaktivitet och föregripande aggression hos röding (*Salvelinus alpinus*, L). (20 p).
- Chaix, Thomas. 2001.** Effect of domestication in Arctic charr?: a comparison on offspring with growth selected parents and wild parents. (20 p).
- Carlsson, Jeanette. 2000.** Microsatellite variability in Swedish Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). (20 p).
- Le Gall, Frederic. 1999.** Use of the feedback feeding system in Arctic charr farming: the AQ1 system. (20 p)
- Lind, Magnus. 1999.** Cloning the cDNA of Insulin-like growth factor I (IGF-I) in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). (10 p).
- Thyrel, M. 1998.** Upper thermal limits for feeding and growth of 0+ Arctic charr *Salvelinus alpinus* L. (20 p).
- Larsson, S. 1997.** Effekter av temperatur och diet på tillväxt och födokonsumtion hos ensamrig röding (*Salvelinus alpinus*). (20 p).
- Carlsson, J. 1995.** Aggressiveness, growth and kinship in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L) (20 p).
- Sandberg, M. 1993.** The effect of self-feeding reward level on individual bite frequency, growth rate and food acquisition in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (10 p).

Introduktionsuppsatser

- Larsson, S. 2001.** Thermal performance in fish: - a comparison between charr and trout. Introductory research essay no. 12. Sveriges lantbruksuniversitet, Vattenbruksinstitutionen, pp 20.
- Linner, J. 1989.** Feeding behaviour of fish, with social reference to the arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Introductory research essay no.1 Sveriges Lantbruksuniversitet, Vattenbruksinstitutionen, pp 25.

Rapporter, Engelska och Svenska

- Brännäs, E., Nilsson, J., m.fl.** "Biology and aquaculture of Arctic charr" "charrnet" <http://charrnet.org/charrnet>
- Nilsson, J., et. al 2003** Development of sustainable Aquaculture of Arctic charr. Fair CT 96 1981. Final report
- Nilsson, J., et.al 2000.** Development of sustainable Aquaculture of Arctic charr. Fair CT 96 1981, Consolidated progress report.
- Brännäs, E. 1991.** Rödingens tillväxt i låga temperaturer i jämförelse med regnbågens. Rapport nr. 10, 4 pp
- Eriksson, L-O., Lundqvist, H. & Hanell, L. 1990.** Torvbiostimulatorer- Etapp II. Betydelsen av inblandning av torvbiostimulator i fiskfoder; effekter på tillväxt och överlevnad hos ung röding under sommarperioden. Stiftelsen Svensk Torvforskning, Umeå Rapport nr 30 (11 pp)
- Alanärrä, A. 1990.** Utvärdering av rödingens tillväxt i svenska odlingar 1985-88. Rapport nr. 6, 20 pp.

- Alanärä, A. 1990.** Odlingstäthetens inverkan på tillväxt och överlevnad vid startutfodring av rödingyngel. Rapport nr. 7, 19 pp.
- Alanärä, A. 1990.** Rödingynglets tillväxt och överlevnad beroende på startutfodringstid och bottenstrukt. Rapport nr. 8, 13 pp.
- Brännäs, E., Eriksson, L.-O. & Wiklund, B.-S. 1984.** Effect of temperature and photoperiod on somatic and gonadal growth in Arctic charr. 21 pages.
- Brännäs, E. 1984.** Rapport om rödingens tillväxt vid olika fisktätheter. 3 pages.
- Brännäs, E. 1984.** Hormonbehandling av lax och rödingyngel. 4 pages.
- Brännäs, E. 1984.** Pigmentation of "pan-size" Arctic charr fed with Astaxanthin or Canthaxanthin. 17 pages.
- Brännäs, E. 1991.** Rödingens tillväxt i låga temperaturer i jämförelse med regnbågens. Institutionen för Vattenbruks rapportserie No. 10, 4 pages.
- Näslund, I. & Eriksson, L.-O. 1989.** Säsongsmissiga habitatskiftet hos laxfisk-näringsvandring av röding och öring i eutrofierade fjällvatten. Rapport nr 1, 37 pp.

Populärvetenskapliga publikationer

Avelsprojektets spridning till allmänheten har bl.a skett genom :

- en populärvetenskaplig artikel i SVD publicerat 5:e september 2004 "Familjekontroll ger bättre röding"
- genom beskrivning i "charrnet" <http://charrnet.org/charrnet>
- poster vid nationella skogskonferensen vt 2004 på SLU i Ultuna ("Rödingavel")
- poster om avelsprojektet som har producerats och finns i Kälarne och på SLU i Umeå.
- Behovet av fiskavel. I *Vilken framtid har svenskt vattenbruk?* KSLA:s tidskriftsserie 139 (15): 117-123, 2000.
- Populärvetenskaplig artikel i tidningen "Kompetens" Norrlandsfonden 1995
- Nyhetsbladet "Läckan" som publicerades av Stiftelsen Vattenbruksutveckling under åren 1987-1990
- artikel. Pigmenteringsförsök med röding. *Vattenbrukaren* 4(2): 1-3. 1986
- artikel. Skillnaden mellan rödingens och regnbågens sätt att fånga pellets. *Nordisk Akvakultur* 40: 30-31. 1990.
- artikel. Erfarenheter från kassodling av olika rödingstammar. *Vattenbruk* nr 1. 1986
- artikel. Vilken foderstorlek skall man använda vid rödingodling?. *Vattenbruk* nr 2 1986.
- artikel. Utveckling av matfiskodling av röding. *Vattenbruk* nr 1. 1986.
- artikel. Pigmenteringsförsök med röding. *Vattenbruk* nr 2. 1986.

Möte med intressenter och allmänhet

Nationella möten och workshops

- Vilhelmina kommun, Norska företagare och länsstyrelsen i AC län Aug 2006 LOE presenterade "Rödingodling i kraftverksmagasin".
- Möten med rödingodlare + 6 ggr om avelsprogrammet(1990-2006). Jan Nilsson, Lars-Ove Eriksson och Eva Brännäs.

- Ålands landskapsstyrelse och inbjudna fiskodlare, Mariehamn, Åland Februari 2006 . Lars-Ove Eriksson presenterade bl.a. avelsprojektet i "Nya arter för vattenbruket-problem och möjligheter".
- VRF:s årsmöten 1995-2005 (LOE bland annat "Nya arter för vattenbruket" samt presentationer av VBI:s aktuella vattenbruksforskning).
- KSLA-konferens 2000 " Vilken framtid har svenskt vattenbruk" Eva Brännäs föredrag med titeln " *Behovet av fiskavel*".
- Land & Stad, Vuollerim, BD 2001 Lars-Ove Eriksson presenterade bl.a avelsprojektet i "Rödingodling i Kraftverksmagasin".
- Rödingodling i Norden:Forskning, framsteg, framtid. Sundsvall 17 & 18 mars. 2000.Nilsson, J. Rödinggenetik och avel (Muntl pres +abstract).

Postrar, presentationer mm

Internationella symposier och workshops

- Eriksson, L-O föredrag "Innovations, industry and new species for aquaculture in Sweden" Workshop "Eye-to-eye" (EU Northern Pheriphery), Island maj 2006.
Lars- Ove Eriksson presenterade avelsarbetet i föredraget .
- Nilsson, J. föredrag med titeln " The Swedish selective breeding program for Arctic charr" Rödingmöte i Tromsö/Norge 2006 Jan Nilsson presenterade det Svenska avelsprogrammet.
- Eriksson, L-O och Larsson, S. Föredrag "Thermal preference of Arctic charr" Rödingmöte "Charrnet" i Umeå 2004.
- Eriksson, L-O. föredrag "Progress in farming of Arctic charr in Sweden" Rödingmöte i Enonkoski, Finland 2001.
- Brännäs, E. Individual variation in the allocation of time spent in a feed patch or resting /hiding patch in groups of Arctic charr: The effect of social status. Oral presentation 4th International Charr Symposium, 26 June-1 July 2000 Trois-Rivières, Québec, Canada.
- Brännäs, E. Time learning and pre-feeding aggression in groups of Arctic charr, Third Workshop of the Cost 827 Action on Voluntary Food Intake in Fish. Reykavik, Island ,20-22 August, 2000.
- Eriksson, L-O poster "Progress in farming of Arctic charr in Sweden" 4th International Charr Symposium, 26 June-1 July 2000 Trois-Rivières, Québec, Canada.
- Bailey, J. & Brännäs E. Nocturnal versus diurnal restrictions of feed availability after a free-running period: Effects on growth and behaviour of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). Poster presentation for the 4th International Charr Symposium, 26 June-1 July, 2000 Trois-Rivières, Québec, Canada.
- Linner. J. & Brännäs E. Aggressive interactions and growth rate in size sorted compared to unsorted groups of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) Poster presentation for the 4th International Charr Symposium, 26 June-1 July 2000 Trois-Rivières, Québec, Canada.
- Brännäs, E. Seasonal variation in diurnal feeding patterns in Arctic charr. Second Workshop of the cost 827 Action on Voluntary Food Intake in Fish. Umeå, Sweden, 20-22 August 1998.

- Alanärä, A. & Brännäs, E. The relationship between social status, self-feeding activity and feed intake in rainbow trout. Second workshop of the cost 827 Action on Voluntary Food Intake in Fish. Umeå, Sweden, 20-22 August, 1998.
- Bailey, J., Brännäs, E. & Alanärä, A. Selecting food by social status: does the level of aggression change? Second workshop of the Cost 827 Action on Voluntary Food Intake in Fish. Umeå, Sweden, 20-22 August 1998.
- Brännäs, E. Can individual variation in voluntary visits in to feeding tanks explain variations in growth rate. Cost Workshop in Aberdeen 2:nd April, 1997.
- Brännäs, E. & Brännäs, K. Time spent in feeding patches of individual fish; Dependent on density and/or relative patch profitability. XXIV International Ethological Conference, Honolulu, August 10-17, 1995.
- Nilsson, J. RAPD in Arctic charr (muntl pres +abstract). International Charr Symposium 1994, Trondheim.
- Brännäs, E. & Eriksson, T. A long term study of individual Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) choice of food patches of different profitability. The 4:th international Behavioural Ecology Congress at Princeton USA, August 1993.
- Brännäs, E. & Alanärä, A. Effect of reward level on individual variability in demand feeding activity and growth rate in Arctic charr and rainbow trout. The 14:th International Ethological Conference in Torremolinos, Spain, 1-9 September 1993.
- Kiessling, A. föredraget "Arctic charr farming in Sweden" Fish farming conference, Victoria, BC, Canada 1992.
- Eriksson, L-O föredrag om "Development of Arctic charr farming in Sweden" Rödningmöte "Arctic charr workshop" Chilliwack, BC, Canada 1991. Lars-Ove Eriksson presenterade bl.a. avelsprogrammet.
- Brännäs, E., Eriksson, L-O., Linnér, J., Sjöström, P. & Wiklund, B-S. Optimal food size for Arctic charr. The "119th Annual Meeting of the American Fisheries Society", Anchorage, Alaska, September 4-8, 1989.
- Brännäs, E., Lundqvist, H. Schmitz, M., Brännäs, K. Prentice, E. & Wiklund, B-S. Application of the PIT-tag technique for the study of individual Behaviour of Arctic charr. The "119th Annual Meeting of the American Fisheries Society", Anchorage, Alaska, September 4-8, 1989.
- Brännäs, E. & Alanärä, A. Feeding behaviour of Arctic charr compared to Rainbow trout. The "Aquaculture Europe '89" in Bordeaux, France, October 2-4, 1989.
- Nilsson, J. Genetics of Growth of Arctic charr (muntl pres). American Fisheries Society Annual Meeting 1989, Anchorage.
- Feeding behaviour of Arctic charr compared to Rainbow trout. Poster av Eva Brännäs och Anders Alanärä. Vid European Aquaculture Society i Bordeaux 1988. Vid European Aquaculture Society i Bordeaux 1988.
- Eriksson, L.-O. The present status of Arctic charr rearing in Sweden. Poster vid European Aquaculture Society i Bordeaux 1988.
- Eriksson, L.-O. Prospect of a one-year rearing cycle for Arctic charr. Presentation vid Symposium on Aquaculture in Subarctic Areas Umeå 1985.
- Eriksson, L.-O. & Wiklund, B.S. Energetics in the food particle size selection of Arctic char. Presentation vid Symposium on Aquaculture in Subarctic Areas Umeå 1985.
- Wiklund, B.S. & Eriksson, L.-O. Individual growth and maturation patterns of four net-pen reared Arctic charr populations. Presentation vid Symposium on Aquaculture in Subarctic Areas Umeå 1985.