

Stor fet sill på västkusten, liten mager strömming i Östersjön. Om det är arv eller miljö som ligger bakom skillnaderna i fiskens morfologi har länge förbryllat vetenskapen. Med modern DNA-teknik har gåtan äntligen fått ett svar.

Det är bara 8 000 år sedan Östersjön bildades, och sillen är en av de få marina fiskar som anpassat sig väl till ett liv i det bräckta vattnet. Den sort som vi nu kallar strömming leker ända upp i Bottenviken, där salthalten är så låg som 2-3 promille, jämfört med Atlantens 35 promille. Men salthalten är långt ifrån det enda som är annorlunda i Östersjön jämfört med Atlanten. Det är även stora skillnader i hur mycket temperaturen varierar under året, ljusförhållanden i vattnet, planktonproduktionen och vilka rovdjur som jagar fisken.

Linné klassificerade strömmingen (*Clupea harengus membras*) som en underart av sillen (*Clupea harengus harengus*), baserat på de tydliga morfologiska skillnaderna mellan dem. Strömmingen är betydligt mindre och magrare än sillen. Den stora frågan har varit om dessa skillnader beror på genetik eller om det beror på miljön. Är sill och strömming verkligen samma art? En kartläggning av fiskens arvs massa har gett svaret.

Olika men ändå lika

På 1970-talet utvecklades en ny teknik där man kunde studera genetisk variation genom att separera vävnadsproteiner i ett elektriskt fält, så kallad elektrofores. Detta var den första teknik som blev tillgänglig för att studera genetisk variation på molekylär nivå i någon större skala. Jag fick idén att vi kunde använda denna teknik för att jämföra sill och strömming.

Tillsammans med mina kollegor samlade vi in prover från Atlanten, Nordsjön, Västerhavet och Östersjön ända upp till Kalix, och analyserade tretton olika ge-



Strö

– en sill med

mming

ögon känsliga för rött



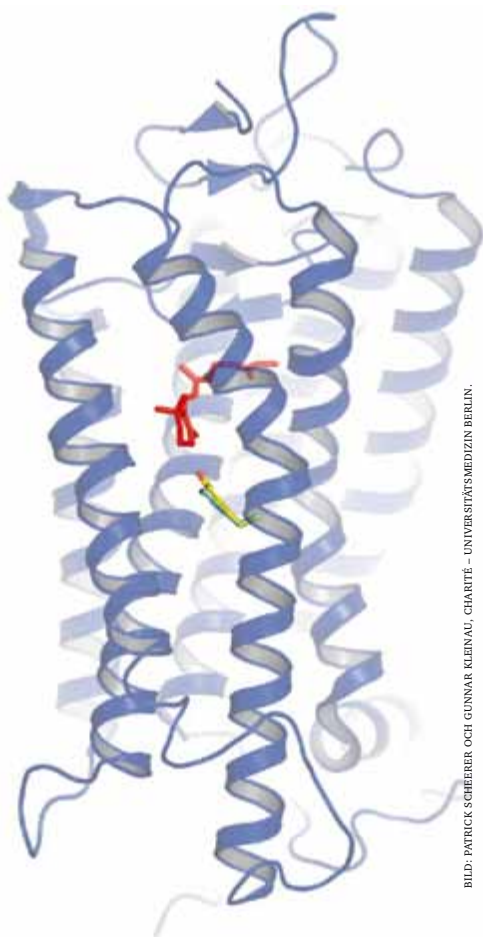


BILD: PATRICK SCHIEBER OCH GUNNAR KLEINAU, CHARITÉ - UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN.

⤴ Strukturmodell för sillens rodopsin (blå) med den ljusabsorberande kromoforen retinal i rött, position 261 i närheten av retinal, och den minimala men ändå så viktiga skillnaden mellan aminosyran fenylalanin (turkos) och tyrosin (gul/röd). Tyrosin i position 261 gör att ljusabsorptionen blir mer rödsjuktad och bättre anpassad till Östersjöns ljusmiljö.

netiska markörer. Det häpnadsväckande resultatet var att vi inte hittade några som helst skillnader, inte ens mellan stor norsk sill och småväxt strömming från Kalix. Det kändes inte som om resultatet kunde stämma. I brist på metoder med bättre upplösning så valde vi att inte arbeta vidare med projektet. Men frågan skavde vidare i mitt bakhuvud under trettio år. Är det verkligen möjligt att fiskar som lever i så olika miljöer inte visar några tecken på genetisk anpassning?

Nya svar

Men så för drygt tio år sedan skedde ett stort teknikgenombrott då storskalig DNA-sekvensering blev möjlig till en rimlig kostnad. Tiden var mogen för att slutligen avgöra om det finns några genetiska skillnader mellan sill och strömming. Lyckligtvis fanns de gamla proverna kvar. Dessa prover har vi nu återanvänt tillsammans med nyare prover och sekvensbestämt hela arvsmassan hos fiskar från mer än 50 lokaler i Atlanten, Nordsjön

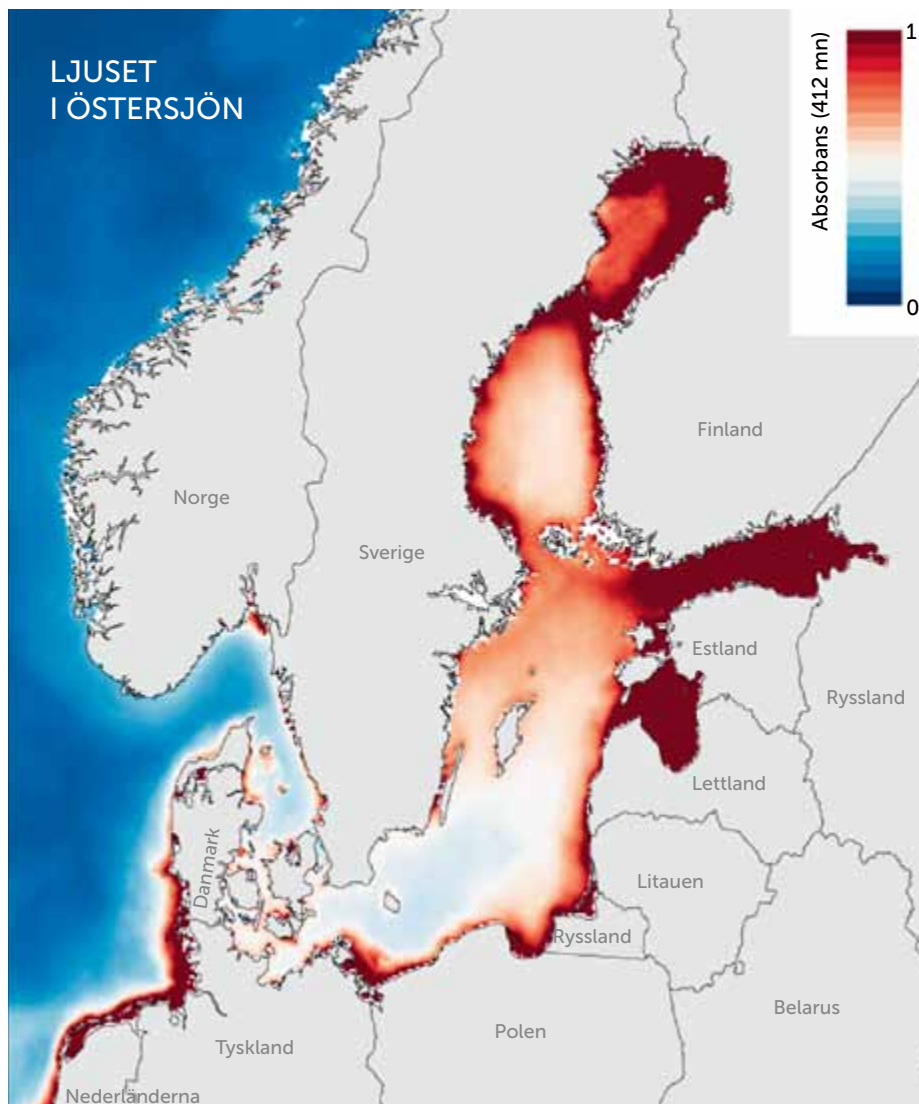


BILD: ERIK ENBODY, UPPSALA UNIVERSITET.

⤴ Satellitbild som visar att Östersjön har en rödsjuktad ljusmiljö jämfört med Atlanten, vilket beror på förekomsten av organiskt material i Östersjön som absorberar blått ljus.

och Östersjön. När vi nu undersöker sekvenserna så hittar vi genetisk variation i mer än 10 miljoner positioner, att jämföra med bara 13 markörer vi kunde använda i slutet på 1970-talet.

Men för ett par procent av generna ser vi mycket tydliga skillnader mellan olika populationer...

Resultaten visar att alla sillpopulationer i Atlanten och närliggande vatten är mycket nära släkt. Men för ett par procent av generna ser vi mycket tydliga skillnader mellan olika populationer, en skillnad som beror på genetisk anpassning exempelvis salthalt, vattentemperatur och ljusförhållanden. Vi kan nu dela in sill och strömming i ett antal huvudgrupper, och ser även lokal anpassning inom huvudgrupperna. Sill och ström-

ming visar tydliga skillnader i ett par hundra av sina drygt 20 000 gener.

Hur förklarar man att ett stort antal gener inte visar några skillnader mellan sill och strömming medan ett mindre antal gener visar tydliga skillnader? Detta beror på att det finns så enormt mycket sill, tusen miljarder i Atlanten och angränsande vatten. I en så stor population är frekvensen av de flesta genvarianter mycket stabil över generationer, förutom för de specifika genvarianter som förklarar sillens lokala anpassningar. Förekomsten av dessa specifika genvarianter påverkas av naturlig selektion, där de bäst anpassade individerna på den speciella lokalen har fått flest avkomma i generation efter generation.

Rödare rodopsin

En av de tydligaste skillnaderna mellan sill och strömming hittades i rodopsin som är en av ögats ljusreceptorer. I position 261 har sillen aminosyran fenylalanin, medan de flesta strömmingar har



FOTO: DANIEL AUGAVE/AROTE

ARV ELLER MILJÖ?

En arts anpassning till sin miljö beror på genetiska förändringar eller plasticitet, det vill säga arv eller miljö. Plasticitet innebär anpassning genom förändring i aktivitet hos generna utan att det har skett en genetisk förändring. Vi kan använda människans hudfärg som exempel. Mörkhyade människor har ett bättre skydd mot solstrålning vilket är en genetisk anpassning till skillnader i solstrålning på olika breddgrader. Men en ljushyad person som utsätts för starkt solljus får en solbränna som ger visst skydd mot solstrålning genom en ökad aktivitet i pigmentcellerna, vilket är plasticitet.

aminozyran tyrosin. Position 261 är strategiskt placerad och interagerar med retinal, vilket är det ämne som absorberar ljus. Tyrosinet gör att strömmingens rodopsin är rödskeftat vilket leder till att strömmingen kan se bättre i Östersjöns grumligare och därmed mer rödaktiga vatten jämfört med Atlanten. Denna genvariant av rodopsin måste vara mycket bra att ha i Östersjön, eftersom det bara tog ett par hundra år innan tyrosin261 blev den vanligaste varianten i Östersjön. En annan spännande upptäckt är att en tredjedel av alla världens fiskar som lever

i bräckt vatten eller sötvatten har tyrosin261 medan nästan alla som lever i marin miljö har fenylalanin261. Mutationen har uppstått fler än 20 gånger oberoende av varandra under fiskarnas evolution!

Denna anpassning i rodopsinet är antagligen särskilt viktig för strömmingens yngel. Även lax och laxöring som leker i sötvatten, men vandrar ut i Atlanten som små, har tyrosin261. Däremot har ålen, som leker i Sargassohavet men tillbringar sitt vuxna liv i sötvatten eller bräckt vatten, fenylalanin261 precis som sillen.

Vår eller höst?

En annan tydlig uppdelning hos sill och strömming är de vår- och höstlekan- de populationer som finns både i Atlanten och i Östersjön. De vårlekan- de bestånden leker från februari till juli medan de höstlekan- de leker mellan augusti och november. Det är nästan lika stora genetiska skillnader mellan vår- och höstlekan- de strömming som det är mellan strömming och sill. De gener som är kopplade till när på året de leker gör att fisken kan mäta dagslängden och på så sätt få information om vilken tid på året det är.

Att leka på hösten eller på våren är två olika strategier för strömmingen att hantera svälten under vintern när det är ont om mat. Höstlekan- de yngel växer mycket långsamt de första sex månaderna, men är redo att börja växa snabbare när planktonproduktionen kommer igång på våren. Vårlekan- de sill måste däremot svälta sig genom vintern för att kunna leka på våren, men deras yngel föds istället när det är gott om mat. Vilken strategi som fungerar bäst varierar över tid. Höstlekan- de

klart dominerande i Östersjön i början på 1900-talet men idag dominerar vårlekan- de. Kanske gynnas den vårlekan- de strömmingen av att Östersjön blivit mer näringsrik på grund av övergödning?

Så beror denna skillnad i lekperiod på genetik eller miljö? Vår tolkning är att lektiden bestäms av en kombination av arv och miljö. Leken kan nämligen förskjutas inom lekperioden om det är en kall vår eller ont om mat.

Nya verktyg för hållbart fiske

Strömmingsfisket var förr oerhört viktigt för Sveriges livsmedelsförsörjning, och är fortfarande en mycket värdefull naturresurs. Upptäckterna om genetiska skillnader mellan olika bestånd av sill och strömming kan få stor betydelse för förvaltningen av arten. Varje år genomför Ices (International Council for the Exploration of the Sea) skattningar av beståndsutvecklingen och sätter därefter fiskekvoter för olika havsområden. Med enkla och billiga DNA-tester kan man nu fastställa vilka bestånd fisken tillhör och på så vis sätta fiskekvoter inte bara för geografiska områden. Forskningen har gett ny grundläggande kunskap om hur arter genetiskt anpassar sig till sin miljö och nya analysverktyg för en förbättrad fiskeförvaltning som bättre kan säkerställa sillens och strömmingens framtid. 🐟

TEXT OCH KONTAKT

Leif Andersson
Institutionen för medicinsk biokemi och mikrobiologi, Uppsala universitet.
leif.andersson@imbim.uu.se



Forskaren Arianna Cocco tar vävnadsprov för DNA-analys från höstlekan- de strömming.

FOTO: LEIF ANDERSSON