



Figur 1. Mellandarwinfink
Foto: © Peter R. Grant

När evolutionen går snabbt

Darwins finkar på Galápagosöarna

Forskare vid Uppsala universitet har under många år bedrivit ett omfattande projekt, där de sekvensbestämt hela arvsmassan från alla arter av Darwinfinkar, vilket resulterat i ny kunskap om deras evolution. Forskningen har genomförts i nära samarbete med Peter och Rosemary Grant, som under 40 års tid, 1972–2012, genomförde årliga fältstudier av Darwinfinkarna. Här ger Leif Andersson, professor vid Uppsala universitet, en glimt av aktuella forskningsresultat.

Text: Leif Andersson, professor i funktionsgenomik vid Institutionen för medicinsk biokemi och mikrobiologi vid Uppsala universitet
E-post: leif.andersson@imbim.uu.se

Charles Darwin besökte Galápagos i september–oktober 1835 under världsomseglingen med skeppet Beagle. Under sitt besök samlade han, som alltid, in växter och djur för att dokumentera platsens flora och fauna. Bland fynden fanns ett antal exemplar av en grupp tättingar som långt senare skulle bli kända som Darwinfinkar, främst tack vare boken "Darwin's finches" av den engelska zoologen David Lack (1947). Det var inte Darwin själv som först insåg betydelsen av dessa fåglar utan John Gould, en ornitolog från England som undersökte dem. Gould kom fram till slutsatsen att tolv olika arter med betydande variation i utseende alla måste vara närbesläktade. Darwin skriver sedan följande i den andra upplagan av sin bok *The Voyage of the Beagle* som kom ut 1845, det vill säga 14 år innan *The Origin of Species*: "Seeing this gradation and diversity of

structure in one small, intimately related group of birds, one might really fancy that from an original paucity of birds in this archipelago, one species had been taken and modified for different ends".

Detta är precis vad modern forskning har kunnat visa, att alla olika arter av Darwinfinkar härstammar från en ursprungsart som kom till Galápagos för cirka två miljoner år sedan.

Darwinfinkarna är ett exempel på en adaptiv radiering, där en art utvecklats till många som var och en anpassat sig till olika ekologiska nischer och födoval. Ett annat klassiskt exempel på adaptiv radiering, gällande fiskar, är det stora antalet arter av ciklider i olika sjöar i Östafrika.

Orsaken till den snabba evolutionen av olika arter av Darwinfinkar på Galápagos är precis det Darwin skriver, en brist på konkurrens som gör att den naturliga selektionen gynnat utveck-

lingen av olika arter med förmåga att utnyttja olika födoresurser. Det som är särskilt slående är hur näbbens form och storlek har förändrats hos de olika arterna av Darwinfinkar.

Observationer och DNA-analys

Modern genteknik gör det möjligt att bestämma DNA-sekvensen för vilken art som helst. Vi har under ett flertal år bedrivit ett omfattande projekt där vi sekvensbestämt hela arvsmassan från alla arter av Darwinfinkar, totalt ungefär 300 individer. Detta har varit möjligt tack vare ett nära samarbete med Peter och Rosemary Grant, som bedrev fältstudier av Darwinfinkar varje år under 40 års tid, från 1972 till 2012! De har i synnerhet följt utvecklingen av Darwinfinkarna som häckar på den lilla obebodda ön Daphne major.

De studier vi gjort i samarbete med dem har gett ny kunskap om släktskapet mellan olika arter av Darwinfinkar. De tidigare 15 kända arterna har blivit 18, eftersom vi kunde visa att några arter som liknar varandra är tydligt olika på DNA-nivå. Vi har visat att ett genflöde mellan olika arter har förekommit under hela Darwinfinkarnas utveckling. Vi har även identifierat två gener, *ALX1* och *HMG2*, som haft stor betydelse för variationen i näbbens morfologi. *ALX1* påverkar näbbens form (spetsig eller trubbig) vilket i sin tur påverkar födoval. *ALX1* kodar för en transkriptionsfaktor som reglerar många andra gener. Vi vet att *ALX1* har en viktig roll under kranie- och ansiktsutveckling eftersom mutationer som slår ut denna gen orsakar allvarliga missbildningar hos zebrafisk och människa. *HMG2*-genen (eller möjligen en gen i dess absoluta närhet) påverkar näbbens storlek och den är en av de gener som har störst betydelse för variation i kroppstorlek hos människor och en rad andra djurarter som häst, hund och kanin. Genen påverkar andra geners aktivitet men den exakta mekanismen för hur den påverkar näbbstorleken är inte känd.

Peter och Rosemary Grants fältstudier av Darwinfinkar har gett unika insikter om dessa arters snabba evolution. Som tur är har paret Grant samlat in blodprover de senaste 30 åren, vilka vi nu kan använda för att koppla samman deras observationer med förändringar i arvsmassan. Klimatet på Galápagos varierar mycket från år till år och påverkas starkt av El Niño och La Niña, episoder vilka innebär att en period med stor nederbörd kan följas av en period med svår torka, vilket påverkar födotillgången.

En episod med mycket svår torka inträffade under 2004 och 2005, vilket ledde till stenhård konkurrens mellan två arter, mellandarwinfink (medium groundfinch, *Geospiza fortis*) och större darwinfink (large groundfinch, *Geospiza magnirostris*), om de fröer som fanns



Figur 2. Peter och Rosemary Grant under ett besök vid Uppsala universitet 2017.

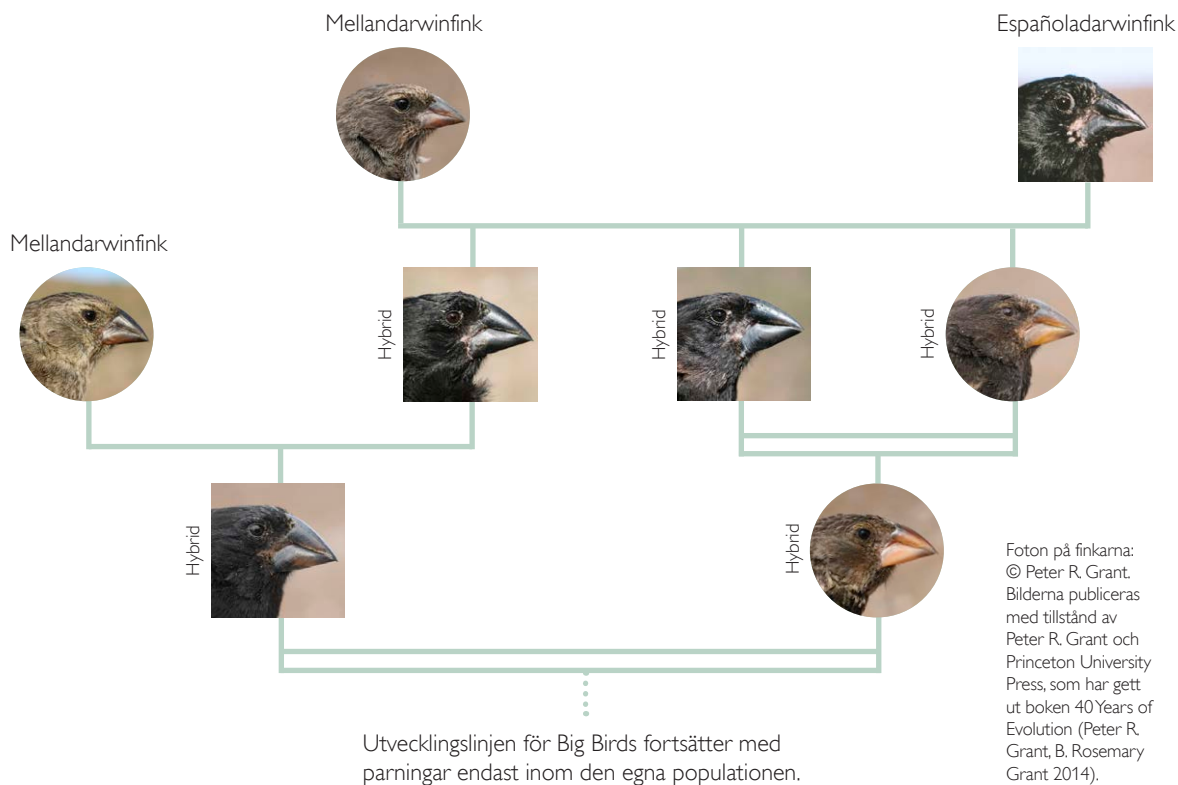
Foto: Bioresurs

att äta. Den större darwinfinken är en stor fink med jättestor näbb, ungefär som stenknäcken i Europa, medan mellandarwinfinken mer liknar en bofink i storlek och näbbmorfologi (figur 1, 3). Men näbbens storlek varierar på individnivå hos mellandarwinfinken och under denna torkperiod kunde inte individerna med störst näbb konkurrera med den större darwinfinken om de största fröerna – medan de med mindre näbb effektivt kunde utnyttja fröer som var för små för den större darwinfinken. Konsekvensen blev att näbbstorleken hos mellandarwinfinken tydligt minskade från en generation till nästa. En sådan förändring som gör att konkurrensen minskar mellan arter kallas "character displacement" och anses vara en viktig mekanism för evolutionen av biodiversitet. Paret Grant kunde direkt observera denna förändring. Våra genetiska studier visade att enbart *HMG2*-genen kunde förklara häpnadsväckande 30 procent av förändringen i näbbens storlek under denna torkperiod.

En ny art?

En annan anmärkningsvärd händelse inträffade 1981 när en främmande hanne dök upp på Daphne major. Han sjöng en alldeles egen sång tydligt åtskild från de tre arter av Darwinfinkar som finns på ön: mellandarwinfink, större darwinfink och mindre kaktusfink (common cactusfinch, *Geospiza scandens*). Paret Grant antog att denna hanne var en hybrid mellan olika arter av Darwinfinkar och att han kom från en annan ö. Hannen bildade par med en mellandarwinfink. I nästa generation bildade deras avkommor par med varandra med ett undantag, en av hybridhannarna bildade par med en mellandarwinfink-hona. Från den andra hybridgenerationen och under de följande fyra generationerna skedde alla parningar inom denna utvecklingslinje (figur 3), som paret

Tips! Se en kort dokumentär om Darwinfinkarna och Peter och Rosemary Grants forskning på www.hhmi.org/biointeractive/origin-species-beak-finch. På webbsidan finns även underlag för elevuppgifter.



Figur 3. Schematisk illustration av evolutionen av Big Birds på ön Daphne Major. En hanne av arten españoladarwinfink kom till ön och parade sig med en hona av arten mellandarwinfink, som redan fanns på ön. Två av hybridungarna parade sig med varandra, medan en annan av hybridhannarna parade sig med en hona av samma art som sin mamma (mellandarwinfink). Från den andra hybridgenerationen betedde sig ungarna som en ny art och parade sig endast inom den egna populationen.

Honor representeras av cirklar och hanner av kvadrater. Dubbla linjer markerar parningar mellan släktingar. Fotografierna visar arterna mellandarwinfink och españoladarwinfink samt hybrider mellan dessa arter men föreställer inte alltid den specifika individen i släkträdet.

Grant döpte till Big Birds eftersom de var klart större än mellandarwinfink. Detta innebär att endast den främmande hannen och två honor av mellandarwinfink har bidragit till uppkomsten av Big Birds. Är detta en ny art av Darwinfinkar? Vi har valt att inte namnge dem som en ny art eftersom det är en liten grupp fåglar, och det är inte säkert att de kommer att överleva om det återigen blir svår torka. Men, just nu betar de sig som en ny art. Trots att det finns gott om individer av andra arter att para sig med så sker parbildningen inom populationen. Studien visar hur nya arter kan uppkomma genom hybridisering.

Hur kan det komma sig att en reproduktiv isolering kunde utvecklas under några få generationer? En mycket viktig faktor är att hos Darwinfinkarna lär sig söner att sjunga som sin pappa. Döttrarna präglas på pappans sång och bildar par med hanner som sjunger som pappan. Det innebär att om den främmande fågeln hade varit en hona som parat sig med en hanne av arten mellandarwinfink hade det med all säkerhet inte gett upphov till en ny linje.

Hur kommer det sig att Big Birds varit så pass framgångsrika trots deras tunna genetiska bas? En trolig förklaring är bristen på konkurrens som Darwin påpekade, och när vi jämför näbbens morfologi mellan de olika arterna på

denna ö ser vi att Big Birds har en unik morfologi (figur 3) och kan därför troligen utnyttja vissa födoresurser bättre än andra arter.

Hur har då våra DNA-studier bidragit till att belysa utvecklingen av Big Birds? För det första kunde vi visa att det efter generation två inte skett några parningar med andra arter. För det andra visade vi att den främmande hannen inte alls var någon hybrid utan en españoladarwinfink (*large cactusfinch, Geospiza conirostris*) som måste ha färdats cirka tio mil norr ut från Española där den häckar.

Källor

Lamichhane S, Berglund J, Sällman Almén M, Maqbool K, Grabherr M, Martinez-Barrio A, Promerová M, Rubin C-J, Wang C, Zamani N, Grant BR, Grant PR, Webster MT, Andersson L. 2015. Evolution of Darwin's finches and their beaks revealed by genome sequencing. *Nature* 518:371-375.

Lamichhane S, Han F, Berglund J, Wang C, Sällman Almén M, Webster MT, Grant BR, Grant PR, Andersson L. 2016. A beak size locus in Darwin's finches facilitated character displacement during a drought. *Science* 352:470-474.

Lamichhane S, Han F, Webster MT, Andersson L, Grant BR, Grant PR. 2018. Rapid hybrid speciation in Darwin's finches. *Science* 359:224-228.