

Forum

Et stort skridt fremad for fuglenes evolution

Den 1. april 2024 udkom to bemærkelsesværdige forskningsartikler om fuglenes evolution. Det var ikke aprilsnar! Det drejer sig om afslutningen af en vigtig fase inden for et forskningsprogram ('b10k', som ledes af et konsortium ved Københavns Universitet, Smithsonian Institute og Beijing Genomics Institute i Kina), som har til formål at udforske variationen i den samlede arvemasse, eller 'genomet', for alle verdens >10 000 fuglearter.

En ny stor kortlægning af slægtskabet mellem verdens fuglefamilierne er nu sket ved at analysere DNA-materiale fra 362 fuglearter, som repræsenterer de fleste fuglefamilier (der mangler dog stadigvæk gode DNA-prøver fra nogle meget sjældne arter). Projektet har engageret flere hundrede personer, som har skullet indsamle prøver i naturen, sekventere fuglenes DNA og gennemføre de omfattende analyser.

Projektets første fase med at udrede slægtskabet blandt de 48 hovedgrupper (ordener) af nulevende fugle blev publiceret allerede i 2014 og blev omtalt i DOFT 109: 3-6, 2015. Her blev det vist, at de moderne fuglegrupper opstod i meget hurtig rækkefølge efter, at Jorden for 66 mio. år siden var blevet ramt af en asteroide. Sammenstødet udløste en brandstorm, som udslættede verdens skove, og røg og støv i atmosfæren forårsagede derefter en verdensomfattende vinterkulde. Dinosaurerne (og mange andre dyregrupper) bukkede under. De få overlevende fugle havde imidlertid frit spil til at udnytte de mange ledige nicher, hvilket meget hurtigt gav ophav til flere nye udviklingslinjer, som blev til de nulevende hovedgrupper af fugle. Omstillingen til en ny tid gik stærkt, og derfor har det hidtil været svært at rekonstruere præcist, hvad der skete.

De nye afhandlinger giver nye detaljer om forløbet i hhv. en artikel i tidsskriftet *Nature* (med omfattende online materiale, som dokumenterer de forskellige grundliggende analyser) og en mindre artikel i tidsskriftet PNAS. I alt har de to artikler over 50 medforfattere, deriblandt 10 forskere fra Københavns Universitet. De har arbejdet med forskellige aspekter som at sørge for relevant DNA-materiale, finde frem til hvilke fossiler, der kan angive en minimumsalder for de forskellige udviklingslinjer og med dataanalyser. Og det har kostet hen imod 10 års grublerier og arbejde.

Hvad er der så af nyt for fuglefolket?

Det mest banebrydende for en fagnørd er uægtelig, hvordan man har kunnet håndtere de ufattelige mængder DNA-data (med 25-30 milliarder DNA-baser fra hver fugl som indgår i analysen). Og at det er lykkedes at dokumentere, hvilke dele af arvemassen, der giver det bedste billede af afstamningen, og hvad der skaber 'støj' i analyserne.

For gennemsnits-DOFeren er nok mere interessant at få at vide, at vi ikke behøver bekymre os for, at fuglesystematikken endnu en gang skal skrives om. Det nye stamtræ understøtter generelt, hvad vi har vidst gennem de seneste 10 år. Der var ikke så meget nyt, og det er jo egentlig 'godt nyt' at få sine antagelser bekræftet. Men indimellem var der også små overraskelser. Enten nye detaljer, eller afsløring af hvad der gik galt i tidligere analyser. Et stort antal fossiler, anvendt som kalibreringspunkter, har givet et ret præcist (og realistisk) billede af kronologien i fuglenes udvikling, og hvornår de enkelte fuglefamilier opstod.

De palæognate (eller strudselignende) fugle repræsenterer en udviklingslinje, der har overlevet i 100 mio. år, men gigantisme og tabt flyveevne opstod først i nyere tid, det vil sige efter det famøse asteroidenedslag. Der er dog stadigvæk problemer med at placere de sydamerikanske nanduer, fordi deres DNA har en afvigende sammensætning.

En anden udviklingslinje, der har overlevet fra sent i kridttiden, er ande- og hønsefuglene. Men alle de øvrige moderne fugle (gruppen Neoaves) kan føres tilbage til en enkelt stamform, der overlevede asteroidenedslaget. Og deres opsplitning i ordener foregik indenfor kun 5-6 mio. år. Det er stort set kun inden for dette korte tidsrum, at der har været problemer med at udrede slægtskabsforholdene. Det har også været en periode med meget voldsomme ændringer af Jordens økosystemer.

Palæoøkologerne kan fortælle, at vegetationen på

landjorden i tiden umiddelbart efter miljökatastrofen var stærkt domineret af bregner og mos. Ny skov, som spirede frem fra frø i jorden og fra overlevende trærodder, kunne kun gradvist sprede sig. Fuglene har derfor især skullet overleve langs kysterne, i søer og moser og i åbne landskaber. Den ældste udviklingsgren inden for Neoaves er gruppen *Mirandornithes*, som omfatter flamingoer og lappedykkere. Deres fælles stamform må have udnyttet mylderet af små krebsdyr og vandinsekter i kystlaguner og lavvandede søer. Men duerne (og sandhøns og droselriksere, som i undersøgelsen fra 2014 blev placeret som søstergruppe til *Mirandornithes*) har nu vist sig at være nærmere i slægt med gruppen af trapper, turakoer og gøge. Fossilfund tyder på, at de ældste turakoer var jordlevende.

En omdefineret hovedgruppe?

Allerede indenfor de første par millioner år efter miljökatastrofen kan vi se en udspaltning af forskellige typer af vandfugle. Det drejer sig om trane- og riksefugle (ordenen *Gruiformes*), vade-mågefugle (*Charadriiformes*) og det store kompleks af rigtige hav- og vandfugle (*Aequornithes*, med lommer, stormfugle, pingviner, pelikanfugle, storke og hejrer). Tæt på *Aequornithes*-gruppen finder vi *Solrikse*, *Kagu* og tropikfugle. *Hoazinen* er stadigvæk svær at placere, men står formentlig tæt på den fælles stamform for *Gruiformes/Charadriiformes*.

Dette er stort set i overensstemmelse med, hvad vi har regnet med siden 2014. Men så kom den overraskende erkendelse, at natravne og deres slægtninge (en udviklingslinje, som nu går under betegnelsen *Strisores*, og som altid har været svær at placere) hører hjemme inden for komplekset af vandfugle. Måske skal vi tænke os, at disse fugle, som skaffer deres føde i flugten, opstod som en særlig specialisering blandt fuglene i de åbne landskaber rundt om vådområderne. Måske har en af disse arter valgt at specialisere sig i skumringsjagt efter flyvende natsværmere fremfor at skulle spæne rundt efter jordlevende insekter. I alle tilfælde må specialiseringen i at skaffe sig føde i luften være foregået ret hurtig, for allerede fra 50 mio. år siden foreligger der en stor diversitet af fossiler af forskellige natravnelignende fugle. Indenfor natravnegruppen gav den udviklingslinje, som vi kalder *uglenatravne*, ophav til sejlere og kolibrier, som repræsenterer yderligere specialisering.

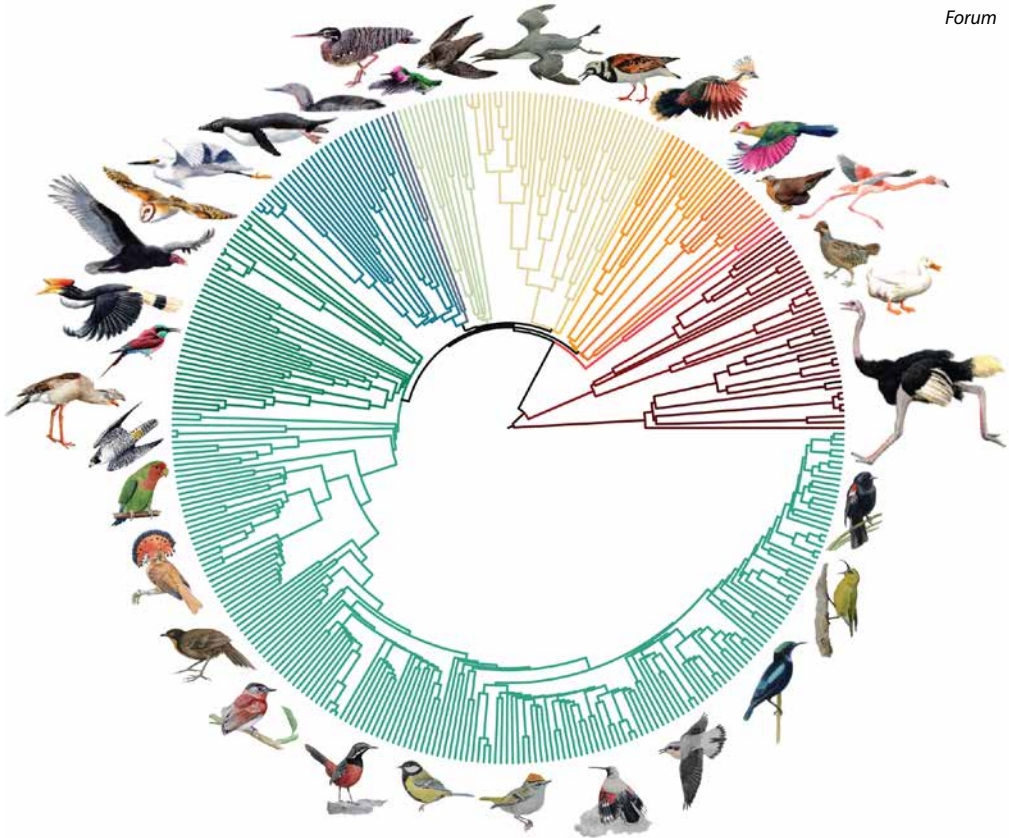
Erkendelsen af en ny hovedgruppe, som udover diverse vand- og kystfugle også omfatter gruppen af natravne, sejlere og kolibrier, har inspireret til et nyt gruppenavn, *Elementaves*. Det refererer til Aristoteles' opfattelse af, at alt i verden kunne forstås som kombinationer af 'de fire elementer' ild, vand, luft og jord. Det er måske en lidt søgt begrundelse, idet 'ilden' repræsenteres i 'Helios' og 'Phaeton' (dvs. græske betegnelser for Solen), som indgår i *Solriksens* og tropikfuglenes videnskabelige navne.

Landfuglene?

Hvis man er forvirret, kan jeg nu fortsætte med den glædelige nyhed, at der ingen væsentlige ændringer er i klassifikationen af de egentlige landfugle (*Telluraves*), dvs. det store antal rovfugle, skrigefugle, spætter, papegøjer og spurvefugle. Her er alt ved det gamle. Det vil sige som beskrevet i DOFT 109: 3-6, 2015, blot med flere detaljer og med ret præcise angivelser af kronologien i udviklingen. Vi har også en overordnet biogeografisk forklaring, som passer med en antagelse om at alle de moderne fuglegrupper havde deres oprindelse i Sydamerika (og eventuelt *Vestantarktis* som jo dengang var isfrit og varmt), men tidligt spredte sig over Atlanterhavet til Afrika eller Europa. Sangfuglene (*Oscines*, dvs. spurvefugle, der kan modulere deres stemmer til sang) kom via Antarktis til Australien, hvorfra de langt senere spredte sig til Eurasien og videre over Beringstrædet til Den Nye Verden. Her er heller ikke noget nyt, så vi kan efterhånden tro på, at vi nu har en god forståelse af de moderne fuglegruppers oprindelse og globale spredningshistorie. Gruppen *Australaves* (*seriemaer*, falke, papegøjer og spurvefugle) havde deres tidlige udvikling i syd, mens de øvrige landfugle (gruppen *Afroaves*) især udviklede sig i Afrika.

Grus i maskineriet

Problemer med at forstå de moderne fugles evolution begrænser sig til usikkerheder om præcist, hvad der skete inden for de første 4-5 mio. år efter det famøse asteroidenedslag. Her har analysen af de enorme mængder DNA-data kunnet afsløre, at der må have været nogle tilfælde af hybridisering, altså krydsninger mellem forskellige lokale bestande med noget forskellige tilpasninger. Fx er der godt belæg for at påstå, at der forekom hybridisering og blanding



Stamtræets forgreninger genspejler tiden siden den fælles stamform for 100 mio. år siden (centrum i cirklen, hvor nutiden er omkredsen) og viser, hvordan hovedgrupperne af nulevende fugle blev udspaltet indenfor meget kort tid for omkring 65 mio. år siden.

af arveanlæg mellem stamformene for høge og ugler. Der blev påvist nogle tilfælde af konvergens i de kodende gener, som gav nogle forvirrende signaler vedrørende slægtskabet mellem grupperne, og det kunne vises, at en del af kromosom nr. 4 udviklede sig på en afvigende måde i nogle millioner år, og derfor gav forvirrende signaler i analyserne.

Fuglenes 'lilleputisering'

Når man (eller computeren) regner sig frem til det mest sandsynlige stamtræ, får vi også en god fornemmelse for stamformernes morfologiske træk, og hvordan og hvor de levede. En interessant detalje i *Nature*-artiklen er, at de fugle, der overlevede katastrofen for 66 mio. år siden, overvejende var meget store. Måske især hav- og kystfugle. Men det ser ud til, at de efterfølgende forgreninger på stamtræet medførte et meget brat fald i kropsstørrelse. Måske har små fugle bedre kunnet overleve i de nye landskaber.

Efterhånden som økosystemerne blev fyldt op med nye fuglegrupper, er fuglene blevet stadig mindre. Især inden for de seneste 20-30 mio. år er nye arter især opstået indenfor grupper af helt små fugle. Egentlig burde et koldere klima (med gentagne istidsperioder) selekttere for øget kropsstørrelse. Men tendensen er altså det omvendte af, hvad vi skulle forvente. Samtidig bliver fuglenes hjerner relativt større. Det kunne tyde på, at konkurrence om føden er en vigtig faktor. Det drejer sig om at klare sig med små føderessourcer, og om at være smart til at udnytte de muligheder, der er.

Jon Fjeldså

Mirarab, S., I. Rivas-González, S. Feng, J. Stiller ... & E.L. Braun 2024: A region of suppressed recombination misleads neoavian phylogenomics. – PNAS 121: e2319506121

Stiller, J., S. Feng, A.-A. Chowdhury, I. Rivas-González ... & G. Zhang 2024: Complexity of avian evolution revealed by family-level genomes. – Nature doi: 10.1038/s41586-024-07323-1