

Evolution og populationsgenetik

Fund af fossiler – altså knoglerester, tænder, aftryk eller forsteninger af uddøde organismer har altid fascineret mennesket, se figur 74. I 1700-tallets oplysningstid hvor man for alvor begyndte at udforske verden, blev fossilerne det konkrete bevis på at levende organismer har set anderledes ud tidligere og derfor må have udviklet sig. Det gav grobund for udvikling af bl.a. Lamarcks og senere Darwins hypoteser om evolution, der begge var idéer om hvordan arternes udvikling har fundet sted. Lamarcks hypotese der er fra begyndelsen af 1800-tallet, forklarede den enkelte arts udvikling ud fra den bibelske antagelse om at Gud havde skabt arterne i deres oprindelige form. Darwins hypotese der er fra midten af 1800-tallet, forklarede arternes udvikling ud fra en antagelse om en oprindelig fælles stamform for alt liv, og det stemmer ikke overens med den bibelske skabelsesberetning. Darwins hypoteser er i løbet af 1900-tallet blevet tilpasset nye videnskabelige erkendelser idet bl.a. Mendels arbejde med ærter blev opdaget og har givet forståelse for, hvordan arv foregår. Darwins hypoteser er i dag – i en udgave som man kalder neodarwinisme – den teori der udgør grundlaget for al forskning der vedrører levende organismer. Det betyder dog langt fra at man i dag ved præcis hvordan evolution og artsdannelse foregår. Man anser det for at være meget dynamiske processer der udfolder sig i et samspil mellem arternes genetiske grundlag og det miljø de til enhver tid befinder sig i. Populationsgenetikken der er

en gren af biologien som undersøger den genetiske variation inden for og mellem grupper af individer, kan hjælpe med at forstå de mekanismer som gør evolution mulig. Dette kapitel vil derfor omhandle både evolution og populationsgenetik.

Lamarcks forklaring af evolution

Lamarcks idéer om evolution blev formuleret i 1809. Jean-Baptiste Lamarck der var franskmand, arbejdede på det tidspunkt som zoolog, og han gjorde sig derfor først og fremmest tanker om dyrs evolution. Han tænkte at hvis et dyrs miljø ændres, så får dyret behov for selv at ændres. Dette behov for ændring definerede Lamarck som en 'indre følelse' hos dyret der får det til at ændre vaner og derved udvikles for at tilpasse sig de nye omgivelser.

Mere konkret forestillede Lamarck sig at:

1. Når et dyrs organ bliver brugt mere og mere, udvikles det og bliver større. Organer som ikke bruges, svækkes langsomt, bliver mindre eller forsvinder helt.
2. De egenskaber et dyr har erhvervet sig i løbet af livet, kan nedarves til afkommet.

Lamarck mente altså at nye arter er blevet udviklet gennem mange generationer hvor bestemte træk ved brug eller ikke-brug blev udviklet eller formindsket.

Lamarckistisk tankegang

En lamarckistisk forklaring på hvorfor fx giraffer gennem evolution har udviklet sig fra en forfar med kort hals til den nulevende giraf med en lang hals vil være følgende: Giraffer lever i naturområder hvor jorden i længere perioder er afsvedet og vegetationsløs. De er derfor tvunget til at strække halsen opad for at kunne æde af træernes løv. Hvis denne vane med at strække halsen opad bliver vedligeholdt i lange tidsrum af alle artens individer, resulterer det på grund af den 'indre følelse' i at forbenene bliver længere end bagbenene og at halsen bliver længere og længere. Disse erhvervede egenskaber nedarves til næste generation og kan derved udvikles videre.

Kan Lamarcks hypoteser være en acceptabel forklaring på hvordan evolution foregår set i lyset af vores nuværende viden? Det er jo rigtigt nok at organer der bliver brugt mere og mere, udvikles og

bliver større. Vi kender alle eksempler på sportsfolk hvis muskler bliver større ved træning. Men at de egenskaber der erhverves, fx en vægtløfters store muskler, kan nedarves, det stemmer meget dårligt overens med vores nuværende viden om at nedarvning sker gennem kønscellerne, se figur 75.

Lamarck tog altså fejl, men han havde heller ikke de samme forudsætninger som man har i dag for at forstå nedarvning. Hans måde at tænke på er dog almenmenneskelig. Mennesker har gerne et formål med det de gør, hvilket skyldes vores veludviklede hjerne der bl.a. gør os i stand til at planlægge og forudsige konsekvenser af vores handlinger. Den egenskab er det nærliggende også at tillægge andre væsner. Denne formålsorienterede tankegang der for Lamarcks vedkommende også bundede i en bogstavelig tro på Biblens ord, forhindrede ham i at overveje om evolutionen kunne bygge på mere tilfældige principper end hans foreslåede formålsbestemte 'indre følelse'. Men som barn af oplysningstiden var han en af de første til at bringe konkrete tanker om evolution på banen.

Figur 75. Far og søn viser muskler. Størrelsen af overarmsmuskler er et resultat af samspillet mellem arv og miljø.



Darwins forklaring af evolution

Tænkte man anderledes på Charles Darwins tid? På mange måder tænkte Darwin faktisk som Lamarck. Darwin troede fx også at erhvervede egenskaber kunne nedarves. Men på de 50 år der gik, fra Lamarck formulerede sine hypoteser og til Darwin formulerede sine, havde man gjort mange nye opdagelser vedrørende jordklodens sammensætning og alder som påvirkede Darwin. Selv foretog han en rejse på den sydlige halvkugle der tog fem år. Her indsamlede han planter og dyr og fandt fossiler, særligt i Syd-

amerika og på Galapagosøerne. På Galapagosøerne der er en vulkansk øgruppe som ligger 1.000 km vest for Sydamerikas kyst, konstaterede han at mange af de levende organismer der tilsyneladende tilhørte samme art, varierede fra ø til ø. Det fik ham til at antage at arterne gradvist ændrede sig.

For at finde argumenter for denne antagelse og evt. finde mekanismen bag de gradvise ændringer, studerede han forædlingsarbejde på afgrøder og husdyr da han igen kom hjem til England. Det første han bemærkede, var at forædlede planter og dyr udviste langt større variation og flere usædvanlige afvigelser end man normalt ville se i naturen. Fx så han på variationen mellem forædlede fåreracer, se figur 76. Darwin prøvede selv at undersøge hvad der skete med variationen når han lod forskellige aparte racer og farvevarianter af duer parre sig tilfældigt, se figur 77. Ved at følge krydsningerne gennem flere duegenerationer, så Darwin at nogle af de varianter som dueavlerne havde frembragt, forsvandt igen. De specielle varianter af duer blev altså opretholdt fordi avlerne udvalgte bestemte egenskaber.

Udvælgelse eller selektion af bestemte variationer måtte altså være den mekanisme der udviklede en art. I naturen måtte de variationer der over tid blev bevaret, være dem der gav arten den bedste overlevelse.

Men hvilke mekanismer kunne i naturen medvirke til at udvælge nogle individer frem for andre? En inspirationskilde for Darwin til at forstå dette var den britiske præst og nationaløkonom Thomas Malthus. Malthus hævdede at befolkningstallet vil stige langt hurtigere end fødevarereproduktionen kan følge med, og at der derfor på et tidspunkt vil blive kamp



Figur 76. Forskellige fåreracer på planche fra 1836. Som man kan se, er der stor forskel på racerne både med hensyn til farve, størrelse og uld.

Figur 77. Forskellige raceduer på planche fra slutningen af 1800-tallet.



om føden, og sult, elendighed og død vil følge. Det var sandsynligvis ganske udtalt i 1800-tallets England. Disse observationer fik Darwin til at antage at der også i naturen må foregå en kamp for at overleve. Darwin arbejdede i mere end tyve år med sine ideer før han offentliggjorde dem. Det viste sig at der samtidig var en anden naturhistoriker, Alfred Wallace, som arbejdede med nogle tilsvarende ideer. Både Darwins og Wallaces ideer blev præsenteret samtidigt i et selskab for biologer 'The Linnaean Society' i London i 1858. Men det er Darwin som er blevet den berømte af de to, fordi han skyndte sig efterfølgende at få offentliggjort sine ideer. Det skete i 1859 da han udgav sit hovedværk 'On the Origin of Species by Means of Natural Selection' på dansk 'Arternes oprindelse'. Det var en række antagelser om arternes udvikling gennem naturlig selektion. De lød således:

1. Organismer producerer langt mere afkom end det antal der opnår kønsmoden alder.
2. Individene er forskellige, og forskellene er arvelige.
3. De ydre omstændigheder (miljøet) er bestemmende for hvor godt en variant klarer sig.
4. De varianter der klarer sig bedst, har størst sandsynlighed for at overleve og forplante sig, og der vil ske en udvælgelse blandt individerne (naturlig selektion).
5. Udvælgelsen gør at artens egenskaber vil ændre sig fra generation til generation, og med tiden kan der opstå så store forskelle at en ny art udvikles fra den gamle art.

Darwins hypoteser om arternes evolution bygger altså på et princip om at miljøet,

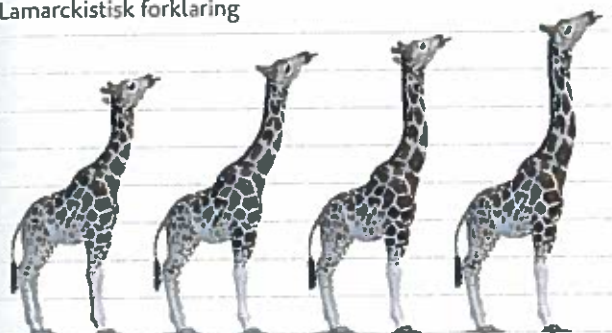
betegnet som de 'ydre omstændigheder' er bestemmende for hvilke variationer der udvælges eller selekteres. I modsætning til Lamarcks idéer der var antagelser om den enkelte arts evolution drevet af en 'indre følelse', er Darwins antagelser, der i dag er kendt som 'Darwins evolutionsteori', en forklaring på hvordan alle arter kan være udviklet fra en oprindelig fælles stamform.

Hvorfor er disse antagelser, i modsætning til Lamarcks idéer om evolution, blevet en accepteret forklaring på hvordan arternes evolution foregår? Ved at se på det med nutidige øjne, kan man finde et sandsynligt svar.

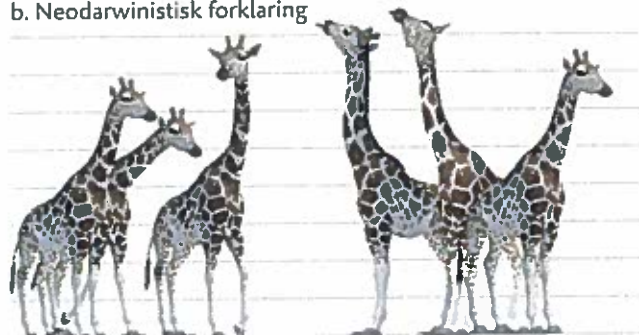
Neodarwinisme

Ifølge Darwin er selektion altså bestemmende for den retning evolutionen tager, hvad enten den er kunstig – som hos forædlede dyr og planter – eller naturlig. Darwin siger endvidere at forudsætningen for evolutionen er den arvelige variation der findes blandt en arts individer. Da Darwin ikke kendte til kromosomer, gener og DNA, vidste han ikke hvordan arvelig variation opstod. Han gættede på, måske inspireret af Lamarck, at de arvelige variationer der fandtes inden for en art, blev erhvervet som følge af forhold i miljøet. På det punkt tog han fejl. I dag ved man at arvelig variation både inden for og mellem arter opstår på grund af mindre eller større mutationer i DNA-molekylerne. Disse mutationer gør at gener findes i flere udgaver, såkaldte alleller, og at kromosomtallet og -strukturer kan variere. Man kan altså anerkende eksistensen af arvelig variation selv på DNA-niveau, og i dag kaldes den for *genetisk variation*. Derudover ved man at kønnet formering som findes hos de fleste dyr og planter, medvirker til at

a. Lamarckistisk forklaring



b. Neodarwinistisk forklaring



forøge den genetiske variation yderligere. Det skyldes at der i meiosen, på grund af overkrydsning og tilfældig kombination af forældrenes kromosomer, dannes genetisk forskellige kønsceller.

Med nutidige ord kan man altså sige følgende: Evolution skyldes mutationer, der opstår hos de enkelte individer og som skaber genetisk variation inden for arten. De bedst tilpassede varianter selekteres på grund af forhold i miljøet og mutationerne opsummeres hos artens individer over tid. Denne udlægning af Darwins evolutionsteori kaldes neodarwinisme. En neodarwinistisk forklaring på giraffens lange hals er sammenlignet med en lamarckistisk forklaring på figur 78. I følge en lamarckistisk forklaring vil en forfar med kort hals strække sig vedvarende for at få blade højere oppe i træerne. Halsen bliver gradvist længere, og efterkommere med lang hals udvikles efter mange generationer. Ifølge en neodarwinistisk forklaring vil en gruppe af forfædre variere i halslængde. Naturlig selektion favoriserer lang hals. En større andel af næste generation har arvet den fordelagtige egenskab lang hals. Efter mange generationer varierer gruppen af giraffer stadig, men har generelt en længere hals.

Populationer og arter

Som regel lever individer tilhørende en art i mere eller mindre geografisk adskilte grupper, såkaldte *populationer*. Udvikling af en ny art forudsætter at en population på et tidspunkt bliver så genetisk forskellig fra andre populationer at de to populationers individer ikke længere kan formere sig med hinanden og få fertilt afkom. Det er heste og æsler et velkendt eksempel på. En hestehoppe og en æselhingst kan godt parre sig med hinanden og få afkom – et mulddyr. Men da mulddyret som regel er sterilt, er heste og æsler så tilpas genetisk forskellige at de tilhører hver sin art, og mulddyret er ikke nogen selvstændig art, men en krydsning 'opfundet' af mennesket. Man kender en del andre eksempler på krydsninger mellem to nærtbeslægtede arter som skaber nye sterile hybrider. Fx har man også krydset både heste, ponyer og æsler med zebraer, og man har lavet krydsninger mellem løver og tigre. Figur 79 viser en såkaldt zony, en krydsning mellem en ponyhoppe og en zebrahingst.

Figur 78. Sammenligning af Lamarcks og Darwins forklaring af giraffens lange hals.



Figur 79. En zony der står foran sin zebra-far i et sydafrikansk naturreservat.

Populationsgenetik

Hvordan kan man undersøge om der sker evolution inden for en art, så den med tiden kan udvikle sig til to nye arter? Her er populationsgenetikken et godt værktøj. I en hvilken som helst population har hvert individ sin helt unikke sammensætning af gener som sammen med gener fra de øvrige individer udgør populationens *genpulje*. Når individerne formerer sig, kan disse gener kombineres på forskellig vis, og det er blandt disse gener at den selektion der skal gøre evolution mulig, finder sted.

Populationer er dynamiske. De vokser eller mindskes i antallet af individer på grund af fødsler, død og migration til og fra andre populationer. Det vil også være forskelligt hvor meget afkom det enkelte individ i en population får, og det må få indflydelse på sammensætningen af alleller og genotyper i de følgende generationer i populationen. Det kalder man mikroevolution. Med tiden og under særlige omstændigheder, vil mikroevolution kunne føre til dannelse af nye arter – altså en egentlig evolution.

Hardy-Weinberg-loven

Hardy og Weinberg, der var henholdsvis en britisk matematiker og en tysk læge, opstillede i begyndelsen af 1900-tallet en simpel matematisk model der beskriver sammenhængen mellem *allelfrekvens* og *genotypefrekvens* i en population. Frekvens er den andel en allel eller genotype udgør af populationen. Modellen kaldes i dag *Hardy-Weinberg-loven*. Modellen beskriver hvad der sker med alleller og genotyper i en 'ideal' population. Den forudsætter følgende:

- Populationen er uendelig stor.
- Individerne parrer sig tilfældigt.
- Der sker ingen migration, mutation eller selektion.

Under disse forudsætninger antager man at følgende gælder:

1. Genpuljens allelfrekvens ændrer sig ikke over tid.
2. Frekvenserne af genotyperne AA, Aa og aa kan beregnes som
$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$
hvor p er frekvensen af A og q er frekvensen af a.

En population som opfylder disse kriterier, siges at være i Hardy-Weinberg ligevægt.

Det sker imidlertid meget sjældent at en population over længere tid opfører sig i overensstemmelse med Hardy-Weinberg-loven. Men ved at beregne allelfrekvenser og genotypefrekvenser og undersøge om de ændrer sig fra generation til generation, kan man få indblik i hvor meget genetisk variation der findes i en population, og om genotyperne er tilfældigt fordelt i populationen i tid og rum. Man kan også få indtryk af om der er nogle faktorer som påvirker populationens genpulje, så der sker selektion af bestemte alleller eller genotyper. Afvigelse fra lovmæssigheden udtrykker således at populationens genpulje ændrer sig, hvilket er en forudsætning for at der kan ske en evolution.

Beregning af allelfrekvens og genotypefrekvens

Lad os tage et regneeksempel. Vi undersøger et enkelt autosomalt locus med to alleller, A og a, i en population. Vi antager at frekvensen for A er 0,7, og frekvensen for a