

SAMMANFATTNING. Evo-devo-teorin bygger på att de gener som styr hur levande varelser utvecklas från ett ägg till en vuxen individ påverkar varandra på en mängd olika nivåer. Vissa gener startar eller stänger av andra gener som i sin tur startar eller stänger av ytterligare andra. På det sättet bildar generna nätverk där en liten förändring, speciellt "centralt" i nätverket kan få stora återverkningar längre "ut". Mutationer som sker tidigt under äggets utveckling påverkar "centralt belägna" gener och får störst påverkan på embryonas och de vuxna djurens utseende och funktion, och därför tror företrädarna för hypotesen att sådana kan förklara hur de stora huvudgrupperna av levande varelser en gång uppstod.

Det finns gott om observationer av effekterna av tidiga mutationer. Men även om dessa många gånger är påtagliga, så är de av fel slag: de påverkar överlevningsförmågan – fitnessen – i negativ riktning. De muterade organismerna skulle aldrig överleva konkurrensen i en naturlig livsmiljö.

Efter över hundra år av genetisk forskning där organismer utsatts för olika slag av mutationer går det idag att sammanfatta effekterna: Omfattande förändringar är inte livskraftiga; livskraftiga förändringar är inte omfattande.

Evo-devo visar hur genetisk information kan styras om i levande varelser och påverka dem på olika sätt, men förklarar inte hur information uppstår. Det var just det som teorin hade behövt förklara, vilket den alltså inte gör.

Evo-devo

Evo-devo är en kombination och förkortning av de båda engelska uttrycken "evolutionary biology" och "developmental biology". Det är alltså två olika utvecklingskoncept som har förenats till ett enda.

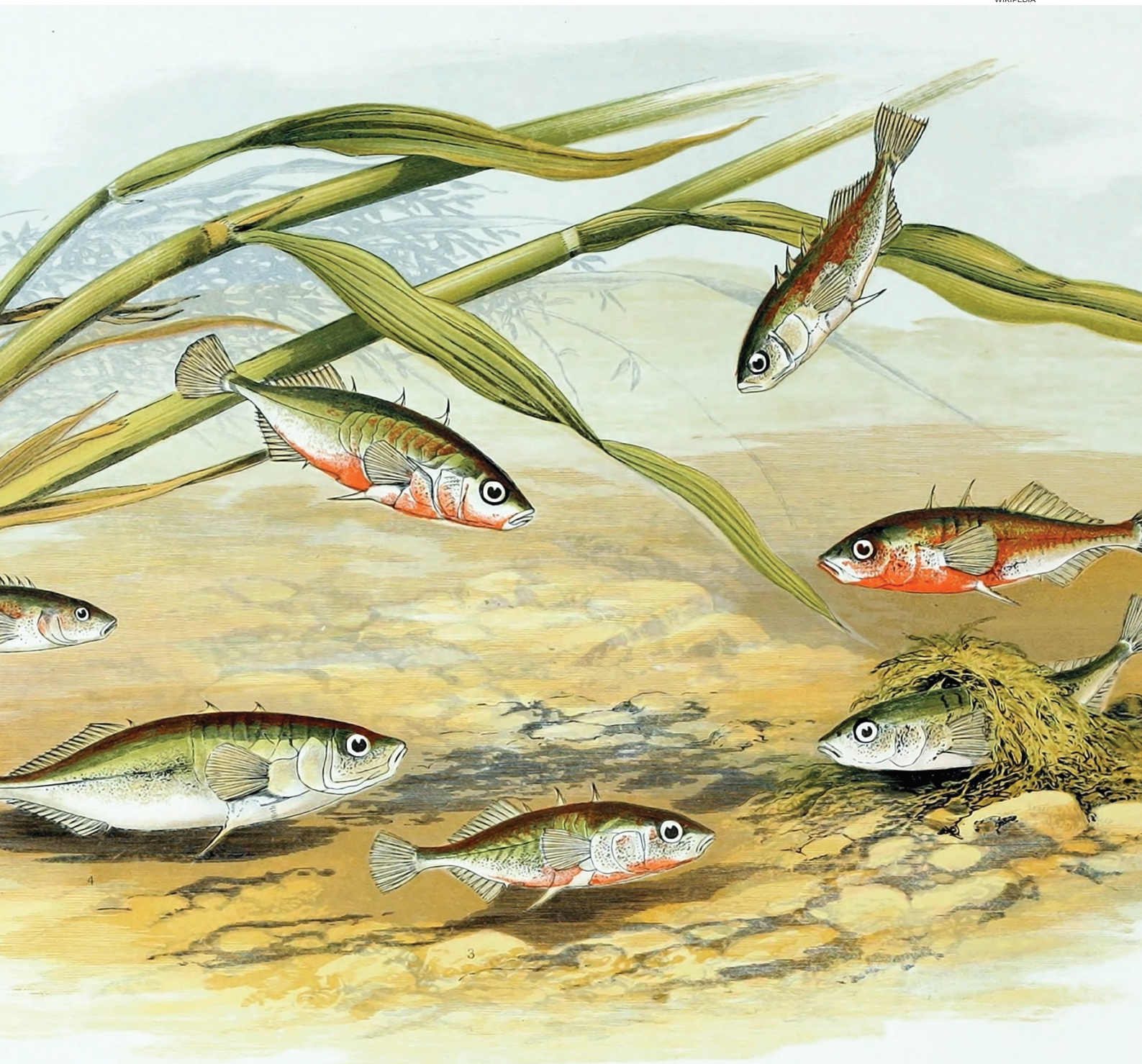
HISTORIK

Redan i början av 1970-talet börjande forskare, både paleontologer (fossilforskare) och utvecklingsbiologer (med äggets utveckling till vuxen individ som specialområde) hysa tvivel på neodarwinismen. Paleontologerna därför att fossilagren inte uppvisade de gradvisa övergångar mellan livsformerna som teorin förutspådde, och utvecklingsbiologerna för att de ansåg att populationsgenetiken bara diskuterade hur gener fördelas i populationer (i form av så kallade genfrekvenser) men inte hur de uppstår i första rummet.

1996 konstaterade utvecklingsbiologen Rudolf Raff i sin bok *The Shape of Life* vad man länge känt till, att om en mutation ska kunna påverka den grundläggande byggnadsplanen hos ett embryo så måste den inträffa på ett mycket tidigt stadium i dess utveckling. Snart upptäckte man också att embryonalutvecklingen hos så olika organismer som snäckor, insekter, fiskar och människor kontrolleras av snarlika gener. Eftersom det naturligtvis går att jämföra generna sinsemellan och illustrera skillnaderna i form av tänkta evolutionsträd så föll det sig naturligt att tankar från evolutionsbiologin och utvecklingsbiologin (engelska "developmental biology") förenades. Resultatet kallas idag evo-devo.

EVO-DEVO IDAG

Två andra forskare, Sean B. Carroll och Jeffrey Schwartz, satte speciellt stort hopp till så kallade Hox-gener, en sorts regulatoriska gener som fungerar som strömbrytare och som påverkar när, hur och var någonstans som andra gener ska uttryckas under embryonalutvecklingen.



Storspigg (*Gasterosteus aculeatus*) – exempel på evo-devo-förändring?

WIKIMEDIA



Groda med extra ben. Mutationer tidigt i äggets utveckling förändrar generna och kan påverka det vuxna djuret kraftigt. Därför tror företrädare för evo-devo att sådana mutationer kan förklara hur olika typer av organismer kunde uppstå.

Ett exempel på en evo-devo-rapport¹ som ofta citerats och fått stor spridning, bland annat på grund av de iögonfallande illustrationerna, beskriver en sorts mutation i en så kallad "cis-regulatorisk" region i arvsmassan hos bevingade insekter. Hos bananflugor har det visat sig att en mutation i sådana här "cis-regulatoriska element" (CRE) kan leda till att vingarna får en svart pigmentfläck. Illustrationen med ett antal olika vingmönster är emellertid inte ett resultat av någon observerad mutation. I stället antar man att samma sorts mutationer skulle kunna leda till den sortens variation i vingteckningar som visas på bilderna. Det är fullt möjligt att det ligger till på det viset.

Ett annat välkänt exempel handlar om en art av den lilla silverglänsande, taggiga fisken storspigg (*Gasterosteus aculeatus*) som är vanlig längs de svenska kusterna. Fisken klarar att leva i både sött och salt vatten. I saltvatten är taggarna långa och vassa medan de ibland kan saknas helt hos sötvattensle-

vande individer och populationer. Det är ändamålsenligt eftersom det inte finns så många predatorer (rovdjur) i sötvattensmiljön. I havet, däremot, är utspärrade taggar effektivt för att få predatorerna att låta spiggarna vara ifred. I USA har man observerat att saltvattensvarianter av storspiggen som blir instängda i en sötvattensmiljö med tiden kan förlora det mesta av sitt pansar och sina taggar på grund av en mutation i en CRE. Det är en ganska påtaglig effekt på anatomin av en tämligen obetydlig DNA-förändring.

En annan typ av regulatoriska gener kallas *Hox-gener*. De fungerar ungefär som strömbrytare så att när en viss Hox-gen är "påslagen" så kommer en mängd andra gener också att vara det, och vice versa. Hox-gener kan sägas befinna sig "uppströms" i genernas informationsflöde och påverkar vad som sker längre "ner". Mutationer i så kallade Hox-gener kan därför åstadkomma ganska spektakulära förändringar som till exempel bananflugor med ben på huvudet där antennerna brukar



sitta, eller andra med fyra vingar i stället för normalt två. Enligt Schwartz kan den här sortens mutationer vara förklaringen till att nya livsformer uppträder så plötsligt och till synes utan evolutionära föregångare i fossilen.

PERSPEKTIV PÅ EVO-DEVO

Det finns en mycket omfattande dokumentation av vilka effekter som mutationer, inklusive mycket tidiga sådana, har på levande organismer. Evidensen visar mycket riktigt att ju tidigare mutationer sker i embryots utveckling desto mer dramatiska blir dess konsekvenser. Men enligt framlidne utvecklingsbiologen Eric Davidson leder det antingen till "katastrofiska förluster av kroppsdelar eller livet självt".² Sker den senare i utvecklingen händer antingen ingenting, eller så blir förändringarna så blygsamma att de inte påverkar djurets byggnadsplan utan bara leder till smärre utseendemässiga variationer.

Detta gäller även för de båda nämnda mutationer-

na i CRE. Vi måste ställa oss frågan ifall mönstret på en insektsvinge innebär en genomgripande förändring i insektens byggnadsplan eller om det handlar om en kosmetisk sådan? Man kan också fundera på om storspiggens förlust av en försvarsmekanism är ett bra exempel på evolution av nya strukturer och funktioner?

I fallet med Hox-mutationernas dramatiska effekter är situationen snarlik: mutanten med ben i stället för antenner har nedsatt fortplantningsförmåga och överlever inte i det fria. I varianten med fyra vingar har två så kallade *halterer*, balansorgan, ersatts av vingar, men dessa saknar anslutning till flygmuskler. Mutanten kan därmed inte flyga alls och skulle snabbt selekteras bort i en naturlig miljö. Det finns tre skäl till att mutationer i Hox-gener inte är till någon evolutionär nytta:

1. Eftersom Hox-gener påverkar hur så många andra gener uttrycks blir skadeverkningarna extra stora för den drabbade individen.
2. Oavsett i vilken organism de finns så aktiveras Hox-generna så pass sent i embryots utveckling att djurets övergripande byggnadsplan redan har hunnit grundläggas och kommit en bra bit på väg. De kan alltså inte förklara grundläggande skillnader som mellan koraller och sjöstjärnor eller fiskar och groddjur.
3. Om nya strukturer ska kunna uppkomma måste det tillverkas nya proteiner för det, men den informationen finns inte i Hox-generna. Dessa kodar bara för ett protein som tjänstgör som strömbrytare och som i sin tur reglerar gener som kodar för olika slag av proteiner som bygger strukturer.

Evo-devo beskriver sätt som regleringen av biologisk information kan förändras på, men inte hur den uppstod i första rummet. Teorin förklarar därmed vissa saker, men inte de som den skulle behöva förklara för att göra evolutionen mer trovärdig. Den kan liknas med att blanda och kupera en kortlek, vilket underlättar när man ska spela kort, men som inte förklarar hur kortleken blev till, vilket ju var meningen.

NOTER

1. Prud'homme, Gompel, Carroll, "Emerging Principles of Regulatory Evolution", artikeln finns tillgänglig på <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/ppmc/articles/PMC1876436/> (kortare: krymp.nu/25J). Titta på bilderna där och bedöm själv hur pass omfattande de förmodade mutationernas effekter är.
2. Davidson, E.H., Evolutionary bioscience as regulatory systems biology, *Dev. Biol.* **357**:35-40, 2011 | doi:10.1016/j.ydbio.2011.02.004. (kortare: krymp.nu/27J)