



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

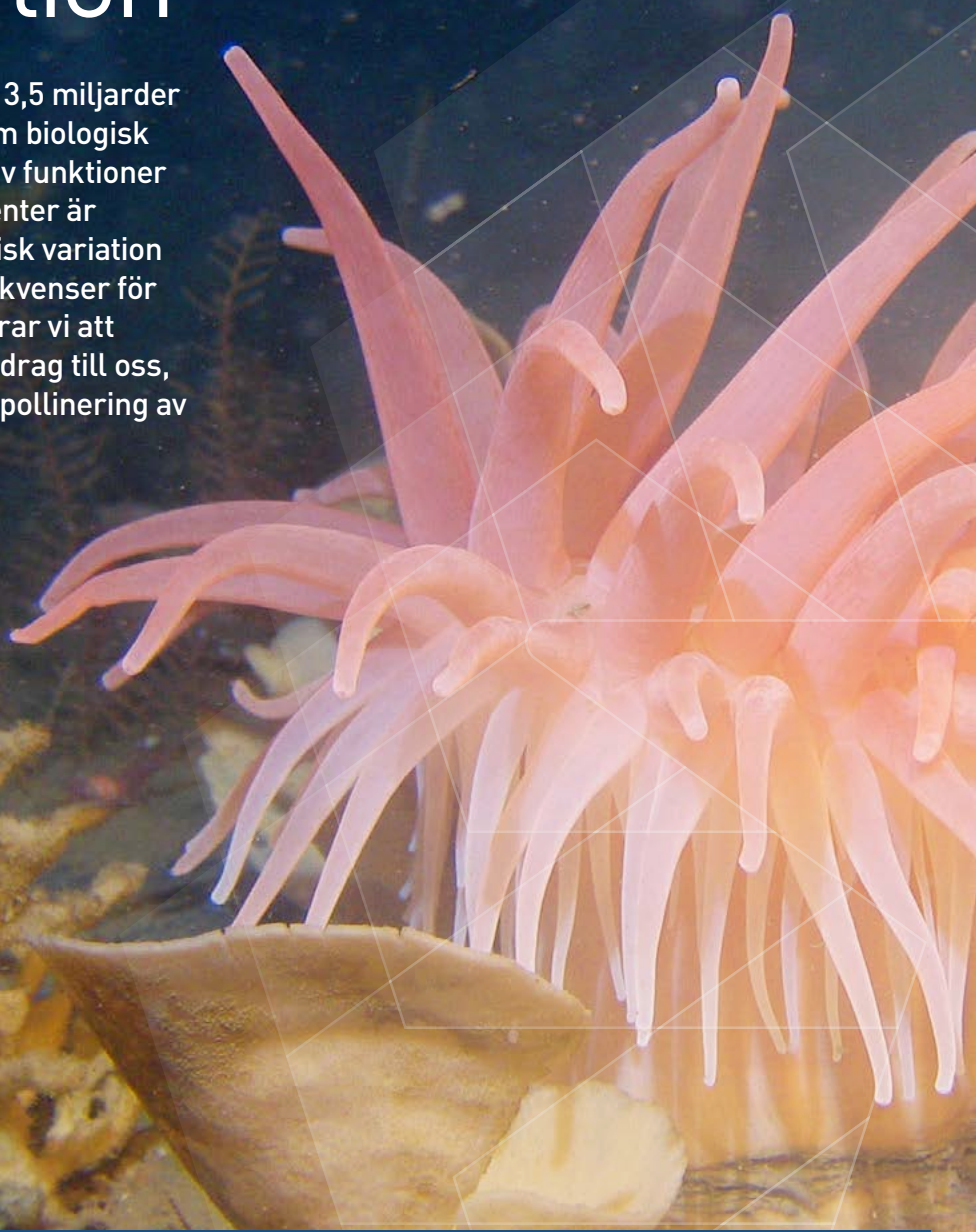
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 4 ★ MAJ 2023

– om biologisk mångfald och evolution

Från de första primitiva cellerna för 3,5 miljarder år sedan har det utvecklats en enorm biologisk mångfald – av gener och arter, och av funktioner och ekosystem. Alla dessa komponenter är sammanflätade. Om vi tappar genetisk variation och arter kan det få allvarliga konsekvenser för hur ekosystemen fungerar. Då riskerar vi att förlora många av naturens viktiga bidrag till oss, som till exempel produktion av fisk, pollinering av grödor och inte minst kolinlagring.



Allt hänger ihop

Att sälar är släkt med tidiga hunddjur och att människan delar många av sina gener med exempelvis majs visar att vi har en gemensam biologisk historia. Längre skedde evolutionen enbart i havet. Men när livet till sist tog sig upp på land ändrades spelplanen dramatiskt.

Under 3 miljarder år skedde livets utveckling i haven. Först därefter, för cirka 500 miljoner år sedan, började tidiga grönalger kolonisera land och utvecklas till de första landväxterna. Strax därpå koloniserades land också av snäckor, ledmaskar, rundmaskar och kräftdjur samt de första ryggradsdjuren.

Ur de första landlevande kräftdjuren utvecklades insekterna – i dag den artrikaste organismgruppen. Men många grupper av organismer som lever i haven saknas fortfarande på land. Det gäller sjöstjärnor och sjöborrar (tagghudingar), koraller och maneter (nässelddjur), tvättsvampar (svampdjur), brunalger och rödalger, men också armfotingar, pilmaskar, skedmaskar, kammaneter och mossdjur.

Få organismgrupper har alltså klarat steget från vattenliv till landlev. Maneter och andra djur som saknar skal eller kalkskelett faller ihop under sin egen tyngd ovanför vattenytan och torkar snabbt ut om de hamnar på land. Musslor, svampdjur och koraller sitter fastväxta hela livet och livnär sig på att fånga plankton ur vattnet – en strategi som inte fungerar på land där luften är fattig på ätbara partiklar. Marina organismer kan också sväva hela eller delar av sitt liv i vattenmassan utan att förbruka särskilt mycket energi, medan motsvarande liv i lufthavet kräver mycket energi och avancerade vingkonstruktioner.

En stor del av havens djupare vattenmassor och botten är mörka och kalla. Men i detta ständiga mörker lever många djur som livnär sig av den näring som regnar ner från de produktiva ytvatten, där solens energi bundits i organiskt material av fotosyntetiserande bakterier, mikro- och makroalger. Många simmande organismer, som fiskar och djurplankton, genomför ”dygnsvandringar”. De simmar uppåt under natten och sedan nedåt under de ljusa timmarna. Dessa vertikala vandringar är ett sätt

Biologisk mångfald betonas betydelsen av variationsrikedom bland alla levande organismer och på alla biologiska nivåer, från gener till ekosystem. Carl von Linné var den förste som systematiskt beskrev den biologiska mångfalden av arter och hans sätt att namnge arter och gruppera dem på ett systematiskt sätt används fortfarande. Linné gjorde följande indelning:

ART – Linnés minsta enhet av mångfald, (i dag är det genen). Vanlig strandsnäck (Littorina littorea) är en art.

SLÄKTE – alla närbesläktade arter. Strandsnäckor (Littorina) är ett släkte.

FAMILJ – alla närbesläktade släkten. Gruppen Littorinidae består av några snäcksläkten.

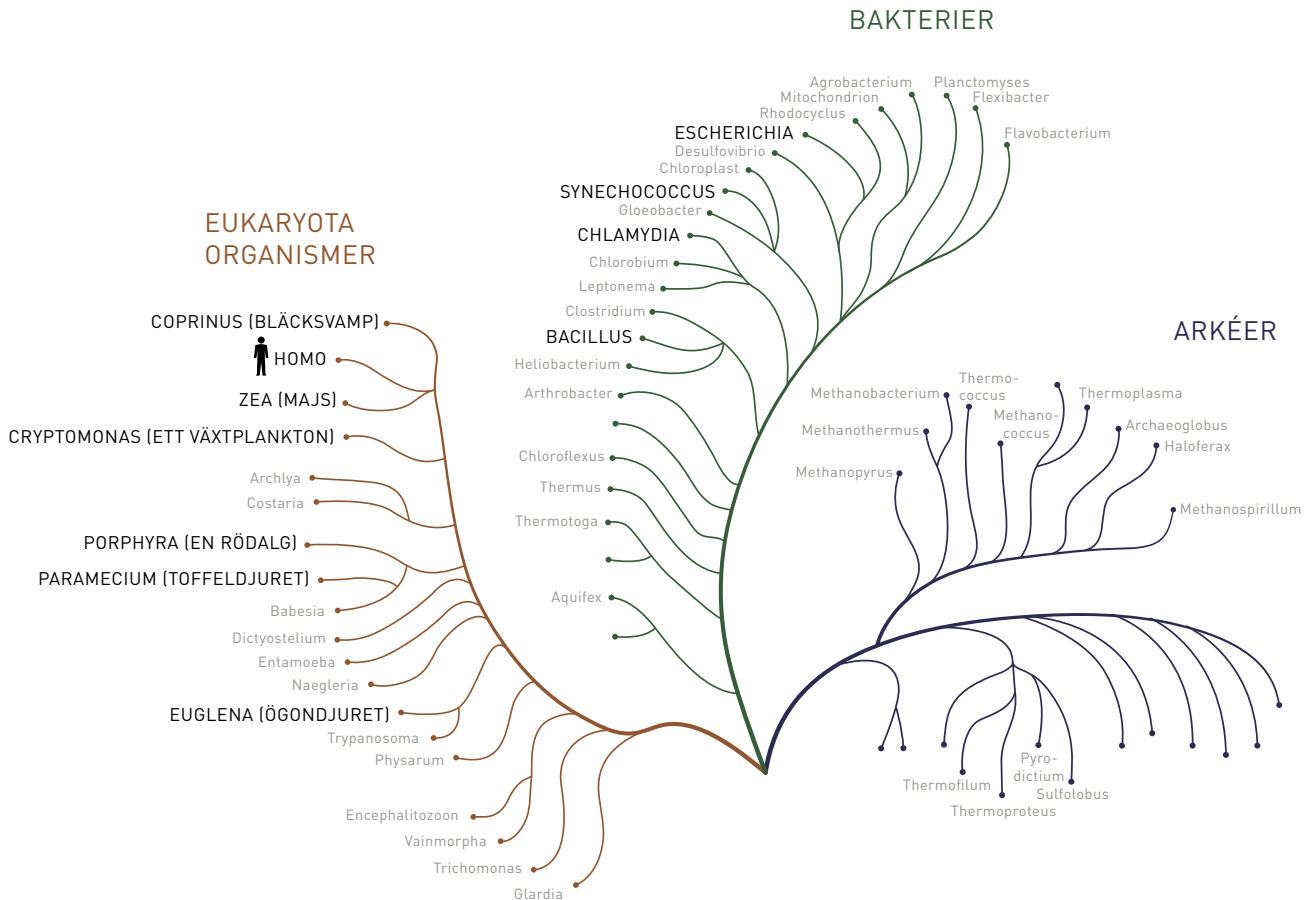
ORDNING – alla närbesläktade familjer. Framgälande snäckor är en ordning.

KLASS – ordningar som har samma grundutseende. Snäckor är en klass.

FYLUM – närstående klasser. Blötdjur är ett fylum och dit hör snäckor, musslor, bläckfiskar och tandsnäckor.

att få tag i föda nära ytan, men samtidigt undvika farlig UV-strålning och upptäckt från rovdjur.

Havens flercelliga fotosyntetiserande organismer – de vi i dagligt tal kallar tång, men som mer korrekt benämns makroalger – tillhör någon av grupperna brunalger, rödalger eller grönalger. Märkligt nog är dessa tre algrupper helt olika huvudgrenar inom eukaryoter, organismer med cellkärna (SE FIGUR 1). Ur grönalgsgruppen utvecklades de första landväxterna. Som ett sätt att klara vattenförsörjningen i den torra landmiljön utvecklades kärlsystem och rötter (båda saknas hos alger) för transport av vatten och näringsämnen till olika delar av växten. Långt senare återvandrade vissa av dessa kärlväxter till havet, och ängar av sjögräs utgör i dag livsmiljöer för fiskyngel och kräftdjur – de är kustfiskens barnkammare och skafferi.



FIGUR 1: Livets släkttrod. Två tredjedelar av livets tröd består av encelliga organismer utan cellkärna (prokaryoter) – som delas upp i de två huvudgrenarna bakterier och arkéer. Även i den sista tredjedelen – huvudgrenen eukaryota organismer (de som har cellkärna) – är den övriga delen encelliga organismer. Själva sitter vi i utkanten av grenen tillsammans med alla andra flercelliga organismgrupper, här exemplifierade med en växt och en svamp. Noderna utan namn representerar nya grupper som ännu inte namngivits av vetenskapen. All den biologiska mångfald av flercelliga makroskopiska arter och av encelliga mikrober har alltså ett gemensamt ursprung. På nära eller långt håll är vi alla släkt.

Inte bara kärlväxter utan även några däggdjur har tagit klivet från land tillbaka till havet. Valar är utvecklade ur tidiga klövdjur och släkt med flodhästar, sjökor är släkt med elefanter, medan sälar är släkt med tidiga hunddjur.

Insekterna tar över

I dag är skalbaggar, fjärilar, flugor, myror, getingar, bin och andra insekter artrikast bland flercelliga organismer, trots att de började utvecklas först sedan livet etablerats på land (SE FIGUR 2). Insekter är mycket viktiga, inte minst som pollinatörer av våra jordbruksgrödor och som mat för andra organismer, men vissa arter sprider också sjukdomar eller är skadedjur inom jord- och skogsbruk.

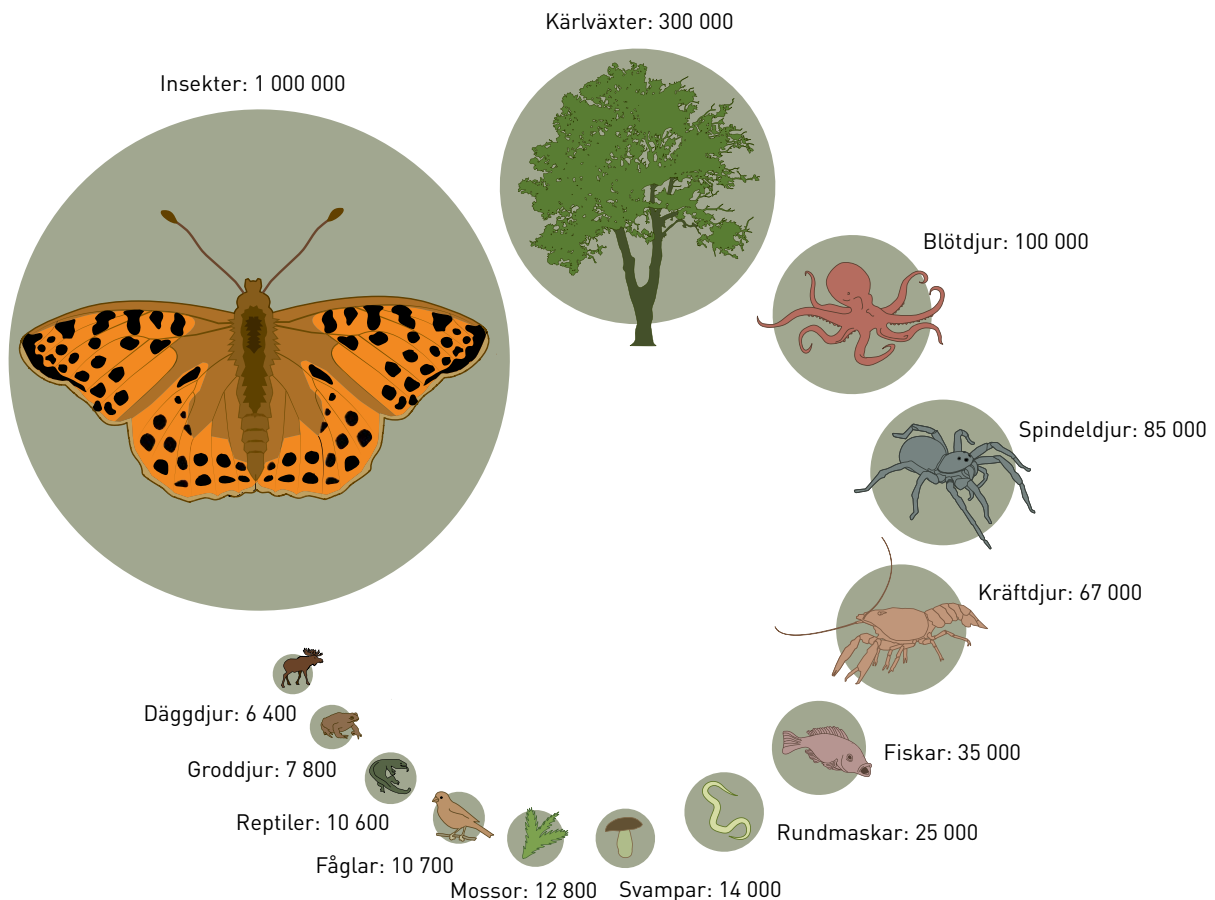
Varför har insekterna varit så framgångsrika i att bilda många olika arter? Insekterna utvecklade tidigt förmågan att flyga och var den första gruppen som erövrade luften. Detta gjorde att de kunde fly från rovdjur, som spindlar, mångfotingar och ryggradsdjur. Under en tidsperiod då stora skogar av jätteormbunkar producerade stora mängder syre, utvecklades gigantiska insekter, exempelvis trollsländor som var 70 centimeter mellan vingspetsarna. En annan framgångsfaktor för insekterna var utvecklingen av fyra livsstadier (ägg, larv, puppa och färdigt djur) med olika utseende och funktion. De allra flesta arter av insekter genomgår dessa olika livsstadier och utnyttjar då resurserna effektivt för att förutsättningarna ska bli optimala för vuxenstadiet, som ska producera nästa generation.

Ytterligare en egenskap som gynnat mångfalden av insekter är att de flesta är växtätare. Nattfjärilar, skalbaggar,flugor och bladlöss befinner sig i en ständig kapprustning med sina värdväxter. Växterna utvecklar giftiga kemikalier för att hålla insekter borta, och insekterna kontrar med att utveckla mekanismer för att undvika eller till och med använda kemikalierna. Denna kapprustning leder till att växtarter delar upp sig i nya arter med nya egenskaper för att undkomma insekterna, men följs snart åt av nya specialiserade insektsarter. Resultatet blir att grupper av besläktade insekter är specialiserade på grupper av besläktade växter, vilket leder till upprepad artbildning i båda grupperna.

Många arter av getingar och flugor är "parasitoider" som efter ett tag dödar sitt värdjur, vilket är ovanligt

bland parasiter. Dessa grupper av getingar är väldigt artrika, men dåligt kända eftersom många är små (1–2 millimeter). De flesta angriper andra insekter, deras ägg, larver eller puppor. Det finns till och med parasitoider som angriper andra parasitoider, så kallade hyperparasitoider! Återigen beror den enorma mångfalden troligen på en kapprustning mellan värdinsekter och parasitoider.

Insekter är en viktig del av den biologiska mångfalden, men klimatförändringar och förändrade livsmiljöer – både i jordbrukslandskapet och i urbana miljöer – gör att mängden insekter minskar. Insekter som tidigare fanns i stora mängder har på många platser blivit en bristvara, vilket får konsekvenser för många ekosystem och för de ekosystemtjänster insekterna utför och vi utnyttjar.



FIGUR 2: Cirkelnas storlek speglar hur artrik gruppen är. Insekter och kärlväxter är två unga grupper som stimulerat varandra till omfattande artbildning. I gruppen blötdjur finns framför allt många arter av snäckor. Inom ryggradsdjuren är fiskarna betydligt mer artrika än övriga grupper.

Biologisk mångfald är resultatet av evolution

Den biologiska mångfalden har utvecklats under många miljarder år. Hur många arter finns det i dag och hur kommer det sig att många riskerar att gå förlorade?

Över 99,9 procent av alla arter som någonsin funnits på jorden har redan dött ut. Genom att studera denna forntida artrikedom kan vi förstå hur den biologiska mångfalden har påverkats av förändringar i livsmiljön. Under vissa perioder har globala klimatförändringar, asteroidnedslag och vulkanutbrott slagit ut en stor del av då levande arter. Trots det har mångfalden gång på gång återhämtat sig, även om det har tagit flera miljoner år efter varje massutdöende (SE FIGUR 3).

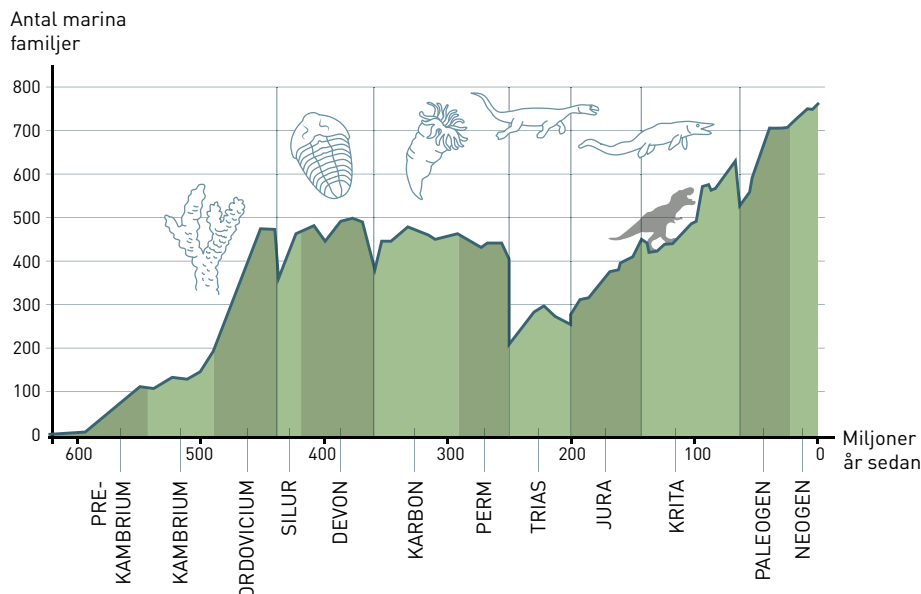
Kunskap om evolution är nödvändig

Människan påverkar evolutionen hos övriga arter på jorden och gör så att arter förändras eller i värsta fall utrotas. Genom fiske och jakt styr vi hur arters egenskaper ändras. Om bara stora individer fångas, med selektiva fiskeredskap eller vid jakt, gynnas tidig könsmognad och långsam tillväxt. De små individerna och de som växer sakta undgår att fångas,

vilket leder till att anlag för att växa sakta gynnas och fångsterna minskar.

Inom jordbruk och skogsbruk förädlar vi fram snabbare tillväxt. Detta kan dock göra växterna mer känsliga för insektsangrepp, extremväder och sjukdomar. De djur och växter som en gång var vilda men i dag är husdjur eller kulturväxter har genom förädling förlorat viktiga egenskaper som skyddar mot påfrestningar, som när klimatet blir varmare. Genom att förändra jordens klimat, och genom att reducera och förändra organismernas ursprungliga livsmiljöer, utsätter vi i dag även vilda arter för nya påfrestningar.

Genetisk variation är viktig, speciellt när livsvillkoren förändras. Om alla individer i en population är genetiskt lika har de alla samma egenskaper och risken finns att ingen överlever ett extremväder. Om populationen består av genetiskt olika individer kan några ha förmågan att överleva en extremhändelse och deras avkomor ärver också denna förmåga. På så sätt kan en population av noshörningar, fjärilar eller grodor anpassa sig till förändringar i livsmiljön.



FIGUR 3: Jordens första levande celler bildades för cirka 3 500 miljoner år sedan men med början för cirka 600 miljoner år sedan tog artbildningen fart på allvar. Ett 50-tal flercelliga organismgrupper utvecklades, alla till en början i havet. Spåren av tidiga organismgrupper (här exemplifierade med koraller, trilobiter och havsanemoner) finns bäst bevarade i fossila lager av gammal havsbotten. Här kan man inte bara följa hur nya grupper (familjer av arter) bildades, utan även identifiera de tidsperioder då massutrotningar skedde. Den senaste av dessa, i slutet av Kritaperioden för 66 miljoner år sedan, tog även med sig alla dinosaurier förutom fåglarna.

Arter med många individer har alltså oftast stor genetisk variation och en bättre evolutionär potential. Det gör dem bättre rustade för miljöförändringar jämfört med arter med få individer. Om en art kan sprida sig till nya områden när miljön förändras minskar också risken att dö ut.

Biologisk evolution är inte bara en historisk process utan i högsta grad något som pågår just nu. Ett tydligt exempel är när virus muterar och förändras och lyckas kringgå immunförsvaret i den individ de angriper. Den snabba evolutionen hos virus beror på att generationstiden är mycket kort – bara några timmar – och att antalet viruspartiklar är väldigt stort. Genom att virus kontinuerligt förändras måste vi utveckla nya vacciner i en ständig kapplöpning. Samma kapplöpning pågår överallt i naturen, men i långsammare takt. Det sker till exempel mellan rovdjur och bytesdjur eller mellan parasiter och deras värdorganismer.

Hur många arter finns det?

Det råder stor osäkerhet kring hur många arter det finns i dag, men en trovärdig uppskattning är runt 8,7 miljoner arter, varav cirka 6,5 miljoner på land och 2,2 miljoner i havet. I Sverige finns uppskattningsvis 50 000 arter, varav en fjärdedel i havet. För insekter, som utgör den allra största gruppen, finns fler än 1 miljon beskrivna arter. Det verkliga antalet arter kan dock vara det dubbla.

Snabbare metoder att identifiera arter

Under lång tid har artbestämning varit förbehållet de experter som är specialister på specifika artgrupper, men i dag kan vem som helst ta ett kort på en art i naturen och få svar i realtid, till exempel via gratisappen iNaturalist. Detta görs tack vare artificiell intelligens och bildigenkänning då bilderna jämförs mot kvalitetskontrollerade bilddatabaser. Artigenkänning med AI förutsätter att arten redan har beskrivits av en expert och fått sitt vetenskapliga namn.

Beräkningarna är osäkra eftersom det i många fall är oklart var gränserna mellan olika arter går. Osäkerheten är särskilt tydlig för mikroorganismer som bakterier och arkéer där omfattande utbyte av genetiskt material kan ske mellan vitt skilda grupper. Det finns också många exempel på djur, alger och växter där arter från två närbesläktade bestånd korsas (hybridiserar) och därför inte är tydligt åtskilda.

En annan utmaning med att beräkna antalet arter på jorden är att många ännu inte beskrivits och fått ett vetenskapligt namn (SE FIGUR 4). Exempelvis upptäcks varje år cirka 2 000 nya arter av örter, buskar och träd, 2 000 arter av svampar och 7 000 arter av insekter. Vissa är kända för lokala invånare,

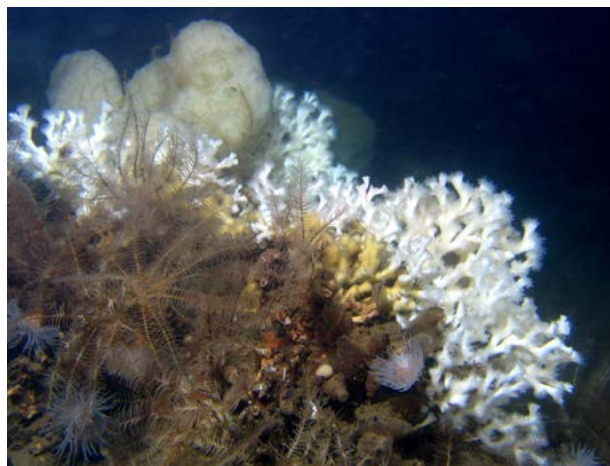
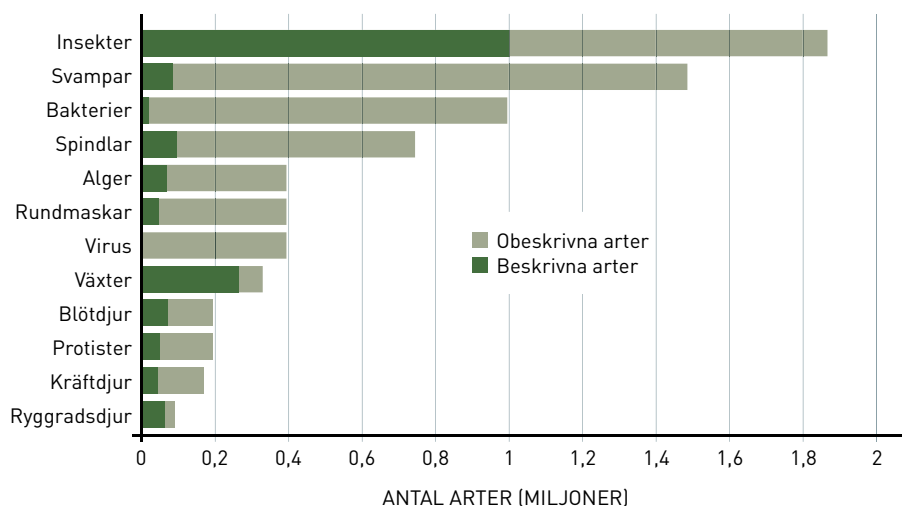


FOTO: LISBETH JONSSON/TOMAS LUNDALV



FOTO: LISBETH JONSSON/TOMAS LUNDALV

På den svenska västkusten finns ett par djupa områden med små rev av kallvattenkorall, och på reven syns ofta sjöililjor som simmar graciöst genom att växelvist ta simtag med hälften av sina tio armar åt gången. Här finns också olika arter svampdjur och sjöstjärnesläktingen medusahuvud, som med sina fem förgrenade armar verkar vilja greppa allt i sin omgivning.



FIGUR 4: Antalet beskrivna arter inom olika organismgrupper och en uppskattning av antal obeskrivna arter inom dessa grupper. Även om insekter redan har de absolut flesta arterna, finns nästan lika många kvar att upptäcka och beskriva. Ryggradsdjur och landväxter är de grupper där vi har bäst kännedom om den biologiska mångfalden. För svampar, bakterier och virus har arbetet att kartlägga artrikedomen bara börjat.

men är inte vetenskapligt beskrivna. Bland svampar är andelen okända arter extra stort, och de flesta uppskattningar pekar på att fler än 1 miljon av alla svamparter ännu inte identifierats. Även många arter av insekter är ännu inte beskrivna och med säkerhet finns det också många marina arter som vi inte känner till. Det är väldigt kostsamt att undersöka världshaven. Vi kommer behöva avancerad teknik, som undervattensrobotar, för att till slut få en mer fullständig bild av havens alla arter.

För små och inte särskilt iögonfallande arter, som rundmaskar eller parasitsteklar, är undersökningar av DNA nästan alltid nödvändiga för att säkerställa art. Miljö-DNA används för att identifiera arter som man inte ser, men vars DNA läcker ut i miljön. I en tesked jord från Amazonas har man till exempel hittat 1 800 arter, de flesta nyupptäckta. Bland annat fann man 400 svampar. Dessa representerar en mycket, viktig men ganska okänd grupp av organismer som bildar stora nätverk (mycel) i jorden. Vi plockar svampens fruktkroppar, men för ekosystemet är det viktigast att de återcirkulerar näringsämnen till träd och andra växter.

Mikrobernas mångfald

Det finns omkring 23 000 beskrivna arter av bakterier och 10 000 arter av encelliga organismer av eukaryoter. Tillsammans brukar man kalla dessa för mikroorganismer eller mikrober. Celler av encelliga eukaryoter är i grunden uppbyggda som hos flercelliga organismer, som till exempel människan. De skiljer

sig från bakterier, bland annat genom att ha DNA samlat i en cellkärna. Man kan fråga sig vad denna artrikedom hos mikroorganismer har för betydelse. Indirekt märker vi deras närvaro och betydelse inte minst i kopplingen till vissa livsmedel. Smak och textur hos filmjolk, yoghurt och ost påverkas av vilka arter mikrober som blandas i mjölkprodukterna vid tillverkningen. Bakteriers mångfald är också en viktig faktor för vår hälsa.

Det finns mycket kunskap om de relativt få bakterier som ger oss olika sjukdomar medan vår kunskap om mikroorganismernas betydelse i naturen fortfarande är begränsad. Vi vet dock med säkerhet att de spelar en avgörande roll för grundämnenas kretslopp, inte minst i haven, där svampar (våra viktigaste nedbrytare i marken) är relativt ovanliga. Atmosfärens syre producerades från första början av marina cyanobakterier, och fortfarande produceras minst lika mycket syre av fotosyntetiserande mikroorganismer i våra hav som av gröna växter på land. Man kan säga att haven är planetens ena lunga.

I dag använder vi begreppet mikrobiom för att beskriva de mikroorganismer som återfinns i en viss miljö. Mikrobiom finns på huden eller i tarmen hos en människa, i ruttnande löv i marken eller i en droppe vatten. Tillsammans utgör mikroorganismerna ett ekosystem i miniatyr som till exempel reglerar surhet och tillgång till näringsämnen. Med samma genetiska och mikrobiologiska metoder som vi i dag studerar naturen, studerar medicinska forskare den biologiska

mångfalden av mikrober i människans tarm. I dessa studier har man funnit viktiga kopplingar mellan mikrobiomet och vårt humör och välbefinnande, och sjukdomar som cancer och diabetes.

I mikroberna finns också en stor mångfald av naturens egna katalysatorer – enzymerna. Bakteriernas

anpassningar till en del extrema miljöer gör att de fungerar både vid extremt låga och höga temperaturer, i kraftigt sura och starkt basiska och i näringsfattiga och näringsrika miljöer. Dessa egenskaper används i produktionen av allt från yoghurt till öl. Tack vare bakterieodlingar har vi också fått antibiotika.

Varför måste vi bevara den biologiska mångfalden?

Vårt liv och vår arts evolutionshistoria är starkt kopplad till övriga arters, och hur vi agerar påverkar andra arters fortlevnad och evolution.

Argumenten för att bevara den biologiska mångfalden handlar om både moral och nytta. Ett etiskt argument är att vi har ett ansvar att inte utrota arter, och att alla arter har ett egenvärde. Nyttiaspekten innefattar de många materiella och icke-materiella bidrag som naturen och dess arter kan ge oss i dag och inte minst i framtiden.

Sett ur nyttoperspektivet kan frågan ställas om mänskligheten behöver precis alla arter som finns på jorden i dag för att överleva. Troligtvis inte, men det är inte heller möjligt att med dagens kunskap säkert fastställa vilka arter vi kan avvara utan att förlora en viktig resurs som vi skulle kunna nyttja i framtiden. Det kan exempelvis handla om viktiga gener eller ämnen användbara för framställning av nya mediciner som vi ännu inte upptäckt. Men vi kan trots allt vara säkra på att vissa arter är viktigare för livets utveckling än andra.

De viktigaste arterna är de som bygger upp strukturer i ekosystemen eller producerar stora resurser som nyttjas av andra, såsom livsmiljöer, skydd, näringsämnen, föda eller syre. I haven utgör sjögräsen och de stora brunalgerna – liksom många arter av revbildande koraller – viktiga livsmiljöer för andra arter. Vanliga arter av fisk som sill (världens kanske vanligaste ryggradsdjur) och torsk har centrala roller i våra svenska kustekosystem. Deras försvinnande genererar kedjeeffekter som leder till igenväxning av grunda vikar och förändringar i sammansättningen av djur- och växtplankton.

I skogen har stora träd som ek, gran och tall viktiga funktioner. Inte bara som råvaror för industriella processer utan också som bas i de ekosystem som ger oss många andra värden – såsom friluftsliv, bär och svamp – men också plats för alla de andra arter som tillhör skogsekosystemet. Över 2 300 arter är exempelvis associerade med ekar, däribland svampar, mossor, lavar, insekter, fåglar och däggdjur, och flera hundra av dessa är i regel bara funna i eller på ekar. Men träden måste tillåtas bli gamla och uttaget av skog får inte ske på bekostnad av de funktioner som gör träden så viktiga för övrig mångfald.

DIREKTA NYTTOR FÖR MÄNNISKAN:

- Mat, mediciner, byggnadsmaterial och växtfibrer
- Pollinering
- Kretslopp av viktiga näringsämnen
- Klimatreglering
- Vattenrening och luftrening
- Mindre erosion
- Friluftsliv och turism
- Förslag på smarta lösningar (biomimik)
- Framtida användningar (viktiga gener, nya mediciner med mera)

Biologisk mångfald inom arter

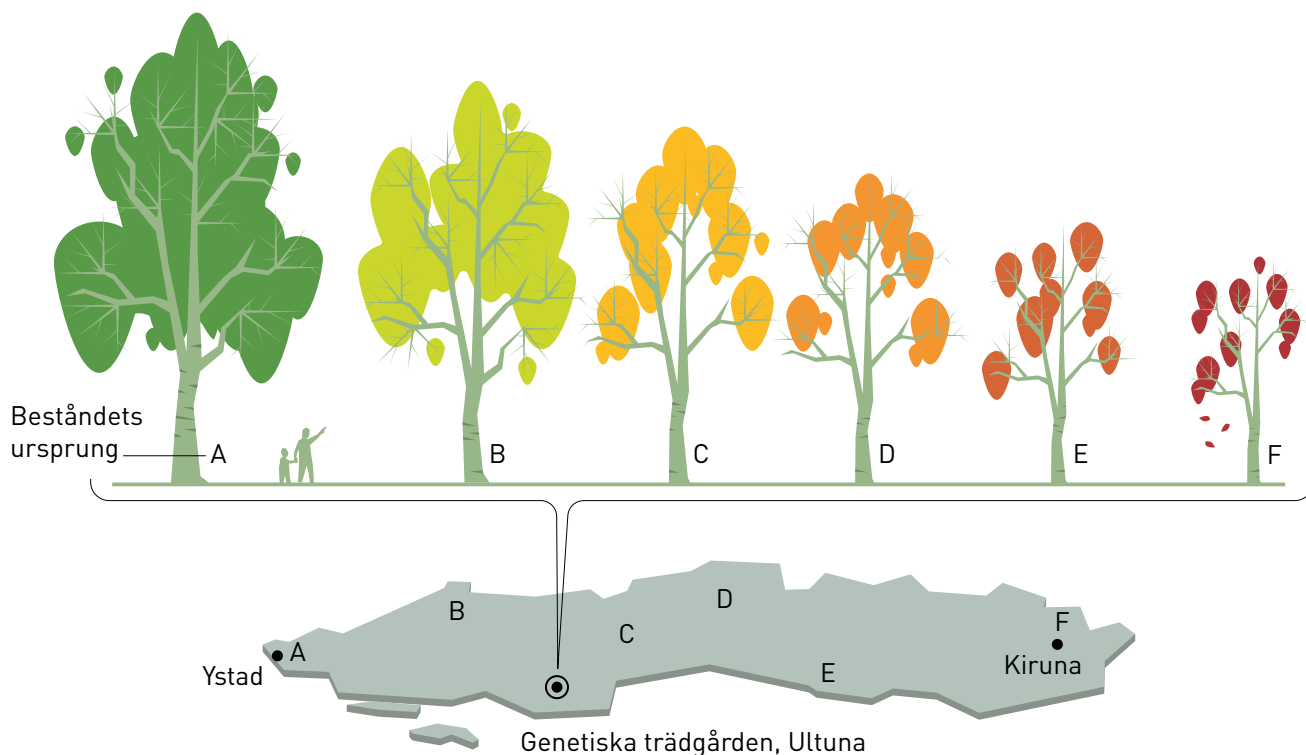
Även om många i dag betraktar arter som den huvudsakliga enheten för biologisk mångfald innehåller vanliga arter också en stor mångfald av lokala bestånd som är anpassade till en speciell miljö. En havsmiljö som tydligt illustrerar effekterna av lokal anpassning är Östersjön. I stort sett alla de marina arter som finns i Östersjön är genetiskt förändrade och anpassade till lägre salthalt och brist på tidvatten. Blåstången, sjögräset, torsken, sillen (strömming) och flundran i Östersjön har till exempel anpassningar för hur eller var de förökar sig.

Det finns också gott om exempel på land. I Uppsala har det planterats björkar som kommer från olika platser i Sverige. De nordliga björkarna faller sina löv betydligt tidigare på hösten och växer långsammare än de sydliga björkarna som står i samma allé (SE FIGUR 5). Detta vittnar om anpassningar och ärftliga skillnader.

Mångfalden ger oss framtidens mat och mediciner

Det finns över 7 000 ätliga växtarter runt om i världen, men i dag är över 4 miljarder människor helt beroende av endast tre grödor (alla ur gruppen gräs): ris, majs och vete. Samtidigt kommer över 90 procent av alla kalorier från endast 15 växtarter. Detta gör den växande befolkningen mycket sårbar ifall några av dessa växter skulle drabbas av sjukdomar – ett problem som blir allt vanligare i takt med den ökande globala handeln och klimatförändringar. Ett exempel på nya sjukdomar som uppstått och ännu saknar botemedel är den svamp som drabbar Cavendish-bananer, den mest odlade sorten i den internationella handeln. Svampen upptäcktes 1876 i Australien och vid mitten av 1900-talet hade den spridits till nästan alla bananproducerande områden i världen.

Den biologiska mångfalden är också en guldgruva för framtida nya mediciner och nya gener. Över 25 000



FIGUR 5: Under tidigt 1980-tal planterade Gunnar Ekman en björkallé i det som i dag kallas den Genetiska trädgården i Ultuna. Björkarna kom från olika delar av Sverige – från Kiruna i norr till Ystad i söder. 40 år efter planteringen faller de norrländska björkarna fortfarande sina blad betydligt tidigare om hösten. De har därför en kortare växtsäsong och är mer småväxta än sina sydligare artfränder. Detta visar att skillnaderna är ärftliga (genetiska) mellan björkar från nordliga och sydliga bestånd. Skillnaderna har utvecklats under århundraden av anpassning till temperatur- och ljusförhållanden i den lokala uppväxtmiljön.

växtarter används redan i dag som mediciner, och även om en stor del av läkemedelstillverkningen i dag sker syntetiskt spelar den biologiska mångfalden fortfarande en stor roll som inspiration och källa till komplexa molekyler. Ett tydligt exempel är cancermediciner. Bland de 185 mediciner som godkändes för cancerbehandling under perioden 1981 till 2019 bidrog naturprodukter som råvara eller inspirationskälla till 65 procent av dessa.

Så snabbt går förlusten av biologisk mångfald

Arter har alltid uppstått och dött ut, men i dag sker förlusten av arter tiotals till hundratals gånger snabbare än innan människan utvecklades och började påverka sin omgivning. Vissa grupper har drabbats särskilt hårt. Utrotningshastigheten för däggdjur har ökat 1 700 gånger jämfört med ursprunglig hastighet, en siffra som kan komma att öka till 30 000 vid seklets slut om nuvarande trend fortsätter.

Minst 600 växtarter har dött ut i modern tid, men det verkliga antalet kan vara mycket högre. Det är ofta svårt att visa att en art inte längre finns i ett område. Det gäller inte minst haven där mycket höga kostnader i stort sett omöjliggör sökandet efter ovanliga arter, som av samma anledning inte heller har kunnat undersökas särskilt ingående av vetenskapen.

Förutom den globala utrotningen av arter så innefattar förlusten av biologisk mångfald även en minskning av individer och bestånd på regional nivå. Sedan 1970 har de lokala bestånden av flera däggdjur, fåglar, fiskar, grod- och kräldjur minskat i genomsnitt med 69 procent, och i områden som Latinamerika uppgår denna minskning till hela 94 procent.

I dag uppskattas cirka 1 miljon av världens 9 miljoner arter vara utrotningshotade på grund av mänskliga aktiviteter. Om alla dessa skulle dö ut skulle det motsvara ett massutdöende av liknande storleksordning som de historiska massutrotningar som drabbat jorden i samband med asteroidkollisioner, istider och omfattande vulkanutbrott (SE FIGUR 3).

Förlust av livsmiljöer, som exempelvis när städer expanderar och grönområden försvinner samt intensifiering av jord- och skogsbruk, utgör i dag det största hotet mot biologisk mångfald. Den direkta exploateringen av arter, med jakt och fiske,

är den näst största risken och därefter kommer klimatförändringarna. Trots att klimatförändringar inte utgör det största hotet i nuläget beräknas dess betydelse öka under kommande decennier och även förstärka andra hot, exempelvis genom att göra det lättare för invasiva arter att etablera sig i nya områden. Ny forskning visar också att klimatförändringar redan är det största hotet i Östersjön.

DE VIKTIGASTE HOTEN MOT DEN BIOLOGISKA MÅNGFALDEN I DAG ÄR (i denna ordning):

1. Förlust av livsmiljöer
2. Direkt exploatering av arter
3. Klimatförändringar
4. Föroreningar
5. Invasiva främmande arter och sjukdomar



FOTO: ADOBE STOCK

Ur idegranens barr utvinns substansen taxol som används vid cancerbehandling. Ett annat exempel på medicinska användningsområden är trädet *Homalanthus nutans*. Barken innehåller ett ämne, prostratin, som kan göra friska celler immuna mot HIV-virus.

Finns det arter som klarar miljö- och klimathoten?

Bakterier, virus, mikroplankton och andra encelliga organismer har en betydligt större kapacitet att klara miljöförändringar än de flesta arter av blomväxter, däggdjur och fåglar.

Arter som har möjlighet till snabb evolution kan förväntas klara de miljöförändringar som människan orsakar betydligt bättre än arter där evolutionen sker långsamt. Generellt beror förmågan till evolution på hur många individer en art består av, hur lång generationstiden är och om arten har sexuell förökning eller en liknande mekanism för att blanda om den genetiska variationen och forma nya genetiskt unika individer. Arter med väldigt många individer och kort generationstid innehåller mer genetisk variation, och har genom snabbare generationstid en betydligt större potential till anpassning än arter med få individer och lång generationstid.

Med många individer uppstår också fler mutationer. En övervägande majoritet av dessa är skadliga och sorteras därför bort. Detta sker mest effektivt hos

arter med sexuell förökning där de avkomor som innehåller skadliga mutationer inte överlever medan avkomor med andra kombinationer av föräldrarnas gener klarar sig bättre. De få mutationer som är bra och ökar individers överlevnad och reproduktion blir lättare kvar, ökar i utbredning och leder artens evolution mot bättre anpassningar.

De flesta arter av blomväxter, däggdjur och fåglar har betydligt sämre kapacitet att klara miljöförändringar än bakterier, virus, mikroplankton och andra encelliga organismer. Värst är det för organismer med väldigt lång generationstid, som stora träd, medan vissa insekter och fiskarter har bättre kapacitet att förändras och anpassa sig till nya förhållanden eftersom de har mycket stora populationer och relativt kort generationstid.

Hur mycket genetisk variation som redan finns inom en art är viktigt för dess överlevnad när miljön förändras (SE FIGUR 6). Finns det redan extremt tåliga individer inom arten finns det en god chans

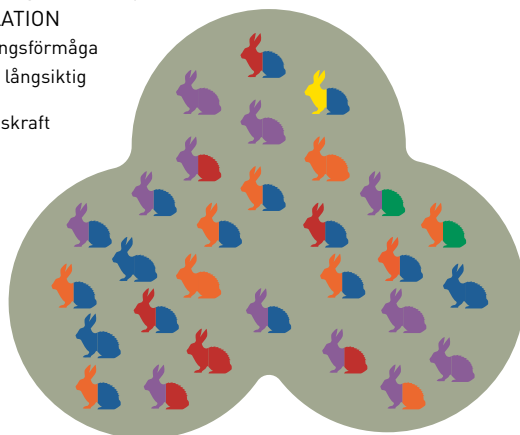
INDIVIDER

Samma gen kan förkomma i olika varianter – så kallade alleler. Att alleler finns innebär genetisk variation. En individ bär två kopior av varje gen – en från vardera förälder.



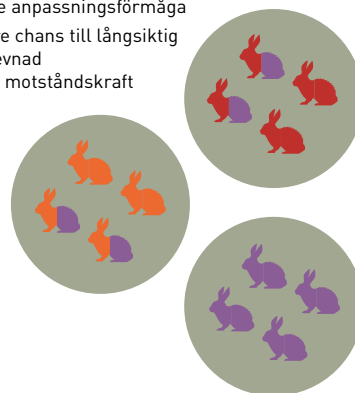
MYCKET GENETISK VARIATION I STOR POPULATION

Bättre anpassningsförmåga
Större chans till långsiktig överlevnad
Högre motståndskraft



LITE GENETISK VARIATION I SMÅ POPULATIONER

Sämre anpassningsförmåga
Mindre chans till långsiktig överlevnad
Lägre motståndskraft



FIGUR 6: Genetisk mångfald finns på olika nivåer inom en och samma art: en individ kan ha samma anlag av en viss gen i sina två kromosomer eller två olika anlag (en från varje förälder), individer i en population (ett bestånd) kan bära samma eller olika anlag, och olika populationer kan ha olika proportioner av de olika anlagen – ett anlag som är vanligt i en population kan vara ovanligt i andra populationer. I dag får vi information om individers och populationers sammansättning av anlag genom att läsa av individernas DNA.



FOTO: BO JOHANNESSON



FOTO: MARK THOMAS

Nya arter bildas hela tiden, men ofta tar det tusentals generationer. Under speciella omständigheter kan det gå betydligt snabbare, som i Östersjön där framförallt låg salthalt har sorterat fram några nya arter: Smaltång, en klon av blåstång som finns utefter hela den svenska Bottenhavskusten. Demersal flundra som finns norr om Gotland och in i Finska viken, och som lägger rommen på botten i stället för i det fria vattnet. Östersjötorsken som officiellt kallas "det östra beståndet" eftersom den leker öster om Bornholm, har en senare lekperiod och ägg som flyter vid lägre salthalt jämfört med torsken i västra Östersjön, Öresund och Västerhavet.

att klara miljöförändringen. Om en art redan har ett lokalt anpassat bestånd som lever i en miljö som liknar den framtida, kan anlag därifrån spridas till hela arten. Även arter med bra spridningsförmåga kan klara att överleva genom att finna och kolonisera alternativa områden. Men byte av livsmiljö innebär också nya påfrestningar i form av nya sjukdomar samt konkurrenter och rovdjur i den nya miljön.

Vissa arter har hamnat i en återvändsgränd då de övergått till att bilda nya individer genom kloning. Medan kloning kan vara en framgångsrik strategi i en stabil miljö så hjälper sexuell reproduktion till att bilda en mer variabel avkomma där föräldrarnas anlag har blandats i nya kombinationer. Några av kombinationerna kan sedan visa sig leda till bättre överlevnad och effektivare fortplantning i den nya miljön. Från fossila data vet vi att arter som förökar sig utan sex och i stället klonar sig inte är långlivade ur ett geologiskt perspektiv. Vår vanliga maskros är ett sådant exempel. Det kan tyckas förbryllande att en så livskraftig och vanlig art skulle dra det kortaste strået ur ett evolutionärt perspektiv. Men eftersom i stort sett alla bestånd av den vanliga maskrosen i dag är kloner, har arten betydligt sämre förutsättningar än sexuellt förökande arter att anpassa sig till förändringar i livsmiljön.

Det bildas fortfarande nya arter

Listan på arter ökar ständigt genom att tidigare okända arter får namn och beskrivs, men det bildas också nya arter. En ny art uppstår sällan i ett slag utan genom en stegvis förändring och uppdelning av en tidigare art i två nya arter. Processen tar ofta hundra- eller tusentals generationer. Redan på 1940-talet etablerades den klassiska definitionen för vad som är en art – en grupp av individer som är reproduktivt avgränsad från andra grupper av individer genom en eller flera isoleringsmekanismer. Sådana mekanismer kan vara beteendemässiga, som att en grupp av individer undviker att para sig med individer från andra grupper eller att en gemensam avkomma inte kan fortplanta sig. Isoleringmekanismer som splittrar en art kan också bildas när grupper isoleras i olika geografiska områden i samband med en istid. När istiden sedan är slut och grupperna på nytt stöter på varandra har de förändrats så att de inte känner igen varandras parningssignaler eller så blir avkomman inte levnadsduglig.

Modern forskning visar att artbarriärer rentav kan utvecklas utan isolering, vilket till exempel har skett i de stora afrikanska sjöarna där det finns hundratals olika fiskarter av ciklider. Oftast är naturlig selektion eller sexuell selektion en viktig drivkraft då nya arter bildas. Det handlar helt enkelt om att minska konkurrensen mellan individer i en art, och det kan ske genom att olika individer börjar utnyttja olika

livsstilar, olika resurser, olika mikromiljöer eller olika parningspartners. Ur denna ”specialisering” kan nya arter utvecklas.

Östersjön uppvisar några intressanta exempel på artbildningar som skett relativt nyligen. Bestånd av flundra i Östersjön norr om Gotland lägger sina ägg på botten i stället för fritt svävande i vattnet och den bottenlekande flundran är i dag en egen art som bildats i Östersjön under de senaste 8 000 åren. Man hittar i dag inga hybrider av torsk mellan bestånden öster och väster om Bornholm i södra Östersjön, vilket betyder att det östra beståndet av torsk är reproduktivt isolerat och utgör en egen (ännu icke namngiven) art. Även blåstången i Östersjön har utvecklat en isolerad gren, smaltång, som utgör en egen variant av den vanliga blåstången genom att den övergått till förökning genom kloning.

Att arter just nu är i färd med att dela upp sig i nya arter är mycket vanligare än vad man tidigare trott. I en studie som använde genetiska metoder uppskattades att omkring 20 procent av alla arter är inne i en pågående artbildning. Men den artbildning som sker i dag kan ändå inte kompensera den snabba utrotning av arter som mänskliga aktiviteter orsakar, och den biologiska mångfalden minskar i dag med en hastighet som närmast motsvarar det som endast skett vid de fem historiska massutdöendena (SE FIGUR 3).

Regnskogarna är världens artrikaste områden

De tropiska regnskogarna är bland de mest artrika ekosystemen i världen. De finns i tre stora områden: tropiska Amerika, tropiska Afrika och tropiska Australasien (från Sydostasien till norra Australien). Områdena kännetecknas av konstant hög temperatur (över 20 grader) och hög och regelbunden nederbörd med över 2 000 millimeter per år – utan utpräglade torrperioder. Regnskogar finns även i tempererade områden, som på Norges och Nordamerikas västkuster, men är där inte lika artrika som de tropiska. Att just tropiska regnskogar är så artrika beror på flera mekanismer som stimulerar evolutionen av nya arter. Två viktiga anledningar är att de funnits under mycket lång tid – minst 60 miljoner år i tropiska Amerika där de äldsta fossil av regnskogsarter har hittats – och att de täcker stora arealer där artbildning kunnat ske. En annan möjlig förklaring är de stora

mängder ljus som strålar in från solen och som förser dessa ekosystem med stora mängder energi som kan inlagras av växterna och i nästa led utnyttjas av växtätare och sedan rovdjur.

De flesta regnskogar växer på näringsfattiga jordar, där nästan all näring är bunden till växtligheten. Ofta finns olika nivåer i en regnskog. Markskiktet med örter är i regel relativt begränsat då väldigt lite ljus når ända ner till marken. Därefter följer minst ett skikt med trädkronor, följt av enstaka träd som sticker upp tiotals meter ovanför de övriga och därmed får bäst förutsättningar att samla solljus och sprida sina frön.

En stor del av mångfalden finns högt upp i regnskogen – åtskilliga fåglar, däggdjur och insekter kommer aldrig någonsin ner till marken. Också många växter har trädens grenar som sin livsmiljö, som orkidéer, ormbunkar och kallaväxter. Växterna har ofta spetsiga blad, som är en bra anpassning för att snabbt bli av med regnvattnet som faller i riklig mängd. På så sätt kan de förhindra påväxt av svampar och alger på bladen.

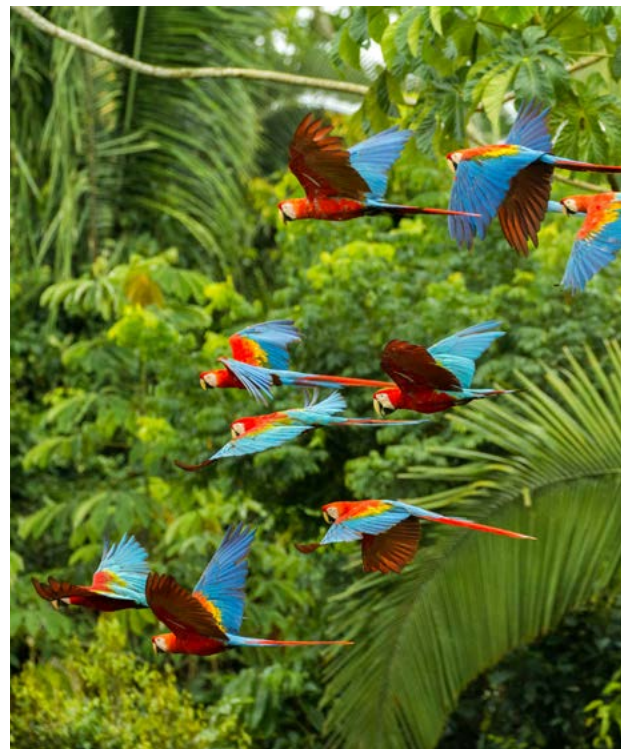


FOTO: ADOBE STOCK

Amazonas är världens största sammanhängande regnskog. Här finns fler arter än någon annanstans på jorden, med allt från färgglada papegojor till små anspråkslösa insekter.

Är det ett problem att arter sprider sig?

Ekosystemen har alltid förändrats med intåget av nya arter. De kommer inte att kollapsa, men ibland kommer effekterna att bli omfattande.

Under evolutionens gång har arter alltid förflyttat sig tills de stött på en barriär. Ibland har förflyttningar skett över oväntat stora avstånd, som de fåglar och växter som nådde Hawaii eller Galapagos efter långa transporter i luft och vatten. De som sedan lyckades etablera sig i de nya områdena samspelade med den flora och fauna som redan fanns på öarna, och i många fall ledde den nya miljön och de nya förutsättningarna till att flera nya arter utvecklades. Ett berömt exempel är Galapagosfinkarna som i dag är drygt ett dussin, men som alla härstammar från den första arten av fink som invandrade från Sydamerika.

I nordliga områden som periodvis täckts av inlandsis har mycket stora omflyttningar av arter skett, då både landområden och kustnära havsområden efter varje istid återkoloniserats av arter söderifrån. Östersjön, som växlat mellan att vara havsvik och insjö, koloniserades för bara 8 000 år sedan av marina organismer, vilket ledde till snabb evolution av nya anpassningar för att klara den låga salthalten.

Med hjälp av människans medvetna eller omedvetna hjälp har arter sedan lång tid spridits mellan kontinenter och över stora havsområden. Men denna spridning har ökat kraftigt, inte minst i de marina miljöerna, som en konsekvens av fartygstrafiken där larvstadier eller vuxna individer transporteras med ballastvatten eller som påväxt på fartygsskrov. Klimatförändringar leder nu till att arter kan etablera sig där de tidigare inte klarat att överleva.

Främmande arter finns i dag överallt

I svenska vatten finns i dag stillahavsstronet som introducerades till Frankrike för att odlas där för snart hundra år sedan. Tidigare kunde ostronet inte etablera sig i nordiska vatten på grund av kalla vintrar, men i dag är arten mycket vanlig utefter hela västkusten. Ostronet är förmodligen en tillgång för andra arter i ekosystemet och äts av måsfåglar som ersättning för minskad tillgång på blåmusslor längs västkusten.

Kanadagåsen kan konkurrera ut inhemska arter och orsaka stora skador.

Östersjön har tagit emot ett hundratal nya arter, några utgör i dag viktig fiskföda, medan andra, som den lilla svartmunnade smörbulten, konkurrerar med inhemska arter. Nya arter som sprider sig snabbt och ställer till med problem brukar kallas för invasiva arter, men alla främmande arter är inte invasiva.

Ibland förändras arter genetiskt i samband med introduktion till nya områden. Detta kan ske genom hybridisering med en lokal art, som hos växten malörtsambrosia som spridits i Europa med solrosfrön, och som ursprungligen introducerades till den europeiska kontinenten från Nordamerika. Växten är kraftigt allergiframkallande och kan komma att spridas ytterligare, till exempel till Sverige, som en konsekvens av varmare klimat.

På land har till exempel kanadagåsen och vresrosen orsakat stora skador och konkurrerar ut inhemska arter. Nya arter gynnas oftast initialt då de i sin nya miljö saknar de naturliga rovdjur, parasiter och sjukdomar de har i sin hemmiljö. I spåren av ett varmare klimat kommer många arter att ändra sin utbredning. På norra halvklotet kommer de att vandra norrut för att minska värmestress och torka. I dag finns redan flera exempel på fågelarter som tidigare inte häckade i Sverige men som nu börjar bli vanliga här, som den lilla brandkronade kungsfågeln och svarthakad buskskvätta. Ekosystemen kommer inte att kollapsa som ett resultat av dessa omflyttningar av arter. De kommer dock att förändras, ibland med storskaliga konsekvenser.



Så bevarar vi den biologiska mångfalden

En yta motsvarande en fotbollsplan av regnskog försvinner varannan sekund. I dag utrotas arter hundratals gånger snabbare än under normala förhållanden. Så hur gör vi för att bevara den biologiska mångfalden?

Bestånden av ryggradsdjur har krympt med i genomsnitt 69 procent sedan 1970. En miljon arter beräknas vara utrotningshotade, varav ett stort antal växter. Det går inte att återställa de arter eller bestånd vi redan förlorat, men det finns fortfarande tid att bevara det vi har kvar. I nationalparker och naturreservat ges vilda växter och djur bättre förutsättningar att klara sig. Som en liten pusselbit av bevarandearbetet sparas också mångfalden hos världens fröer i fröbanker – stora fryslager där fröer kan behålla grobarheten i hundra år eller längre. På motsvarande sätt använder forskare också djupfrysning vid extremt låga temperaturer för att bevara gener från vissa hotade djur, växter och svampar. Djupfrysta spermier, äggceller, embryon och somatiska celler placeras då i flytande kväve. Men många arter och vävnader tål inte att frysas ner.

För att bromsa förlusten av biologisk mångfald räcker det inte att skydda natur, vi måste också ta itu med klimatförändringar och överexploatering av naturen. Lyckas vi med det kommer vi att förbättra arternas livsvillkor och öka deras chanser att överleva på längre sikt.

Nya politiska mål

Under ett FN-toppmöte i Montreal i slutet av 2022 enades representanter för närmare 200 länder om ett nytt globalt ramverk för biologisk mångfald. Ramverket har potential att vända den negativa trenden för biologisk mångfald och minska utrotningen av djur och växter. Målen är bland annat att skydda 30 procent av jordens land och hav fram till 2030, att stoppa förstörelsen av områden med särskilt höga naturvärden och att halvera användningen av konstgödsel, bekämpningsmedel och andra farliga kemikalier. Det finns också ett tydligt fokus på kontinuerlig bevakning, utvärdering och rapportering. Länderna enades även om att rika länder ska finansiera arbetet i låginkomstländer.

Att öka bevarandearbetet i havet och på land genom att skydda kvarvarande ekosystem och restaurera förstörd natur är viktiga åtgärder för att bevara mångfalden, men inte tillräckligt. Samtidigt med bevarande måste vi också utveckla hållbara sätt att producera varor och tjänster och sluta kretsloppen i cirkulära ekonomiska system. Först då finns en långsiktig framtid för planetens arter, inklusive oss människor.

För att vända den i dag mycket negativa trenden av snabba förluster av arter och lokala bestånd av arter, behövs stora och skyndsamma samhällsförändringar. Dessa förändringar måste innefatta livsstilsförändringar för den del av jordens befolkning som i dag lever långt utanför de gränser planeten klarar av på lång sikt.



FOTO: CHRISTINA ALAX

Naturminnen kan ha stor betydelse för bevarandet av den biologiska mångfalden. Det kan till exempel handla om att skydda riktigt gamla träd. Naturminne är en av de äldsta skyddsformerna för natur i Sverige.



En arbetsgrupp bestående av ledamöter av Vetenskapsakademien och inbjudna experter har tagit fram materialet till denna skrift som bygger på den samlade vetenskapliga litteraturen om evolution och biologisk mångfald:

KERSTIN JOHANNESSON*, professor i marin ekologi, Göteborgs universitet

ALEXANDRE ANTONELLI, professor i biologisk mångfald, Göteborgs universitet och forskningschef, Royal Botanic Gardens, Kew, Storbritannien

JARONE PINHASSI*, professor i mikrobiologi, Linnéuniversitetet

ERIK SVENSSON, professor i evolutionär biologi, Lunds universitet

NIKLAS WAHLBERG, professor i systematik, Lunds universitet och museichef för Biologiska museet, Lunds universitet

SUSANNE ÅKESSON*, professor i zoologisk ekologi, Lunds universitet

* Ledamot av
Kungl. Vetenskapsakademien

VETENSKAPEN SÄGER är en serie populärvetenskapliga skrifter från Kungl. Vetenskapsakademien. Målsättningen är att sprida vetenskapsbaserad information om viktiga och aktuella ämnen till allmänheten, särskilt på områden där forskningen har gjort stora framsteg på senare tid.

Beställ tryckta exemplar av Vetenskapen säger från vetenskapensager@kva.se eller ladda ned i pdf-format på www.kva.se/vetenskapensager.



©Kungl. Vetenskapsakademien, 2023

Vetenskapsredaktör: Anna Liljemalm
och expertgruppen för *Vetenskapen säger*
– om biologisk mångfald och evolution

Projektledare: Marianne Nordenlöw

Omslag: På några platser på den svenska västkusten finns atlantisk djupvattenfauna, här representerade av en stor röd havsanemon, ett par trattformade svampdjur och en liten koloni av ögonkorall. Foto: Lisbeth Jonsson/Tomas Lundälv

Illustrationer: ©Johan Jarnestad/
Kungl. Vetenskapsakademien

Grafisk form: ©Fräulein Design



Vetenskapsakademien säger – om biologisk mångfald och evolution produceras och distribueras genom stöd från Stiftelsen Natur & Kultur.